



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL**

**RAFAEL JOSÉ DOS SANTOS**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

Recife  
2019

**RAFAEL JOSÉ DOS SANTOS**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Fernandes Campos

Recife  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S237r

Santos, Rafael José dos

Resolução de problemas na construção de conhecimentos articulados à temática galvanoplastia / Rafael José dos Santos. - 2019.  
136 f. : il.

Orientador: Angela Fernandes Campos.  
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI), Recife, 2019.

1. Ensino de química. 2. Resolução de problemas. 3. Ferrugem. 4. Galvanoplastia. I. Campos, Angela Fernandes, orient. II. Título

CDD 540

---

**RAFAEL JOSÉ DOS SANTOS**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

Dissertação apresentada à  
Coordenação do Programa de  
Mestrado Profissional em Química  
em Rede Nacional da Universidade  
Federal Rural de Pernambuco como  
requisito necessário à obtenção do  
título de Mestre em Química.

Aprovado em: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Angela Fernandes campos  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
(Orientador)

---

Prof. Dr. José Euzébio Simões Neto  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
(1º Avaliador Interno)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Cristina da Silva Freitas  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
(2º Avaliador Interno)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Flávia Cristiane Vieira da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
(Avaliador Externo)

A Deus, pelo dom da vida e saúde abundante;  
Aos meus pais e irmão, pelo amor e apoio;  
À minha esposa, Hortênsia Dourado;  
Às minhas avós, Maria (in memoriam) e Helena.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar durante o desenvolvimento desta pesquisa. A fé que tenho no senhor foi a razão da minha disciplina, perseverança e força. Agradeço todas as bênçãos concedidas a mim e a todos aqueles que amo.

Aos meus pais, Jorge e Eliane, pela minha educação e apoio constante, em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa Hortênsia Dourado, por todo incentivo, companheirismo e compreensão, fundamentais para a realização desse trabalho.

Aos meus sogros, Nilton e Sílvia, pelo apoio dado em diversos momentos dessa trajetória.

A minha orientadora Dra. Angela Fernandes Campos, minha gratidão eterna por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência. Obrigado por todo acompanhamento e por ser bastante paciente e gentil.

Ao meu irmão Rodrigo e demais familiares pelo apoio, carinho e por compreenderem as minhas ausências devido aos compromissos com os estudos.

Aos meus colegas de turma do PROFQUI, pelos valiosos momentos de troca de experiências, pela amizade e companheirismo na busca de um mesmo ideal.

Ao corpo Docente do Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI) da UFRPE.

A todos os servidores do DQ-UFRPE pela excelente condição oferecida na realização deste trabalho, em particular, àqueles que estiveram diretamente envolvidos com as demandas do PROFQUI.

A banca examinadora da qualificação composta pelos membros: Dr. José Euzébio Simões Neto e Dra. Kátia Cristina da Silva Freitas que contribuíram muito com as sugestões, correções e discussões.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos recursos disponibilizados.

Ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) pela coordenação geral do PROFQUI.

A equipe gestora da Escola Estadual Frei Caneca pela extraordinária receptividade e por proporcionar as melhores condições possíveis para a realização da intervenção didática. Também agradeço a todos os alunos que voluntariamente se dispuseram a participar como sujeitos da pesquisa.

Aos meus amigos professores, direção de ensino e direção geral do Instituto Federal de Educação de Pernambuco - Campus Barreiros, por todo incentivo fornecido para que eu pudesse participar desse curso de mestrado.

A todos os meus alunos pelas mensagens de apoio e por compreenderem as ausências que se fizeram necessárias durante parte da realização deste estudo.

A todos os amigos/as que estiveram presentes em minha vida e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para o sucesso deste trabalho.

*Ensinar não é transferir conhecimento, mas  
criar as possibilidades para a sua própria  
produção ou a sua construção.  
(Paulo Freire)*



## RESUMO

O ensino por transmissão-recepção corresponde a uma insistente realidade nas salas de aula de química, estigmatizando os professores como sujeitos ativos do processo de ensino e aprendizagem enquanto que os alunos se comportam como meros receptores de conteúdos muitas vezes não articulados aos contextos sociais em que estão inseridos. Pretendendo contribuir com a mudança desse cenário, muitos pesquisadores em ensino de química trabalham para desenvolver e popularizar as chamadas metodologias ativas de ensino, visando preparar os docentes para que atuem como agentes mediadores do processo de ensino e aprendizagem, possibilitando o protagonismo aos estudantes. Nessa direção, o ensino por Resolução de Problemas representa uma valiosa estratégia que possibilita a articulação do conhecimento químico com a realidade dos alunos, inserindo-os em atividades de investigação científica no contexto escolar, valorizando a problematização, elaboração de hipóteses, reflexão, debates e a mediação do professor. Investigações a respeito do ensino e aprendizagem sobre Galvanoplastia apontam tal conteúdo como um dos assuntos de maior dificuldade de compreensão por parte dos alunos. Dessa maneira, a presente pesquisa contribuiu para a construção de conceitos relativos à Galvanoplastia a partir da Resolução de Problemas, fazendo uso de uma sequência de ensino e aprendizagem. Os sujeitos da pesquisa, trinta e quatro alunos do segundo ano do Ensino Médio de uma escola estadual da Região Metropolitana do Recife, foram submetidos a uma avaliação diagnóstica contendo questionamentos correlatos à temática central e tanto as respostas dessa primeira avaliação quanto as respostas dadas como resolução ao problema proposto foram analisadas de modo qualitativo, com caráter descritivo/interpretativo, objetivando identificar a construção do conhecimento em nível fenomenológico, teórico e representacional. Após a aplicação da sequência de ensino e aprendizagem, constatou-se que a maioria dos alunos conseguiu desenvolver a aprendizagem relativa aos conceitos de Galvanoplastia em pelo menos dois dos três níveis de conhecimento químico esperados. Também percebeu-se que os alunos conseguiram reestruturar o conhecimento a respeito dos conceitos explorados na avaliação inicial, sobretudo com relação à formação da ferrugem, pois os estudantes revelaram conhecê-la apenas empiricamente, quando elaboraram as suas respostas a partir de raciocínios que levavam em consideração apenas as observações macroscópicas que tinham realizado em algum momento de suas vidas. Assim sendo, além de verificar a eficiência do produto educacional construído neste trabalho, desenvolveu-se uma contribuição para deixar ainda mais evidente que a construção de conceitos sobre Galvanoplastia é favorecida pela metodologia de resolução de problemas.

**Palavras-Chave:** Ensino de Química. Resolução de Problemas. Ferrugem. Galvanoplastia.

## ABSTRACT

The teaching by Transmission-reception corresponds to an insistent reality in Chemistry classrooms, stigmatizing teachers as active subjects in the teaching and learning process while students behave as mere recipients of the contents that are often not articulated with the social contexts in which they are inserted. Intending to contribute to change this scenario, many researchers in Chemistry teaching work to develop and popularize the so-called active teaching methodologies, aiming to prepare teachers to act as mediators of the teaching and learning process, enabling the protagonism of students. In this sense, the teaching by using problem solving represents a valuable strategy that enables the articulation of chemical knowledge with the students' reality, inserting them in scientific research activities in the school context, valuing the problematization, hypothesis elaboration, reflection, debates and the teacher's mediation. Investigations on the teaching and learning of Electroplating point out such content as one of the subjects of greatest difficulty for students to understand. Thus, this research contributed to the construction of concepts related to Electroplating based on Problem-Solving, making use of a teaching and learning sequence. The research subjects, thirty-four high school students from a state school in the metropolitan region of Recife, underwent a diagnostic evaluation containing questions related to the central theme and both the answers of this first evaluation and the answers given as a resolution to the proposed problem were analyzed qualitatively, with a descriptive/interpretative character, aiming to identify the construction of knowledge at a phenomenological, theoretical and representational level. After applying the teaching and learning sequence, it was acknowledged that most students were able to develop the learning of Electroplating in at least two of the three expected levels of chemical knowledge, and it was found that students were able to restructure knowledge to respect the concepts explored in the initial evaluation, especially in relation to the formation of rust, since the students revealed to know it only empirically when they elaborated their answers based on reasoning that took into consideration only the macroscopic observations they had made at some point in their lives. Thus, in addition to verifying the efficiency of the educational product built in this work, a contribution was developed to make it even more evident that the construction of concepts about Electroplating is favored by the problem solving methodology.

**Keywords:** Chemistry Teaching. Problem-Solving. Rust. Electroplating.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de uma célula eletroquímica .....	311
Figura 2 - Funcionamento de uma célula galvânica .....	322
Figura 3 - Ilustração de uma célula eletrolítica .....	333
Figura 4 - Eletrodo Gasoso de Hidrogênio .....	411
Figura 5 - Representação experimental para determinação do potencial padrão de redução do eletrodo de prata .....	422
Figura 6 - Representação experimental para determinação do potencial padrão de redução do eletrodo de cádmio .....	422
Figura 7 - Eletrólise ígnea do cloreto de sódio .....	455
Figura 8 - Esquema da eletrólise aquosa do cloreto de sódio.....	466
Figura 9 - Galvanoplastia de uma placa de aço utilizando eletrodos de níquel .....	522
Figura 10 - Relações epistêmicas e pedagógicas das sequências de ensino e aprendizagem...66	
Figura 11 - Blitz Pedaleria contra a corrente enferrujada.....	83
Figura 12 - Simulador Monte um átomo.....	83
Figura 13 - Deslocamento do cobre.....	844
Figura 14 - Pilhas eletroquímicas .....	855
Figura 15 - Química - Ferro e Ferrugem .....	86
Figura 16 - Redução dos efeitos da maresia .....	87
Figura 17 - Telecurso2000 - Aula 23/50 - Química - Cromeração, Niquelação, Estanhagem, Zincagem .....	88
Figura 18 - Simulador Electrolysis .....	89
Figura 19 – Resposta de um sujeito de pesquisa à questão 01 da avaliação diagnóstica .....	94
Figura 20 – Resposta da dupla 01 à primeira pergunta do problema .....	99
Figura 21 - Resposta da dupla 07 à primeira pergunta do problema.....	100
Figura 22 - Resposta da dupla 03 à primeira pergunta do problema.....	101
Figura 23 - Resposta da dupla 15 à segunda etapa do problema.....	103
Figura 24 - Resposta da dupla 10 à segunda etapa do problema .....	104
Figura 25 - Resposta da dupla 12 à segunda etapa do problema.....	105
Figura 26 – Representação da eletrólise do cloreto de sódio.....	134
Figura 27 – Niquelação de uma colher .....	135

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre as fases do método científico e da solução de um problema ..	59
Quadro 2 - Exemplo de um potencial problema escolar qualitativo em química.....	60
Quadro 3 - Exemplo de um potencial problema escolar quantitativo em química.....	61
Quadro 4 - Exemplo de um potencial problema escolar do tipo pequena pesquisa em química .....	62
Quadro 5 - Estratégias para a transformar enunciados de exercícios em problemas .....	63
Quadro 6 - Exemplo de exercício possível de ser transformado em potencial problema .....	63
Quadro 7 - Situação Problema.....	77
Quadro 8 - Categorização das respostas à primeira pergunta.....	99
Quadro 9 - Categorização das respostas à segunda etapa do problema.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações pertinentes ao estudo das células galvânicas e eletrolíticas .....	34
Tabela 2 - Hierarquização das regras para cálculo do estado de oxidação .....	36
Tabela 3 - Modelos Conceituais de Oxidação e Redução .....	38
Tabela 4 - Potenciais-padrão de redução .....	43
Tabela 5 - Comparativo entre os três tipos de corrosão .....	50
Tabela 6 - Publicações na Revista Química Nova na Escola que abordam o ensino de eletroquímica .....	744
Tabela 7 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 01 .....	94
Tabela 8 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 02 .....	95
Tabela 9 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 03 .....	96
Tabela 10 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 04 .....	97
Tabela 11 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 05 .....	98

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 1: A EVOLUÇÃO DA ELETRICIDADE: BREVE HISTÓRICO DA ELETROQUÍMICA</b> .....	16
1.1 PRIMEIROS RELATOS ACERCA DE ELETRICIDADE .....	16
1.2 HISTÓRIA DA PILHA E ELETRÓLISE: PROCEDIMENTOS ELETROQUÍMICOS NA ANTIGUIDADE.....	18
1.3 AS CONTRIBUIÇÕES DE LUIGI GALVANI.....	19
1.4 ALESSANDRO VOLTA: HISTÓRIA E CONTROVÉRSIAS.....	21
1.5 O DEBATE ENTRE GALVANI E VOLTA .....	23
1.6 DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA PILHA ELÉTRICA.....	25
1.7 A RELAÇÃO ENTRE HUMPHRY DAVY E MICHAEL FARADAY PARA O DESENVOLVIMENTO DA ELETRÓLISE .....	27
<b>CAPÍTULO 2: CONCEITOS BÁSICOS PARA O ESTUDO DA ELETRÓLISE</b> .....	31
2.1 NÚMERO DE OXIDAÇÃO E ESTADO DE OXIDAÇÃO .....	34
2.2 REAÇÕES REDOX .....	37
2.3 POTENCIAL PADRÃO DE REDUÇÃO .....	39
2.4 TIPOS DE ELETRÓLISE .....	43
2.4.1 Eletrólise Ígnea .....	44
2.4.2 Eletrólise Aquosa .....	45
2.5 CORROSÃO .....	49
2.6 GALVANOPLASTIA .....	51
<b>CAPÍTULO 3: PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM BASEADA NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS</b> .....	54
3.1 NOÇÃO SOBRE O TERMO EXERCÍCIO.....	56
3.2 NOÇÃO SOBRE O TERMO PROBLEMA .....	56
3.3 TIPOLOGIAS DE PROBLEMAS .....	57
3.4 COMO TRANSFORMAR EXERCÍCIOS EM PROBLEMAS?.....	62
<b>CAPÍTULO 4: SEQUÊNCIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE QUÍMICA</b> .....	66
<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGIA</b> .....	70
5.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	71
5.2 SUJEITOS DA PESQUISA .....	72
5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	73

<b>5.3.1 Levantamento das publicações sobre ensino de eletroquímica na QNEsc</b> .....	73
<b>5.3.2 Elaboração do Problema</b> .....	76
<b>5.3.3 Elaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem</b> .....	77
<b>5.3.4 Elaboração e aplicação de uma avaliação diagnóstica</b> .....	78
<b>5.3.5 Aplicação da Sequência de Ensino e Aprendizagem</b> .....	82
<b>5.3.6 Metodologia de Análise das Respostas ao Problema</b> .....	91
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	93
<b>6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES À AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA</b> .....	93
<b>6.2 ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO PROBLEMA</b> .....	99
<b>CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	107
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	110
<b>APÊNDICE A - CARTA DE APRESENTAÇÃO AO GESTOR DA ESCOLA ESTADUAL FREI CANECA</b> .....	120
<b>APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA</b> .....	122
<b>APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	125

## INTRODUÇÃO

---

Conforme Carabetta Júnior (2009), o ensino por transmissão-recepção pode ser considerado como um dos modelos psicopedagógico mais consolidados na prática docente, o que permite concluir que os professores, enquanto sujeitos ativos no processo de ensino e aprendizagem, acreditam que os conteúdos científicos devem ser “redigidos” nos alunos (comparados como papel em branco, tábula rasa).

De acordo com Justi e Ruas (1997), esse modelo de ensino tem sido verificado nas práticas pedagógicas dos professores de química, com ênfase na transmissão de informações descontextualizadas, sem articulação com outros conteúdos e com o dia-a-dia dos alunos.

Com a intenção de suprir essa demanda, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), recomendam que o discente articule o conhecimento científico com situações diárias vivenciadas por eles (BRASIL, 1997). Nesse sentido, o contexto educacional contemporâneo exige, cada vez mais, um professor capaz de suscitar nos alunos experiências pedagógicas significativas, diversificadas e alinhadas com a sociedade na qual estão inseridos, seguindo as recomendações.

Seguindo as Orientações Curriculares Nacionais, uma das finalidades do ensino de química é desenvolver estratégias centradas na resolução de problemas (RP) com o propósito de articular o conhecimento químico com a realidade natural, social e cultural e como forma de aproximar os alunos de atividades de investigação científica no contexto escolar (BRASIL, 2002; 2006).

Nessa perspectiva, o presente estudo teve como propósito o desenvolvimento dos conceitos inerentes à galvanoplastia, por meio de uma metodologia ativa, a resolução de problemas. A opção por estes conceitos aconteceu pelo fato de figurarem como um dos conteúdos do currículo do Ensino Médio e por serem destacados como um dos assuntos de grande dificuldade de compreensão por parte dos alunos, conforme apresentado em trabalhos anteriores (PACCA, 2011; BARRETO; BATISTA; CRUZ, 2017).

Em face do exposto, foi concebido o seguinte problema de pesquisa: Como a resolução de um Problema, norteadá pela aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem, pode contribuir na construção de conceitos sobre galvanoplastia?

A fim de responder ao problema de pesquisa, adotou-se como objetivo geral:



- Avaliar a contribuição de uma abordagem baseada no ensino e aprendizagem por resolução de problemas na construção de conhecimentos articulados à temática galvanoplastia.

E como objetivos específicos:

- Avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a temática galvanoplastia;
- Analisar as respostas dos estudantes após a vivência de uma intervenção didática para identificar se a resolução do problema contribui para a aprendizagem dos conceitos de Galvanoplastia.

Na estrutura do presente trabalho, encontra-se no primeiro capítulo uma breve abordagem histórica sobre a temática estudada, em que são apresentadas as contribuições de alguns cientistas na exploração do conhecimento acerca da eletricidade e desenvolvimento da eletroquímica.

O segundo capítulo apresenta conceitos básicos para o estudo da galvanoplastia, tais como: número de oxidação; reações redox; potencial padrão de redução; corrosão; e os tipos de eletrólise.

No terceiro capítulo é apresentada a abordagem de ensino e aprendizagem baseada na resolução de problemas, em que está descrita a conceituação de problema, suas tipologias e a diferença entre problema e exercício.

O capítulo quatro versa sobre a concepção, elaboração e aplicação das sequências didáticas no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que se optou pela utilização desta estratégia de modo articulado à resolução de problema com o interesse de lograr êxito frente aos objetivos deste trabalho.

No quinto capítulo é apresentada a metodologia seguida para a realização do presente estudo, a saber: levantamento das publicações sobre ensino de eletroquímica na QNEsc; elaboração de um Problema; elaboração e etapas da aplicação de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem; os critérios considerados para interpretação das respostas ao Problema.

O sexto capítulo contém a apresentação e discussão dos resultados da pesquisa a partir do conteúdo produzido por meio da avaliação diagnóstica; da intervenção didática; e das respostas dos estudantes ao problema.

O capítulo sete conclui o presente estudo com a apresentação das considerações finais suscitadas a partir do pleno desenvolvimento do presente trabalho.

## CAPÍTULO 1: A EVOLUÇÃO DA ELETRICIDADE: BREVE HISTÓRICO DA ELETROQUÍMICA

---

O presente capítulo apresenta uma abordagem histórica acerca das contribuições de diversos estudiosos que se tornaram figuras fundamentais para o progresso do conhecimento sobre a eletricidade. O percurso histórico aqui registrado contempla desde o uso da eletricidade na antiguidade a nomes que hoje figuram nos livros de física e química como indispensáveis para as discussões relativas à eletroquímica, tais como: Luigi Galvani, Alessandro Volta, Michael Faraday e outros.

### 1.1 PRIMEIROS RELATOS ACERCA DE ELETRICIDADE

A busca pela compreensão do que hoje conhecemos como eletricidade tem seu marco inicial na Grécia, durante o período histórico conhecido como antiguidade. São atribuídas ao filósofo Tales de Mileto (636-546 a.C.) as primeiras interpretações sobre a eletricidade em um contexto de compreensão do fenômeno de atração verificada quando o âmbar conseguia atrair materiais leves, tais como cortiça e papel, após ser atritado com a lã (OKI, 2000).

O âmbar é uma resina fossilizada cuja função na natureza é proteger algumas espécies vegetais, agindo nos seus troncos, contra a ação de microrganismos; e fora bastante utilizada na antiguidade para a fabricação de diversos artefatos de uso comum. (FILIPE, 2007; ASSIS, 2011). A palavra âmbar em grego corresponde a *elektron*, já em latim pronuncia-se *electrum*, daí a origem do termo eletricidade (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

As primeiras investigações científicas em busca do entendimento do fenômeno da eletricidade remontam ao período compreendido entre os séculos XVI e XVIII. No século XVI, o físico inglês William Gilbert (1540-1603) verificou a capacidade do vidro e do enxofre, após serem atritados, de atrair materiais leves. Para descrever os fatos verificados, Gilbert classificou tais matérias como elétricos, pois tinham comportamento semelhante ao âmbar (OKI, 2000).

Outras investigações envolvendo a eletricidade passaram a ter maiores dimensões já no século XVII, nos estudos do físico alemão Otto von Guericke (1602-1686), quando fora desenvolvido o primeiro gerador de eletricidade estática fazendo uso de um aparato produzido com enxofre (ROSMORDUC, 1988).

Diversos outros nomes integram a lista de contribuições importantes para as experimentações e proposições teóricas acerca da eletricidade. Em 1729, o físico inglês

Stephen Gray (1666-1736) evidenciou a possibilidade de transferir a eletricidade oriunda do vidro, ao ser atritado, com alguns outros materiais, descobrindo assim o processo de eletrização por indução. A partir disto, Stephen Gray propôs uma classificação para os diferentes tipos de materiais, como condutores e não condutores, isolantes.

Ainda no contexto do século XVIII, no ano de 1733, o químico francês Charles François de Cisternay Dufay (1692-1739) dedicou-se aos estudos relacionados à repulsão elétrica, em que pôde sugerir a existência de duas diferentes classes de eletricidade, sendo elas a eletricidade vítrea e a eletricidade resinosa. Nesta proposta, Dufay defendia que objetos contendo eletricidade vítrea sofriam atração por outros materiais contendo eletricidade resinosa, ao passo que haveria repulsão entre os objetos detentores de um mesmo tipo de eletricidade (LAIDLER, 1998; BOSS; CALUZI, 2007).

A forte oposição à teoria da eletricidade proposta por Dufay é atribuída ao cientista americano Benjamin Franklin (1706-1790). Conforme indicado por Home (1972), os fundamentos para a elaboração de uma teoria de eletricidade desenvolvida por Franklin foram originados pela reprodução dos experimentos elétricos presentes em uma obra de Albrecht von Haller (1708-1777), de 1745, que reunia trabalhos sobre eletricidade desenvolvidos por Georg Matthias Bose (1710- 1761), Christian August Hausen (1693-1743) e Johann Heinrich Winckler (1703-1770).

Partindo de tais fundamentos, Franklin defendia a existência de apenas um fluido elétrico e compreendia que os objetos eram constituídos pela matéria comum e também por apenas um tipo de matéria elétrica, esta fora chamada de fogo elétrico. Para Franklin, um corpo eletrizado seria o resultado do ganho ou da perda dessa matéria elétrica, sendo classificado como positivo o corpo que recebeu matéria elétrica; e como negativo o corpo que teve sua quantidade de matéria elétrica reduzida. Devido a isso, é atribuída a Franklin a origem da utilização qualitativa dos termos carga positiva e carga negativa (WHITTAKER, 1973).

A aceitação da suposta natureza material da eletricidade, bem estabelecida no século XVIII, e a possibilidade de transferi-la de um corpo a outro por meio de condutores levaram muitos dos interessados pelo tema às tentativas de estocagem da eletricidade gerada pelo atrito. Nesse contexto, dentre os equipamentos utilizados para o armazenamento da eletricidade, destacam-se as garrafas de Leyden, considerados em trabalhos de história da física como capacitores primitivos (KUHN, 1996).

Todas as descobertas e proposições acerca da eletricidade, estabelecidas entre os séculos XVI e XVIII, possibilitaram a sua utilização em outros campos de exploração das

ciências naturais, tal como a química (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000). No que diz respeito à aplicação dos conhecimentos sobre a eletricidade no desenvolvimento da química, convém destacar a importância de todo o conhecimento aqui relatado para as investigações inerentes à natureza elétrica da matéria (descoberta de partículas subatômicas), a descoberta de diversos elementos químicos, a criação de recursos indispensáveis para os dias de hoje, tais como as pilhas, baterias e diversos dispositivos eletrônicos (OKI, 2000).

Acerca do desenvolvimento dos referidos recursos, considerados indispensáveis nos dias atuais, no tópico a seguir apresenta um apanhado histórico a respeito da utilização de células galvânicas na antiguidade.

## 1.2 HISTÓRIA DA PILHA E ELETRÓLISE: PROCEDIMENTOS ELETROQUÍMICOS NA ANTIGUIDADE

Em se tratando da invenção de pilhas e baterias como tecnologias possíveis graças às investigações acerca da eletricidade, a compreensão do desenvolvimento histórico destas tecnologias se faz importante para um melhor entendimento da evolução dos conhecimentos sobre a temática deste trabalho.

Sobre as possíveis aplicações iniciais da eletroquímica objetivando produzir benfeitorias em materiais para utilização do homem, Dunsch (1985) relata a descoberta de uma possível célula galvânica encontrada em uma exploração arqueológica realizada na cidade antiga de Seleucia no Rio Tigre, próxima a Bagdá (Irã), em 1936. Nesta região, se localizava a civilização dos *Parthos*, que ali viveram entre cerca de 250 a.C. e 250 d.C.

As análises sobre esta provável célula galvânica sugeriram que ela era utilizada para a eletrodeposição do ouro em objetos de prata, e que a sua estrutura era constituída por um vaso de barro contendo um cilindro de cobre envolto por uma barra de ferro. A barra de ferro seria fixada no recipiente de barro, separada do cilindro de cobre, com a utilização de asfalto. O fundo do cilindro de cobre também era preenchido com asfalto para evitar o contato entre a barra de ferro e o cobre (KEYSER, 1993).

Ainda conforme Keyser (1993), no que diz respeito às soluções eletrolíticas utilizadas para os processos de eletrodeposição com o uso da célula galvânica descrita, acredita-se que na época eram utilizados o vinagre e os sucos de algumas frutas cítricas, como por exemplo, o limão.

Para além da provável célula galvânica encontrada em Seleucia, de acordo com Dunsch (1985), há mais exemplos históricos sobre a realização de eletrodeposição de metais

na antiguidade, dos quais se destaca a prática dos egípcios de recobrir com cobre diversos objetos fabricados com ferro, fazendo uso de uma solução de sulfato de cobre.

Considerando os referenciais acima elencados, evidencia-se que os primórdios do emprego da eletrodeposição, processo inerente à eletroquímica e ao atendimento das propriedades dos metais, eram realizados desde a antiguidade mesmo que baseados em interpretações místicas da época (KORDESCH; TOMANTSCHGER, 1981).

### 1.3 AS CONTRIBUIÇÕES DE LUIGI GALVANI

Luigi Galvani nasceu no dia 9 de setembro de 1737 na cidade de Bolonha na Itália, foi o segundo filho, de um total de três, do casal Domenico Galvani e Bárbara Foschi. No ano de 1755, ingressou no curso de medicina da Universidade de Bolonha, onde nele foi despertado o interesse pelos estudos sobre anatomia e cirurgia, que o tornou professor de anatomia, cirurgia e obstetrícia na mesma universidade no ano de 1759 (CARVALHO, 2014).

Apesar da formação médica, Galvani também possuía bastante afinidade pelos estudos relacionados à mecânica e a eletricidade. A busca pelo conhecimento sobre eletricidade o levou a ter aulas de física experimental com o professor Domenico Maria Gusmano Galeazzi, em Turim, e também a conhecer a filha deste professor, Lucia Galeazzi, com quem estabeleceu um casamento no ano de 1764. Lucia, além de esposa, foi também uma estimada parceira de trabalho, pois contribuiu efetivamente em muitas das etapas experimentais das pesquisas concebidas por Galvani (CAJAVILCA, 2009).

O contexto histórico do conhecimento sobre a eletricidade no qual surgem as contribuições relevantes de Luigi Galvani (1737-1798) é caracterizado pela existência de uma quantidade significativa de informações obtidas de maneira empírica desde o século XVI. No cenário vivido por Galvani, os cientistas da época exploravam a possibilidade de utilização de cargas elétricas em movimento por um tempo maior do que já se havia alcançado, ou seja, um dos objetivos da época era a ampliação do conhecimento e do uso da eletricidade dinâmica (PICCOLINO, 1997; OKI, 2000).

Em função da sua formação médica somada aos seus conhecimentos sobre eletricidade, Galvani era um dos muitos interessados na aplicação medicinal da eletricidade para fins terapêuticos e no conceito Halleriano de irritabilidade. Nesta proposta, a irritabilidade era compreendida como a capacidade de contração das fibras musculares quando submetidas a um estímulo; enquanto que a sensibilidade era dependente dos nervos e

correspondia à sensação de dor como forma de resposta aos estímulos (BRESADOLA, 1998; PICCOLINO, 2006).

Fundamentado por tais informações, no dia 6 de novembro de 1780, Galvani iniciou alguns experimentos que tinham o objetivo de tornar evidente a correlação entre movimentos musculares e eletricidade. Tais experimentos foram conduzidos de acordo com as concepções sobre *eletricidade animal*, introduzidas no meio científico pelo médico francês Pierre Bertholon (1740-1816) e o pelo médico italiano Giuseppe Gardini (1740-1816), por acreditarem que os corpos animais detinham uma forma exclusiva de eletricidade (GALVANI, 1973 *apud* CARVALHO, 2014).

No dia 26 de janeiro de 1781, na companhia de um assistente, Galvani registrou em seu laboratório a ocorrência de fortes contrações nos músculos das pernas de uma rã dissecada quando o seu assistente encostou a ponta de um bisturi nos nervos internos da perna do animal morto. Dentre os equipamentos presentes no laboratório, no momento do experimento, estava uma máquina eletrostática em funcionamento e, ao que tudo indica, as contrações verificadas ocorreram no momento em que a máquina eletrostática emitiu uma faísca (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

A partir deste registro, Galvani imaginou que tais contrações apenas acontecessem de forma induzida pela descarga elétrica de uma máquina eletrostática. Após alguns anos de dedicação, em 1786, Galvani questionou se as descargas elétricas produzidas na atmosfera também provocariam as mesmas contrações nas pernas de uma rã dissecada, semelhante ao que foi registrado em seu laboratório (PICCOLINO, 1997).

Na busca pelo esclarecimento ao questionamento, em um dia de forte tempestade, Galvani conectou um longo fio metálico ao nervo das pernas de uma rã dissecada, fixou a extremidade do fio no lugar mais alto da sua casa e pôde observar contrações nas pernas da rã, associando tais contrações aos raios e relâmpagos visualizados nas proximidades da sua residência. Galvani também investigou se a eletricidade presente na atmosfera em dias ensolarados poderia ocasionar contrações semelhantes, e, para isso, fixou as pernas de uma rã dissecada a uma grade de ferro da sua casa, fazendo uso de uma garra metálica (possivelmente de bronze). Registrando que nenhuma contração aconteceu durante a observação, Galvani decidiu manipular a rã e, surpreendentemente, obteve fortes contrações nas pernas da rã no momento em que encostou na grade de ferro a garra metálica que estava presa aos nervos da perna da rã (PICCOLINO, 1998).

Realizando muitos outros testes, em ambientes com diferentes condições de tempo e fazendo uso de outros metais, Galvani elaborou as seguintes conclusões: i) as contrações não

estariam associadas às condições atmosféricas; ii) a eletricidade constatada nos experimentos seria de origem animal, estando armazenada nos músculos e sendo conduzidas por meio dos nervos; e iii) as contrações musculares ocorriam quando os nervos das pernas dissecadas eram conectados aos músculos através de um semiarco metálico (GALVANI, 1841 *apud* CARVALHO, 2014).

Todos os esforços empregados por Galvani e seus assistentes nessas investigações, que duraram cerca de uma década, renderam a Galvani o título de descobridor da eletricidade animal. Em 1791 publicou-se a pesquisa feita por Galvani em um escrito cujo título era: *Comentários sobre as forças da eletricidade no movimento muscular* (MAAR, 2001). Esta pesquisa foi muito bem aceita por diversos cientistas da época, dentre os quais, destaca-se o italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta. Este se mostrou entusiasmado pela descoberta, inclusive fazendo repetições dos experimentos descritos por Galvani e também ratificando as conclusões descritas (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000; CARVALHO, 2014).

Sobre Alessandro Volta, no tópico a seguir será verificado um pequeno fragmento de sua biografia e também os seus posicionamentos a respeito das ideias desenvolvidas por Galvani.

#### 1.4 ALESSANDRO VOLTA: HISTÓRIA E CONTROVÉRSIAS

Alessandro Giuseppe Anastasio Volta foi compatriota de Luigi Galvani, nasceu na cidade de Como no dia 18 de fevereiro de 1745, em uma família integrante da aristocracia italiana. A formação sociocultural de Volta se deu por doutrinas jesuítas, sendo o Padre Carlo Giuseppe Campi um dos seus principais professores, o qual o orientou nas investigações acerca do gás desprendido nos pântanos de sua cidade, rendendo a Volta o título de descobridor do gás metano a partir do ano de 1776 (CHAGAS, 2000).

Aos 18 anos de idade, em 1763, Volta iniciou sua trajetória nos estudos relacionados à eletricidade em um contexto de incertezas acerca da natureza da eletricidade e do confronto entre as ideias defendidas por Charles François de Cisternay Du Fay e Benjamim Franklin (CHALLEY, 2007). Nesse contexto, muitos dos interessados pelo tema propuseram aparelhos com a finalidade de explorar o comportamento da eletricidade nos corpos, enriquecer a compreensão acerca da natureza da eletricidade e desenvolver métodos que aumentassem o tempo necessário para o descarregamento das máquinas elétricas existentes (PINTO, 2016).

De acordo com Carvalho *et al.* (2014), a primeira aparição significativa de Volta para a comunidade científica foi registrada por uma carta, em 1769, endereçada ao físico italiano Giovanni Battista Beccaria (1716-1781), na qual descreveu a sua compreensão a respeito da eletricidade após a leitura do livro de Giovanni, publicado 1753, cujo título era “*Dell’Elettricismo Naturale ed Artificiale*”. No ano de 1771, Volta passou a se dedicar aos experimentos realizados por Joham Carl Wilcke e Franz Wrich Teodósio Aepinus, e, a partir do aprimoramento de tais experimentos, testando diversas combinações de componentes dielétricos, reuniu conhecimento suficiente para criar o seu primeiro aparelho elétrico, em 1773, o eletróforo, o qual compreendia a eletricidade como um fluído material que poderia ser produzida indefinidamente (PANCALDI, 2003).

Em 1779, Volta se tornou professor da Universidade de Pavia, onde ministrou as aulas da disciplina de física experimental, e, em 1785, assumiu o posto de reitor da mesma universidade. A partir dos estudos desenvolvidos na universidade de Pavia, Volta, além de criar o eletróforo, também foi inventor de outros importantes aparelhos para o estudo da eletricidade, tais como: o condensador elétrico e o eletroscópio (TRASATTI, 1999).

Tendo acesso ao estudo divulgado por Luigi Galvani, sobre a descoberta da eletricidade animal, Volta mostrou-se bastante entusiasmado com os resultados obtidos a ponto de reproduzir e ratificar as informações divulgadas por Galvani. Contudo, ao realizar variações nos experimentos praticados, observou que as pernas de uma rã dissecada também se contraíam quando dois pontos de um mesmo nervo interno eram conectados por um arco bimetálico, sem necessariamente entrar em contato com o músculo (BONI, 2007).

Diante disso, agora em divergência com as ideias de Galvani, Volta passou a interpretar que os músculos do animal não funcionariam como uma fonte de eletricidade e que as contrações não ocorriam devido à condução de eletricidade pelo nervo, mas que a eletricidade era decorrente do contato entre os diferentes metais utilizados na conexão entre o nervo, os quais promoviam artificialmente um desequilíbrio elétrico e as contrações verificadas deveriam ser semelhantes caso fosse aplicada alguma descarga elétrica de outra origem (FREITAS *et al.*, 2012).

Conforme Tolentino e Rocha-Filho (2000), pouco tempo depois da nova interpretação defendida por Volta, ele passou a compreender as pernas dissecadas da rã como um eletroscópio biológico, um senso de eletricidade, cuja sensibilidade era superior a todos os aparelhos construídos na época.

Outras investigações decorrentes da exploração de Volta para o entendimento da origem da eletricidade o levaram a formular a Teoria dos Contatos Metálicos, que concebia a



produção de uma força eletromotiva a partir do simples contato entre dois diferentes metais e, por esse motivo, seria possível classificar os metais de acordo com a suas tendências em produzir eletricidade do tipo positiva ou negativa (TRASATTI, 1999).

Esta teoria teve fundamentação por meio de testes em que Volta colocou a sua própria língua entre dois discos de metais diferentes e quando encostou um disco no outro sentiu um sabor azedo devido ao estímulo fornecido aos nervos gustativos, além disso, Volta ainda repetiu este teste em seu globo ocular, tendo experimentado uma sensação de luminosidade no momento em que os dois discos metálicos foram postos em contato (MARTINS, 1999).

Foi a partir da proposta de Volta para a explicação sobre a origem da eletricidade, e a sua descrença acerca da teoria da eletricidade animal, que surgiu o debate científico de importância incontestável para a elucidação do fenômeno da eletricidade e seu consequente domínio e utilização, conforme descrito no tópico seguinte.

## 1.5 O DEBATE ENTRE GALVANI E VOLTA

O memorável debate científico do século XVIII, para o esclarecimento da origem da eletricidade, foi marcado por questionamentos e cordialidade recíproca entre seus protagonistas. Conforme Carvalho *et al.* (2014), a disputa passou a ficar evidente quando Volta divulgou para a comunidade científica que a eletricidade teria origem a partir do contato entre metais e também sugeriu haver equívoco nas conclusões de Galvani, alegando que ele teria chamado de eletricidade animal a eletricidade originada a partir de metais.

Galvani, em resposta ao que foi repercutido por Volta quanto à sua discordância sobre a eletricidade animal, publicou resultados dos experimentos nos quais havia conseguido provocar contrações nas pernas de rãs dissecadas fazendo uso de apenas um tipo de metal para conectar o músculo ao nervo da perna do animal. Refutando as justificativas das observações apresentadas, Volta propôs que as contrações verificadas deveriam ocorrer devido às possíveis estimulações nervosas provadas por algum tipo de irritação mecânica, ou química, que poderia ter ocorrido quando o metal tocava o nervo da perna do animal (PICCOLINO, 1997).

Na sequência do debate de interpretações, Galvani conseguiu provocar contrações nas pernas de uma rã sem fazer uso de qualquer tipo de metal. Utilizando dois recipientes, colocou em um deles a perna de uma rã e no outro colocou um fragmento do nervo ciático na perna do animal. Galvani verificou contrações nas pernas do animal quando os dois recipientes eram encostados um ao outro, sugerindo assim que a eletricidade seria gerada sem

a presença de algum metal. Volta mais uma vez refutou a conclusão de Galvani sugerindo que a observação divulgada se deu pelo fato de ter sido utilizadas diferentes partes do corpo do animal e, pelo fato delas terem diferentes composições químicas, haveria produção de força elétrica no momento do contato entre os recipientes (PICCOLINO, 1997).

Objetivando pôr um fim nos debates que levaram a teoria da eletricidade animal a um descrédito, e com o intuito de recuperar o prestígio científico desta teoria, Galvani realizou, no ano de 1797, o mais ousado de todos os seus experimentos. Neste procedimento, foi feito o dessecamento das duas pernas de uma rã e, em seguida, se cortou os nervos ciáticos dessas pernas. Posteriormente, estes nervos foram colocados em contato de tal forma que a superfície cortada do nervo tocasse a superfície intacta do nervo da outra perna. Com este arranjo experimental, foi possível verificar mais uma vez a contração das pernas da rã e, desse modo, Galvani expressou ser incontestável a existência da eletricidade animal (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

Contudo, apesar deste último experimento ter sido realizado de maneira bastante minuciosa e esclarecedora, os seus resultados não conseguiram a repercussão desejada no meio científico, pois, desde o ano de 1796, a teoria do contato metálico, elaborada por Volta, e a produção de eletricidade a partir do contato entre zinco e prata já estariam firmadas entre os cientistas da época (PICCOLINO, 1997). Além disso, o próprio Galvani, em alguns dos seus experimentos, havia percebido a produção de eletricidade a partir do contato entre dois metais, mas desprezou tal fenômeno pelo fato de não encontrar fundamentos em certas leis da física daquela época (CAJAVILCA, 2009).

Dessa maneira, percebe-se, no debate descrito, que a vitória foi circunstancialmente atribuída a Volta, mesmo com os erros de interpretação não questionados na época, pois ele não levava em conta a possibilidade de ocorrência de uma reação química entre os metais quando postos em contato para geração de eletricidade. Em contrapartida, as proposições de Galvani para a explicação dos seus experimentos estavam corretas no que diz respeito à existência da eletricidade animal, mas incoerentes quanto ao que era proposto como explicação à contração dos nervos das pernas das rãs (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

Foi no ano de 1952 que os fisiologistas britânicos Alan Hodgkin e Andrew Huxley concluíram, de modo mais conciso, sobre a existência da eletricidade animal. Nessa conclusão, entende-se que a eletricidade animal acontece como consequência de uma desarmonia entre as concentrações ótimas de íon sódio e potássio na membrana celular dos seres vivos, em que os gradientes de concentração promovem uma diferença de potencial elétrico entre os meios intra e extracelular (ZANIBONI, 2012).

Apesar da controvérsia entre os entendimentos de Galvani e Volta ter sido finalizada com um “vitorioso”, cujas interpretações eram em muitas vezes falhas, os episódios verificados são considerados como historicamente importantes para o desenvolvimento de seguimentos científicos indispensáveis para os dias atuais, tais como a eletrofisiologia, o eletromagnetismo e a eletroquímica (BERNARDI, 2001).

Dessa maneira, passadas as controvérsias verificadas, o próximo tópico irá abordar a os caminhos percorridos para a criação da pilha elétrica de Volta.

## 1.6 DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA PILHA ELÉTRICA

Conforme mencionado, Volta conseguiu obter eletricidade a partir do contato entre zinco e prata desde o ano de 1796. Posteriormente, viu-se com a necessidade de tornar mais compreensível a justificativa desse fato, na tentativa de consolidar a sua teoria do contato metálico. Nesse contexto, a pilha elétrica surgiu a partir de experimentos nos quais Volta buscava obter efeitos elétricos mais fortes e capturáveis pelos modestos dispositivos da época.

Tais efeitos elétricos mais fortes podem ser compreendidos como uma tensão elétrica mais intensa que aquelas já alcançadas por Volta a partir do contato entre discos de prata e de zinco. Segundo Martins (1999), uma das primeiras tentativas de Volta consistiu na ligação em série de diversas placas de zinco e prata, dispostas de forma alternada, mas o efeito verificado era o mesmo aferido no uso de apenas um par de lâminas daqueles metais.

Posteriormente, em 1799, maiores tensões elétricas foram constatadas quando Volta empilhou as lâminas de prata e de zinco de uma maneira que possibilitasse o somatório das tensões geradas por cada um dos pares metálicos, surgindo, assim, a pilha elétrica. Entre cada um dos pares de lâminas, para produzir o efeito esperado, era colocado um material poroso embebido com uma solução salina (TRASATTI, 1999).

Nessas pilhas, as lâminas tinham uma sequência ótima, a de zinco ficava sempre sobreposta à de prata, e às lâminas dos extremos da pilha eram conectadas a fios metálicos para o transporte da eletricidade gerada (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000). Conforme Martins (1999), os melhores resultados, em termos dos efeitos do somatório de tensões elétricas, foram alcançados quando Volta montou uma pilha com 150 pares de lâminas daqueles metais.

Apesar de a pilha elétrica ser um invento concebido no ano de 1799, a comunicação da sua criação apenas foi realizada em março de 1800, por meio de cartas ao presidente da *Royal Society of London*, Sir Joseph Banks (1743-1820), cujo título era “Sobre a eletricidade

excitada por simples contato de substâncias condutoras de diferentes tipos”. Nessas cartas, Volta chamara o seu invento de órgão elétrico artificial, justificando tal nome a partir de uma analogia, pois a estrutura física do seu equipamento muito lembrava a coluna vertebral do peixe torpedo, o peixe elétrico (CHAGAS, 2000; BONI, 2007).

Os textos de Volta foram apresentados à *Royal Society of London* no mês de junho de 1800 e publicados na edição de setembro do periódico *Philosophical Transactions, of the Royal Society of London*. Apesar do mérito do invento da pilha elétrica ser corretamente atribuído a Volta, houve, naquele contexto, um ocorrido que surpreendeu o Italiano e aos seus seguidores mais próximos: a publicação de um experimento de decomposição da água utilizando uma pilha elétrica (BEVILACQUA; BONERA, 1999).

Segundo Laidler (1993), Sir Banks possibilitou que o conteúdo dos textos de Volta fosse visto por terceiros. Devido ao fato de terem acessado as informações escritas por Volta, William Nicholson (1753-1815) – secretário da *Royal Society of London* – e Anthony Carlisle (1768-1840) construíram uma pilha usando discos de zinco com moedas de prata e realizaram decomposição da água, produzindo o gás hidrogênio e oxigênio. Tal feito foi divulgado em julho de 1800 em uma revista criada pelo próprio Nicholson, a *Nicholson's Journal* (CHAGAS, 2000).

Com a repercussão do invento da pilha de Volta e a possibilidade de reproduzi-la facilmente, diversos pesquisadores construíram as suas próprias pilhas e isso proporcionou a realização de muitas outras pesquisas e descobertas com base no uso da eletricidade (CHAGAS, 2000; TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

No ano de 1801, Volta foi convidado por um ilustre admirador dos seus trabalhos, o Rei da Itália e imperador da França Napoleão Bonaparte, para apresentar o seu invento às autoridades da academia de ciências de Paris. Em reconhecimento ao trabalho desenvolvido por Volta, Napoleão Bonaparte o recompensou com uma medalha e o título de Conde Volta, além de ter ordenado a doação de uma pilha com 600 discos à escola de origem de Volta (WHITAKER, 1989; TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

Diante do exposto, a criação da pilha de Volta foi um sucesso e teve fundamental importância para o progresso experimental e teórico da física e da química, sobretudo no campo da eletroquímica. Contudo, convém ressaltar que Volta não elaborou uma teoria pertinente à interpretação do funcionamento da sua pilha, deixando lacunas na compreensão acerca do emprego do material poroso embebido com solução salina; os motivos pelos quais a pilha não funcionaria sem a utilização desse material entre as lâminas; e a semelhança entre a eletricidade de sua pilha e a eletricidade animal (MARTINS, 1999; BONI, 2007).

Conforme Chagas (2000), a pilha de Volta alicerçou a teoria da ligação química de Berzelius (Teoria Dualística), contribuindo para o estabelecimento da primeira lei da termodinâmica e, posteriormente, foi utilizada para confirmar que a segunda lei da termodinâmica também era aceitável em sistemas com reação química. Além disso, a utilização da pilha voltaica possibilitou: a decomposição de substâncias; deposição de metais; descoberta de novos elementos; investigações acerca do comportamento e efeitos da corrente elétrica; e os estudos sobre eletromagnetismo.

A criação da pilha por Alessandro Volta é considerada como marco para o desenvolvimento da ciência no estudo da corrente elétrica e para o surgimento da tecnologia de baterias, sobretudo no âmbito da eletroquímica. Contudo, Silva, Câmara e Afonso (2011) destacam que a eficiência da pilha voltaica era limitada, devido à formação de uma película não condutora de bolhas de gás hidrogênio em torno dos discos de prata, e conseqüentemente diminuição da eficiência do dispositivo.

Segundo Bocchi, Ferracin e Baggio (2000), o problema provocado pela adsorção de gás hidrogênio nos discos de cobre teve resolução quando John Frederic Daniell (1790-1845) fez algumas mudanças na estrutura da pilha de Volta. Daniell, em 1836, reconstruiu a pilha voltaica colocando em um recipiente um eletrodo de zinco imerso em uma solução de sulfato de zinco e, em outro recipiente, um eletrodo de cobre imerso a uma solução de sulfato de cobre, ambas as soluções eram interligadas por uma ponte salina.

Conforme Silva, Câmara e Afonso (2011), a estrutura da pilha elétrica, desde o dispositivo criado por Volta até a estrutura que atualmente é indispensável em diversas aplicações do cotidiano, evoluiu em um período de 200 anos, proporcionando desenvolvimento e bem-estar à sociedade mundial.

Considerando a pilha de Volta, e as modificações realizadas para a garantia do seu uso por mais tempo, o tópico a seguir apresentará o percurso histórico do uso da eletricidade para o desenvolvimento da eletrólise.

## 1.7 A RELAÇÃO ENTRE HUMPHRY DAVY E MICHAEL FARADAY PARA O DESENVOLVIMENTO DA ELETRÓLISE

Conforme já mencionado, a construção da pilha elétrica, por Volta, é o ponto de partida para o desenvolvimento científico nos estudos relacionados à corrente elétrica e toda a eletroquímica. Nesse sentido, faz-se necessário destacar os nomes de Humphry Davy (1778-1829) e Michael Faraday (1791-1867) como dois principais protagonistas dos primeiros

estudos associados aos fenômenos e efeitos químicos inerentes ao funcionamento da pilha voltaica.

Humphry Davy, nascido na Inglaterra, iniciou a sua carreira no meio científico, aos 19 anos de idade, na função de auxiliar de Thomas Beddoes, no *Pneumatic Institution* na cidade de Bristol. Davy escreveu o seu primeiro livro no ano de 1800 e, nesta produção, relatou as suas constatações a respeito da química envolvida nas alterações fisiológicas promovidas pela inalação de óxido nitroso (KNIGHT, 2000).

Segundo Ross (2002), a reputação científica de Davy cresceu com a realização de palestras envolvendo diversos tópicos da ciência e que instigavam a curiosidade do público em geral, na *Royal Institution*, onde Davy ocupou o cargo de professor a partir do ano de 1802. Dada a qualidade, e conseqüente procura pelas apresentações ministradas por Davy, estas apresentações eram consideradas na época como um dos principais eventos culturais de Londres.

Fazendo uso da estrutura laboratorial da *Royal Institution*, Davy se dedicou aos estudos relacionados à eletroquímica. Conforme Bard, Inzelt e Scholz (2008), no ano de 1807, Davy fez passar uma corrente elétrica através da potassa fundida e obteve como produto desse experimento um sólido claro cuja reação com a água era instantânea e explosiva, posteriormente constatou-se que tal sólido se tratava de um metal até então não conhecido, este novo metal recebeu o nome de potássio. Ainda em 1807, a partir de um procedimento semelhante, Davy conseguiu isolar o sódio metálico, tais feitos garantiram fama internacional ao jovem cientista inglês.

Um ano depois, em 1808, Davy conseguiu isolar novos elementos a partir de processos eletroquímicos, os metais alcalinos terrosos: bário, cálcio, magnésio e estrôncio (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

O excelente desempenho comunicativo e experimental de Davy em suas palestras aguçava a curiosidade das pessoas que o assistiam; a cada apresentação, havia um aumento significativo na quantidade de espectadores, estes preenchiam todos os lugares do auditório da *Royal Institution* (FARA, 2009). Dentre os espectadores que a cada apresentação sentiam-se maravilhados com as demonstrações e explicações de Davy estava o seu futuro sucessor, o ainda aprendiz de encadernador, Michael Faraday (DIAS; MARTINS, 2004).

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em Londres, e foi o terceiro filho, de um total de quatro, concebido pelo casal James Faraday e Margaret Hastwell (THOMPSON, 2005). Por conta da frágil condição financeira da sua família, a educação de

Faraday foi classificada, conforme declaração do próprio Faraday, como rudimentar, pois apenas teve acesso às noções básicas da escrita, leitura e aritmética (ROWE, 2001).

Aos 14 anos de idade Faraday já havia deixado de frequentar a escola e começou a trabalhar como entregador da livraria do Sr. George Riebau. Posteriormente, aceitou o convite para atuar como aprendiz de encadernador na mesma livraria (DIAS; MARTINS, 2004).

Durante a realização das atividades como aprendiz de encadernador, Faraday pôde desenvolver o hábito da leitura graças ao contato diário com livros de diversas temáticas. Conforme Dos Reis (2006), obras como os livros *The improvement of the mind* (Isaac Watts) e *Conversations on Chemistry* (Jane Marcet), além do artigo sobre eletricidade publicado por James Tytler na Enciclopédia Britânica, contribuíram para o autodidatismo de Faraday e no seu interesse pelos assuntos correlatos à eletricidade e a química.

No ano de 1812, um cliente da livraria Riebau apresentou Faraday com os bilhetes que davam acesso às quatro últimas palestras, naquele ano, ministradas por Humphry Davy. Foi assistindo essas palestras que Faraday tornou-se ainda mais motivado para estudar a ação da eletricidade sobre substâncias químicas, a ponto de solicitar a Humphry Davy uma oportunidade para trabalhar em seu laboratório (CARVALHO, 2014).

O convite para trabalhar no laboratório de Humphry Davy, na *Royal Institution* de Londres, surgiu no ano de 1813 e a partir desse mesmo ano Faraday passou a acompanhar Davy em diversas palestras pela Europa. Com o passar dos anos, Faraday dedicou-se ao aprimoramento das suas habilidades experimentais e também a exploração de procedimentos que envolviam a eletricidade, tornando-se superintendente do laboratório de Davy no ano de 1821 (BALDINATO, 2009).

Conforme Dias e Martins (2004) e Bard *et al.* (2008), muitas foram as descobertas e contribuições de Faraday para o desenvolvimento da física e da química, dentre elas destacam-se: a descoberta da indução eletromagnética e do efeito do magnetismo sobre a luz; a descoberta do paramagnetismo; a geração de corrente elétrica oriunda de um campo magnético; a invenção do primeiro motor elétrico; a criação do dínamo; e o fornecimento das bases experimentais para o desenvolvimento da teoria clássica do campo eletromagnético.

No que diz respeito ao desenvolvimento da eletroquímica, destacam-se as contribuições de Faraday para a formulação das leis que levam o seu nome, são elas: (i) percebeu que a massa das substâncias formadas nos eletrodos de uma célula eletrolítica é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade aplicada para o processo; e (ii) concluiu que a quantidade de elementos químicos diferentes depositados por uma dada quantidade de eletricidade era maior quanto maior fosse a massa molar do deles (ATKINS; JONES, 2012).

O capítulo a seguir aborda os conceitos considerados fundamentais para o estudo dos tipos de eletrólise, e conseqüentemente a Galvanoplastia.



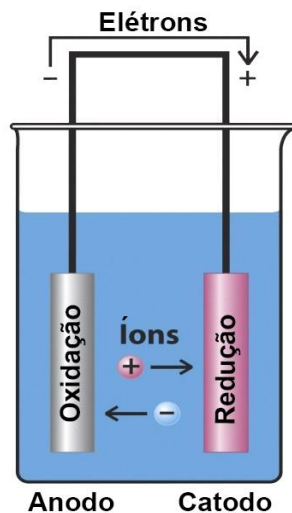
## CAPÍTULO 2: CONCEITOS BÁSICOS PARA O ESTUDO DA ELETRÓLISE

De acordo com Atkins e Jones (2012), a eletrólise pode ser compreendida como um procedimento utilizado para provocar a ocorrência de uma reação química não espontânea a partir da aplicação de uma corrente elétrica. Corroborando com esta definição, Kotz *et al.* (2015) pontuam que a eletrólise ocorre mediante aplicação de energia elétrica para forçar a realização de transformações químicas que não ocorreriam sem o estímulo da energia aplicada.

A aparelhagem utilizada para a realização de uma eletrólise corresponde a um dos tipos de célula eletroquímica. Segundo Atkins e Jones (2012, p. 543) “[...] uma célula eletroquímica pode ser compreendida como um dispositivo em que uma corrente elétrica é produzida por uma reação química espontânea ou é usada para forçar a ocorrência de uma reação não espontânea”. No que diz respeito à constituição destas células, Skoog *et al.* (2008) descrevem uma célula eletroquímica como um dispositivo em que dois condutores, chamados de eletrodos, estão imersos em uma solução eletrolítica.

Nos estudos relacionados aos processos eletroquímicos é necessário adotar duas nomenclaturas para os eletrodos, as designações atribuídas são: cátodo, para o eletrodo em que é verificada a ocorrência de uma reação de redução; e ânodo para o eletrodo no qual ocorre a reação de oxidação. Nas células eletroquímicas, a reação de oxidação promove os elétrons, através de um condutor eletrônico externo, para a reação de redução que ocorre no cátodo (SKOOG *et al.*, 2008), conforme ilustrado na Figura 1.

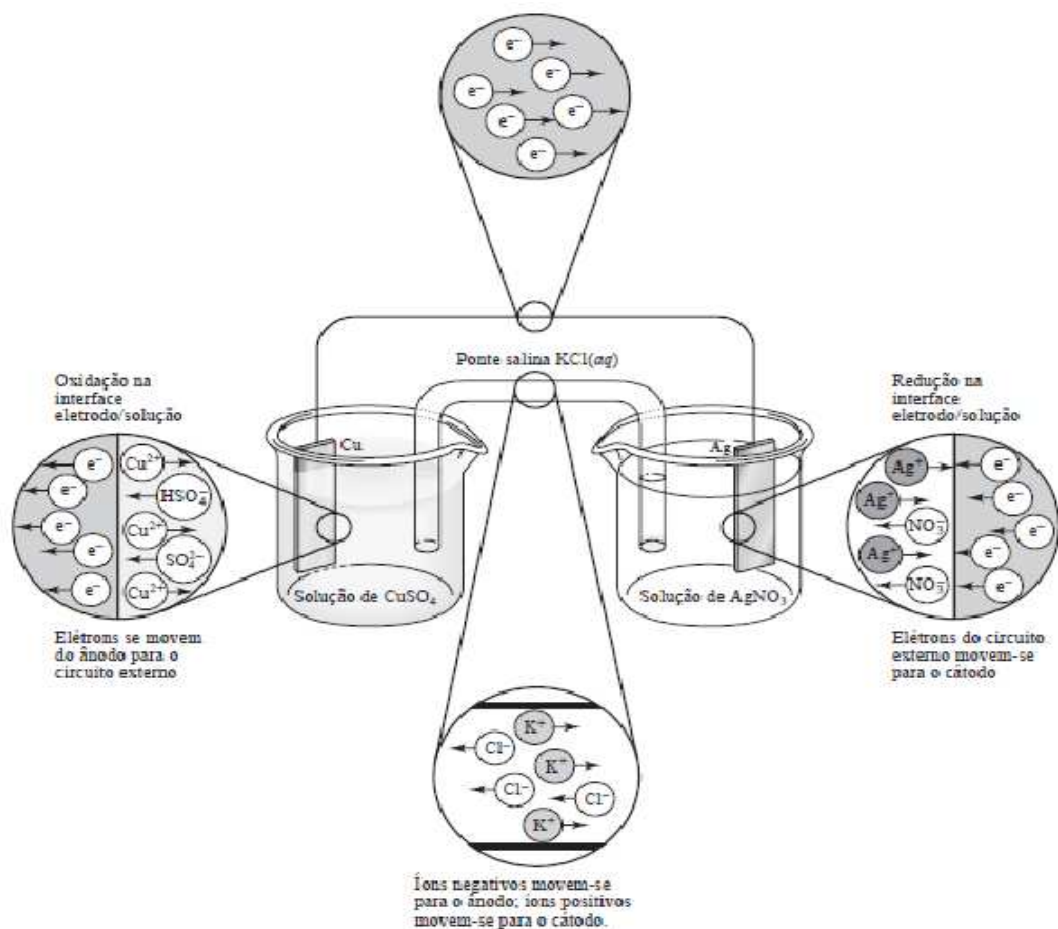
Figura 1- Ilustração de uma célula eletroquímica (Adaptada)



Fonte: ATKINS; JONES (2012).

Ainda conforme Skoog *et al.* (2008), dada a finalidade e o arranjo estrutural da célula eletroquímica, é possível classificá-la como célula galvânica (ou voltaica) ou célula eletrolítica. Nas células galvânicas, as reações de oxidação e redução acontecem de maneira espontânea gerando um fluxo de elétrons, através de um condutor externo, do ânodo para o cátodo, as pilhas e baterias representam exemplos convencionais de células galvânicas. Na Figura 2, é possível verificar a ilustração, e detalhamento teórico acerca do funcionamento de uma célula galvânica.

Figura 2 - Funcionamento de uma célula galvânica (Pilha de Daniell, adaptada)



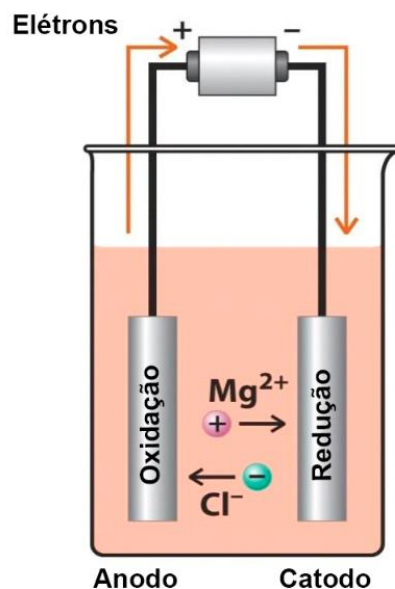
Fonte: SKOOG *et al.* (2008).

Nas células eletrolíticas, nas quais ocorre a eletrólise, o fluxo eletrônico também ocorre do ânodo para o cátodo através do condutor metálico externo, ou seja, do eletrodo em que ocorre a oxidação para o eletrodo em que ocorre a redução. Contudo, as reações químicas que acontecem em uma eletrólise não se desenvolvem de modo espontâneo e, devido a isso, o

funcionamento de uma célula eletrolítica requer energia elétrica de uma fonte externa (SKOOG *et al.*, 2008).

Verifica-se, na Figura 3, a ilustração da estrutura de uma célula eletrolítica necessária para a realização da eletrólise do cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ) fundido. Neste dispositivo, o polo negativo da fonte externa de energia elétrica é conectado ao cátodo da célula, este ficará carregado negativamente e, dessa maneira, irá atrair os íons positivos do eletrólito, promovendo a redução. Por outro lado, o polo positivo da fonte externa estará conectado ao ânodo da célula, ficará carregado positivamente, e, por esse motivo, irá atrair os íons negativos do eletrólito, provocando a oxidação (ATKINS; JONES, 2012).

Figura 3 - Ilustração de uma célula eletrolítica (Adaptada)



Fonte: ATKINS; JONES, 2012).

A fonte de energia externa tem o papel de fornecer uma diferença de potencial suficiente para que a reação não espontânea possa acontecer. Essa diferença de potencial deve ser superior à diferença de potencial verificada na reação espontânea envolvendo as espécies do eletrólito (ATKINS; JONES, 2012).

No que concerne às considerações termodinâmicas inerentes ao funcionamento das células eletroquímicas, as células galvânicas caracterizam-se como sistemas eletroquímicos produtores de energia elétrica utilizável a partir de reações químicas espontâneas, ou seja, reações que têm variação de energia de Gibbs com saldo negativo,  $\Delta G < 0$ , enquanto que o inverso é verificado nas células eletrolíticas, a energia de um gerador de eletricidade externo

precisa ser utilizada para promover a ocorrência de uma reação química não espontânea,  $\Delta G > 0$  (VILLULLAS; TICIANELLI; GONZÁLEZ, 2002).

A Tabela 1 apresenta um resumo das informações apresentadas no presente tópico.

Tabela 1 – Informações pertinentes ao estudo das células galvânicas e eletrolíticas

Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica
	energia química é	energia elétrica é
Transformação de energia	convertida em energia elétrica	convertida em energia química
Espontaneidade, $\Delta G$	espontânea, $\Delta G < 0$	não espontânea, $\Delta G > 0$
Polaridade do Ânodo	polo negativo (-)	polo negativo (+)
Polaridade do Cátodo	polo negativo (+)	polo negativo (-)

Fonte: VILLULLAS; TICIANELLI; GONZÁLEZ (2002).

Serão apresentados, nos pontos a seguir, outros conceitos importantes para a aprendizagem sobre as temáticas eletrólise, células eletrolíticas, e galvanoplastia. Optou-se por fazer a apresentação destes outros conceitos nos tópicos subsequentes por acreditar que esta estrutura possibilite uma leitura mais organizada das informações necessárias para o estudo das temáticas exploradas nesse estudo.

## 2.1 NÚMERO DE OXIDAÇÃO E ESTADO DE OXIDAÇÃO

A utilização dos termos “número de oxidação” e “estado de oxidação” ganhou notoriedade no meio científico a partir da descrição apresentada pelo químico americano Wendell Mitchell Latimer (1893-1955) no livro *The Oxidation States Of The Elements And Their Potentials In Aqueous Solutions*, publicado no ano de 1938, cujo objetivo estaria relacionado à identificação de reações químicas de oxidação-redução (JENSEN, 2007).

Os termos propostos por Latimer tornaram-se cada vez mais populares com o passar dos anos e foram indiscutivelmente incorporados ao estudo das reações químicas nas quais são percebidas transferências de elétrons entre as espécies químicas reagentes (JENSEN, 2011).

Para Klein e Braibante (2017), pode ter acontecido uma popularização inadvertida dos termos supracitados uma vez que as autoras constataram, a partir de uma expressiva revisão

bibliográfica, a ausência de clareza nas definições utilizadas e certa confusão conceitual promovida pelo uso destas expressões como se fossem termos sinônimos.

Na literatura que busca discutir a distinção conceitual existente entre os termos propostos por Latimer, é possível encontrar a proposta apresentada por Looch (2011), a qual propõe que “[...] o número de oxidação se refere apenas a um único átomo de um composto de coordenação, enquanto que o estado de oxidação pode, em princípio, ser dado a todos os átomos incluindo os átomos ligantes” (LOOCK, 2011, p. 282).

A União Internacional da Química Pura e Aplicada - IUPAC (2014) apresenta definições distintas para os termos número de oxidação e estado de oxidação, descrevendo o número de oxidação de um átomo central em uma esfera de coordenação como a carga que este átomo manteria em uma situação de remoção de todos os seus átomos ligantes e dos pares de elétrons compartilhados com o átomo central, enquanto que o estado de oxidação refere-se a um valor que expressa o grau de oxidação de um átomo em uma substância, este valor pode ser identificado a partir do emprego das regras a seguir:

- (1) O estado de oxidação de um elemento livre (elemento não combinado) é zero;
- (2) Para um íon simples (monatômico), o estado de oxidação é igual à carga líquida no íon;
- (3) O hidrogênio tem um estado de oxidação de + 1 e o oxigênio tem um estado de oxidação de -2 na maioria dos compostos em que estão presentes (As exceções são: o hidrogênio tem um estado de oxidação igual a -1 em hidretos metálicos, por exemplo: LiH, e oxigênio tem um estado de oxidação de -1 em peróxidos, por exemplo: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>);
- (4) A soma algébrica dos estados de oxidação de todos os átomos em uma molécula neutra deve ser igual a zero, enquanto que nos íons a soma algébrica dos estados de oxidação dos átomos constituinte deve ser igual à carga no íon (IUPAC, 2014, p. 1049).

Ainda conforme a IUPAC (2014), o grau de oxidação de um átomo será tanto maior quanto maior for o seu estado de oxidação e vice-versa.

Uma alternativa útil à definição atribuída pela IUPAC ao termo “estado de oxidação” foi apresentada por Looch (2011) como forma de definição expandida, na qual se considera a eletronegatividade dos átomos; enquanto que a IUPAC o define a partir das regras mencionadas anteriormente. Segundo o autor, esta proposta explica de forma correta todos os átomos e compostos, inclusive aqueles que eram tomados como exceções e que apresentavam certo nível de dificuldade quando abordados.

O estado de oxidação de um átomo em um composto é dado por uma carga hipotética que corresponde ao íon atômico que é obtido pela clivagem heterolítica de tal forma que o átomo com a eletronegatividade maior em uma ligação é atribuído todos os elétrons nesse vínculo (IUPAC, 2014, p. 1049).

Considerando como fundamental a etapa em que se destina à abordagem do conceito “estado de oxidação” para as propostas de ensino e aprendizagem das temáticas que envolvem processos de oxidação e redução, muitas proposições já foram apresentadas na literatura com o objetivo de nortear professores e alunos.

Levando em consideração as regras que devem ser adotadas para calcular o estado de oxidação de um átomo em uma substância, Holder *et al.* (2002), com o intuito de tornarem o procedimento mais sistêmico, propuseram uma hierarquização das regras conhecidas em dois níveis de prioridade, conforme a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Hierarquização das regras para cálculo do estado de oxidação

Nome da Regra	Regra
<b>Primeira Prioridade</b>	
Elemento Livre	O número de oxidação de átomos um elemento livre é igual a 0.
Íon simples	O número de oxidação de um íon monatômico é igual à carga do íon.
Flúor	O número de oxidação do flúor nos compostos é igual a 1.
Hidrogênio	O número de oxidação do hidrogênio em combinação com ametais é igual a +1.
Metais do grupo 1	O número de oxidação dos metais do grupo 1 em compostos é igual a +1.
Metais do grupo 2	O número de oxidação dos metais do grupo 2 em compostos é igual a +2.
Soma	A soma algébrica dos números de oxidação de todos os átomos em uma fórmula química é igual à carga líquida sobre a espécie.
Íons separados	Em compostos iônicos, os números de oxidação no cátion e o ânion são independentes e podem ser atribuídos separadamente.
<b>Segunda Prioridade</b>	
Oxigênio	O número de oxidação do oxigênio nos compostos é igual a -2.
Não Metal	Em combinações binárias de ametais, ao elemento mais próximo do flúor na tabela periódica é dado um número de oxidação negativo igual à carga no seu íon monatômico comum.

Fonte: Adaptado de Holder *et al.* (2002).

A partir do que foi apresentado, e em conformidade com Holder *et al.* (2002) e Jensen (2011), no que concerne ao processo de ensino e aprendizagem referente ao estado de oxidação dos átomos, um alicerce para o estudo da eletroquímica, verifica-se que este

conteúdo na maioria das práticas pedagógicas é desenvolvido pela utilização de regras arbitrárias para o cálculo de um valor que não possui significado estritamente físico.

Nessa perspectiva, Klein e Braibante (2017), com base nas dificuldades verificadas no ensino e aprendizagem deste conceito, e dos assuntos que os têm como pré-requisito, defendem a necessidade de abordagens que apresentem estes conceitos de maneira bastante clara para os alunos, de modo a proporcionar melhores condições para que eles construam o conhecimento de modo efetivo.

O próximo tópico apresenta uma abordagem acerca das reações químicas de oxidação e redução, as quais têm uma correlação íntima com os conhecimentos acerca do que foi discutido sobre estado de oxidação.

## 2.2 REAÇÕES REDOX

Reações redox podem ser identificadas em diversos contextos e serem apresentadas com diferentes denominações, tais como: reações de oxirredução; reações de oxido-redução; reações de oxidação-redução (KLEIN, 2016).

Segundo Joesten e Wood (1996) as reações redox podem ser notadas como um dos principais tipos de transformações químicas, sendo intimamente relacionada à dinâmica da vida, desenvolvimento tecnológico, geração de energia elétrica e muitas outras circunstâncias.

Corroborando com Joesten e Wood (1996), Atkins e Jones (2012) descrevem a versatilidade destas reações ao publicarem que a reação redox,

São extraordinariamente versáteis. Muitas reações comuns, como a combustão, a corrosão, a fotossíntese, o metabolismo dos alimentos e a extração de metais de minério, parecem completamente diferentes, mas ao examinarmos essas reações a nível molecular, sob a óptica de um químico, pode-se ver que elas são exemplos de um único tipo de processo (ATKINS; JONES, 2012, p. 92).

Do ponto de vista conceitual, Ringnes (1995 *apud* ÖSTERLUND; EKBORG, 2009), apresenta quatro maneiras de conceituar as reações de oxidação e redução, sob a forma dos modelos conceituais apresentados na Tabela 3. Tais modelos ainda hoje são empregados nos processos de ensino e aprendizagem de química.

Tabela 3 - Modelos Conceituais de Oxidação e Redução

<b>Modelo</b>	<b>Redução</b>	<b>Oxidação</b>
Modelo do oxigênio	Perda de oxigênio	Ganho de oxigênio
Modelo do hidrogênio	Ganho de hidrogênio	Perda de hidrogênio
Modelo de elétrons	Ganho de elétrons	Perda de elétrons
Modelo do número de oxidação	Diminuição do número de oxidação	Aumento do número de oxidação

Fonte: RINGNES, 1995 apud ÖSTERLUND; EKBORG (2009).

A IUPAC (2014, p. 1048) enquadra a identificação dos processos de oxidação a partir de três critérios, são eles: 1) completa remoção de um ou mais elétrons de uma entidade molecular; 2) aumento no número de oxidação de qualquer átomo pertencente a qualquer substrato; 3) ganho de oxigênio e/ou perda de hidrogênio de um substrato orgânico; e ainda complementa afirmando que todas as oxidações atendem aos critérios 1 e 2, vários exemplos de oxidação atendem ao critério 3, contudo a demonstração nem sempre é uma atividade fácil de ser realizada.

Em face dos objetivos a serem alcançados por este trabalho, dar-se-á a devida ênfase ao modelo de elétrons na tratativa das reações redox, utilizando paralelamente o modelo do número de oxidação, e tendo os devidos cuidados quanto à distinção conceitual para a utilização do termo estado de oxidação.

Dessa maneira, as abordagens metodológicas a serem apresentadas contemplarão os conceitos de reações redox de modo similar ao que foi apresentado por Sartori, Batista e Fatibello-Filho (2008) ao descreverem que as reações redox envolvem transferência de elétrons de uma espécie para outra, ocorrendo, respectivamente, perda e ganho de elétrons, resultando em uma mudança no estado de oxidação das espécies envolvidas.

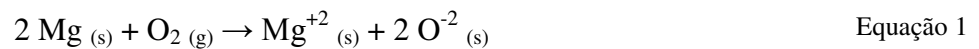
Ainda segundo Sartori, Batista e Fatibello-Filho (2008), as reações redox precisam ser compreendidas como a soma de duas outras reações: uma reação de redução de outra reação de oxidação. As reações de redução são caracterizadas quando uma espécie química recebe um ou mais elétrons; quando isso acontece, a espécie receptora de elétrons tem o seu estado de oxidação diminuído. Em contrapartida, as reações de oxidação têm a perda de um ou mais elétrons como sua principal característica, quando uma espécie química sofre a oxidação o seu estado de oxidação passa a ter valores cada vez mais positivos.

Conforme Carvalho, Lupetti e Fatibello Filho (2005), uma reação de redução acontece no mesmo momento em que acontece uma reação de oxidação, uma vez que os elétrons



adquiridos pela espécie que se reduz serão cedidos pela espécie que sofre oxidação, o que esclarece a impossibilidade de uma dessas reações serem processadas de forma isolada.

Para fins de exemplificação, Atkins e Jones (2012) discutem a reação redox envolvendo magnésio e oxigênio, apresentada na Equação 1, comentando que, no processo em questão, o magnésio cede dois elétrons para o oxigênio e, ao receber os dois elétrons, o oxigênio tem o seu estado de oxidação diminuído de 0 para -2 (indicando a redução do oxigênio); concomitantemente, o magnésio tem o seu estado de oxidação aumentado de 0 para +2, deixando claro que ocorre oxidação no magnésio.



Ainda no contexto da discussão da equação química anterior, Atkins e Jones (2012) apresentam os conceitos de agente oxidante e agente redutor classificando como agente redutor a substância que foi oxidada, referindo-se ao magnésio; enquanto que o oxigênio é o agente oxidante, ou seja, a substância que reduzida. Nessa perspectiva, corroborando com Brady e Humiston (1983) e Russel (1994), que definem agente oxidante como a espécie química possuidora do átomo que recebeu elétrons, ou seja, a substância que promoveu a oxidação da outra; em contrapartida, o agente redutor é a espécie química possuidora do átomo que perdeu elétrons, ou seja, a substância que proporcionou a redução da outra.

Dessa maneira, conforme o exposto acerca dos conceitos inerentes às reações redox, e outras informações pertinentes à sua interpretação, a próxima etapa apresentará a descrição das condições necessárias para ocorrência ou não das reações redox. Nessa perspectiva, buscar-se-á compreensão sobre a espontaneidade desta classe de reações e também a respeito da tendência de reduzir ou oxidar das substâncias quando postas em um sistema reacional.

### 2.3 POTENCIAL PADRÃO DE REDUÇÃO

O potencial padrão de redução ( $E^{\circ}_{\text{red}}$ ) de uma substância correspondente a um eletrodo é uma grandeza que pode ser consultada para prever se uma reação redox entre duas substâncias ocorrerá espontaneamente (ATKINS e JONES, 2012). Em caso de ocorrência da reação, esta grandeza também pode ser utilizada para a predição de qual substância será oxidada e qual será reduzida.

A espontaneidade de uma reação redox é comumente verificada a partir do cálculo da diferença de potencial padrão de redução dos eletrodos (d.d.p ou  $\Delta E^\circ$ ), fazendo uso da Equação 2.

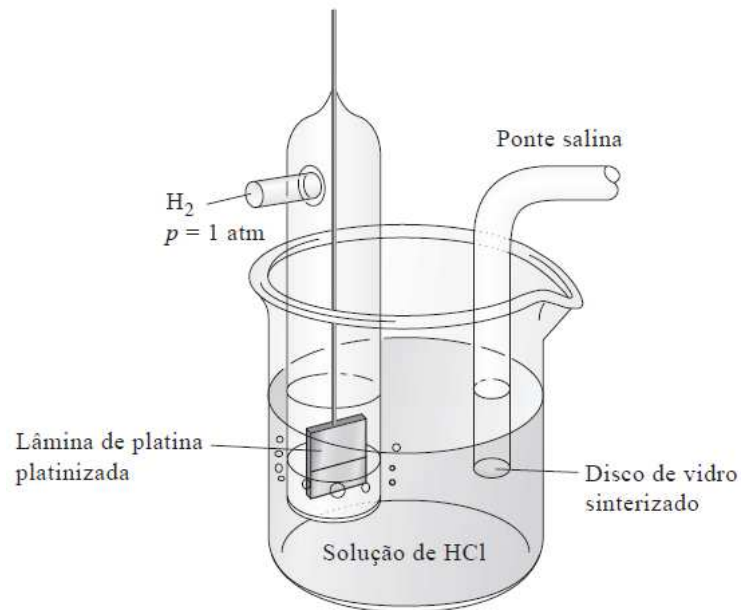
$$\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ânodo}} \quad \text{Equação 2}$$

Valores positivos de  $\Delta E^\circ$  são sempre verificados em reações redox de ocorrência espontânea, no estado padrão, tais como as reações das células galvânicas; por outro lado, valores negativos de  $\Delta E^\circ$  correspondem a processos redox de natureza não espontânea, assim como as reações processadas em células eletrolíticas (ATKINS e JONES, 2012).

De acordo com Atkins e Jones (2012), os valores de  $E^\circ_{\text{red}}$  amplamente popularizados no meio científico foram determinados experimentalmente pela IUPAC, considerando o eletrodo de hidrogênio como um padrão de referência. A obtenção de um valor relativo para o  $E^\circ_{\text{red}}$  se faz necessária em face da impossibilidade de se obter experimentalmente um valor absoluto (MARCONATO; BIDÓIA, 2003).

Conforme Kotz *et al.* (2015), o eletrodo padrão de hidrogênio (EPH) pode ser utilizado como referencial no cálculo de todos os potenciais padrão de redução. O EPH, conforme pode ser observado na Figura 4, tem em sua estrutura um fio de platina no interior de um tubo de vidro preenchido com gás hidrogênio,  $H_{2(g)}$ . O fio de platina é ligado a uma chapa de platina platinizada (recoberta com um depósito de negro de platina) em que o  $H_{2(g)}$  fica adsorvido.

Figura 4 - Eletrodo Gasoso de Hidrogênio



Fonte: SKOOG *et al.* (2008).

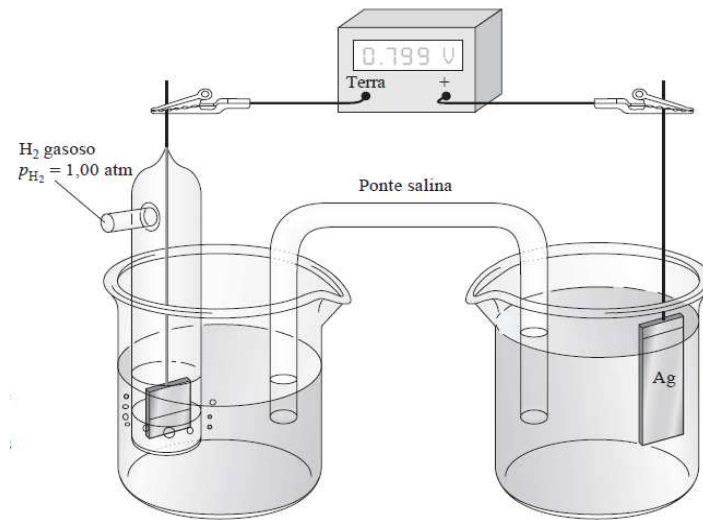
Este conjunto é imerso em uma solução ácida, obedecendo às condições padrão. A semirreação responsável pelo potencial que se desenvolve nesse eletrodo é representada pela Equação 3 (SKOOG *et al.*, 2008).



Por convenção, atribui-se o valor igual a zero de potencial para este eletrodo (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

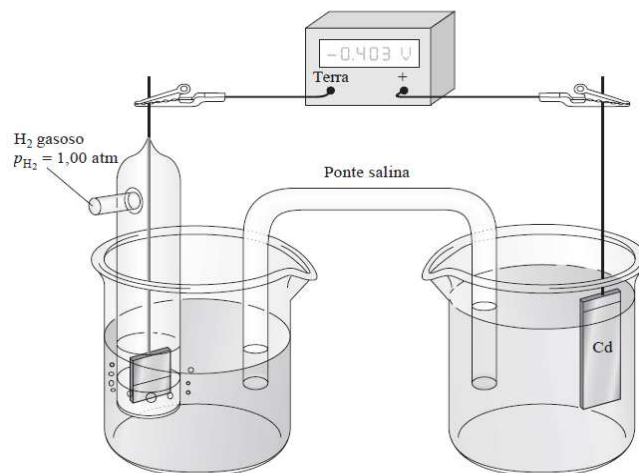
De acordo com Skoog *et al.* (2008), a partir do arranjo experimental de uma célula eletroquímica, semelhante ao representado nas Figuras 5 e 6 é possível identificar o valor do potencial padrão de redução para os mais diversos tipos de eletrodos. Os valores obtidos para os eletrodos terão sinal positivo nos casos em que ocorre oxidação no eletrodo padrão de hidrogênio e negativo quando a redução acontecer no eletrodo padrão de hidrogênio.

Figura 5 - Representação experimental para determinação do potencial padrão de redução do eletrodo de prata



Fonte: SKOOG *et al.* (2008).

Figura 6 - Representação experimental para determinação do potencial padrão de redução do eletrodo de cádmio



Fonte: SKOOG *et al.* (2008).

Ainda conforme Oliveira *et al.* (2009), nos livros didáticos que contemplam os tópicos estudados em eletroquímica, é bastante comum a existência de tabelas contendo os dados de potenciais de redução, semelhante a que pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4 - Potenciais-padrão de redução

Semi-reação de redução	Potencial-padrão de redução, E° (Volts)
$\text{Li}^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons \text{Li}_{(s)}$	-3,04
$\text{K}^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons \text{K}_{(s)}$	-2,92
$\text{Ba}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}_{(s)}$	-2,91
$\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}_{(s)}$	-2,87
$\text{Mg}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}_{(s)}$	-2,71
$\text{Na}^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons \text{Na}_{(s)}$	-2,36
$\text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}_{(s)}$	-1,68
$\text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}_{(s)}$	-0,76
$\text{Ag}_2\text{S}_{(s)} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{(s)} + \text{S}^{2-}_{(aq)}$	-0,69
$\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}_{(s)}$	-0,44
$\text{Sn}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}_{(s)}$	-0,14
$2\text{H}^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_{2(g)}$	0,00
$\text{Sn}^{4+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}_{(aq)}$	0,15
$\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}_{(s)}$	0,34
$\text{Ag}^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}_{(s)}$	0,80
$\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1,23
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(aq)} + 14\text{H}^+_{(aq)} + 6e^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+}_{(aq)} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,33
$\text{Au}^{3+}_{(g)} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}_{(s)}$	1,50
$\text{H}_2\text{O}_{2(aq)} + 2\text{H}^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1,77
$\text{Co}^{3+}_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}_{(aq)}$	1,82
$\text{F}_{2(g)} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-_{(aq)}$	2,87

Fonte: DEAN, 1985 *apud* SARTORI; BATISTA; FATIBELLO-FILHO (2008).

Atkins e Jones (2012) chamam de série eletroquímica uma tabela semelhante à apresentada e descreve a existência de uma maior tendência em sofrer redução das substâncias com maior potencial padrão de redução. Assim, de posse dos valores de potencial padrão de redução, é possível prever em uma célula eletroquímica qual espécie ganha ou perde elétrons e também se a reação será processada espontaneamente nas condições padrão, 25°C e 1 atm.

Sabendo realizar as devidas operações com os valores de potenciais padrão de redução, será possível compreender o significado de espontaneidade das reações redox e também adquirir com êxito os conhecimentos inerentes aos processos de eletrólise que serão explorados no tópico a seguir.

## 2.4 TIPOS DE ELETRÓLISE

Serão descritos nos dois subtópicos a seguir as principais características que distinguem a eletrólise ígnea da eletrólise aquosa, sendo considerada a utilização de eletrodos inertes para a realização desse procedimento. Nessa perspectiva, também serão apresentadas as variáveis relacionadas à previsibilidade da velocidade das reações redox que ocorrem nesse

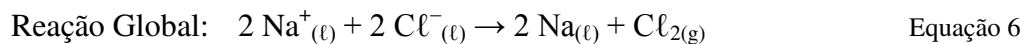
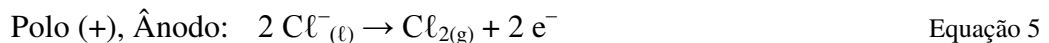
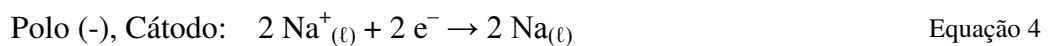
processo, indispensáveis para a compreensão do consumo e produção de substâncias nesse procedimento eletroquímico.

### 2.4.1 Eletrólise Ígnea

Neste tipo de eletrólise, utiliza-se um sal fundido como eletrólito. Adotando o cloreto de sódio como exemplo, a eletrólise ígnea deste sal acontece em temperaturas ligeiramente superiores ao ponto de fusão desta substância, cerca de 800°C. Esta temperatura garante uma energia vibracional suficiente para que haja dissociação dos íons que estruturam o retículo cristalino da substância; desta maneira, obtém-se o sal no estado líquido (ATKINS e JONES, 2012).

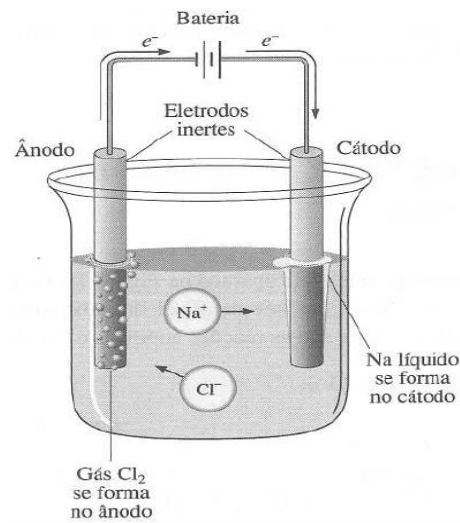
Conforme Kotz *et al.* (2015), o conjunto de equações químicas a seguir representam as reações que ocorrem durante a eletrólise ígnea do cloreto de sódio, no eletrodo de polaridade negativa, cátodo, ocorre a reação de redução do cátion  $\text{Na}^+_{(\text{fund})}$ , obtendo-se sódio metálico; enquanto que, no eletrodo de polaridade positiva, ânodo, acontece a oxidação do íon cloreto  $\text{Cl}^-_{(\text{fund})}$ , em que se obtém o gás cloro.

A reação global do processo é obtida a partir da soma das reações verificadas no ânodo e no cátodo, no exemplo aqui explorado é necessário multiplicar a reação de redução do íon sódio por dois para garantir que o total de elétrons liberados do ânodo seja igual ao total de elétrons recebidos no cátodo (BRADY; HUMISTON, 1983).



Os elétrons percorrem o fio condutor externo, pois são impulsionados pela diferença de potencial aplicada pelo gerador de eletricidade, a bateria. A movimentação dos íons no eletrólito fundido corresponde à corrente elétrica existente no interior da célula eletrolítica, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Eletrólise ígnea do cloreto de sódio



Fonte: RUSSEL (1994).

Convém ressaltar que, no processo descrito, os eletrodos utilizados não participam da reação pelo fato serem constituídos por um material considerado inerte, o carbono grafite. Em procedimentos semelhantes, também é possível utilizar a platina como eletrodo inerte (RUSSELL, 1994).

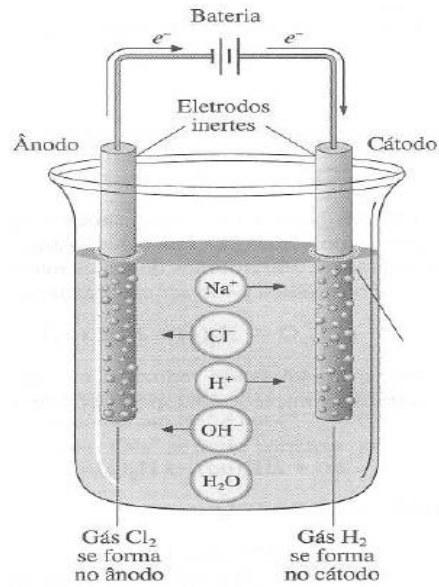
As eletrólises com eletrodos ativos, ou seja, eletrodos participantes das reações químicas do processo serão exploradas na etapa destinada à descrição dos processos de galvanoplastia.

## 2.4.2 Eletrólise Aquosa

Este tipo de eletrólise é assim reconhecido pelo fato do eletrólito está dissolvido em água, formando uma solução aquosa. Para Kotz *et al.* (2015), a eletrólise aquosa corresponde a um procedimento experimentalmente mais complexo em comparação à eletrólise ígnea devido à presença da água, pois esta é uma substância eletroativa, ou seja, pode sofrer oxidação ou redução durante o processo eletrolítico.

Na exemplificação dada por Russell (1994), para a eletrólise aquosa do cloreto de sódio, o autor destaca que é necessário levar em consideração a variedade dos íons presentes na célula eletrolítica, Figura 8, e destaca as possíveis reações de oxidação e redução que podem acontecer por conta da presença dos diversos íons, são elas:

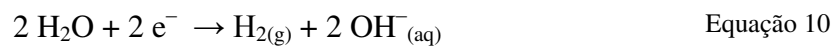
Figura 8 - Esquema da eletrólise aquosa do cloreto de sódio



Possíveis reações no ânodo (oxidação),



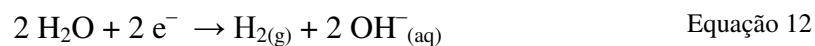
Possíveis reações no cátodo (redução):



Ainda conforme Russell (1994), na eletrólise aquosa do cloreto de sódio, obtém-se gás cloro e, dessa maneira, a reação do ânodo é representada pela seguinte equação química.



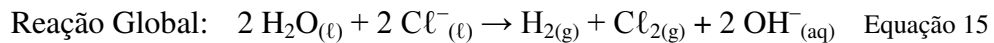
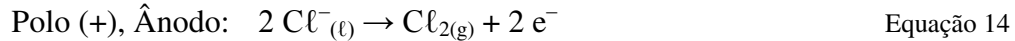
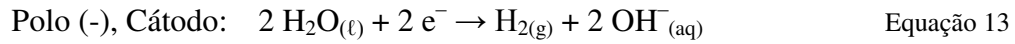
Concomitantemente, no cátodo, acontece a formação do gás hidrogênio a partir da reação de redução da água, representada pela seguinte equação química.





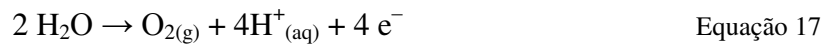
Para a reação catódica, o autor prioriza a equação de redução da água, e não a redução do íon hidrogênio, justificando com o fato da concentração água ser de aproximadamente 560 milhões de vezes superior em comparação à concentração do íon hidrogênio.

Dessa maneira, a soma das duas últimas equações apresentadas resulta na equação global da eletrólise aquosa do cloreto de sódio, conforme mostrado a seguir.

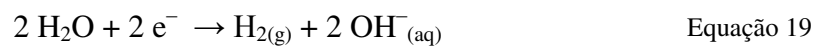


Em outro exemplo, Kotz *et al.* (2015) utilizam o iodeto de sódio para ilustrar a eletrólise aquosa do iodeto de sódio (NaI) a partir da sequência de equações a seguir:

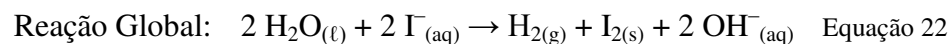
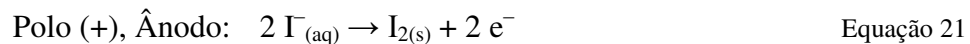
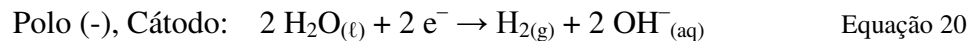
Possíveis reações no ânodo (oxidação):



Possíveis reações no cátodo (redução):



Justificam que ocorre oxidação do íon iodeto no ânodo e redução da água no cátodo, utilizando dos valores do potencial padrão de redução destas espécies, resultando na sequência de equações a seguir:



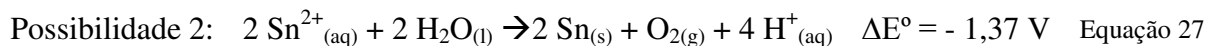
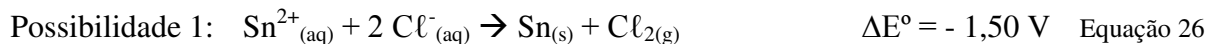
Conforme os autores, sendo a água a substância que sofre redução ( $E^\circ = -0,8277 \text{ V}$ ) e o íon iodeto a espécie que sofre oxidação ( $E^\circ = +0,621 \text{ V}$ ), o valor correspondente à diferença de potencial desta célula ( $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ânodo}} = -1,449 \text{ V}$ ) é o menor

verificado se comparado aos valores de  $\Delta E^\circ$  na possível oxidação do íon sódio e/ou redução da água, ou seja, as reações que ocorrem são aquelas que necessitam de um menor valor de potencial a ser aplicado. Isso significa que um gerador externo precisa fornecer um potencial de pelo menos 1,45 V para que este processo aconteça.

Outro caso de eletrólise aquosa que merece destaque e é explorada tanto por Atkins e Jones (2012) quanto por Kotz *et al.* (2015), é a eletrólise de sais de cloreto. Kotz *et al.* (2015) utilizam o cloreto de estanho II ( $\text{SnCl}_2$ ) para exemplificar a maior prioridade de oxidação do íon  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  em relação à molécula de água. O potencial padrão de redução das espécies envolvidas nesse processo está indicado nas equações a seguir (ATKINS e JONES, 2012).



As duas possibilidades de reações globais para eletrólise aquosa do  $\text{SnCl}_2$ , juntamente com o valor da diferença de potencial da célula para cada caso, podem ser verificadas através das seguintes equações:



Apesar da reação da célula eletrolítica apresentada na Possibilidade 2 requerer uma menor diferença de potencial, Kotz *et al.* (2015) descrevem que a reação apresentada na possibilidade 1 é a que predomina experimentalmente, ou seja, o íon cloreto é preferencialmente oxidado em detrimento da água. Os autores explicam que o íon cloreto é prioritariamente oxidado pelo fato da sua reação no ânodo da célula acontecer com uma maior rapidez, essa maior velocidade de oxidação do íon cloreto é consequência da aplicação de uma sobretensão, ou seja, aplicação de uma voltagem superior ao valor necessário para que a reação tenha uma velocidade considerada razoável (ATKINS; JONES, 2012).

Diante do exposto, convém ressaltar que a concentração dos íons participantes do processo de eletrólise constitui uma variável importante para a previsão da velocidade das reações redox inerentes a este tipo procedimento; dessa maneira, quanto maior a concentração dos íons da solução na superfície do eletrodo menor será o tempo necessário para que a reação aconteça e produza uma quantidade razoável das substâncias desejadas (SKOOG *et al.*, 2008).

Com base nos conceitos supracitados, inerentes aos processos de eletrólise, em que se considerou como inertes os eletrodos dos cátodos e ânodos, serão expostos no ponto a seguir os conceitos e contextos relacionados ao fenômeno da corrosão. Admitindo a corrosão como uma problemática, a próxima seção sobre eletrólise abordará os tratamentos eletrolíticos para fins prevenção à corrosão eletroquímica verificada nos metais.

## 2.5 CORROSÃO

A corrosão pode ser compreendida como uma consequência das reações redox, as quais promovem a deterioração de um material em função das condições do ambiente que o envolvem (PALMA; TIERA, 2003). Segundo Vaz, Assis e Codaro (2011), a corrosão é um processo redox irreversível que ocorre entre um material metálico e uma substância oxidante. Silva *et al.* (2015) definem a corrosão como a deterioração de um metal, ou liga metálica, a partir de sua superfície, por meio de reações redox que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal.

Compreendendo a corrosão como processo que também ocorre com materiais não metálicos, Merçon *et al.* (2004) indicam que a corrosão corresponde a destruição total, parcial, superficial ou estrutural de materiais como os metais, concreto, polímeros, dentre outros.

Souza *et al.* (2007), corroborando com Vaz, Assis e Codaro (2011), descrevem que a corrosão é um tipo de transformação química que está intimamente inserida na vida de toda população; desse modo, o estudo da corrosão favorece a exploração de estudos com perspectivas tecnológicas, sociais e ambientais. Merçon *et al.* (2011) evidenciam esta indicação ao comentarem sobre os gastos financeiros empregados para a manutenção, e substituição, de objetos susceptíveis à deterioração ocasionada pela corrosão, tais como: utensílios domésticos, aparelhagens industriais, mobiliário urbano, monumentos históricos e outros.

Pelo fato da corrosão ser um processo químico derivado de uma reação redox, e admitindo que certo material sofra corrosão ao reagir com um oxidante, compreende-se que a corrosão acontece no ânodo do sistema reacional. Dessa maneira, em se tratando da corrosão de um metal, a partir do contato deste com a água e gás oxigênio, os cátions formados a partir da oxidação deste metal originam compostos solúveis ou insolúveis em meio aquoso, enquanto que na região do cátodo ocorre redução das espécies constituintes do meio corrosivo, tal como a água e o oxigênio (VAZ; ASSIS; CODAROO, 2011).

Além da corrosão eletroquímica, de maior ocorrência na natureza, Merçon *et al.* (2004) descrevem dois outros tipos, a corrosão química e a corrosão eletrolítica. Na Tabela 5, é possível comparar as informações gerais sobre os três tipos de corrosão apresentados pelos autores.

Tabela 5 - Comparativo entre os três tipos de corrosão

<b>Tipo</b>	<b>Espontaneidade</b>	<b>Características Gerais</b>
Corrosão Eletroquímica	Espontânea	Ocorrência por via úmida, a partir do contato entre um metal e eletrólito aquoso. Exemplos: Formação da ferrugem, deterioração de monumentos históricos; e deterioração das placas anódicas das pilhas galvânicas.
Corrosão Química	Espontânea	Também conhecida como corrosão seca, pois pode acontecer sem a presença de água. Ocorre a partir da ação de agentes corrosivos sobre certos materiais, a partir de reações que podem não envolver transferência de elétrons. Exemplos: Consumo de uma lâmina de zinco por ácido sulfúrico; degradação de polímeros por ação de solventes; e deterioração do concreto em vias públicas devido à ação de poluentes atmosféricos.
Corrosão Eletrolítica	Não Espontânea	Esta corrosão é induzida pela aplicação de uma corrente elétrica externa ou devido à existência de correntes de fuga ocasionadas por falhas de isolamento ou aterramento. Exemplos: Danificação de metais soterrados, tais como: tubulações de água e petróleo; fiação elétrica; e tanques de postos de combustíveis.

Fonte: MERÇON *et al.* (2011).

Para Merçon *et al.* (2011), a prevenção contra a corrosão representa um desafio duradouro para a ciência, pois os custos associados às trocas de equipamentos que sofrem corrosão assumem valores muito altos. Este posicionamento dos autores está alinhado com o que prega a Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO. Em publicações da revista *Corrosão & Proteção*, a ABRACO dissemina os conhecimentos produzidos por cientistas de todo mundo acerca da corrosão e dos processos desenvolvidos para proteção e controle desse fenômeno. Conforme a ABRACO (2018), as recomendações práticas de mitigação da corrosão compreendem: a proteção catódica e anódica, os inibidores de corrosão e os revestimentos protetores, que são películas dispostas sobre a superfície do metal susceptível à corrosão, o que corresponde a um obstáculo entre o ambiente corrosivo e o metal, as tintas e o zinco aplicado por galvanização sobre um metal podem ser compreendidas como exemplos desses revestimentos (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

O processo de galvanização eletroquímica corresponde ao método de proteção contra a corrosão de interesse do presente estudo e por isso será explorado com mais detalhes no tópico a seguir.

## 2.6 GALVANOPLASTIA

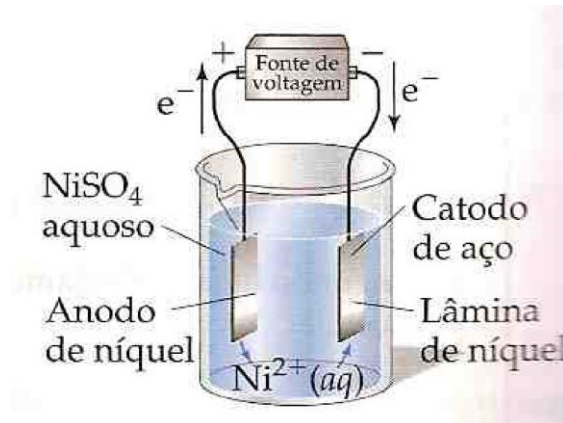
Para Buzzoni (1991), a galvanoplastia corresponde à deposição eletrolítica de uma película de metal sobre um objeto metálico e tem a finalidade de alterar as propriedades e dimensões superficiais do material que foi revestido. Romano (2006), ao apresentar os diversos propósitos da galvanoplastia, pontua que tal processo é amplamente realizado na indústria para dar acabamento em peças metálicas que necessitam de uma maior resistência à corrosão. De acordo com Pires *et al.* (2011), a galvanoplastia, além de conferir uma melhor resistência à corrosão ao material revestido, agrega diversas melhorias no objeto, tais como: melhor condutividade elétrica, maior resistência ao atrito, e mais estabilidade frente ao aquecimento.

No processo de galvanoplastia, também conhecido como eletrodeposição, o objeto metálico a ser recoberto está localizado no cátodo de uma cuba eletrolítica e fica submerso em uma solução aquosa de um eletrólito que contém os íons do metal a serem eletrodepositados, enquanto o ânodo pode ser um eletrodo condutor inerte ou uma placa do metal a ser depositado, esta placa sofre corrosão eletroquímica havendo migração dos cátions formados para a solução eletrolítica com posterior redução desses cátions na superfície do cátodo (GENTIL, 2007; ATKINS; JONES, 2012).

Nessa perspectiva, conforme Burguess (1997), a galvanoplastia pode ser compreendida como uma técnica que emprega a eletrólise com eletrodos ativos, ou seja, os eletrodos também desempenham atividade fundamental nas reações redox do procedimento.

Uma ilustração do processo de galvanoplastia de uma placa de aço é apresentada por Brown, Lemay e Burstein (2005), a Figura 9.

Figura 9 - Galvanoplastia de uma placa de aço utilizando eletrodo de níquel



Fonte: BROWN; LEWAT; BURSTEIN (2005).

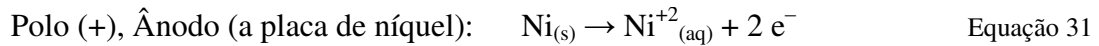
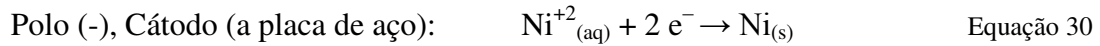
Neste exemplo, conhecido como niquelação, o cátodo da célula corresponde à placa de aço que foi recoberta pela lâmina de níquel, o ânodo da célula equivale à placa de níquel metálico, e a lâmina de níquel corresponde à cobertura desse metal que é formada sobre o aço durante o processo. Ambos os eletrodos estão inseridos em uma solução aquosa de sulfato de níquel e os fios condutores externos estão ligados ao gerador elétrico que fornecerá a voltagem necessária para a ocorrência do processo.

As possíveis reações para ocorrência no ânodo desse dispositivo são a oxidação do níquel metálico, a própria placa do ânodo, e a oxidação da água da solução de  $\text{NiSO}_4$ . Desconsidera-se a possibilidade de oxidação do íon  $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$  e do  $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ , pois, nestes íons, tanto o níquel quanto o enxofre já se encontram em seu máximo estado de oxidação, +2 e -6, respectivamente.

Com bases nas seguintes equações e potencial padrão de redução:



Se conclui que ocorre no ânodo do dispositivo a oxidação do  $\text{Ni}_{(\text{s})}$  a  $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ , pois o valor do potencial padrão de redução do  $\text{Ni}_{(\text{s})}$  é bastante inferior ao potencial padrão de redução do oxigênio. Dessa maneira, as reações que acontecem no cátodo e no ânodo do sistema ilustrado serão:



A reação global para este processo revela que aparentemente nada aconteceu, mas a eletrólise ocorrida neste procedimento permite transferir átomos de níquel da placa deste metal para a superfície da placa de aço localizada no cátodo, caracterizando assim o processo de galvanoplastia (BROWN; LEMAY; BURSTEIN, 2005).

Gentil (2007), ao apresentar as técnicas mais frequentemente utilizadas para aplicação de revestimentos metálicos anticorrosivos, destaca a importância da galvanoplastia devido à possibilidade de controlar a espessura da película metálica formada na superfície do cátodo e ao fato da quase inexistência de poros na estrutura do revestimento. De maneira complementar, Gentil (2007) apontar que os metais mais utilizados para a formação de películas protetoras são o ouro, a prata, o cobre, o níquel, o cádmio, o cromo e também o zinco.

A depender da sua composição, a solução presente nas cubas eletrolíticas empregadas no processo de galvanoplastia, chamada de banho galvânico, poder ser classificada como alcalina ou ácida. De acordo com Burgess (1997) a maioria dos banhos galvânicos considerados alcalinos utilizam sais de cianeto em sua preparação e geralmente são utilizados em galvanoplastias sobre cobre, prata, zinco, latão e bronze. Já os banhos classificados como ácidos são aplicados para a galvanoplastia em cromo, cobre, níquel e estanho. Segundo Lucena-Silva *et al.* (2016), os banhos eletrolíticos ácidos geralmente apresentam menores custos para a realização do procedimento, em contrapartida, os banhos alcalinos têm maior poder de cobertura e as películas protetoras produzidas são melhores.

Ainda conforme Lucena-Silva *et al.* (2016), o banho galvânico em um processo industrial de Galvanoplastia, além do composto solúvel do metal que deve ser depositado, deve possuir outras substâncias que contribuirão para o processo de maneiras distintas, tais como: aumentando a condutividade elétrica; ampliando o poder de cobertura; contribuindo para uma melhor morfologia da película formada e promovendo maior brilho do depósito sobre o objeto protegido.

À face do exposto, o presente estudo fará uso dos conceitos concernentes à galvanoplastia, explorando tanto as condições e as necessidades de uso deste procedimento quanto às aplicações no cotidiano dos sujeitos da pesquisa.

### **CAPÍTULO 3: PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM BASEADA NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS**

---

O processo de ensino e aprendizagem pautados na resolução de problemas (RP) pretende desenvolver nos estudantes a capacidade de elaborar estratégias e habilidades, para que se possa adquirir instrumentos e conhecimentos capazes de desenvolver atitudes no contexto escolar, de maneira com que o aluno possa participar e cooperar em atividades humanas e sociais. Desta forma, concordamos com Pozo (1998), no sentido que, estratégias didáticas baseadas em RP deveriam permear diversas áreas do currículo educacional:

[...] orientar o currículo para a solução de problemas significa procurar e planejar situações suficientemente abertas para induzir nos alunos uma busca e apropriação de estratégias adequadas não somente para darem resposta a perguntas escolares como também às da realidade cotidiana (POZO, 1998, p. 14).

Realizar o uso da resolução de problemas dentro do âmbito escolar é garantir que a evolução e compreensão da concepção de problema se popularize, com o objetivo de ocasionar uma mudança comportamental nos alunos. Deste modo, a RP se torna fundamental pois, ao término do ciclo da educação básica, o aluno deve ser capaz de elaborar e desenvolver estratégias para reconhecer um problema, correlacionando naturalmente conhecimentos diversos atrelados a problemas da vida cotidiana. Ensinar a resolver problemas não consiste apenas em beneficiar os educandos de habilidades e possíveis estratégias, ensina-os, além disso, a desenvolver o hábito de encarar a aprendizagem como um potencial problema, para o qual se deve encontrar uma resposta (POZO, 1998).

De acordo com Ribeiro (2010), a aprendizagem baseada em problemas, é uma metodologia de ensino e aprendizagem colaborativa, na qual se procura construir o conhecimento fundamentado na explicação de uma situação contextualizada, de maneira que os problemas inseridos se direcionem a aprendizagem de conceitos e levantamento de hipóteses, sem a imposição e criação de disciplinas específicas. A partir da utilização de problemas que exploram situações do dia-a-dia, pode-se incentivar a evolução do pensamento crítico e das capacidades de solução de potenciais problemas adquirindo conceitos fundamentais para área de conhecimento abordada.

As Orientações Curriculares Nacionais - OCNEM propõem que o ensino de química tenha fundamental importância na preparação de formação de indivíduos críticos e ativos, tornando-os aptos a solucionarem tanto problemas do seu dia a dia quanto problemas



escolares que envolvam desde conhecimentos químicos até questões tecnológicas, sociais e ambientais (BRASIL, 2006).

A aprendizagem baseada em problemas tem como objetivos principais integrar e estruturar conhecimentos envoltos em problemas reais, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades de aprendizagem autônoma e de trabalhos em grupos. Capaz de comportar um conjunto de soluções adequadas para a resolução do problema proposto, não se restringindo apenas a uma única solução, apresentando um grau de complexidade condizente com os conhecimentos prévios dos alunos, favorecendo a interdisciplinaridade dos conteúdos (RIBEIRO, 2018).

De acordo com Pozo (1998), o ensino e aprendizagem baseado na resolução de problemas (EABRP) tem por objetivo viabilizar a autonomia no processo de construção da aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, logo, envolve também a reconstrução de saberes, ao passo que os alunos necessitam ser capazes de recorrer aos conhecimentos pré-existentes durante o processo de resolução de problemas.

Com a finalidade de resolver um problema, primeiramente, os estudantes devem reconhecê-lo, em busca de compreender os conhecimentos que são necessários para solucioná-lo, estimulando da mesma maneira, saberes aprendidos anteriormente na tentativa de alcançar a solução mais adequada ao problema (GÓI; SANTOS, 2009; BATINGA, 2010).

Nesse sentido, o docente precisa participar efetivamente do resgate das concepções prévias dos alunos, instigando-os a pensar sobre o problema proposto, impulsionando-os a enfrentar o desafio de resolver o problema e ultrapassar as dificuldades encontradas, auxiliando na elaboração e uso de estratégias para resolução de problemas (GÓI; SANTOS, 2009).

De acordo com Lopes (1994), a resolução de problemas é essencial durante o processo de ensino e aprendizagem nas aulas de ciências, e dentro dessa perspectiva pode-se destacar cinco ideias fundamentais:

- a) O ensino baseado na resolução de problemas desempenha papel fundamental na construção de conceitos e do conhecimento;
- b) Mudança na visão e na atitude dos alunos e professores relacionando-os com o modo como os cientistas constroem a ciência;
- c) Proporcionar aos alunos, experimentar desafios, enfrentar dificuldades e resolver problemas;
- d) Auxiliar na produção do saber e saber-fazer;
- e) Desenvolvimento de diversas capacidades básicas como competências científicas, sociais, comunicação, etc. Outras capacidades mais complexas como pensamento criativo, tomada de decisões, e a própria resolução de problemas com capacidade de alto nível (LOPES, 1994, p. 12).

Nesse ponto de vista, consideramos relevante discutir alguns significados envolvidos na definição de problemas e exercícios uma vez que, as concepções que os professores apresentam sobre essa temática podem influenciar na sua forma de abordá-lo em sala de aula.

### 3.1 NOÇÃO SOBRE O TERMO EXERCÍCIO

Pode-se dizer que a realização de exercícios está relacionada a um conjunto de habilidades ou técnicas “sobreaprendidas”, ou seja, são transformações automatizadas de situações rotineiras com uma série de práticas contínuas, de maneira que os alunos se encontram limitados a técnicas já conhecidas, sem a apresentação de inovações, submetidos a ações do tipo repetitivas e fixantes. Diferentemente dos problemas, os exercícios fornecem no seu enunciado todas as informações explícitas para o processo de resolução, logo, os alunos são direcionados a uma sequência de informações e subsídios necessários para encontrar uma única solução. De certa forma, coloca-se em execução mecanismos já aprendidos ou realizados em outros momentos durante o processo de ensino e aprendizagem (LOPES, 1994; POZO, 1998). Logo, o exercício oferece informações suficientes e dicas em seu enunciado, o que permite uma resolução objetiva, sem a necessidade de proporcionar ao aluno alguma pesquisa sobre o tema, sem a utilização de um contexto ou de possíveis situações abordadas no cotidiano.

### 3.2 NOÇÃO SOBRE O TERMO PROBLEMA

A seguir relataremos algumas peculiaridades de problema expostos por Batinga (2010), Góí e Santos (2009), Pozo (1998) e Lopes (1994): a definição de um problema é complexa, levando em consideração a perspectiva do contexto teórico ao qual está envolto. Segundo Pozo (1998), problema é uma situação apresentada ao estudante que a princípio ele não dispõe de meios imediatos para resolver. O caminho escolhido para resolução do problema geralmente é pensado estrategicamente pelo professor que inserirá obstáculos no enunciado considerando o nível cognitivo dos estudantes. Os dados necessários à resolução não são explícitos no enunciado do problema, ele precisa apresentar um contexto e conter obstáculos à sua resolução. Uma vez transpostos os obstáculos pelos estudantes espera-se que eles tenham adquirido conhecimento.

De acordo com Lopes (1994), para os alunos, problema é definido como uma situação baseada em dados explícitos, e, para solucioná-lo, deve-se aplicar necessariamente cálculos e

fórmulas. Isto é, para os alunos, os dados devem estar descritos no enunciado, caso isto não ocorra, é impraticável solucioná-lo. Logo, percebe-se que o entendimento de problema, para o aluno, está restrito a ideia de exercício, ou seja, problema seria questão que para resolução necessita apenas do uso dos dados explícitos em fórmulas já estabelecidas.

Em linhas gerais, a ponderação de problema necessita, na maioria das vezes, de características particulares dos sujeitos solucionadores, como por exemplo, de seus conhecimentos prévios, sondagem e utilização do meio. Desta maneira, relaciona-se a temática envolta no problema com o sujeito que a enfrenta. Logo, pode ser evidenciado distintos comportamentos cognitivos nos alunos, pois é possível que uma mesma situação represente um problema para um aluno, enquanto que para outro este problema não exista.

Desse modo, o professor desempenha um papel fundamental na introdução do conceito de problema em sala de aula, pois se necessita compreender as necessidades apresentadas pelos alunos e associá-los a contextos de sua compreensão, por exemplo: auxiliando os alunos na articulação de uma manchete de jornal como um problema envolvendo descarte correto do lixo, ou a respeito de estratégias alinhadas à preservação ambiental, ou compreensão das informações contidas nos rótulos de produtos de limpeza para inserir o conteúdo de soluções químicas, e outros (BATINGA, 2010).

Passada a apresentação das compreensões a respeito da definição de Problema, o tópico a seguir apresentará as caracterizações de Problema, pautando-se em uma literatura consolidada acerca desta temática.

### 3.3 TIPOLOGIAS DE PROBLEMAS

Encontram-se várias especificações para as possíveis estruturas e formulações dos problemas, que variam em relação a sua área de aplicabilidade e processos necessários para solucioná-los (POZO, 1998).

De acordo com a literatura os problemas podem ser caracterizados de maneiras distintas. A seguir exibiremos algumas tipologias segundo Lopes (1994) e Pozo (1998). Em seguida descreveremos o significado de cada uma das seguintes tipologias com o objetivo de ressaltar que um possível problema pode se enquadrar em mais de uma classificação. Relacionando as classificações para os problemas definidas por Lopes (1994) e Pozo (1998), julgamos que a classificação definida por Lopes (1994) pode ser reorganizada como uma subclassificação dos problemas escolares de acordo com Pozo (1998).

Conforme Lopes (1994) os problemas podem ser classificados como: formal; informal; curricular; orientado; apropriado; dado e real.

- Problema formal e informal

Um problema formal é previamente pensando e quase sempre é elaborado com a formulação desejada que se pretenda obter. Em contrapartida, o problema informal é caracterizado por ter a sua formulação de forma não escrita. Elaborado muitas vezes de maneira pouco clara, tendo seu surgimento de contextos de discussão e/ou de problematização. Logo, problema informal pode sofrer ajuste e ser transformado em um problema formal (LOPES, 1994).

- Problema curricular

Um problema curricular caracteriza-se por sua resolução, pois só pode ser resolvido recorrendo aos conteúdos que estão ou já foram abordados no ambiente escolar. Normalmente são resolvidos na escola e /ou nas tarefas escolares (LOPES, 1994).

- Problema orientado

Um problema orientado caracteriza-se pela estruturação das questões, de maneira de que não há nenhuma ajuda durante a resolução, não sugere nenhuma abordagem, quanto à formulação se ausente de qualquer tipo de sugestão (LOPES, 1994).

Contudo, para se resolver um problema do tipo orientado, dá-se ênfase ao conhecimento químico, aluno e professor, enquanto que, para um problema do tipo curricular, nota-se a relação entre conhecimento químico e o aluno (BATISTA, 2010).

- Problema apropriado e dado

Um problema apropriado caracteriza-se pela participação do aluno na origem do problema e de que maneira ele é abordado. Diferentemente do problema apropriado, um problema dado caracteriza-se quando é apresentado pelo professor aos alunos, sem que eles tenham colaborado durante o processo de elaboração (LOPES, 1994).

- Problema real

Os problemas reais, são caracterizados por estarem associados às necessidades da sociedade nos mais variados domínios. Ou seja, seu processo de resolução deve relacionar o contexto escolar, articulando conhecimentos em distintos domínios de aplicação (LOPES, 1994).

No que diz respeito às concepções de Pozo (1998), classifica-se os problemas como: científico, cotidianos e escolares. Segundo o autor, os problemas do tipo escolares podem ser subclassificados como do tipo: (i) qualitativo; (ii) quantitativo; e (iii) pequenas pesquisas.

- Problema Científico

São aqueles que estão associados aos conteúdos científicos, com o objetivo de entender o “como” resolver um potencial problema. Está vinculado à necessidade de compreender questionamentos e teorias científicas relacionadas à interpretação da realidade que nos rodeia (POZO, 1998). São problemas originados de uma série de pesquisas e teorias, desenvolvidas pela comunidade científica. Pode-se citar como exemplo a natureza da matéria (BATINGA, 2010). Uma possível associação para comparar as fases do método científico e das possíveis soluções de um problema é apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 - Comparação entre as fases do método científico e da solução de um problema

<b>Fases do método científico</b>	<b>Fases da solução de um problema</b>
Observação e proposição do problema.	Compreensão do problema.
Formulação de hipóteses.	Concepção de um plano
Planejamento e execução das experiências.	Execução do plano
Confronto de hipóteses	Análise da solução obtida

Fonte: POZO (1998).

- Problema Cotidiano

Caracteriza-se pela vivência com situações do dia-a-dia, podendo ser assumidos pelo sujeito como “seus problemas”, e, conseqüentemente, serão direcionados pela motivação e as necessidades de resolvê-los, cuja finalidade é obter a solução, logo, não há a preocupação pela

explicação científica com os fatos que originaram esses problemas, apenas com a solução o sujeito sente-se satisfeito. Pode-se citar como exemplo o movimento de um projétil, ou então, o encostamento de uma bola numa cesta de basquete.

- Problema escolar

De acordo com Batinga (2010, *apud* POZO; CRESPO, 1998, p. 78), os problemas escolares são caracterizados por apresentarem articulação entre os problemas científicos e os cotidianos. Ou melhor,

Seu objetivo seria o de gerar nos alunos conceitos, procedimentos e atitudes próprias da ciência que servissem não somente para abordar os problemas escolares, mas também para compreender e responder melhor às perguntas que possam ser propostas a respeito do funcionamento cotidiano da natureza e da tecnologia (POZO; CRESPO, 1998, p. 78).

Vale acentuar que os problemas escolares não são uma forma de aproximação imposta à pesquisa científica, e sim como uma maneira de ajudar os estudantes a adquirir habilidades de formular estratégias de resolução de problemas mais próximos aos da ciência, assim como a diferenciar os contextos que estão inseridos numa abordagem cotidiana (POZO, 1998).

(i) Qualitativo

O problema escolar qualitativo é caracterizado pelo envolvimento de raciocínios teóricos, ou seja, o aluno precisa resolver, utilizando o conhecimento teórico pré-existente, sem haver necessidade de utilizar cálculos numéricos e atividades práticas, como experiências ou manipulação experimentais. No Quadro 2, verifica-se cinco exemplos de potenciais problemas escolares do tipo qualitativo.

Quadro 2 - Exemplo de um potencial problema escolar qualitativo em química

1. Por que os alimentos se degradam mais rápido em temperaturas mais elevadas?
2. O que acontece com o leite quando adicionamos gotas de limão?
3. Como ocorre o processo de formação da ferrugem?
4. Por que em certos casos os médicos prescrevem dosagens diferentes de uma mesma medicação para pacientes que apresentam um diagnóstico semelhante?
5. Explique quimicamente por que quando colocamos um copo sobre uma vela que está acesa em um prato ela se apaga?

Fonte: BATINGA (2010, p. 43).

## (ii) Quantitativo

Os problemas quantitativos são aqueles que para serem resolvidos se fundamentam na aplicação de cálculo numéricos, grandezas químicas, e possíveis comparação de dados com a utilização de fórmulas e equações. Desta forma, relacionam-se fundamentalmente com cálculos numéricos, em que são manuseados a fim de solucionar o problema com respostas que podem ou não ser numérica. O Quadro 3, apresenta dois exemplos de potenciais problemas escolar quantitativo.

Quadro 3 - Exemplo de um potencial problema escolar quantitativo em química

1. Durante o estudo da estequiometria a professora de Química propôs a turma o seguinte problema: Como vocês determinariam a quantidade, em toneladas, do sal sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) que reage com a água bruta captada por uma Estação de Tratamento de Água (ETA)? Para direcionar os alunos na resolução deste problema a professora os levou para visitar uma ETA. Na chegada à estação a turma foi recebida por um técnico em Química que os levou para conhecer todas as etapas do Tratamento da Água (TA) destinada ao consumo humano. Durante o percurso o técnico explicou sobre os processos químicos e físicos que ocorrem no TA, bem como respondeu a perguntas e esclareceu dúvidas dos alunos sobre o TA.
2. Durante uma reunião de grupo para estudar química você e seus colegas resolveram dar uma pausa para tomar um cafezinho na cantina da escola e encontraram com o professor de química. O professor observou que para adoçar seu cafezinho você adicionou 5g de sacarose que é conhecido como açúcar de mesa. Nesse momento, o professor fez a seguinte pergunta: De que forma você determinaria a quantidade de matéria contida nos 5g de açúcar?

Fonte: BATINGA (2010, p. 44).

De acordo com sua potencialidade esta tipologia de problema apresenta limitações. Como potencialidade, assume-se que os problemas quantitativos se baseiam em ferramentas indispensáveis para treinar habilidades direcionadas a aplicação de cálculos matemáticos, relacionando grandezas e algoritmos. Porém, quando o sujeito-resolvedor atinge um valor numérico, consideram o potencial problema como solucionado, mesmo sem tê-lo interpretado de acordo com o conhecimento científico (POZO, 1998).

## (iii) Pequenas Pesquisas

De acordo com Pozo (1998), chama-se de pequenas pesquisas aos trabalhos nos quais os estudantes devem obter soluções para um potencial problema, por um trabalho prático, que não necessariamente precisa ser em um laboratório escolar. Logo, o aluno é convidado a executar um processo de aprendizagem baseado em habilidades e estratégias, prático e/ou de

campo, que facilitará a compreensão dos conceitos teóricos articulados a fenômenos que ocorrem no cotidiano (BATINGA, 2010). O Quadro 4 apresenta exemplos de problemas do tipo pequenas pesquisas:

Quadro 4 - Exemplo de um potencial problema escolar do tipo pequena pesquisa em química

1. Estudo do efeito da luz e da escuridão na germinação de um feijão. Após fornecer ao aluno as instruções necessárias para plantar dois grãos de feijão e observar o seu crescimento (comprimento do talo), uma com luz e outra no escuro, pede-se que elabore os gráficos do comprimento do talo a medida que o tempo passa, e que os compare. Qual o efeito da luz no crescimento da planta? Por que você acredita que isso ocorre?
2. Um grupo de alunos recebe quatro blocos de madeira de tamanho e formas semelhantes, mas de densidades diferentes, um recipiente com água, uma balança de mola, uma régua e uma folha de atividades. Pede-se a eles que coloquem os blocos na água e que, entre outras, respondam as seguintes perguntas: todos os blocos flutuam da mesma forma? Em que se diferenciam? Há alguma constante entre as diferenças?

Fonte: POZO (1998, p. 83).

Uma das principais potencialidades deste tipo de problema está em vivenciar um método semelhante ao da construção da ciência. Ainda que esses problemas não apresentem o rigor de uma pesquisa científica de fato, permitem articular conteúdos teóricos e práticos, além de constituir um importante instrumento motivacional para o aprendizado dos alunos (BATINGA, 2010).

Ante ao exposto, podemos, então, explicitar que as principais diferenças entre exercícios e problemas são em termos de: (i) Contexto utilizado; (ii) Conhecimento da existência de uma solução e tipo de solução; (iii) Objetivos educacionais que se pretende atingir; (iv) Tipo e quantidade de informações fornecidas; e (iv) Processo de resolução.

Considerando a apresentação relativa à distinção entre exercícios e problema, e também as tipologias deste, o tópico seguinte apresentará algumas das possíveis estratégias que podem ser adotadas para a transformação de um exercício em um potencial problema.

### 3.4 COMO TRANSFORMAR EXERCÍCIOS EM PROBLEMAS?

Segundo Lopes (1994), para uma possível transformação de exercícios em potenciais problemas é necessário seguir um conjunto de diretrizes. Primeiramente, deve-se escolher um objetivo para formular um problema a partir de exercícios coexistentes. Sinalizar a questão por um recurso didático como o livro didático e hipermídias e organizar-se para execuções de ações contínuas em busca da melhor resposta possível de acordo com o problema em questão.



O Quadro 5, apresenta algumas estratégias para transformação de exercícios em potenciais problemas.

Quadro 5 - Estratégias para a transformar enunciados de exercícios em problemas

Aumentar o número de dados que são necessários para responder à (s) questão (ões) formulada (s);
Diminuir ou anular o número de dados explícitos que são necessários para responder à (s) questão (ões) formulada (s);
Retirar algumas ou todas as questões de orientação;
Acrescentar informações à situação química apresentada no enunciado, no sentido de torná-la mais complexa.

Fonte: LOPES (1994, p. 48).

Normalmente o exercício é centrado na mobilização de conteúdos de apenas uma disciplina, já o problema favorece o relacionamento a diversas áreas do conhecimento, propiciando que o aluno possa contextualizar mais de uma disciplina em um único problema. Do ponto de vista da elaboração de problemas, podem-se adaptar exercícios e transformá-los em problema, porém essa transformação requer a compressão do professor a respeito das distinções entre exercícios e problemas e de suas perspectivas conceituais e metodológicas. (POZO, 1998).

Para exemplificar, apresentamos no Quadro 6, um exemplo de como transformar exercício em potencial problema.

Quadro 6 - Exemplo de exercício possível de ser transformado em potencial problema

EXERCÍCIOS	PROBLEMAS
Um analgésico, em gotas, deve ser ministrado na quantidade de 3 mg por quilograma de peso corporal, não podendo exceder 200 mg por dose. Cada gota contém 5 mg de analgésico, quantas gotas deverão ser ministradas a um paciente de 80kg?	Após sentir fortes dores de cabeça, uma criança de 5 anos com 18 kg de massa corpórea fez o uso de ácido acetilsalicílico (AAS) infantil em comprimidos. Com o passar do tempo a criança começou a apresentar sintomas como diarreia, coceira, tosse e chiado no peito, sendo levada ao hospital. Após a triagem foi feita uma medicação injetável de antialérgico. Depois de certo tempo, ao se alimentar, no hospital, com uma papa de maisena,

(continuação)

EXERCÍCIOS	PROBLEMAS
	a criança voltou a apresentar os mesmos sintomas alérgicos com maior intensidade. Com base no conhecimento da química, o que pode ter acontecido para a criança ter apresentado estes sintomas após a ingestão de um comprimido de AAS e uma papa de maisena? Cite medidas

Fonte: COSTA (2018, p. 43).

Segundo as características descritas por Lopes (1994), o exercício do Quadro 6 objetiva a operacionalização e memorização do conteúdo de Soluções Química, por apresentar em seu enunciado todos os dados na quantidade certa para sua resolução (*[...] de 3 mg por quilograma, 200 mg por dose, cada gota contém 5 mg de analgésico, paciente de 80kg*), nesse sentido, não é necessário que os estudantes realizem nenhum tipo de pesquisa e busca de informações, as quais podem ser extraídas além do que está colocado no enunciado da questão. A partir dos dados fornecidos no enunciado do exercício, é possível que os estudantes utilizem fórmulas e algoritmos para a sua resolução de forma mecânica, sendo suas respostas direcionadas para apenas uma solução correta.

De acordo com as orientações de Lopes (1994), buscou-se uma adaptação com características próprias, eliminando alguns dados, e inserindo um contexto (*Após sentir fortes dores de cabeça, uma criança de 5 anos com 18 kg de massa corpórea fez o uso de ácido acetilsalicílico AAS infantil em comprimidos. Com o passar do tempo a criança começou a apresentar sintomas como diarreia, coceira, tosse e chiado no peito*), com um processo de abordagem diferenciada, em que o aluno terá que analisar os compostos envolvidos na questão com um olhar crítico, buscando as composições químicas de ambas as substâncias, inibindo a resolução imediata do problema, a resposta pode tomar rumos diferentes, de acordo com as condições escolhidas para as possíveis resoluções.

Para solucionar este problema o aluno deve reconhecer o enunciado como um problema, após analisar a situação proposta o aluno deverá perceber que os sintomas da criança se agravaram à medida que ingeriu o comprimido e a papa, logo, existe alguma substância em comum ao remédio e à maisena, por isso houve o desencadeamento de um quadro alérgico no organismo da criança. Em seguida, para confirmar sua hipótese, o estudante deverá olhar a composição do comprimido de AAS e da maisena, a partir da bula e da tabela nutricional, respectivamente. Ao encontrar a substância em comum, deverá verificar

a concentração e chegará à seguinte conclusão: a substância que desencadeou os sintomas de intoxicação foi o amido de milho, que é usado como base em determinados comprimidos e principal componente da maizena. Como a papa apresenta uma concentração maior de amido, os sintomas foram agravados consideravelmente. Para evitar esses sintomas desagradáveis, os responsáveis pela criança precisam observar a composição dos alimentos, mantendo assim, uma dieta alimentar sem amido, além de avisar e requerer dos médicos que ministrem medicamentos a base de celulose ou injetáveis (COSTA, 2018).

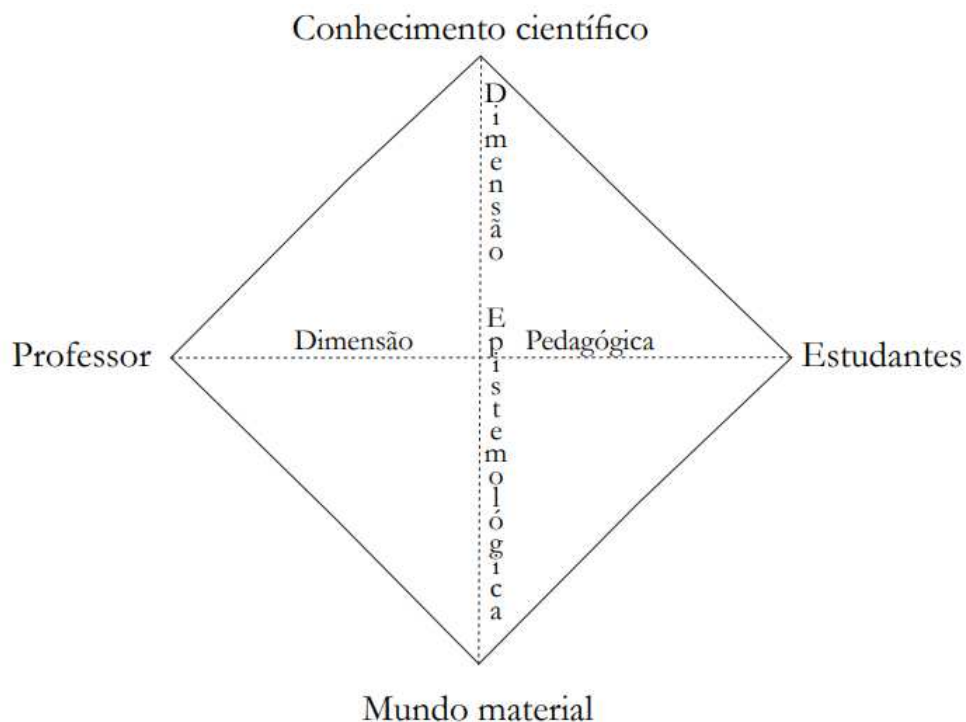
De acordo com as estratégias utilizadas no processo de resolução deste potencial problema, julgamos que consiste em um problema escolar do tipo pequenas pesquisas, tendo em vista que será executada uma breve pesquisa para a resolução do problema proposto, em que o aluno é convidado a executar um trabalho prático de campo, promovendo a compreensão dos conceitos teóricos articulados a acontecimentos que ocorrem no cotidiano (BATINGA, 2010; POZO; CRESPO, 1998).

Isto posto, pretendendo respaldar a escolha dos recursos didáticos a ser estrategicamente utilizados pelo professor para sua atuação como mediador do processo de condução dos alunos na busca pela construção dos conceitos relativos à Galvanoplastia, o capítulo a seguir contempla os fundamentos teóricos necessários para concepção e utilização de uma sequência de ensino e aprendizagem.

## CAPÍTULO 4: SEQUÊNCIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Para Méheut e Psillos (2004), as sequências de ensino e aprendizagem, denominadas “*Teaching-Learning-Sequences*” (TLS), podem ser consideradas um conjunto de atividades com enfoque instrucional inspirado na pesquisa que tem o objetivo de contribuir para a compreensão do conhecimento científico pelos alunos (apud AMARAL; FERREIRA, 2017). Desde esse momento, pesquisadores elaboram sequências estruturadas para análise de resultados. Algumas abordagens podem ser praticadas no planejamento de TLS e, para defini-las, conforme a Figura 10, um modelo com quatro componentes essenciais pode ser levado em consideração: professor, aluno, mundo material, conhecimento científico.

Figura 10 - Relações epistêmicas e pedagógicas das sequências de ensino e aprendizagem



Fonte: adaptado de Méheut e Psillos (2005).

De acordo com a Figura 10, podem ser evidenciadas duas dimensões quando uma TLS é sugerida: a dimensão pedagógica e a dimensão epistêmica. Na primeira perspectiva, são elaborados aspectos relativos ao papel do professor, interações professor-aluno e aluno-aluno. Na segunda dimensão, são considerados os processos de elaboração, método, e validação do conhecimento científico correlacionados com o mundo real. Por isso, conforme indicado por

Silva e Wartha (2018), abordagens tradicionais da pesquisa na proposição de TLS podem ser evidenciadas: uma em que uma maior atenção é destinada as relações entre conhecimento científico adquirido e a gênese histórica proveniente desse conhecimento (abordagem epistêmica, eixo: conhecimento científico – mundo material). E outra em que fica caracterizada a relação dos alunos com o mundo real com base nas concepções informais e das suas formas de elaboração conceitual (abordagem do conflito cognitivo, eixo: mundo material - estudantes).

De acordo com Méheut (2005), para se validar uma TLS dois pontos de vistas podem ser levados em consideração: externo ou comparativo e interno. A validação comparativa é executada de uma forma generalizada pela utilização de pré-testes e pós-testes com o objetivo de avaliar os efeitos de uma TLS em comparação ao ensino tradicional. Uma segunda maneira de validação seria a interna. Nesta situação, a proposta é examinar os resultados a partir das metas propostas, que pode ser de observação dos métodos de aprendizagem relacionadas às situações propostas.

O final do século XX definiu-se como o período de mudanças e transformações. Com o surgimento da era tecnológica, a sociedade passou a introduzir e adaptar-se cada vez mais a ferramentas virtuais, o que se caracterizou como revolução da informação. Contudo, esse método de modificação afeta diretamente aos discentes e profissionais envolvidos em todas as áreas de conhecimento, e, conseqüentemente, impõe que o atual modelo educacional seja repensado, para contemplar tanto aos profissionais como as escolas que contribuem com o papel de disseminar a coletividade (BEHRENS, 2009).

No Brasil, o principal meio de educação pública está veiculado ao modelo de ensino tradicional, caracterizado por apresentar os conteúdos de modo a serem independentes entre si. Esse padrão protótipo conhecido como Newtoniano-Cartesiano, desencadeou forte influência no ensino das primeiras universidades, caracterizado por não articular os conhecimentos científicos com os fenômenos vivenciados em nosso cotidiano. Com o propósito de introduzir novas estratégias de ensino, que buscam minimizar essa dependência, aplicam-se novas técnicas, uma delas é o trabalho com as sequências de ensino e aprendizagem (MOURATO; SIMÕES NETO, 2015). Ou melhor:

A preocupação centra-se na proposição de uma prática pedagógica inovadora, que utilize a tecnologia como instrumental para tornar os alunos críticos, reflexivos e investigadores contínuos em suas áreas de atuação. Torna-se importante à reflexão do professor que o simples uso da tecnologia não caracteriza uma prática inovadora (BEHRENS, 2009, p. 385).

Segundo Meheut (2005, *apud* MOURATO; SIMÕES NETO, 2015) uma sequência de ensino e aprendizagem é um agrupamento de procedimentos que se correlacionam entre si em busca de formação de conhecimentos. De maneira geral, as sequências de ensino e aprendizagem são planejadas e organizadas para a execução de trabalhos com conteúdos específicos, em busca de melhor compreensão da avaliação, concepção e forma de raciocínio dos alunos.

Ainda de acordo com Zabala (1998) tais sequências são

[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos [...] (ZABALA, 1998, p. 18).

De acordo com Mantovani (2005), a contribuição das sequências de ensino de aprendizagem está diretamente associada à consolidação de conhecimentos em sua fase de composição, contribuindo para o progresso de novas organizações, seja a nível modular ou a partir dos conhecimentos prévios que os alunos já desenvolvem sobre determinada temática. Durante a preparação de uma sequência de ensino e aprendizagem, o docente poderá inserir diversas atividades, como leituras, pesquisas individuais ou coletivas, aula expositiva dialogada, aulas experimentais, etc., que possam contribuir para a construção do conhecimento, pois, a sequência de ensino e aprendizagem direciona o trabalho com assuntos específicos, um tema ou gênero textual da exploração inicial, até a formação de uma idealização de um conceito.

Com base em todas as definições já descritas acerca de sequências didáticas pode-se considerar que seu principal enfoque é na melhoria de processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, por meio de um modelo que se destaque ao dar ênfase no uso de pesquisas e teorias científicas (SILVA, 2018). Uma ideia muito pertinente defendida por Zabala (1998) de que o reconhecimento das etapas, exercícios e relações dispostas em uma sequência de ensino e aprendizagem necessitam estar submetidas à compreensão do seu valor educacional, assim como o aprimoramento de atividades inseridas na sua execução, logo, é indispensável a programação da sequência de ensino e aprendizagem, para possíveis identificações de falhas e opções de melhoria e aperfeiçoamento.

De acordo com Barbosa (2011), uma sequência de ensino e aprendizagem reúne um conjunto de atividades expansivas e labirínticas, nas quais os alunos ainda não possuem a habilidade de produzir atividades sem o auxílio do professor. Uma sequência de ensino e aprendizagem pode ser constituída por várias etapas, utilizar diversas ferramentas de ensino, descrever apenas um conteúdo ou vários conteúdos de um tema. Por exemplo, como o tema

de corrosão de metais pode ser apresentado aos alunos como um só conteúdo objetivado, ou pode ser parte do tema corrosão: o uso de metais de sacrifício. Portanto, é importante determinar o objetivo da sequência de ensino e aprendizagem e os conhecimentos prévios dos estudantes.

Em face do exposto, será possível verificar no capítulo a seguir o percurso metodológico desenvolvido para responder à questão de pesquisa do presente estudo, objetivando que os sujeitos participantes adquiram conhecimentos a respeito da Galvanoplastia a partir da Resolução de Problemas, orientados por uma sequência de ensino e aprendizagem.

## CAPÍTULO 5: METODOLOGIA

---

O percurso metodológico foi elaborado no sentido de construir um direcionamento que permita solucionar a seguinte questão de pesquisa: Como a resolução de um Problema, norteada pela aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem, pode contribuir na construção de conceitos sobre galvanoplastia?

E deslindar as questões objetivas de pesquisa propostas a seguir:

1. Avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a temática galvanoplastia;
2. Analisar as respostas dos estudantes após a vivência de uma intervenção didática para identificar se a resolução do problema contribui para a aprendizagem dos conceitos de Galvanoplastia.

Durante o prosseguimento da pesquisa, busca-se uma concepção aprofundada dos dados examinados, originando-se da descrição e interpretação de suas características, logo, de acordo com a abordagem evidenciada, trata-se de uma pesquisa de caráter qualitativo (MERRIAM, 1998). Neste caso, depara-se com a interpretação dos fatos pesquisados de forma linear. Minayo (2001) descreve que a pesquisa qualitativa agrega um universo particular de significados, atitudes, crenças, valores e motivos tornando-as complexas e inviáveis a serem quantificadas.

Conforme Bogdan e Biklen (2003), em uma pesquisa qualitativa, os dados a serem interpretados pelo pesquisador são predominantemente descritivos e adquiridos a partir de relações diretas entre o investigador e o contexto explorado, priorizando a compreensão das perspectivas que emergem respondentes.

Ainda sobre a análise de dados em uma pesquisa qualitativa, Oliveira (2011) descreve que, naturalmente, a apreciação dos dados ocorre de maneira indutiva, e acrescenta que os pesquisadores não estão focados em evidenciar hipóteses previamente definidas, mas sim, têm interesse na significação de um fenômeno em seu contexto de origem.

Para Triviños (1987), a pesquisa qualitativa precisa possuir como princípio a busca por:

[...] uma espécie de representatividade do grupo maior dos sujeitos que participarão no estudo. Porém, não é, em geral, a preocupação dela a quantificação da amostragem. E, ao invés da aleatoriedade, decide intencionalmente, considerando uma série de condições: sujeitos que sejam essenciais, segundo o ponto de vista do investigador, para o esclarecimento do assunto em foco; facilidade para se encontrar com as pessoas; tempo do indivíduo para as entrevistas, etc. (TRIVIÑOS, 1987, p. 132).



Desta forma, a pesquisa qualitativa revela seus resultados a partir de dados descritivos, conquistados pelo contato direto do investigador com a realidade estudada, dando mais importância ao processo do que o produto e se objetiva em evidenciar o ponto de vista dos participantes.

## 5.1 CONTEXTO DA PESQUISA

O presente estudo tem a sua origem reconhecida a partir da necessidade do cumprimento de um dos pré-requisitos para a obtenção do grau de mestre no programa de mestrado profissional em química em rede nacional (PROFQUI), executar um projeto de dissertação com tema direcionado às práticas pedagógicas para o Ensino Médio (PROFQUI, 2019). Tal projeto de dissertação precisa necessariamente culminar com o desenvolvimento de um produto educacional relevante que contribua para o efetivo ensino e aprendizagem de química no Ensino Médio do país (GONÇALVES *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, a temática do ensino de galvanoplastia foi escolhida por representar um conteúdo de pouca exploração tanto nos livros didáticos do Ensino Médio quanto nas publicações da revista Química Nova na Escola, o que será evidenciado no levantamento feito nas edições já publicadas do referido periódico.

De acordo com Barreto *et al.* (2017), o conteúdo de eletroquímica é considerado como uma barreira na aprendizagem de Química na educação básica, pois é uma temática que requer o entendimento da participação de partículas a nível atômico, além de representar um conteúdo que desafia os professores a estabelecerem relações com o mundo macroscópico dos alunos.

Segundo Sanjuan (2009) e Caramel e Pacca (2011), alguns professores não abordam a galvanoplastia nas unidades letivas em várias escolas, e muitos dos quais abordam fazem uso de práticas ineficientes, resultando na deficiente aprendizagem dos alunos acerca desse assunto. Dessa maneira, julgou-se pertinente explorar tal conteúdo no presente trabalho para que ele possa contribuir com progresso do ensino e aprendizagem da temática galvanoplastia no Ensino Médio.

Para que esta contribuição fosse ser desenvolvida, optou-se por utilizar uma ferramenta presente nas Orientações Curriculares Nacionais (OCNEM), a Resolução de Problemas (RP), pois é preconizado que uma das finalidades do ensino de química é desenvolver estratégias centradas na RP com o propósito de articular o conhecimento químico

à realidade natural, social e cultural; e como forma de aproximar os alunos de atividades de investigação científica no contexto escolar (BRASIL, 2002; 2006).

Por conseguinte, o produto educacional desenvolvido neste estudo irá compor o acervo do *website* Resolução de Problemas no Ensino de Química (RPEQ), acessível em [www.rpeq.ufrpe.br](http://www.rpeq.ufrpe.br), que durante o desenvolvimento deste trabalho, não possuía nenhuma proposta envolvendo eletroquímica. Tal *website* corresponde a uma maneira de propagar as pesquisas sobre a temática de resolução de problemas no ensino de química à comunidade científica e também como instrumento a ser utilizado por professores que tenham o interesse de organizar práticas pedagógicas baseadas no ensino por resolução de problemas (FREITAS, 2017).

## 5.2 SUJEITOS DA PESQUISA

Os sujeitos da pesquisa foram 34 (trinta e quatro) alunos do segundo ano do Ensino Médio da Escola Estadual Frei Caneca, localizada no município de Camaragibe, na Região Metropolitana do Recife. A escolha por esta escola ocorreu devido aos seguintes motivos: (i) por oferecer aulas aos alunos em apenas um turno, disponibilizando o contra turno para que as atividades desta pesquisa fossem realizadas; (ii) pela facilidade de acesso e (iii) acolhimento da equipe gestora da instituição ao pedido de desenvolvimento deste estudo. Para formalizar a permissão para realização de algumas etapas desta pesquisa, foi entregue uma Carta de Apresentação ao gestor da instituição (Apêndice A).

A escolha por estudantes do segundo ano do Ensino Médio se deu por considerar que alunos, nesta fase, já vivenciaram na série anterior os tópicos envolvendo estrutura atômica, tabela periódica, número de oxidação e reações químicas, conteúdos considerados pré-requisitos para a inicialização no estudo em galvanoplastia. Nos dias que antecederam a realização da intervenção didática, foi realizada uma visita à escola supracitada para que houvesse um primeiro contato com os estudantes com o intuito de explicá-los a finalidade da pesquisa, lançar o convite de participação e agendar os dias e horários dos encontros.

Pretendendo lograr êxito frente aos objetivos deste estudo, foram adotados os procedimentos metodológicos apresentados a seguir.

### 5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa foram organizados em cinco etapas: 1) levantamento bibliográfico; 2) elaboração de um Problema; 3) preparação de uma sequência de ensino e aprendizagem baseada na resolução do problema; 4) aplicação da sequência de ensino e aprendizagem em uma escola, com alunos do 2º ano do ensino médio; 5) análise das respostas obtidas, de modo similar ao realizado por Silva (2013) e Ferreira *et al.* (2016), buscando perceber os três níveis do conhecimento químico, indicados por Mortimer *et al.* (2000), baseado em Johnstone (1982).

#### 5.3.1 Levantamento das publicações sobre ensino de eletroquímica na QNEsc

A Revista Química Nova na Escola (QNEsc) foi criada no ano de 1994 pela Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química (DE/SBQ) e teve o seu primeiro volume publicado no mês de maio de 1995. Os escritos divulgados no periódico são produzidos por professores e pesquisadores da área de educação química e desta maneira viabilizam materiais pertinentes à melhoria das práticas pedagógicas de vários professores (RAMOS, 2015).

Este periódico foi escolhido para o levantamento bibliográfico inerente ao desenvolvimento do presente estudo por representar uma importante fonte de atualização e comunicação das práticas de ensino e pesquisa da educação química. Tal argumentação se justifica diante do que foi relatado por Amaral (2015), ao declarar que a QNEsc representa na atualidade um dos recursos mais valiosos para o debate sobre a educação química no Brasil, e complementa sobre a importância deste periódico ao afirmar: “*São numerosas e significativas as referências feitas a artigos da revista em trabalhos e fóruns sobre formação de professores de química, ensino e aprendizagem em química, inovações e tecnologias no ensino de química, entre outros.*”

Após consulta ao *website* da QNEsc, verificou-se que entre os anos de 1995 e maio de 2019 já foram publicados 771 artigos, ao longo dos 41 volumes e 74 edições. Dentre os artigos publicados nos 25 anos da QNEsc buscou-se inserir na Tabela 5 aqueles que, de alguma forma, apresentam aproximação com o ensino de eletroquímica. Os títulos, autores e anos das publicações podem ser verificados na referida tabela. Para fins de organização nos comentários que se seguem, optou-se por nomear os artigos de A1 a A24 seguindo a ordem decrescente do ano de publicação.

Tabela 6 - Publicações na Revista Química Nova na Escola que abordam o ensino de eletroquímica

Artigo	Título	Autor(es)	Ano
A1	Aprendizagem Ativo-Colaborativo-Interativa: Inter-Relações e Experimentação Investigativa no Ensino de Eletroquímica	Tâmara N. P. Santos, Carlos H. Batista, Ana P. C. de Oliveira e Maria C. P. Cruz	2018
A2	Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos	Barbara S. J. Barreto, Carlos H. Batista e Maria Clara P. Cruz	2017
A3	Conexões entre Cinética Química e Eletroquímica: A Experimentação na Perspectiva de Uma Aprendizagem Significativa	Roberta Maria da Silva, Renato César da Silva, Mayara Gabriela Oliveira de Almeida e Kátia Aparecida da Silva Aquino	2016
A4	Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro.	Daltamir Justino Maia, Nádia Segre, Andreza Costa Scatigno e Mercia Breda Stella	2015
A5	Limpendo Moedas de Cobre: Um Laboratório Químico na Cozinha de Casa	Dalva L. A. Faria, Nathália D. Bernardino, Sandra R. M. Setubal, Vera Novais e Vera R. L. Constantino	2015
A6	História da Ciência nos Livros Didáticos de Química: Eletroquímica como Objeto de Investigação	Ângelo Francklin Pitanga, Heraldo Bispo dos Santos, Josevânia Teixeira Guedes, Wendel Menezes Ferreira e Lenalda Dias dos Santos	2014
A7	A Gota Salina de Evans: Um Experimento Investigativo, Construtivo e Interdisciplinar	Larissa Aparecida Corrêa Matos, Neide Hiroko Takata e Everson do Prado Banczek	2013
A8	Uma proposta alternativa para o ensino de eletroquímica sobre a reatividade de metais	Vanessa Hafemann Fragal, Silvia Mara Maeda, Elisangela Pacheco da Palma, Maria Bernadete Pimenta Buzatto, Maria Aparecida Rodrigues, Expedito Leite Silva	2011
A9	Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica	Maria Eugênia Cavalcante Sanjuan, Cláudia Viana dos Santos, Juliana de Oliveira Maia, Aparecida Fátima Andrade da Silva e Edson José Wartha	2009
A10	Um Modelo para o Estudo do Fenômeno de Deposição Metálica e Conceitos Afins	Wilmo E. Francisco Junior, Luiz Henrique Ferreira e Dácio Rodney Hartwig	2009
A11	A Maresia no Ensino de Química	Edson J. Wartha, Márcio de Souza Reis, Marcelo Pimentel da Silveira, Neurivaldo José Guzzi Filho e Raildo Mota de Jesus	2007
A12	Corrosão de Metais por Produtos de Limpeza	Elizabeth Teixeira de Souza, Cristiane Aragão de Souza, Fernando Benedicto Mainier, Pedro Ivo Canesso Guimarães e Fábio Merçon	2007
A13	A Corrosão na Abordagem da Cinética Química	Thiago Santangelo Costa, Danielle Lanchares Ornelas, Pedro Ivo Canesso Guimarães e Fábio Merçon	2005
A14	Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico	Fábio Merçon, Pedro Ivo Canesso Guimarães e Fernando Benedito Mainier	2004
A15	Oxidação de Metais	Maria Helena Cunha Palma e Vera Aparecida de Oliveira Tiera	2003
A16	Potencial de Eletrodo: uma Medida Arbitrária e Relativa	José Carlos Marconato e Edério Dino Bidóia	2003
A17	Saneamento ambiental por métodos	Jorge G. Ibanez	2002

(continua)

Artigo	Título	Autor(es)	Ano
	eletroquímicos: I - Tratamento de Soluções Aquosas		
A18	Eletricidade e a Química	Maria da Conceição Marinho Oki	2000
A19	Pilhas de Cu / Mg construídas com materiais de fácil obtenção	Noboru Hioka, Ourides Santin Filho, Aparecido Junior de Menezes, Fernando Seiji Yonehara, Kleber Bergamaski e Robson Valentim Pereira	2000
A20	O Bicentenário da invenção da pilha elétrica	Mario Tolentino e Romeu C. Rocha-Filho	2000
A21	Pilhas e Baterias: funcionamento e impacto ambiental	Nerilso Bocchi, Luiz Carlos Ferracin e Sonia Regina Biaggio	2000
A22	Polímeros condutores	Roselena Faez, Cristiane Reis, Patrícia Scandiucci de Freitas, Oscar K. Kosima, Giacomo Ruggeri e Marco-A. De Paoli	2000
A23	Pilhas modificadas empregadas no acendimento de lâmpadas	Noboru Hioka, Florângela Maionchi, Danil Agar Rocha Rubio, Patrícia Akemi Goto e Odair Pastor Ferreir	1998
A24	Potencial de Redução e Eletronegatividade: Obstáculo verbal	Alice Ribeiro Casimiro Lopes	1996

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme já mencionado, os artigos elencados na Tabela 5 possuem nas discussões das suas propostas alguma referência aos conceitos próprios do estudo da eletroquímica, tais como: potencial padrão de redução, potencial padrão do eletrodo, eletrodo padrão de hidrogênio, deposição eletrolítica, célula galvânica, célula eletrolítica, metal de sacrifício, corrosão eletroquímica, corrosão eletrolítica, galvanização, etc.

Contudo, dentre os artigos elencados na Tabela 5, exclusivamente o artigo A2 apresenta o relato de uma proposta pautada em experimentações para o ensino de eletroquímica com ênfase na Galvanoplastia, utilizando os termos deposição eletroquímica e eletrodeposição.

Com relação à periodicidade a quantidade média de publicações que fazem alusão à eletroquímica é um pouco menor que 1 por ano, como é possível verificar na Tabela 5, há anos em que a temática não apareceu em nenhuma das suas edições, tais como 1995/1997/1999/2001/2006/2008/2010/2012/2019 (até maio).

Ainda sobre a periodicidade, verifica-se que o ano 2000 é o que apresenta mais publicações alusivas à eletroquímica, cinco no total, os artigos A18, A19, A20, A21e A22. O motivo para tal feito é que o ano 2000 foi o ano de comemoração de 200 anos da criação da pilha elétrica de Alessandro Volta. Neste ano, 2000, o corpo editorial da QNEsc reuniu alguns artigos que versavam sobre o funcionamento e impacto ambiental de pilhas atuais, sugestões

de experimentos com pilhas de baixo custo e sobre os fatos que marcaram o contexto histórico do desenvolvimento da pilha elétrica de Alessandro Volta.

Ante ao exposto, e com base nos objetivos do presente estudo, torna-se pertinente enfatizar que nenhum dos artigos constantes da Tabela 5 apresenta uma proposta de abordagem do tema Galvanoplastia pautada na estratégia de ensino e aprendizagem por Resolução de Problemas.

Dessa maneira, configurou-se como necessária a realização do presente trabalho pela pretensão de contribuir com o desenvolvimento do ensino e aprendizagem de Galvanoplastia no Ensino Médio, fazendo uso de uma metodologia ativa indicada pelas Orientações Curriculares Nacionais, a resolução de problemas.

### 5.3.2 Elaboração do Problema

Segundo Pozo (1998), a definição clássica de problema está evidenciada em uma situação em que o indivíduo ou um grupo deseja resolver e para a qual não dispõe de um caminho rápido ou direto para solucioná-lo. Para uma questão ser considerada como um problema, precisa ser concebida como tal na medida em que não dispomos de procedimentos automáticos que nos permita solucioná-los. Um problema se difere de um exercício na medida em que os mecanismos de resolução não seguem determinado roteiro que nos levem, de forma imediata, a solução.

De acordo com Batinga (2010) e Lopes (1994), um problema dependerá de conhecimento, recursos e fontes que o sujeito-resolvedor possui, em busca por soluções. A partir da execução de estratégias e levantamento de hipóteses, os dados necessários à resolução não devem estar explícitos no enunciado do problema, isento de dicas de resolução no enunciado.

Sob esta perspectiva, elaboramos o problema descrito a seguir que será o ponto de partida para que os alunos se posicionem, evidenciando suas hipóteses quanto ao processo de resolução (momento de ativação das concepções prévias). O enunciado traz de forma contextualizada conceitos eletroquímicos associados à galvanoplastia, conforme o Quadro 6:

Quadro 7 – Problema

<b>Problema</b>
<p>Uma equipe de mecânicos de uma loja de manutenção de bicicletas realizou, na orla da praia de Boa Viagem, uma campanha de conscientização dos usuários deste meio de transporte sobre o momento adequado para troca das correntes de transmissão.</p> <p>Na ocasião, os mecânicos presentearam alguns ciclistas com a substituição gratuita das correntes de suas bicicletas, por correntes que serão utilizadas por mais tempo até a próxima troca. Nesse contexto, responda:</p> <p>Como explicar o desgaste químico percebido nas correntes? Descreva (com texto e desenhos) o possível procedimento eletroquímico que os fabricantes poderiam adotar para que os ciclistas possam utilizar as correntes por mais tempo.</p>

Fonte: A autoria própria (2019).

### 5.3.3 Elaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem

De acordo com as dimensões epistêmicas e pedagógicas, destacados por Méheut (2005), as abordagens pedagógicas realizadas no ambiente escolar devem estar associadas a temáticas vivenciadas no conhecimento científico. Por isso, planejou-se a elaboração da sequência de ensino e aprendizagem considerando os seus elementos básicos (professor, aluno, mundo real e o conhecimento científico). Na dimensão epistêmica, são determinadas as características do conhecimento a ser construído e, na pedagógica, a forma como o processo será conduzido a partir da interação entre o professor e os alunos.

Nesta ocasião, também se definiram os conteúdos científicos a serem trabalhados, quais as hipóteses a serem testadas, assim como as variáveis a serem empregadas durante o processo. Houve também a elaboração do material didático (contendo simuladores dos equipamentos que serão utilizados na composição de circuitos elétricos, e explanação do conteúdo teórico envolvido no conteúdo de eletroquímica com ênfase em galvanoplastia, e como eles atuam em situações do cotidiano), além da elaboração dos questionários que serão utilizados durante o processo.

O ponto seguir apresentará o caminho percorrido para a elaboração do questionário utilizado como instrumento de avaliação diagnóstica e o processo que norteou a interpretação das respostas obtidas.

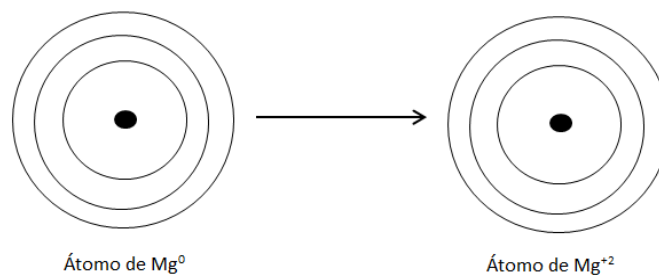
### 5.3.4 Elaboração e aplicação de uma avaliação diagnóstica

Pretendendo realizar uma avaliação diagnóstica acerca da temática eletroquímica, e sobre os conceitos correlatos à galvanoplastia, elaborou-se um questionário com o intuito de analisar os aspectos conceituais trazidos pelos alunos (Apêndice B). Tal questionário é constituído por cinco questões, sendo duas envolvendo os conceitos de número de oxidação e reações redox, duas a respeito da formação e combate a ferrugem e uma sobre galvanoplastia.

Na análise das respostas dos alunos ao questionário diagnóstico, enquadrou-se as respostas dadas a cada questão em uma das seguintes categorias: Resposta Satisfatória (RS), Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS), Resposta Insatisfatória (RI) e Nenhuma Resposta (NR) – de modo análogo ao utilizado por Lacerda (2008).

Dando continuidade, elaborou-se a primeira questão com o intuito de avaliar o domínio dos alunos acerca de uma semi-reação de oxidação em que há a formação de um cátion a partir do seu átomo neutro. Esta questão foi elaborada com inspirações na pesquisa desenvolvida por Klein (2016), propondo uma abordagem que estimula a utilização de um modelo atômico, por concordar que a construção significativa do conceito de número de oxidação e a compreensão das reações redox devem necessariamente emergir do entendimento a nível atômico.

**Primeira questão da avaliação diagnóstica:** *Observando a equação química dada por:  $Mg \rightarrow Mg^{+2} + 2e^-$  e levando em consideração que o número de elétrons no átomo neutro de magnésio é 12, utilize as imagens a seguir para representar a equação química observada.*



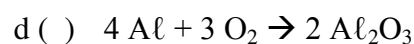
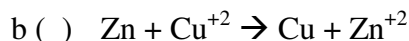
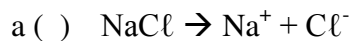
As respostas a esta primeira questão foram consideradas satisfatórias (RS) nos casos em que os estudantes distribuíram corretamente os doze elétrons nos três níveis de energia do modelo que representa o  $Mg^0$  (K= 2, L= 8 e M= 2); distribuíram corretamente os dez elétrons nas duas primeiras camadas do modelo que representa o  $Mg^{+2}$  (K= 2 e L= 8). Foram consideradas parcialmente satisfatórias (RPS) as respostas em que os estudantes distribuíram corretamente os elétrons em apenas um dos modelos indicados na questão. As respostas



compreendidas como insatisfatórias (RI) foram aquelas em que os estudantes representaram erroneamente a distribuição dos elétrons ao longo dos três níveis de energia do  $\text{Mg}^0$  e, conseqüentemente, para o íon  $\text{Mg}^{+2}$ , sobretudo quando a representação deste foi registrada com uma quantidade superior a 10 elétrons. As respostas foram consideradas como não respondidas (NR) quando os alunos não registraram nenhuma resposta.

A construção do segundo quesito do questionário diagnóstico teve por objetivo avaliar a desenvoltura dos alunos quanto à identificação das reações redox a partir de equações químicas. Para a resolução da presente questão os alunos precisariam mobilizar conhecimentos relacionados tanto ao número de oxidação quanto da obrigatoriedade simultânea de ocorrência de uma reação de oxidação e outra de redução.

**Segunda questão da avaliação diagnóstica:** *Considerando as reações químicas representadas abaixo, assinale (x) na (s) reação (ões) de oxidação-redução e justifique a(s) sua(s) escolha(s).*



Foram consideradas como satisfatórias (RS) as respostas em que os alunos assinalaram as letras “b” e “d” e apresentarem justificativas corretamente alinhadas a algum modelo conceitual de oxidação e redução, conforme descrito na Tabela 3 (página 38). As respostas foram enquadradas em parcialmente satisfatórias (RPS) quando os alunos assinalaram corretamente apenas uma das alternativas, “b” ou “d”, e justificaram de modo pertinente a partir de algum modelo conceitual presente na Tabela 3 (página 38). As respostas foram consideradas insatisfatórias (RI) quando houve apenas a marcação das alternativas, sem algum tipo de descrição do raciocínio que levou o aluno a assinalar a alternativa, ou quando a justificativa apresentada não estive de acordo com algum modelo conceitual verificado na Tabela 3. As respostas foram consideradas como não respondidas (NR) quando os alunos deixaram todas as marcações em branco.

No que diz respeito ao terceiro quesito do questionário diagnóstico, objetivou-se averiguar nos sujeitos participantes os seus conhecimentos acerca da ocorrência da ferrugem, tentando obter informações tanto a respeito das reações químicas inerentes ao processo de enferrujamento quanto das substâncias envolvidas nesse processo.

**Terceira questão da avaliação diagnóstica:** *Em nosso dia a dia encontramos facilmente diversos objetos enferrujados, a formação da ferrugem merece a nossa atenção por motivos de segurança, por razões econômicas e também estéticas. Dessa maneira, explique como ocorre a formação da ferrugem, indicando quais são as substâncias envolvidas neste processo.*

A análise das respostas dadas a esta questão considerou como respostas satisfatórias (RS), aquelas que se aproximaram do descrito por Merçon (2004) e Monassa (2015), quando os alunos associaram a produção da ferrugem a uma reação redox, envolvendo ferro - água - oxigênio, e a caracterizaram como óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Foram consideradas como parcialmente satisfatórias (RPS) as respostas em que os alunos explicaram que a formação da ferrugem ocorre a partir de uma reação redox e elencaram, de maneira parcial, as substâncias envolvidas no processo. As respostas insatisfatórias (RI) foram aquelas em que os alunos apontaram que a formação da ferrugem acontece devido ao envelhecimento ou má preservação de objetos ferrosos; ou quando afirmaram que se dar por ocorrência de reações químicas, mas não associaram às reações redox e não indicaram as substâncias envolvidas no processo. As respostas foram consideradas como não respondidas (NR) quando os alunos deixaram o campo de resposta em branco.

A concepção do quarto quesito do questionário diagnóstico aconteceu pelo interesse de levantar as possíveis estratégias conhecidas pelos alunos acerca da prevenção da ocorrência da ferrugem e também conhecer a quantidade de alunos que apontam a galvanoplastia como opção.

**Quarta questão da avaliação diagnóstica:** *Quais ações podem ser realizadas para evitar a formação da ferrugem?*

Foram consideradas como satisfatórias (RS) as respostas em que os alunos pontuaram a respeito da necessidade de evitar o contato entre os objetos ferrosos com o ar/oxigênio e a umidade; e complementaram com a sugestão de ao menos um procedimento operacional, tal como: pintura com zarcão, pintura com tinta, proteção com graxa, proteção com sabão de lítio, proteção com vaselina, proteção catódica e/ou anódica, galvanoplastia, galvanização a frio e/ou a quente, galvanização por fosfatização, ou algum outro tecnicamente conhecido. Foram consideradas como parcialmente satisfatórias (RPS) as respostas em que os participantes apenas apontaram que para evitar a formação da ferrugem é necessário impedir o contato entre o ferro, o ar e a umidade, sem darem a sugestão de algum procedimento operacional. Já as respostas que apresentaram apenas a indicação de um procedimento operacional, como por exemplo, “pintar o objeto”, “passar graxa”, ou algum outro

procedimento tecnicamente conhecido, sem a descrição do procedimento sugerido ou do motivo pelo qual ele deve ser empregado, foram consideradas como insatisfatórias (RI). As respostas foram consideradas como não respondidas (NR) quando os alunos não registraram nenhuma resposta.

O quinto quesito do questionário diagnóstico reflete o interesse de identificar o nível de conhecimento dos alunos a respeito do processo de galvanoplastia. Objetivou-se com essa questão, identificar se os alunos detêm algum conhecimento prévio a respeito desse método de combate a ferrugem e se conseguem relatar as características principais desse processo.

**Quinta questão da avaliação diagnóstica:** *Você conhece o termo galvanoplastia? Em caso afirmativo, escreva sobre o que você conhece a respeito desse termo.*

Foram consideradas como satisfatórias (RS) as respostas em que os alunos mobilizaram conhecimentos alinhados com a definição do processo de galvanoplastia, apresentando indicativos de que compreendem a galvanoplastia como um modo de proteção superficial de um metal que utiliza a eletrólise para realizar a deposição de uma película de um metal mais facilmente oxidável sobre o metal que se quer revestir e proteger dos agentes corrosivos. Foram enquadradas como parcialmente satisfatórias (RPS) as respostas em que os alunos definiram a galvanoplastia como um método de recobrimento de um metal com outro para dificultar a o processo de oxidação, sem fazer menções ao processo de eletrólise e sobre as reatividades do metal revestido e depositado. As respostas adotadas como insatisfatórias (RI) foram aquelas em que os alunos pontuaram a galvanoplastia como método de combate a ferrugem, e não apresentaram mais detalhes a respeito do processo eletrolítico e das substâncias envolvidas. As respostas foram consideradas como não respondidas (NR) quando os alunos deixaram o campo de resposta em branco.

Quanto à aplicação do referido questionário, ele foi resolvido individualmente pelos alunos nos minutos iniciais da primeira aula da intervenção didática. Na ocasião, o professor fez a distribuição impressa do questionário, realizou uma leitura para situar os estudantes na atividade e informou que a folha contendo as questões já respondidas deveria ser entregue dentro do prazo de trinta minutos.

No tópico a seguir serão apresentadas as etapas constituintes da sequência de ensino e aprendizagem estruturada para as intervenções planejadas.

### 5.3.5 Aplicação da Sequência de Ensino e Aprendizagem

A sequência de ensino e aprendizagem foi aplicada ao longo de quatro encontros para trinta e quatro estudantes do 2º ano do Ensino Médio. Os encontros ocorreram em três dias consecutivos de uma mesma semana (de segunda-feira à quarta-feira) e o último dia foi na segunda-feira subsequente, cada encontro teve 100 minutos de duração.

Na *aula 1*, após o recolhimento do questionário diagnóstico já respondido pelos alunos, o professor proferiu algumas instruções pertinentes ao bom desenvolvimento de todas as atividades previstas para os quatro encontros, tais como: (i) as atividades a serem realizadas em cada encontro deveriam ser concluídas integralmente no mesmo dia; (ii) de acordo com a professora da disciplina de química da escola, a efetiva participação na resolução do problema resultaria numa pontuação a ser incluída na nota da segunda unidade letiva; (iii) durante a vivência da sequência de ensino e aprendizagem os alunos seriam organizados em duplas, mediante a afinidade entre eles, e a composição destas duplas deveria ser as mesmas nos quatro encontros; e (iv) estava vetada a troca de informações entre as duplas, caso os alunos tivessem alguma dúvida, eles deveriam consultar o professor para que este pudesse atuar como mediador do processo de aprendizagem.

Após a apresentação das referidas instruções, os alunos foram organizados em duplas e foi apresentado o problema elaborado em uma folha impressa para cada dupla. Tendo os alunos o problema em mãos, o professor conduziu os estudantes à leitura do problema e observou as atitudes e as hipóteses formuladas.

Verificada a insuficiência das hipóteses formuladas para a resolução do problema apresentado, o professor recolheu as folhas que continham o problema impresso. Em seguida, entregou-se a cada dupla uma folha contendo a sequência de atividades a ser desenvolvida naquele primeiro encontro, tal sequência corresponde à parte do produto educacional proposto pelo presente estudo (Apêndice C). Estando os estudantes de posse do material impresso para o primeiro encontro, o professor fez a leitura das quatro primeiras questões na companhia dos alunos e informou que as respostas às questões lidas deveriam ser formuladas após a exibição do vídeo indicado na Figura 11. O professor informou aos alunos que a exibição do vídeo tinha também o objetivo de demonstrar na prática o problema anteriormente apresentado e que os estudantes a qualquer momento poderiam solicitar que o professor pausasse a apresentação ou voltasse alguns segundos para melhor compreensão de alguma cena.

Figura 11 - Blitz Pedaleria contra a corrente enferrujada



Fonte: BLITZ PEDALERIA (2016).

Após o tempo utilizado pelas duplas para a formulação das respostas às quatro primeiras questões, o professor solicitou que os alunos lessem as duas questões subsequentes do material, nesse momento o professor informou que tais questões deveriam ser resolvidas durante a apresentação dos conceitos de número de oxidação e reações redox. Nessa etapa o professor projetou no quadro o simulador “monte um átomo” do Phet Simulações Interativas, Figura 12, com a finalidade de ilustrar o conceito de número de oxidação, e reações redox, conduzindo os alunos na resolução das questões lidas utilizando a simulação dos átomos dos mesmos elementos presentes nas questões em andamento.

Figura 12- Simulador monte um átomo

Fonte: PHET COLORADO (2019).

Na última etapa desse primeiro encontro, realizou-se a leitura dos enunciados das três últimas questões do material e em seguida o professor projetou no quadro a Tabela 2 (página 36) do presente trabalho com a finalidade de mediar o aprendizado acerca das regras para o cálculo de número de oxidação dos átomos em substâncias simples, substâncias compostas e íons.

Convém destacar que após a discussão acerca da tabela apresentada, e da resolução da antepenúltima e penúltima questão do material, uma parte dos estudantes solicitou ao professor que os deixassem fazer sozinhos a última questão do material, pois se tratava de uma questão que já havia aparecido em uma edição anterior do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Os estudantes justificaram tal solicitação utilizando o argumento de que seria uma maneira de exercitar o conhecimento para o ENEM, pois eles tinham a pretensão de fazer o ENEM por experiência no ano corrente.

No dia seguinte, realizou-se a **aula 2** da sequência de ensino e aprendizagem e nos minutos iniciais da aula o professor solicitou que os alunos se organizassem novamente em duplas conforme o dia anterior. Na sequência, o professor entregou a cada dupla um material impresso contendo a sequência das atividades a serem realizadas naquele segundo encontro, tal material corresponde à parte do produto educacional proposto por este estudo. A partir de então, o professor informou aos alunos que este segundo encontro seria dedicado ao estudo da espontaneidade das reações redox. Para dar início às atividades o professor solicitou que um dos alunos da turma fizesse a leitura da primeira questão do material que os alunos tinham em mãos, após a leitura o professor explicou que eles deveriam responder tal pergunta após a exibição de um vídeo, conforme indicado na Figura 13.

Figura 13 - Deslocamento do cobre



Fonte: MOHR (2016).

O vídeo apresentado exibe, sem explicações, a reação química que ocorre quando uma lâmina de zinco é mergulhada em uma solução de sulfato de cobre. A utilização deste vídeo teve por finalidade trabalhar apenas os aspectos fenomenológicos da reação.

Após a resolução da primeira questão do material de aula, o professor solicitou que outro estudante fizesse a leitura do enunciado das três questões subsequentes. Conforme a instrução presente no material que os alunos tinham em mãos, essas três questões deveriam ser respondidas após a exibição de um segundo vídeo, representado na Figura 14.

Figura 14 - Pilhas eletroquímicas



Fonte: ALFAMAVIDEOS (2008).

Este segundo vídeo exibiu de maneira ilustrada e narrada a reação química do 1º vídeo e também apresentou as equações químicas inerentes ao processo. Seguindo a recomendação presente no material da aula, o vídeo representado na Figura 14 foi exibido até 0:49, pois as informações apresentadas até os 49 segundos deste vídeo foram consideradas suficientes para que os alunos pudessem formular as respostas para as questões em discussão naquele momento.

Na sequência, o professor iniciou uma apresentação expositiva e dialogada acerca do conceito de potencial padrão de redução ( $E^\circ$ ), e sobre como estes potenciais são utilizados para a previsão da espontaneidade de uma reação redox. Nesse momento o professor projetou no quadro a tabela que contém os potenciais padrão necessários para a resolução da quinta questão do material da aula, além disso, no curso da explicação, o professor testou algumas hipóteses de reações espontâneas ao utilizar com os alunos a equação para o cálculo da diferença de potencial de uma célula eletroquímica, Equação 02 (página 40).

Após os alunos terem solucionado à questão 05, prosseguiu-se com a exploração do material de aula quando o professor solicitou que um dos alunos fizesse a leitura dos enunciados das questões 06, 07 e 08 - tais questões abordam a composição química do aço e também sobre as substâncias envolvidas no processo de formação da ferrugem. Conforme instrução do material de aula, as questões de 06 a 08 deveriam ser resolvidas ao passo que um vídeo, representado na Figura 15, fosse reproduzido. Os estudantes a qualquer momento poderiam solicitar que o professor pausasse a apresentação do vídeo ou voltasse alguns segundos para melhor compreensão das informações ali apresentadas.

Figura 15 - Química - Ferro e Ferrugem



Fonte: REDE GLOBO (2011a).

As respostas formuladas para as questões de 06 a 08 (as quais versavam a respeito da composição química do aço, sobre as condições necessárias para a formação da ferrugem e sobre a corrosão eletroquímica) estavam correlacionadas com o enunciado das duas últimas questões do material disponibilizado para este segundo encontro. Dessa maneira, os alunos precisaram articular as respostas das questões de 06 a 08 com os as informações disponibilizadas para a resolução das questões 09 e 10, o objetivo destas duas últimas questões foi desenvolver o conhecimento a respeito das equações químicas inerentes a formação de ferrugem e também concluir, a partir do cálculo da diferença de potencial, que o a formação da ferrugem ocorre de maneira espontânea.

O professor utilizou os minutos finais desse encontro para parabenizar os alunos participantes pelo comprometimento com as atividades propostas e também para proferir



algumas palavras para estimular os alunos a comparecerem nos dois encontros que restavam para conclusão do presente estudo.

O terceiro encontro, **aula 3**, iniciou com o professor conduzindo os alunos a indicarem verbalmente as condições necessárias para a formação da ferrugem, fazendo um resgate mental das etapas do último vídeo assistido no encontro anterior. Depois desse momento inicial o professor questionou os alunos a respeito das possíveis estratégias para minimizar a ocorrência da ferrugem em materiais do dia a dia dos alunos, após a ouvida das diversas sugestões indicadas pelos alunos o professor informou aos alunos que eles teriam a chance de registrar tais estratégias em uma das três primeiras perguntas do material impresso que seria entregue e utilizado na aula. Após os alunos se organizarem em duplas, conforme os encontros anteriores, o professor realizou a entrega de um material impresso contendo a sequência das atividades que foram desenvolvidas no terceiro encontro, tal material corresponde à parte do produto educacional proposto por este estudo.

Quando todas as duplas já estavam de posse do material referente aquela aula, o professor conduziu a leitura dos enunciados das três primeiras questões do material e orientou os alunos para que esperassem a exibição do vídeo que daria o embasamento para formulação das respostas às três questões iniciais. A partir de então, foi exibido um trecho de um telejornal, representado pela Figura 16, em que um Biólogo apresenta sugestões para prevenir a ferrugem em eletrodomésticos e também explica como a maresia influencia no processo de corrosão do ferro.

Figura 16 - Redução dos efeitos da maresia

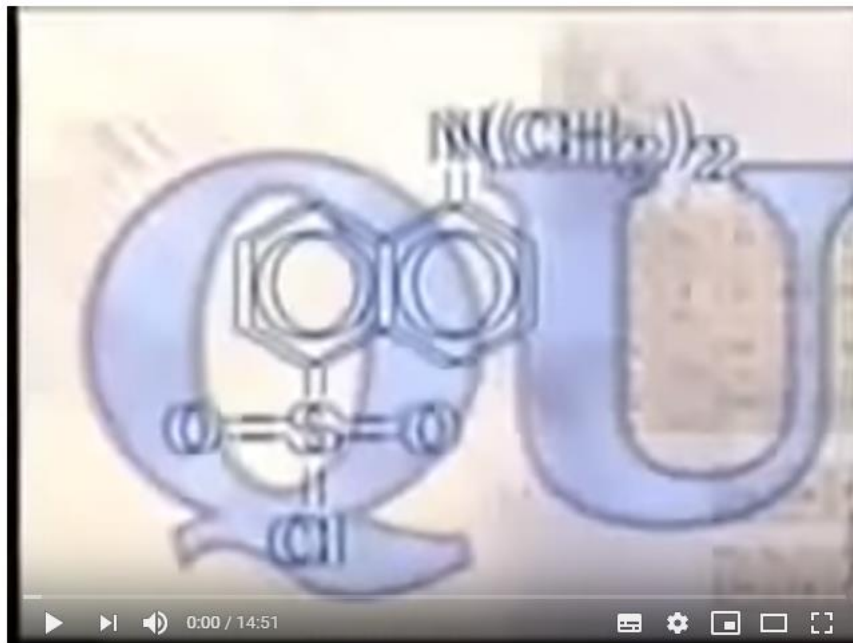


Fonte: REDE GLOBO (2016).

Após a exibição do primeiro vídeo, o professor fez a mediação para que os alunos conseguissem atribuir respostas coerentes para as três perguntas destinadas aquele momento da aula.

Dando continuidade, o professor solicitou que um dos alunos realizasse a leitura dos enunciados das três questões subsequentes. Em seguida, o professor chamou a atenção dos estudantes para uma dupla instrução que antecipava a resolução daquelas questões, a primeira instrução orientava os alunos a assistirem ao vídeo, Figura 17, que apresentava alguns procedimentos industriais como alternativa para combater a formação da ferrugem e a segunda instrução apontava que seria necessário correlacionar algumas informações do vídeo com os dados de potencial padrão de redução fornecidos para estas questões.

Figura 17 - Telecurso2000 - Aula 23/50 - Química - Cromação, Niquelação, Estanhagem, Zincagem



Fonte: REDE GLOBO (2011b).

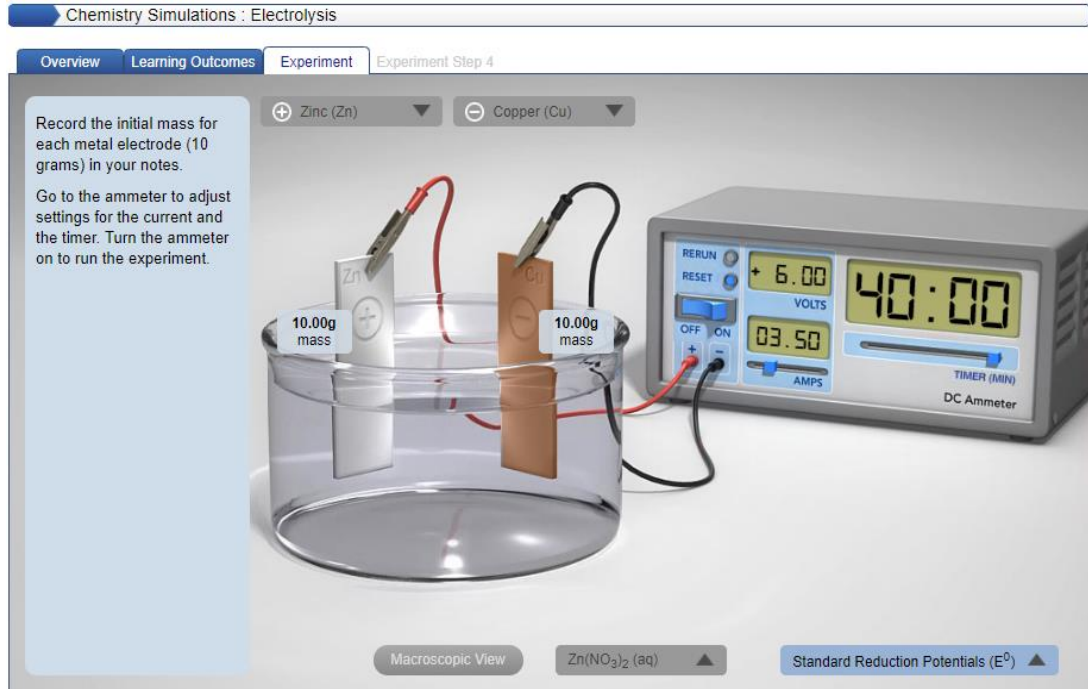
Após a exibição deste vídeo, o professor disponibilizou alguns minutos para que os estudantes pudessem formular suas respostas às questões que estavam destinadas aquele momento. Nessa etapa o professor foi bastante requisitado pelos alunos para que houvesse algum tipo de orientação que mostrasse o raciocínio coerente para as respostas. A construção das respostas para estas questões promoveu mais um contato dos alunos com a identificação das reações redox não espontâneas e os diferentes tipos de proteção superficial contra a corrosão de um metal, quer seja quando o metal utilizado na superfície seja facilmente

oxidado pelo ar, dando origem a uma camada de oxido protetora, quer seja quando o metal protetor seja de baixa reatividade com o meio ambiente ou atue como metal de sacrifício.

O último momento da aula foi reservado para a exploração dos conceitos relacionados à eletrólise. Nessa etapa, o professor realizou uma apresentação expositiva e dialogada adotando a seguinte sequência: eletrólise ígnea; eletrólise aquosa; e concluiu com a galvanoplastia. Durante as exemplificações sobre eletrólise o professor contou com a interação dos alunos para preencher sistematicamente as lacunas da tabela presente na questão 07 e também para responder às questões 08 e 09 do material da aula.

Ainda referente à Galvanoplastia, o professor exibiu o simulador Electrolysis, da Person Education, Figura 18, para a realização simulada de algumas galvanoplastias, tais como: zincagem, cobreamento e niquelação. Nesse momento o professor possibilitou que os alunos pudessem ir até o computador para realizar algum tipo de Galvanoplastia e isso forneceu ao professor a possibilidade de agir sobre os erros dos alunos à medida que as escolhas das variáveis que compõe o arranjo do procedimento apresentassem falhas.

Figura 18 - Simulador Electrolysis



Fonte: PEARSON (2014).

Convém destacar o entusiasmo expresso pelos estudantes quando foi dada a possibilidade deles manipularem o simulador Electrolysis, e sobretudo quando souberam que eles mesmos poderiam acessar tal ferramenta utilizando seus próprios celulares.

O final do terceiro encontro da intervenção didática foi reservado às instruções pertinentes ao último encontro.

Nesta última etapa da intervenção didática, **aula 4**, a turma foi novamente organizada em duplas, obedecendo a mesma organização dos encontros anteriores, o professor entregou aos alunos uma folha contendo o problema de forma impressa e uma outra folha em branco que serviu para rascunho. Os primeiros 30 minutos desse encontro foram utilizados para que os alunos respondessem de maneira preliminar, na folha de rascunho, o problema apresentado, mobilizando todo o aprendizado construído ao longo dos três encontros anteriores. Nesse momento os alunos poderiam solicitar a mediação do professor e também consultar as anotações que fizeram durante os encontros da intervenção vivenciada.

Na fase seguinte, que também durou 30 minutos, o professor pediu os estudantes para organizarem as cadeiras na forma de um círculo na sala de aula. Neste momento o professor solicitou que um componente de cada dupla fizesse um pequeno comentário sobre as possibilidades de respostas ao problema. Na ocasião, os alunos poderiam questionar as respostas inicialmente sugeridas por outras duplas e também apresentar suas dúvidas sobre a escrita de uma resposta ao problema. Quando houve o lançamento de dúvidas o professor estimulou que os demais alunos pudessem esclarecer a dúvida apresentada e também fazia as ponderações pertinentes após os posicionamentos dos alunos que se propuseram a ajudar na elucidação das dúvidas.

Após a realização desse debate com o grande grupo, os alunos receberam o comando para que voltassem a se organizar como estavam inicialmente, em duplas, e que produzissem uma resposta definitiva na folha que eles receberam com o problema impresso no início da aula. Nesse momento, os alunos foram avisados que esta seria a última etapa da intervenção didática e que a partir dali já não poderiam contar com a contribuição do professor.

Por fim, os alunos realizaram a entrega das respostas definitivas, o professor dedicou os últimos minutos para ouvir os alunos que tiveram a iniciativa de conversar sobre as respostas construídas por eles ao problema. Convém destacar que, depois de encerrada a intervenção, alguns alunos procuraram o professor para comentarem a respeito de terem conseguido aplicar alguns conhecimentos vivenciados na intervenção didática em algumas situações do dia a dia, tais como: sugerir a mãe ações para minimizar a expansão do enferrujamento da geladeira de sua casa, não ter escolhido uma lata amassada de um alimento no supermercado, e outras.

Assim sendo, conforme a intervenção com a sequência de ensino e aprendizagem descrita nos parágrafos anteriores, forneceu-se subsídios para que os alunos pudessem

construir conhecimentos inerentes à Galvanoplastia. A validação dessa proposta está fundamentada na verificação da construção de conhecimentos pelos estudantes, evidenciada por suas respostas ao problema. Os registros das respostas à situação problema serão analisados de forma qualitativa com caráter descritivo, de modo similar ao realizado por Silva (2013) e Ferreria *et al.* (2016).

### **5.3.6 Metodologia de Análise das Respostas ao Problema**

Pretende-se responder a questão de pesquisa do presente trabalho de uma maneira que caracterize esta produção como uma pesquisa qualitativa, fazendo a descrição de parte dos dados obtidos. Nessa perspectiva, pautando-se em Mortimer, Machado e Romanelli (2000), optou-se pela identificação dos três níveis do conhecimento químico (fenomenológico, teórico e representacional) nos registros feitos pelas duplas de estudantes como resposta ao problema, os quais foram produzidos após a participação nas intervenções didáticas subsidiadas pelos instrumentos didáticos propostos.

A análise das respostas ao problema está pautada nas seguintes possibilidades de respostas, referendadas por trabalhos correlatos à Galvanoplastia (CARMEL; PACCA, 2011; BARRETO, 2017; ALVES, 2018).

#### **1 Como explicar o desgaste químico percebido nas correntes?**

Na primeira pergunta, as duplas de alunos tinham a possibilidade de apresentar em suas respostas argumentos inspirados nos vídeos assistidos para revelar a construção do conhecimento em nível fenomenológico, em que poderiam citar a mudança de coloração do ferro ao enferrujar; a formação de buracos na superfície do ferro enferrujado; a ocorrência da ferrugem quando um objeto de ferro é deixado exposto ao ar e a umidade; e também comentarem sobre uma maior rapidez de enferrujamento em áreas litorâneas devido a maresia. Além disso, a explicação de que a ferrugem é formada por uma reação redox espontânea poderia ser utilizada para deixar evidente o aprendizado em nível teórico, explorado nas etapas de trabalho da teoria durante as aulas. Já o aprendizado em nível representacional, com base nas atividades das fichas das aulas, e também dos vídeos, poderia ser apresentado com a escrita de equações químicas de formação da ferrugem; ou apenas a indicação das fórmulas das substâncias verificadas no processo; ou cálculos relacionados à

diferença de potencial com finalidade de definir como o processo de formação de ferrugem como espontâneo.

Conforme o exposto, de modo similar ao realizado por Silva (2013) e Ferreira *et al.* (2016), as respostas foram adotadas como satisfatórias (RS) quando apresentaram os três níveis de conhecimento químico; foram classificadas como parcialmente satisfatórias (RPS) quando apresentava apenas dois; e as respostas insatisfatórias (RI) foram aquelas que apenas contemplaram um nível de conhecimento químico.

**2 Descreva (com texto e desenhos) o possível procedimento eletroquímico que os fabricantes poderiam adotar para que os ciclistas possam utilizar as correntes por mais tempo.**

Nesta segunda etapa as duplas de alunos puderam demonstrar aprendizagem em nível fenomenológico sugerindo a produção de um revestimento metálico sobre a superfície das correntes das bicicletas; sendo possível complementar a respostas com comentários sobre a proteção exercida por um revestimento metálico sobre a superfície da corrente, ao impedir que esta entre em contato com o oxigênio e a umidade. De maneira complementar, os estudantes poderiam apresentar aprendizagem em nível teórico ao responderem que o processo eletroquímico possível é uma galvanoplastia, sendo possível ainda apresentar os polos e indicar quais reações químicas acontecem no processo; poderia também ser esperado dos alunos respostas com a indicação da formação de óxidos que dão origem as camadas passivadoras, a depender do metal indicado por eles para o recobrimento da corrente da bicicleta. Já o aprendizado em nível representacional, poderia ser verificado a partir da indicação das equações químicas; apresentação das fórmulas das substâncias envolvidas no processo ou uma reprodução coerente do aparato experimental necessário para realizar a galvanoplastia.

Assim sendo, a resposta foi considerada satisfatória (RS) se contemplou os três níveis de conhecimento químico; parcialmente satisfatória (RPS) se contemplou dois níveis de conhecimento; e insatisfatória (RI) se contemplou apenas um dos níveis indicados.

Nessa direção, o capítulo a seguir contempla a apresentação dos resultados e discussões acerca das respostas ao problema.

## CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

Este capítulo contempla a exploração das informações que emergiram dos dados adquiridos a partir do percurso metodológico construído. Inicialmente, é apresentada a análise das respostas dos estudantes à avaliação diagnóstica. Posteriormente, é exibida a análise referente aos dados obtidos a partir da aplicação da sequência de ensino e aprendizagem desenvolvida para a resolução do problema proposto neste trabalho.

### 6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES À AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

Com o intuito de levantar as concepções prévias dos estudantes a respeito dos conceitos inerentes ao estudo da eletroquímica, e correlatos à galvanoplastia, a avaliação diagnóstica contendo cinco questões foi aplicada no início da intervenção didática. Os resultados obtidos nesta etapa estão qualitativamente discutidos e apresentados em tabelas contendo os percentuais de respostas enquadradas nas seguintes categorias: Resposta Satisfatória (RS), Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS), Resposta Insatisfatória (RI) e Nenhuma Resposta (NR) – conforme descrito no item 5.3.4 do presente trabalho.

**1ª QUESTÃO:** *Observando a equação química dada por:  $Mg \rightarrow Mg^{+2} + 2e^-$  e levando em consideração que o número de elétrons no átomo neutro de magnésio é 12, utilize as imagens a seguir para representar a equação química observada.*

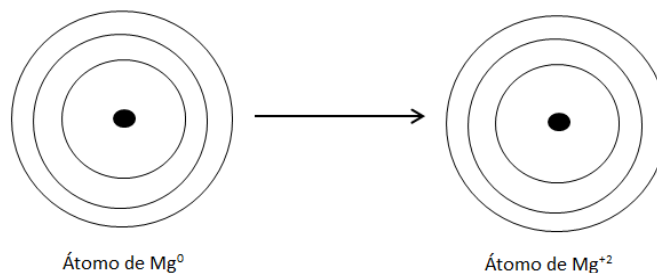


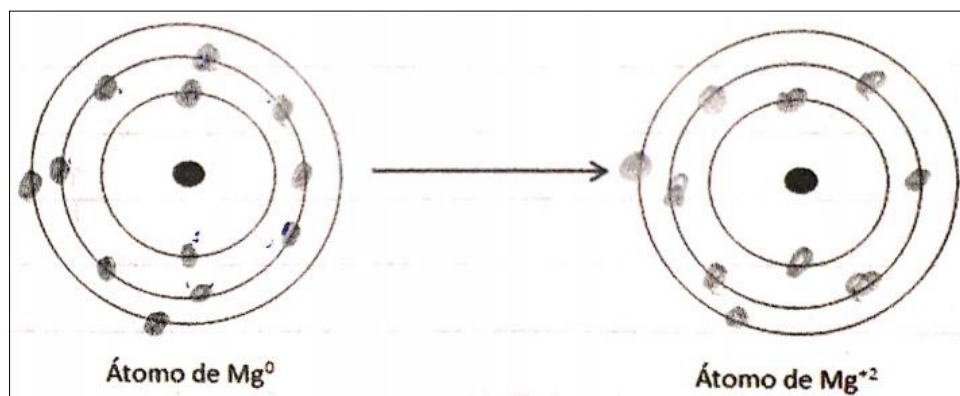
Tabela 7 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 01

Categorias das Respostas	Percentual (%)
Resposta Satisfatória (RS)	0
Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)	3,5
Resposta Insatisfatória (RI)	82
Nenhuma Resposta (NR)	14,5

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme percebido na Tabela 7, nenhum estudante respondeu à questão 01 de modo satisfatório. Um percentual de 14,5% não fez nenhum tipo de registro no campo de resposta desta questão e a maioria, 82%, apesar da tentativa, respondeu de maneira insatisfatória. O percentual de respostas parcialmente satisfatórias equivale a 3,5%, o que corresponde a um estudante, e está apresentado na imagem a seguir.

Figura 19: Resposta de um sujeito da pesquisa à questão 01 da avaliação diagnóstica



Fonte: Autoria própria (2019).

Percebe-se na resposta registrada na Figura 19 que o estudante distribuiu corretamente os doze elétrons no modelo do Mg<sup>0</sup>, mas se equivocou na configuração final do íon Mg<sup>+2</sup>, ao fazer a remoção de dois elétrons do penúltimo nível de energia.

Frente aos percentuais verificados para esta questão, verifica-se que os estudantes que participaram da intervenção didática não conseguiram identificar e representar, no modelo proposto, a semi-reação de oxidação presente na avaliação diagnóstica.



**2ª QUESTÃO:** *Considerando as reações químicas representadas abaixo, assinale (x) na (s) reação (ões) de oxidação-redução e justifique a(s) sua(s) escolha(s).*

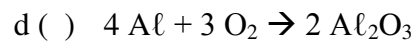
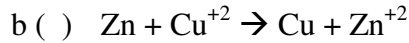
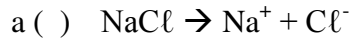


Tabela 8 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 02

Categorias das Respostas	Percentual (%)
Resposta Satisfatória (RS)	0
Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)	0
Resposta Insatisfatória (RI)	93
Nenhuma Resposta (NR)	7

Fonte: Autoria própria (2019).

Pode-se observar na Tabela 8 que nenhum estudante conseguiu responder de maneira satisfatória, e parcialmente satisfatória, à segunda pergunta da avaliação diagnóstica. 7% dos estudantes não fizeram nenhum tipo de registro no campo de respostas para esta pergunta e 93% respondeu de forma insatisfatória, este grupo está representado a seguir pela transcrição das escolhas e justificativas de um dos estudantes:

Justificativa dada à escolha da alternativa **a**: “*O  $\text{Na}^+$  está sofrendo redução e o  $\text{Cl}^-$  está oxidando*”;

Justificativa dada à escolha da alternativa **b**: “*Ambos estão sofrendo redução*”.

Percebe-se que o estudante assinalou as alternativas em que havia a representação do estado de oxidação de íons, mas além de ter feito se equivocado ao assinalar a alternativa “a” também justificou incorretamente a escolha da alternativa “b”. A partir dos dados apresentados na Tabela 8, constatou-se que nenhum aluno conseguiu estabelecer uma relação plausível entre as alternativas assinaladas com algum dos modelos conceituais de oxidação e redução indicados na Tabela 3.

**3ª QUESTÃO:** *Em nosso dia a dia encontramos facilmente diversos objetos enferrujados, a formação da ferrugem merece a nossa atenção por motivos de segurança, por razões econômicas e também estéticas. Dessa maneira, explique como ocorre a formação da ferrugem, indicando quais são as substâncias envolvidas neste processo.*

Tabela 9 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 03

<b>Categorias das Respostas</b>	<b>Percentual (%)</b>
Resposta Satisfatória (RS)	0
Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)	0
Resposta Insatisfatória (RI)	96
Nenhuma Resposta (NR)	4

Fonte: Autoria própria (2019).

Verifica-se na Tabela 9 que nenhum estudante conseguiu responder de maneira satisfatória ou parcialmente satisfatória à questão 03. 4% não responderam e 96% dos alunos responderam de forma insatisfatória. Os trechos a seguir representam as respostas adotadas como insatisfatórias:

A ferrugem é quando um ferro tem contato com água ou com sais e também o sol.

A ferrugem se forma no objeto quando leva água e depois sol.

Ocorre através de maus cuidados.

A partir dos trechos apresentados, verifica-se que a maioria dos estudantes tentarem explicar a formação da ferrugem reunindo informações apenas em nível macroscópico, pois indicaram exclusivamente fatores visualmente perceptíveis, tais como: a água; os raios solares; e maus cuidados. Observou-se que nenhum aluno citou o gás oxigênio como substância importante para a formação da ferrugem e que muitos estudantes indicaram a exposição ao sol como um dos fatores que contribuem para a formação de ferrugem. De acordo com Alves (2018) pode-se interpretar esses posicionamentos como concepções alternativas acerca da formação da ferrugem, ou seja, concepções não alinhadas aos saberes científicos.

**4ª QUESTÃO:** *Quais ações podem ser realizadas para evitar a formação da ferrugem?*

Tabela 10 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 04.

<b>Categorias das Respostas</b>	<b>Percentual (%)</b>
Resposta Satisfatória (RS)	4
Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)	0
Resposta Insatisfatória (RI)	96
Nenhuma Resposta (NR)	0

Fonte: Autoria própria (2019).

Pelo exposto na Tabela 10, nenhum estudante deixou de responder a este questionamento. Entretanto, apenas 4% das respostas foram enquadradas como satisfatória, conforme o exemplo:

Evitar contato com a água, cobrir o ferro com tinta, evitar guardar o ferro em lugares úmidos e muito expostos ao ar.

Não houve respostas enquadradas como parcialmente satisfatórias e a maioria das respostas, 96%, foram admitidas como insatisfatórias. Verificou-se nesse grupo certa recorrência de respostas que apontavam a exposição ao sol e a variação da temperatura como fatores que influenciam na ocorrência da ferrugem, tais como:

Não deixar exposto a água, ou em lugares frios.

[...] Evitar deixar exposto ao sol ou água, evitar a alta ou baixa temperatura, limpar a área total do ferro, entre outros.

A primeira delas é não deixar o metal em um local que tenha quedas de temperatura ou umidades.

Conforme Alves (2018), a sugestão de evitar a incidência dos raios solares sobre o ferro, e também a indicação para não deixar o metal em ambientes onde ocorre variação de temperatura, pode ser compreendida como tentativa dos alunos de responder ao questionamento usando concepções não condizentes com os saberes científicos, ou seja, usando-se de concepções alternativas. Dentre as respostas colhidas para esta questão,

nenhuma sugeriu a Galvanoplastia como uma medida de prevenção para a ocorrência da ferrugem.

**5ª QUESTÃO:** *Você conhece o termo galvanoplastia? Em caso afirmativo, escreva sobre o que você conhece a respeito desse termo.*

Tabela 11 - Categorização das respostas dos estudantes à questão 05

<b>Categorias das Respostas</b>	<b>Percentual (%)</b>
Resposta Satisfatória (RS)	0
Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)	0
Resposta Insatisfatória (RI)	11
Nenhuma Resposta (NR)	89

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme os dados da Tabela 11, a maioria dos estudantes, 89%, não registrou nenhum tipo de resposta para esta questão. Os exemplos a seguir representam o grupo de 11% dos alunos que responderam de modo insatisfatório:

É quando coloca um produto em algum objeto, para evitar a ferrugem.

É algum tipo de processo de blindagem.

Serve para remover objetos enferrujados.

Diante do objetivo dessa questão na avaliação diagnóstica, foi possível constatar que os alunos não detêm conhecimentos prévios a respeito da Galvanoplastia.

A leitura dos conhecimentos prévios dos estudantes foi de extrema relevância para a seleção e elaboração dos recursos didáticos adotados na sequência de ensino e aprendizagem integrante deste trabalho, pois conforme Silva e Soares (2013) o professor ao considerar os conhecimentos prévios dos estudantes, e ao propor atividades cuja construção do conhecimento parte dos saberes iniciais dos alunos, possibilita a superação da estabilidade do senso comum e aquisição do conhecimento com base em concepções científicas.

No tópico a seguir será apresentada a discussão dos dados relativos à resolução do problema pertencente à sequência de ensino e aprendizagem proposta por este estudo.

## 6.2 ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO PROBLEMA

As respostas fornecidas pelas 17 duplas de alunos ao problema reapresentado ao final do último encontro da intervenção didática foram analisadas com o objetivo de identificar os três níveis do conhecimento propostos por Mortimer, Machado e Romanelli (2000): fenomenológico, teórico e representacional.

A análise das respostas à primeira pergunta do problema permitiu estruturar o Quadro 8, onde é possível verificar o perfil das respostas fornecidas por cada dupla.

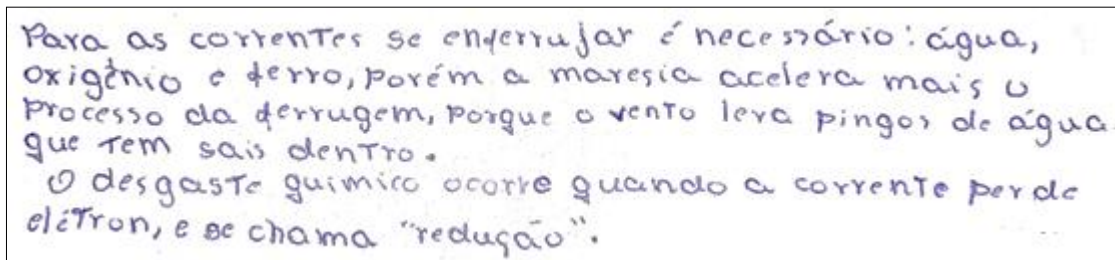
Quadro 8 - Categorização das repostas à primeira pergunta do problema

Como explicar o desgaste químico percebido nas correntes?	
Categoria da Resposta	Duplas
Satisfatórias (RS)	02, 03, 06, 12 e 14
Parcialmente Satisfatórias (RPS)	04, 05, 07, 11, 13, 15, 16 e 17
Insatisfatórias (RI)	01, 08, 09 e 10

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme percebido no Quadro 8, todas as duplas responderam à primeira questão. Quatro duplas apresentaram respostas insatisfatórias, ou seja, as respostas continham apenas um, ou nenhum, dos três níveis do conhecimento químico. A Figura 20 corresponde a resposta fornecida pela Dupla 01 e foi escolhida para exemplificação das respostas enquadradas nessa categoria.

Figura 20 - Resposta da dupla 01 à primeira pergunta do problema



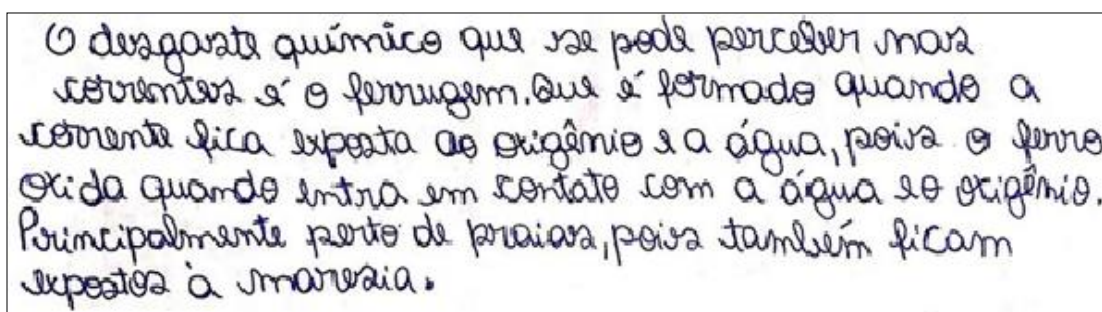
Fonte: Autoria própria (2019).

Com base na metodologia adotada para a análise das respostas ao problema, verifica-se que a Dupla 1, ao citar as substâncias envolvidas na formação da ferrugem e também a

influência da maresia para o processo, atende aos requisitos do aprendizado em nível fenomenológico. Entretanto, a Dupla 01 falha ao tentar relatar sua compreensão a respeito da reação de perda de elétrons por parte de corrente (ferro) ao nomear erroneamente o processo como uma reação de redução, dessa maneira foi considerado que a Dupla 01 não desenvolveu satisfatoriamente a aprendizagem em nível teórico. Conforme a metodologia adotada, não houve na resposta nenhum registro que tornasse evidente a aprendizagem em nível representacional.

Verifica-se também no Quadro 8 que oito duplas responderam de maneira parcialmente satisfatória, ou seja, apresentando coerentemente dois dos três níveis do conhecimento químico. Na Figura 21 verifica-se a resposta fornecida pela Dupla 07, escolhida para representar as duplas que responderam de modo parcialmente satisfatório.

Figura 21 - Resposta da Dupla 07 à primeira pergunta do problema



O desgaste químico que se pode perceber mais facilmente é a ferrugem, que é formada quando a corrente fica exposta ao oxigênio e a água, pois o ferro oxida quando entra em contato com a água e oxigênio. Principalmente perto de praias, pois também ficam expostas à maresia.

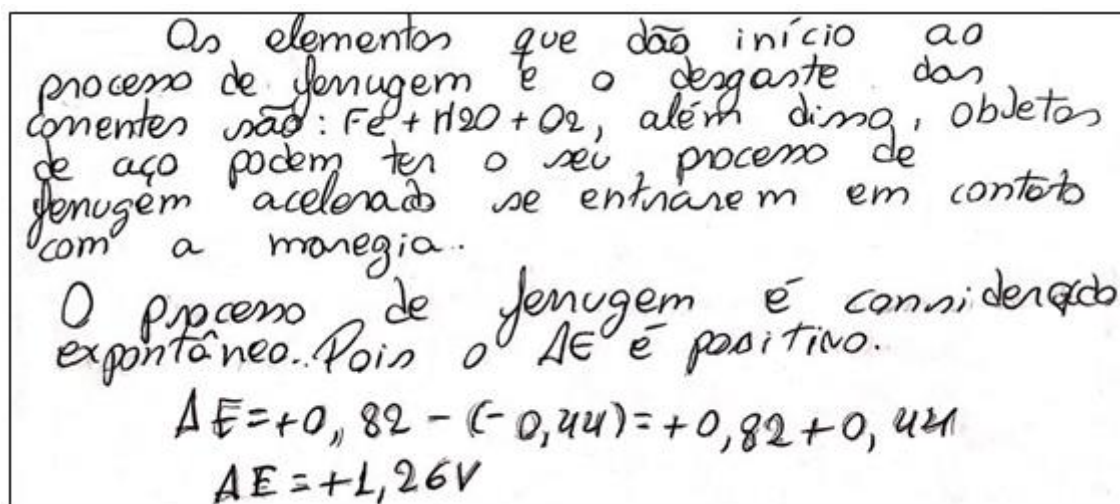
Fonte: Autoria própria (2019).

Tomando como fundamentos os critérios descritos na metodologia adotada para a análise das respostas a esta primeira pergunta, constata-se a presença de indicadores que tornam a resposta satisfatória em nível fenomenológico ao se verificar que a Dupla 07 citou as substâncias envolvidas no processo de formação da ferrugem e também pelo fato de apontarem a interferência da maresia para este processo. Além disso, pontuou-se de forma favorável a indicação da aprendizagem em nível teórico ao verificar que os alunos indicaram a ocorrência de uma reação de oxidação do ferro para a formação da ferrugem. Contudo, com base na metodologia empregada, não se verificou nesta resposta algum indicativo que caracteriza a aprendizagem em nível representacional.

Ainda de acordo com o Quadro 8, observa-se que cinco duplas responderam à primeira pergunta do problema de modo satisfatório, ou seja, apresentaram em suas respostas elementos que explicitam os três níveis do conhecimento químico esperado. Optou-se pela resposta produzida pela Dupla 03, Figura 22, para representar o conjunto de duplas que

responderam de modo satisfatório, ou seja, registraram em suas respostas os três níveis do conhecimento químico.

Figura 22 - Resposta da Dupla 03 à primeira pergunta do problema



Fonte: Autoria própria (2019).

A leitura da resposta contida na Figura 22, pautada nos critérios de análise indicados pela metodologia adotada para o presente estudo, permite verificar que a Dupla 07 evidenciou a aprendizagem em nível fenomenológico quando registrou os elementos (leia-se substâncias) participantes da formação da ferrugem e consequente desgaste da corrente: o ferro, a água e o gás oxigênio. Além disso, também pontuaram que o processo de formação de ferrugem pode ser acelerado na presença da maresia. Para estruturação dessa resposta, observa-se a influência dos recursos utilizados nas intervenções didáticas, sobretudo de parte do material impresso das aulas 02 e 03 (integrante do produto educacional estruturado nesse estudo) e dos vídeos: (i) Blitz Pedaleria contra a corrente enferrujada; (ii) Química - Ferro e Ferrugem; e (iii) Redução dos efeitos da maresia.

Ainda sobre o conteúdo da Figura 22, verifica-se que houve aprendizagem em nível teórico ao identificar na resposta que os alunos registraram que a formação da ferrugem ocorre espontaneamente na presença das substâncias anteriormente indicadas. Nesse trecho, percebe-se a influência dos recursos didáticos utilizados nos encontros das intervenções didáticas, destacando-se a parte do material impresso utilizado no segundo encontro e o vídeo intitulado 'A volta do ferro à natureza'.

Observa-se que a aprendizagem em nível teórico percebida na resposta da Dupla 07 vem acompanhada de uma justificativa pautada no cálculo da diferença de potencial da reação redox inerente à formação da ferrugem. Conforme os critérios utilizados para análise dessa

resposta, a utilização dos cálculos relacionados à diferença de potencial com finalidade de definir como espontâneo o processo de formação de ferrugem e a correta utilização das fórmulas químicas das substâncias envolvidas no processo, permite atribuir o reconhecimento de que também houve aprendizagem em nível representacional. Nessa direção, são constatadas novamente as influências das atividades desenvolvidas durante as intervenções didáticas, sobretudo do material impresso estruturado para o uso na aula 02 que norteou parte do trabalho expositivo e dialogado referente à espontaneidade das reações redox.

Diante do que foi explorado, conforme os dados do Quadro 8, percebe-se que houve aprendizagem – em ao menos dois dos três níveis do conhecimento químico - pela maioria dos estudantes acerca do conteúdo químico explorado na primeira pergunta, pois 13 duplas (76,5% dos alunos participantes) apresentaram respostas classificadas entre parcialmente satisfatória e satisfatória. Dessa maneira, constata-se que a sequência de ensino e aprendizagem utilizada contribuiu de maneira bastante relevante para a construção do conhecimento.

Dando continuidade à análise, as respostas fornecidas pelas duplas à segunda etapa da resolução do problema foram suficientes para a construção do Quadro 9.

Quadro 9 - Categorização das repostas à segunda etapa do problema

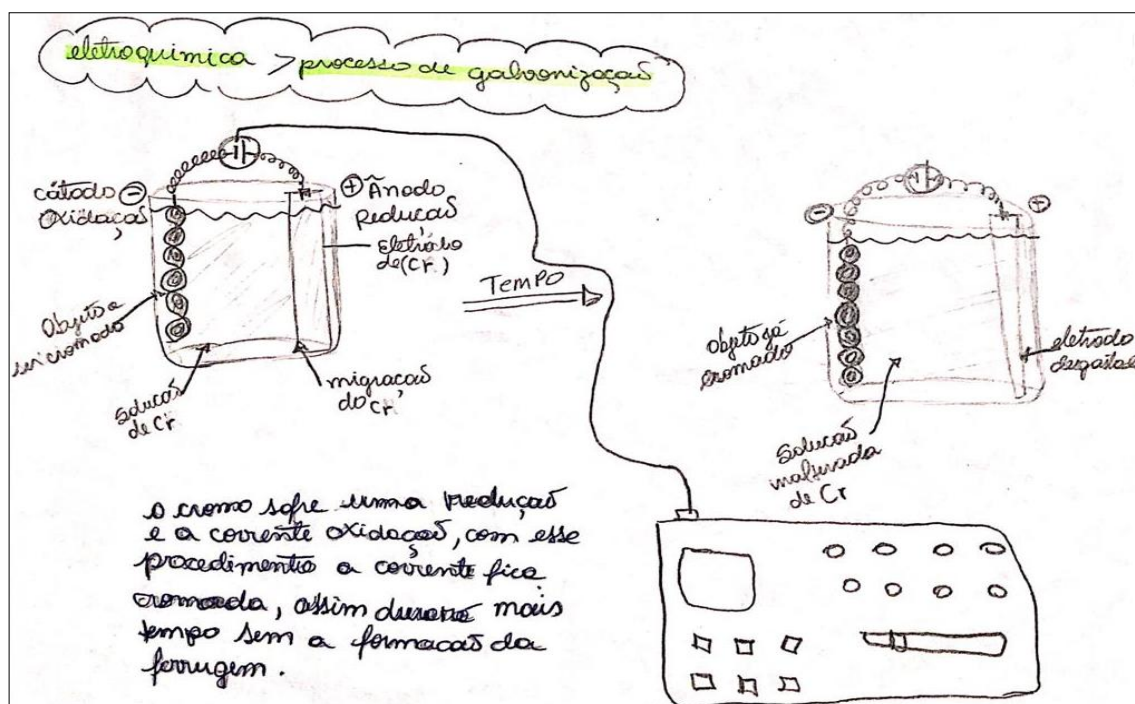
Descreva (com texto e desenhos) o possível procedimento eletroquímico que os fabricantes poderiam adotar para que os ciclistas possam utilizar as correntes por mais tempo.	
<b>Categoria da Resposta</b>	<b>Duplas</b>
Satisfatórias (RS)	02, 03, 06, 07, 08, 12 e 14
Parcialmente Satisfatórias (RPS)	05, 10, 11 e 13
Insatisfatórias (RI)	01, 04, 09, 15, 16 e 17

Fonte: Autoria própria (2019).

Verifica-se a partir do Quadro 9 que todas as duplas forneceram algum tipo de resposta à segunda parte do problema. Seis duplas apresentaram respostas insatisfatórias, ou seja, registrando apenas um, ou nenhum, dos três níveis conhecimento químico. A Figura 23 corresponde a resposta fornecida pela Dupla 15 e foi escolhida para exemplificação das respostas enquadradas nessa categoria.



Figura 23 - Resposta da Dupla 15 à segunda etapa do problema



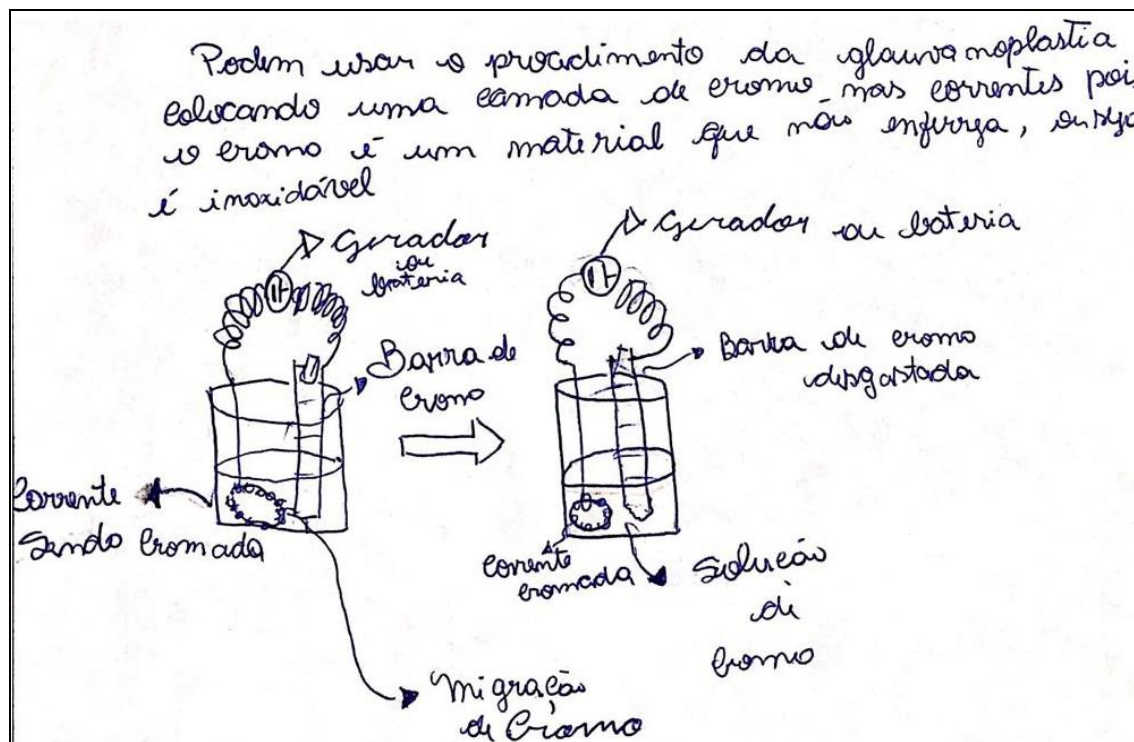
Fonte: Autoria própria (2019).

A análise da resposta da Dupla 15, guiada pelos critérios já explicitados na metodologia empregada, permite identificar a demonstração do conhecimento químico em nível fenomenológico, pois é possível perceber que os alunos indicaram a formação de uma película de cromo (cromação) sobre a superfície da corrente da bicicleta com a finalidade de proporcionar um maior tempo de utilização do objeto sem a formação da ferrugem, o que fica evidente na leitura do trecho: “[...] assim durará mais tempo sem a formação da ferrugem.” Considerou-se que a Dupla 15 falhou na apresentação da aprendizagem em nível teórico ao registrar que o processo eletroquímico descrito pelos seus desenhos seria uma galvanização, estabeleceram uma relação incorreta quando tentaram indicar o tipo de semi-reação que ocorre em cada eletrodo do circuito da Galvanoplastia e pontuaram incorretamente que ocorre oxidação da corrente posicionada no cátodo do circuito. No tocante da análise do conhecimento registrado em nível representacional, apesar do empenho dos alunos na tentativa de reproduzir com desenhos o aparato experimental utilizado para a galvanoplastia, inclusive registrando informações importantes para o antes e o depois do procedimento, apresentou uma inconsistência quanto ao uso de duas fontes de energia elétrica conectadas entre si para realização do procedimento.

Ainda de acordo com o Quadro 9, é possível verificar que quatro duplas atribuíram respostas parcialmente satisfatórias, ou seja, apresentaram apenas dois dos três níveis do

conhecimento químico esperados. A Figura 24 corresponde à resposta fornecida pela dupla 10 e é um exemplo das respostas que foram enquadradas nessa categoria.

Figura 24 - Resposta da Dupla 10 à segunda etapa do problema



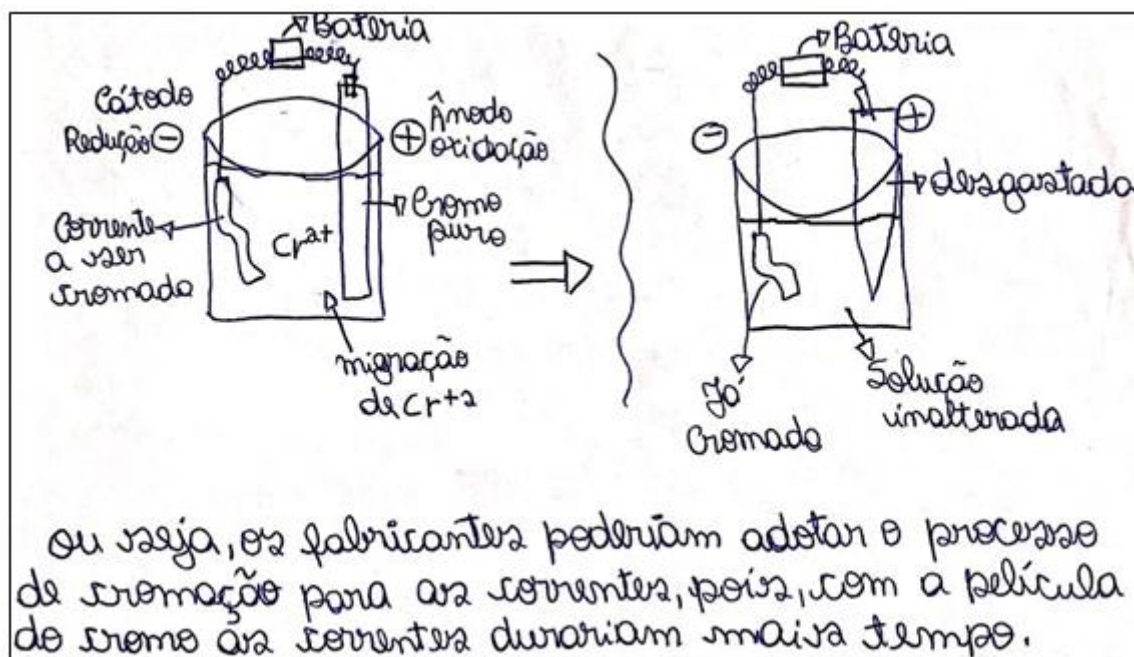
Fonte: Autoria própria (2019).

Observou-se que a Dupla 10 conseguiu explicitar em sua resposta o desenvolvimento da aprendizagem em nível fenomenológico, pois indicaram a aplicação de uma camada de cromo sobre a corrente e ainda justificaram o fato utilizando o argumento de que o cromo não enferruja, o intuito de alegar que o cromo não sofre oxidação se comparado ao ferro que compõe o aço das correntes de bicicleta. O fato de haver a indicação da Galvanoplastia como procedimento eletroquímico a ser realizado pelos fabricantes, juntamente com o esboço figurado de tal procedimento, permitiu reconhecer que houve aprendizagem em nível teórico. Concernente à aprendizagem a nível representacional, apesar do esforço da Dupla de reproduzir em detalhes o conhecimento relativo ao procedimento da Galvanoplastia, verificou-se a ausência de informações julgadas importantes, tais como: a indicação dos polos e as reações que devem acontecer em cada um deles, as fórmulas que representam as substâncias envolvidas e as equações químicas relativas ao processo.

Conforme o Quadro 9, verifica-se que sete duplas responderam à segunda etapa do problema de modo satisfatório, ou seja, apresentaram em suas respostas elementos que

evidenciam os três níveis do conhecimento químico esperado. Escolheu-se a resposta produzida pela Dupla 12, Figura 25, para representar o grupo das duplas que responderam de modo satisfatório.

Figura 25 - Resposta da Dupla 12 à segunda etapa do problema



Fonte: Autoria própria (2019).

A leitura da resposta contida na Figura 25, norteadas pela metodologia considerada para esta análise, possibilita observar que a Dupla 12 demonstrou aprendizagem a nível fenomenológico ao citar a cromação como processo adequado para proteção das correntes, proporcionando maior durabilidade. Tal observação é constatada a partir do seguinte trecho: “[...] Os fabricantes poderiam adotar o processo de cromação para as correntes, pois, com a película de cromo as correntes durariam mais tempo”. Para elaboração dessa resposta, verifica-se a contribuição do produto educacional utilizado nas intervenções didáticas, especialmente do material impresso utilizado na aula 03 e também do vídeo Telecurso2000 - Aula 23/50 - Química - Cromação, Niquelação, Estanhagem, Zincagem.

Ainda sobre a Figura 25, foi constatado que ocorreu aprendizagem em nível teórico ao visualizar no desenho alusivo à Galvanoplastia a riqueza de detalhes teóricos pertinentes ao procedimento, tais como: A correta relação entre os polos e o nome das semi-reações que ocorrem em cada um deles, o conteúdo da solução da cuba eletrolítica, a indicação de que ocorre a migração do íon  $\text{Cr}^{+3}$ , a existência de uma bateria como fonte externa de energia e a condição do antes e do depois da placa de cromo. Nessa representação, verifica-se a

influência direta dos seguintes recursos utilizados nas aulas dos três encontros da intervenção didática: (i) simulador monte um átomo, que contribuiu para compreensão do significado e estrutura dos íons; (ii) vídeo Telecurso2000 - Aula 23/50 - Química - Cromação, Niquelação, Estanhagem, Zincagem; (iii) materiais impressos utilizados.

A respeito da verificação da aprendizagem em nível representacional, o fato de a resposta contemplar de maneira coerente o arranjo experimental necessário para a realização de uma Galvanoplastia contribuiu para a identificação desse nível de aprendizagem, além de se constatar que os alunos se apropriaram das representações que dão sentido a cada componente da experimentação. Nessa direção, percebe-se a influência tanto dos momentos expositivos e dialogados que compõem a sequência de ensino e aprendizagem adotada para as intervenções e também dos recursos utilizados nos encontros, sobretudo o material impresso que orientou a terceira aula e o simulador Electrolysis, pois foi com esse simulador que os alunos puderam interagir/manipular as variáveis de uma eletrólise.

A partir do observado no Quadro 9, verifica-se que 11 duplas (64,7% dos estudantes) tiveram suas respostas enquadradas entre parcialmente satisfatórias e satisfatórias. Considera-se o desempenho dos alunos nesta segunda etapa do problema como bastante proveitoso, do ponto de vista da evolução do conhecimento químico acerca da temática Galvanoplastia, sobretudo se for feita uma comparação entre a qualidade das respostas fornecidas nesta etapa do problema e as respostas obtidas na questão de número 05 da avaliação diagnóstica. Tal evolução no conhecimento químico dos estudantes relativos à Galvanoplastia reforça a supracitada pertinência da sequência de ensino e aprendizagem estruturada para o presente trabalho que serviu como recurso intermediador para a construção do conhecimento.

No capítulo a seguir serão escritos comentários conclusivos a respeito do desenvolvimento do presente estudo, evidenciando o retorno esperado tanto pelo problema da pesquisa quanto dos objetivos estabelecidos.

## CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A finalidade da investigação realizada para dar origem ao presente estudo demandou a elucidação do seguinte problema de pesquisa: Como a resolução de um Problema, norteada pela aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem, pode contribuir na construção de conceitos sobre galvanoplastia? As diligências realizadas para a obtenção da resposta à questão de pesquisa foram orientadas por dois objetivos específicos.

A interpretação dos resultados inerentes ao primeiro objetivo específico “Avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a temática galvanoplastia”, revelou que os sujeitos da pesquisa não possuíam conhecimentos relativos ao processo de Galvanoplastia. Também foi verificado que a maioria dos estudantes não conseguiu apresentar argumentos quimicamente coerentes sobre a formação da ferrugem e prevenção contra a sua ocorrência, além de não saberem identificar reações redox e tão pouco utilizar o modelo atômico indicado para representar tais reações e apresentar seus conhecimentos sobre número de oxidação.

Ainda no que diz respeito ao que envolveu a busca pela concretização do primeiro objetivo específico, é possível considerar que o déficit de aprendizagem relativo aos conhecimentos necessários para reconhecimento e interpretação das reações redox, e também a respeito da formação e mitigação da ferrugem, pôde ser atenuado durante a vivência das atividades da sequência de ensino e aprendizagem estruturada para o desenvolvimento desta pesquisa.

Após a realização das etapas planejadas para a intervenção didática, mais um objetivo específico, “Analisar as respostas dos estudantes após a vivência de uma intervenção didática para identificar se a resolução do problema contribui para a aprendizagem dos conceitos de Galvanoplastia”, obteve retorno de modo satisfatório. Convém ressaltar que a análise dos conhecimentos prévios dos sujeitos da pesquisa assegura que o problema utilizado na presente investigação continha obstáculos bem definidos, tais como, o conhecimento acerca da formação da ferrugem e a respeito do processo de galvanoplastia. Complementarmente, as informações que emergem das respostas dos estudantes demonstram a pertinente contribuição do Problema elaborado, e da sequência de ensino e aprendizagem utilizada na intervenção didática, pois é possível verificar nas respostas ao Problema a influência de diversos recursos utilizados, tais como: os vídeos, os materiais impressos e os simuladores.

O Problema apresentado e a sequência de ensino e aprendizagem utilizada impactaram positivamente os sujeitos da pesquisa pelo fato de tê-los inseridos em uma experiência pedagógica que se diferencia bastante do método de ensino por transmissão-recepção.

Muitos dos estudantes que vivenciaram a intervenção didática conseguiram responder ao problema de modo satisfatório, observou-se também que a maioria apresentou em suas respostas ao menos dois dos três níveis do conhecimento químico. No entanto, convém sinalizar que alguns estudantes finalizaram a sua participação demonstrando pouca segurança no que diz respeito ao conhecimento em nível representacional. Sendo assim, o professor, fazendo uso de outros recursos didáticos, pode atuar para que os alunos superem tal fragilidade.

O professor atuando como mediador do processo de ensino e aprendizagem ofereceu aos estudantes alguns dos recursos norteadores para o desenvolvimento da aprendizagem sobre a temática central, o que possibilitou o afloramento do protagonismo dos estudantes.

Os resultados obtidos inspiram outras possibilidades de investigações e contextos para a temática central, pesquisas envolvendo os aspectos quantitativos da Galvanoplastia quase inexistem na literatura que trata sobre o ensino por resolução de problemas, sendo interessante também o desenvolvimento de estudos que englobem vertentes econômicas, sociais e ambientais da Galvanoplastia. Além disso, soma-se às demais sugestões de trabalhos que exploraram o ensino de química por resolução de problemas, a recomendação de utilizar esse tipo de metodologia no desenvolvimento dos demais conteúdos de química.

No que diz respeito à concepção do Problema, e da organização dos recursos para estruturar o produto educacional utilizado na intervenção didática, é válido acrescentar que este momento exigiu do professor muito empenho, criatividade e pesquisa. Convém destacar que a escolha dos vídeos indicados para cada aula da sequência de ensino e aprendizagem demandou bastante tempo e cuidado por parte do professor para que fossem escolhidos vídeos que apresentassem uma linguagem acessível aos alunos do ensino médio e que ao mesmo tempo não apresentassem as respostas para o Problema, e assim não descaracterizasse a metodologia.

Ainda sobre o conteúdo do produto educacional, é compreensível que os professores que se interessem em fazer uso desse recurso possam proceder com as adaptações que julgarem pertinentes, em função do tempo, do público, dos equipamentos disponíveis, e outros.

Diante do que foi planejado, executado e discutido, é possível considerar que a realização do presente estudo culminou na elaboração de um produto educacional de fácil adaptação, utilização, reprodutibilidade para muitos dos professores de química que desejam trabalhar a temática Galvanoplastia em suas aulas e que tenham o interesse de utilizar uma

metodologia que favoreça o protagonismo dos seus alunos e a articulação do conhecimento químico com a realidade natural, social e cultural dos estudantes.

Finalmente, registro nessa etapa conclusiva uma reflexão a respeito da realização do presente estudo: Em meio ao dinamismo das informações e a imersão tecnológica em que está a sociedade, o “ser professor” torna-se cada vez mais indissociável do “ser pesquisador”, se faz cada vez mais necessário que o docente tenha a consciência de que precisa acompanhar e se apropriar das inovações digitais e científicas para que possa articulá-las com o propósito de oferecer aos estudantes as ferramentas que possibilitam a construção do conhecimento a respeito das demandas sociais, ambientais e tecnológicas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO - ABRACO. **Revista Corrosão & Proteção**. 2018. Disponível em: [www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br). Acesso em: 17 ago. 2018.

ALFAMAVIDEOS. **As Pilhas Eletroquímicas**. 2008. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6d-yN-PKCGI&t=117s>. Acesso em: 18 de mar. 2019.

ALVES, T. C. **“Por que enferrujou?”**: uma proposta investigativa para o ensino de reações de oxidação e redução. 2018. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ensino na Educação Básica, São Mateus, 2018.

AMARAL, E. M. R. O Aluno em Foco nos 20 anos de Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 193-197, 2015.

AMARAL, E. M. R.; FERREIRA, H. S. Análise e validação de sequências de ensino aprendizagem a partir de atividades e ações propostas. In: RAMALHO, B. L.; NUNEZ, I. B. (Orgs.). Galperin e a teoria da formação planejada por etapas. Recife: Mercado de Livros, 2017.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BALDINATO, J. O. **A química segunda Michael Faraday**: um caso de divulgação científica no século XIX. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BARBOSA, G. A. da S. **A contribuição da Sequência Didática no desenvolvimento da leitura e da escrita no Ensino Médio**: análise dos materiais didáticos “Sequência Didática Artigo de Opinião e “Pontos de Vista”. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Educação, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

BARD, A. J.; INZELT, G.; SCHOLZ, F. **Electrochemical Dictionary**. Berlin: Springer, 2008.

BARRETO, B. S. J; BATISTA, C. H; CRUZ, M. C. P. Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p. 52-58, 2017.

BATINGA, V. T. S. A resolução de problemas nas aulas de química: concepções de professores de química do ensino médio sobre problema e exercício. In: XV Encontro Nacional de Ensino de Química – XV ENEQ, 2004, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: XV ENEQ, 2010.

BATISTA, A. P. **Uma análise da relação professor e o livro didático**. 2011, 65 f. Monografia (Graduação em Pedagogia). Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2011.

BAUER, M; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**: um manual



prático. Petrópolis: Vozes, 2002.

BEHERENS, M. **Paradigma emergente e a prática pedagógica**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteen-century Italy: Galvani, Volta and Others. **Revue d'Histoire des Sciences**, v. 54, p.53-70, 2001.

BEVILACQUA, F.; BONERA, G. F. In: VOLTA, A. **On the electricity excite by the mere contact of conducting Substances of different kinds**: Edição bicentenária em francês, inglês, alemão e italiano da carta a Sir Joseph Banks de 20 de março de 1800. Milão: Università degli Studi di Pavia; Ulrico Hoepli, 1999.

BLITZ PEDALERIA. **Pedaleria** - Blitz Pedaleria contra a corrente enferrujada. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DLWWUm0-els>. Acesso em: 18 mar. 2019.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto social. **Química Nova na Escola**, v. 11, p.3-9, 2000.

BOGDAN, R. S.; BIKEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. 12. ed. Porto: Porto, 2003.

BONI, R. S. **A pilha de Alessandro Volta (1745-1827)**: Diálogos e conflitos no final do século XVIII e início do século XIX. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

BOSS, S. L. B; CALUZI, J. J. Os conceitos de Eletricidade Vítreo e a Eletricidade Resinosa segundo Dufay. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BRADY, J. E; HUMISTON, G. E. **Química Geral**. Volume 2. São Paulo: LTC, 1983.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio**: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Volume 2. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais**: ensino médio. Brasília (DF): Secretaria de Educação Média e Tecnológica/ MEC, 2002.

BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737–1798). **Brain Research Bulletin**, Bethesda, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEIN, B. E. **Química**: a ciência central. 9. ed. Toronto, CA: Pearson/Prentice Hall, 2005.

BURGYESS, W. A. **Identificação de possíveis danos à saúde dos trabalhadores nos diversos processos industriais**. Belo Horizonte: Ergo, 1997.

BUZZONI, H. A. **Galvanoplastia**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991.

CAJAVILCA, C.; VARON, J.; STERNBACH, G. L. Luigi Galvani and the foundations of electrophysiology. **Resuscitation, Bath**, v. 80, n. 2, p. 159-162, 2009.

CARABETTA JÚNIOR, V. Rever, Pensar e (Re)significar: a importância da reflexão sobre a prática na profissão docente. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 34, n. 4, p. 580-586, 2010.

CAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, n. 28, p. 7-26, 2011.

CARVALHO, L. C. de; LUPETTI, K. O.; FATIBELLO-FILHO, O. Um estudo sobre a oxidação enzimática e a prevenção do escurecimento de frutas no Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 22, p. 48-50, 2005.

CARVALHO, L. M. de; CALDAS, M. J. de; FACCIN, H. Os estudos sobre química e eletricidade no Renascimento: seus protagonistas, suas obras e influências. **Repositório das Universidades Lusíada**, v. 9, p. 38-63, out. 2014.

CHAGAS, A. P. Os 200 anos da pilha elétrica. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 427-429, 2000.

CHALLEY, J. F. Alessandro Volta. In: GILLISPIE, C.C. (org). **Dicionário de biografias científicas**. Trad. Carlos Almeida Pereira *et al.* Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

COSTA, H. H. S. da. **Abordagem sobre solução química em livros didáticos de química do ensino médio aprovados no pnd/2018: uma análise a partir do ensino e aprendizagem baseados na resolução de problemas**. 2018. 58 f. Monografia – Curso de Licenciatura Plena em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 517-530. 2004.

DOS REIS, J. B. A. **A arquitetura metodológica de Michael Faraday**. 2006. 124 f. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2006.

DUNSCH, L. **Geschichte der elektrochemie – Ein Abriß**. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1985.

FARA, P. Michael Faraday, media man. **Endeavour, East Lansing**, v. 30, n. 1, p. 10-12, 2006.

FELTRE, R. **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

FERREIRA, I. M.; FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F.; Abordagem de ligação metálica numa perspectiva de ensino por situação-problema. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 93-107, 2016.

FILPE, C. H. O.; DIAS-JUNIOR, S. C.; MARTINS-NETO, R. G. O âmbar e sua importância para estudos palecológicos. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 8, 2007, Caxambu. **Anais [...]**. Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007.

FIRME, R.; AMARAL, E. Análise e validação de uma sequência de ensino com abordagem CTS: o descarte de pilhas e baterias. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, n. 8, 2011. **Anais [...]**. São Paulo, 2009.

FREIRE, M. **A estratégia didática de resolução de problemas na formação de professores de química**. 2010. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FREIRE, M. S.; SILVA, M. G. L. Como formular problemas a partir de exercícios? Argumentos dos licenciandos em Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, n. 1, v. 12, p. 191-208, 2013.

FREITAS, A. P. de. **Percepções de professores de química do nível médio acerca do ensino por resolução de problemas por meio da divulgação científica de pesquisas desenvolvidas nesta direção**. 2017. 221 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

FREITAS, L. A. B. Parceria bolsista PIBID e professora do Ensino Médio: A História da Química como facilitadora na aprendizagem de eletroquímica. In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia, 10, 2012, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Divisão de Ensino de Química da Sociedade Brasileira de Química, 2012, p. 1-8.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GÓI, M. E. J.; SANTOS, F. M. T. Reações de Combustão e impacto ambiental por meio de resolução de problema e atividades experimentais. **Química Nova na Escola**, v. 31, n.3, p. 203-209, ago. 2009.

GONÇALVES, C. E. L. de *et al.* (Alguns) desafios para os Produtos Educacionais nos Mestrados Profissionais nas áreas de Ensino e Educação. **Educitec**, Manaus, v. 5, n. 10, p.74-87, 2019.

HOLDER, D. A; JOHNSON, B. G. A consistente set of oxidations numbers rules for intelligent computer tutoring. **Journal of Chemical Education**, v. 79, n. 4, p.465-467, 2002.

HOME, R. W. Franklin's electrical atmospheres. **British Journal for the History of Science** 6, p. 131-151, 1972.

IUPAC. **International Union of Pure and Applied Chemistry Compendium of Chemical Terminology**. Gold Book. Version 2.3.3, 2014.

JENSEN, W. B. Oxidation States *versus* Oxidation Numbers. **Journal of Chemical Education**, v. 88, p. 1599-1600, 2011.

JENSEN, W. B. The Origin of the Oxidation-State Concept. **Journal Chemical Education**, v. 84, p. 1418–1419, 2007.

JOESTEN, M. D.; WOOD, J. L. **Word of Chemistry**. 2 ed. EUA: Sauders College Publishing, 1996.

JOHNSTONE, A. H. Macro and Microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

JUSTI, R. da S.; RUAS, R. M. Aprendizagem de química: reprodução de pedaços isolados de conhecimento? **Química Nova na Escola**, n. 5, p. 24-27, 1997.

KEYSER, P. T. The Purpose of the Parthian Galvanic Cells: A First-Century A. D. Electric Battery Used for Analgesia. **Journal Of Near Eastern Studies**, Chicago, v. 52, n. 2, p. 80-98, abr. 1993.

KLEIN, S. G. **Poluição como temática para construção do conhecimento de reações redox sob uma perspectiva CTSA**. 2016. 215 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Educação em Ciências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

KLEIN, S. G; BRAIBANTE, M. E. F. Reações de oxirredução e suas diferentes abordagens. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p. 35-45, 2017.

KNIGHT, D. M. Humphry Davy: science and social mobility. **Endeavour, East Lansing**, v. 24, n. 4, p. 165-169, 2000.

KORDESCH, K. V.; TOMANTSCHGER, K. Primary batteries. **The Physics Teacher** v. 19, n. 1, p.12-21, 1981.

KOTZ, J. C *et al.* **Química geral e reações químicas**. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: B.V. Boeira; N. Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1996. p. 34-35, 1988.

LACERDA, C. de C. **A contribuição de uma situação-problema na construção dos conceitos de misturas e substâncias**. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ensino em Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

LAILLER, K.J. **The world of physical chemistry**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1993. P. 195.

LOOCK, H. P. Expanded Definition of Oxidation State. **Journal of Chemical Education**, v. 88, n. 3, p. 282-283, 2011.

LOPES, J. B. **Resolução de problemas em física e química: modelo para estratégias de ensino-aprendizagem**. Lisboa: Texto, 1994.

LUCENA-SILVA, D.; CRUZ, P. S.; CHAVES, T. L. D.; VIANA, L. G.; VIEIRA, F. F. Processo de Eletrolise em Banhos Galvânicos. In: I Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande. **Anais[...]**. 2016.

MAAR, J. H. **História da Química – Segunda Parte: De Lavoisier ao sistema periódico.** Florianópolis: Papa-Livro, 2011.

MARCONATO, J. M; BIDÓIA, E. D. Potencial de Eletrodo: uma medida arbitrária e relativa. **Química Nova na Escola**, v. 17, p.46-49, 2003.

MARTINS, R. de A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MATOS, A. Z. G; *et al.* Ensino de química: desenvolvimento de experimento didático de galvanoplastia utilizando materiais de baixo custo. In: III CONEDU, 3, 2016, Natal. **Anais [...]**. Natal: III CONEDU, 2016, p. 1-12.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequence tools for learning and/or research. **Research and Quality of Science Education**. Holanda: Springer, 2005.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **Internacional Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C; MAINIER, F. B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. **Química Nova na Escola**, v. 19, p. 11-14, 2004.

MERRIAM, S. B. **Qualitative Research and Case Study Applications in Education.** SanFrancisco: Allyn and Bacon, 1998.

MINAYO, M. C. S. Ciência, técnica e arte: o desafio da pesquisa social. In: MINAYO, M. C. S (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** Petrópolis: Vozes, 2001.

MOHR, R. **Deslocamento do cobre.** 2006. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y6zaqklbEHU>. Acesso em: 18 mar. 2019.

MONASSA, J. M. **Galvanização como tema motivador na disciplina de química tecnológica em um curso de engenharia de produção.** 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissional em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. E ROMANELLI, L. I. A proposta Curricular de Química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 273-281, 2000.

MOURATO, E. R. G.; SIMÕES NETO, J. E. Uma sequência didática sobre petróleo e derivados para a construção de conceitos químicos na educação de jovens e adultos. **Revista cadernos de Estudos e Pesquisa na Educação Básica**, Recife, v. 1, n. 1, p. 78-97, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/cadernoscap/article/download/14995/-17830>. Acesso em: 20 mai. 2019.

OKI, M. da C. M. A eletricidade e a química. **Química Nova na Escola**, v. 12, p.34-37, 2000.

OLIVEIRA, M. F. de. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Catalão: UFG, 2011.

OLIVEIRA, W; *et al.* Eletrodo de hidrogênio – o que há nos livros didáticos além de  $E^0 = 0?$ . **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 4, p.1064-1068, 2009.

ÖSTERLUND, L. L.; EKBORG, M. Students' Understanding of Redox Reactions in Three Situations. **NorDiNa**, v. 5, n. 2, p. 115-127, 2009.

CAMEL, N. J. C; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, n. 28, p. 7-26, 2011.

PALMA, M. H. C; TIERA, V. A. de O. Oxidação de Metais. **Química Nova na Escola**, v. 18, p.52-54, 2003.

PANCALDI, G. **Volta. Science and culture in the age of enlightenment**. Princeton: Princeton University Press, 2003.

PEARSON. **Simulador Electrolysis**. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2x54xb6>. Acesso: 18 mar. 2019.

PHET COLORADO. **Simulador monte um átomo**. Disponível em <https://bit.ly/2FF8Ija>. Acesso em: 18 mar. 2019.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: the legacy of Luigi Galvani. **Brain Research Bulletin**, v.46, n. 5, p. 381-407, 1998.

PICCOLINO, M. Luigi Galvani and animal electricity: two centuries after the foundation of electrophysiology. **Trends in Neuroscience**, v. 20, n. 10, p. 443-448, 1997.

PICCOLINO, Marco.Luigi Galvani's path to animal electricity.Comptes. **Rendus Biologies**, Paris, v. 329, n. 5-6, p. 303-318, 2006.

PINTO, I. K. L. dos S.; SILVA, A. P. B. da; PINTO, J. A. F. Fluidos ou cargas: uma atividade investigativa com o eletróforo de Volta. In: XVI Encontro de Pesquisas em Ensino de Física, 16, 2016, Natal. **Anais [...]**. Natal: ReserachGate, 2016, p. 1 – 8.

PIRES, A. M., LANFREDI, S., PALMIERI, M. C. **Energia elétrica e reações químicas**. Rede São Paulo de Formação Docente, São Paulo, módulo 4, disciplina 7, 2011.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A Solução de Problemas nas Ciências da Natureza**. In: POZO, J. I. (org) A Solução de Problemas: aprender a resolver, resolver para aprender. Tradução: Beatriz Neves. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL - PROFQUI. **Matriz Curricular**. 2019. Disponível em: <https://profqui.iq.ufrj.br/matriz-curricular/>. Acesso em: 16 mar. 2019.

RAMOS, M. G.; MASSENA, E. P.; MARQUES, C. A. Química Nova na Escola – 20 anos: Um Patrimônio dos Educadores Químicos. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 116-120,

2015.

REDE GLOBO. **Como reduzir os efeitos da maresia: algumas explicações sobre.** 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=957JQpcb070>. Acesso em: 18 mar. 2019.

REDE GLOBO. Telecurso2000. **Aula 22/50 - Química - Ferro e Ferrugem.** 2011 a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wkP75SmEK18>. (2011). Acesso em: 18 mar. 2019.

REDE GLOBO. Telecurso2000. **Aula 23/50 - Química - Cromeração, Niquelação, Estanhagem, Zincagem.** 2011 b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wqgyiPaDAM>. Acesso: 18 mar. 2019.

ROMANO, C. **Gestão de segurança e saúde ocupacional em galvanoplastia.** 2006. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROSMORDUC, J. **Uma história da física e da química - De Tales a Einstein.** Tradução: L.V.C. Faria; N.V.C. Faria. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1988. p. 88.

ROSS, C. E. How the public successes of a poetic scientist - Humphry Davy (1778–1829) - **Changed English literature.** *International Congress Series*, v.1242, p. 495-501, 2002.

ROWE, R. C. Michael Faraday – an inspiration to all scientists. **Drug Discovery Today**, London, v. 6, n. 23, p. 1196-1197, 2001.

RUSSEL, J. B. **Química Geral.** Volume 2. São Paulo: Pearson, 1994.

SANJUAN, M. E. C *et al.* Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. **Química Nova na Escola**, n. 31, p. 190-197, 2009.

SARTORI, E. R; BATISTA, E. F; FATIBELLO FILHO, O. Escurecimento e limpeza de objetos de prata – um experimento simples e de fácil execução envolvendo reações de oxidação-redução. **Química Nova na Escola**, v. 30, p. 61-65, 2008.

SILVA, A. H; FOSSÁ, M. I. T. Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. **Qualit@s Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 1-14, 2015.

SILVA, B. de O; CÂMARA, S. C; AFONSO, J. C. Série histórica da composição química de pilhas alcalinas e zinco-carbono fabricadas entre 1991 e 2009. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 5, p. 812-818, 2011.

SILVA, E. L.; WARTHA, E. D. Estabelecendo relações entre as dimensões pedagógica e epistemológica no Ensino de Ciências. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 24, n. 2, p. 337-354, 2018.

SILVA, F. C. V. **Resolução de uma situação-problema sobre radioterapia para construção de conceitos de radioatividade no ensino superior de química.** 2013. 115 f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, M. V. F; *et al.* Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química. **Química Nova**, v. 38, n. 2, p.293-296, 2015.

SILVA, R. M.; SCHNETZLER, R. P. Concepções e ações de formadores de professores de Química sobre o estágio supervisionado: propostas brasileiras e portuguesas. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2174-2183, 2008.

SILVA, V. A.; SOARES, M. H. F. B. Conhecimento prévio, caráter histórico e conceitos científicos: o ensino de química a partir de uma abordagem colaborativa da aprendizagem. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 3, p. 209-219, 2013.

SKOOG, D. *et al.* **Fundamentos da Química Analítica**. São Paulo: Thomson, 2008.

SOUZA, E. T; *et al.* Corrosão de metais por produtos de limpeza. **Química Nova na Escola**, v. 26, p. 44-46, 2007.

THOMPSON, S. P. **Michael Faraday his life and work**. London: Kessinger Publishing, 2005.

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

TRASATTI, S. 1799–1999: Alessandro Volta’s ‘Electric Pile’: Two hundred years, but it doesn’t seem like it. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, Alicante, v. 460, p. 1-4, 1999.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

UNODIGITAL. **Representação da eletrólise ígnea do cloreto de sódio**. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2IEmXxd>. Acesso em: 22 abr. 2019.

VASCONCELOS, C.; ALMEIDA, A. **Aprendizagem baseada na resolução de problemas no ensino das ciências**: propostas de trabalho para ciências naturais, biologia e geologia. Porto: Porto, 2012.

VAZ, E. L. S; ASSIS, A.; CODARO, E. N. Análise Experimental da Resistência à Corrosão e da Velocidade de Corrosão: uma proposta pedagógica. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 1, p. 61-64, 2011.

VILLULLAS, H. M; TICIANELLI, E. A; GONZÁLEZ, E. R. Células a Combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. **Química Nova na Escola**, v. 15, p. 28-34, 2002.

VOLTA, A. On the electricity excite by the mere contact of conducting substances of different kinds. **Phil. Trans. R. Soc. Lond.**, v. 90, p. 403-431, 1800.

WHITTAKER, E. **A history of the theories of aether and electricity**. New York: Humanities Press, 1973.



WHITTAKER, E. **A History of Theories of Aether and Electricity**: Dover Publications, New York: Dublin University, 1989.

ZABALA, A. **Prática Educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZANIBONI, M. A Computational View of the Historical Controversy on Animal Electricity. **Creative Education**, Parma, v. 3, n. 1, p. 1130-1137, out. 2012.

## APÊNDICE A - CARTA DE APRESENTAÇÃO AO GESTOR DA ESCOLA ESTADUAL FREI CANECA



### UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

#### CARTA DE APRESENTAÇÃO

Este documento destina-se à Escola Estadual Frei Caneca.

**Prezado(a),**

Por meio desta eu, Rafael José dos Santos, venho solicitar a autorização para realização da minha pesquisa de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, cujo título é “RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS ARTICULADOS A TEMÁTICA GALVANOPLASTIA”, sob orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Fernandes Campos.

A referida pesquisa tem por objetivo elaborar um produto educacional que possa contribuir para o ensino de Galvanoplastia através da utilização da abordagem de ensino e aprendizagem por Resolução de Problemas. Esta etapa da pesquisa concerne à coleta de dados que será realizada através da apresentação de uma sequência de ensino e aprendizagem, e aplicação de questionários aos alunos participantes.

Dessa maneira, solicito a autorização para o uso de alguma sala de aula adequada para realização de quatro encontros, cada um com 100 minutos de duração, e a indicação de alunos que estejam cursando o segundo ano do ensino médio. Os dias e horários oportunos para a realização da intervenção didática poderão ser indicados pela própria escola em função da rotina da instituição e dos discentes.

A presente atividade é requisito para a conclusão do curso de Pós-Graduação no caráter de Mestrado em Química, da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Atenciosamente.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Fernandes Campos – Orientadora

---

Prof.<sup>o</sup> Rafael José dos Santos – Mestrando

---

Gestor/Coordenador/Secretário da  
Escola

Camagibe, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019

## APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

As respostas fornecidas a este questionário contribuirão para o desenvolvimento de uma pesquisa do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. A seriedade da sua participação é muito importante.

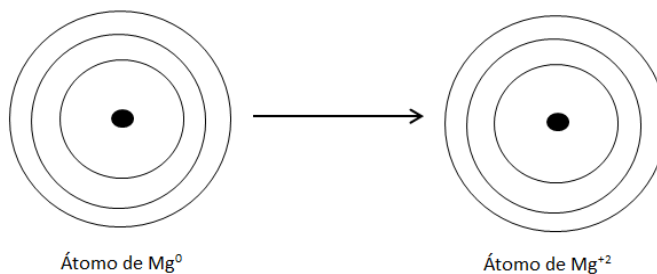
**Agradecemos a sua colaboração.**

Angela F. Campos – Profa. Dra. Orientadora

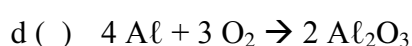
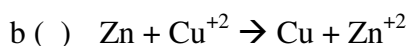
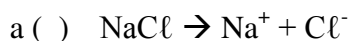
Rafael J. dos Santos – Aluno de Mestrado

### AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

01. Observando a equação química dada por:  $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^-$  e levando em consideração que o número de elétrons no átomo neutro de magnésio é 12, utilize as imagens a seguir para representar a equação química observada.



02. Considerando as reações químicas representadas abaixo, assinale (x) na (s) reação (ões) de oxidação-redução e justifique a(s) sua(s) escolha(s).




---



---



---

---

---

---

---

---

---

---

---

03. Em nosso dia a dia encontramos facilmente diversos objetos enferrujados, a formação da ferrugem merece a nossa atenção por motivos de segurança, por razões econômicas e também estéticas. Dessa maneira, explique como ocorre a formação da ferrugem, indicando quais são as substâncias envolvidas neste processo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

04. Quais ações podem ser realizadas para evitar a formação da ferrugem?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

05. Você conhece o termo galvanoplastia? Em caso afirmativo, escreva sobre o que você conhece a respeito desse termo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL

### RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA

#### SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM – AULA 01

As questões a seguir devem ser respondidas utilizando as informações obtidas no debate sobre o vídeo:

Pedaleria - Blitz Pedaleria contra a corrente enferrujada (disponível em <https://bit.ly/2QznZcI>)

01. Qual é o principal elemento químico que está presente na composição das correntes das bicicletas?

02. Qual foi a justificativa dada pelo mecânico para a escolha da pista a beira mar como local adequado para gravar a matéria?

03. Qual era o aspecto visual percebido nas correntes que foram substituídas?

04. Como o mecânico justificava o fato das correntes entregues por ele serem melhor que as correntes que estavam nas bicicletas dos ciclistas?

As questões a seguir devem ser respondidas utilizando as informações relacionadas ao conceito de número de oxidação (Nox). Para auxiliar nestas resoluções, utilizaremos o simulador “monte um átomo” do PhET Simulações Interativas, disponível em <https://bit.ly/2FF8Ija>.

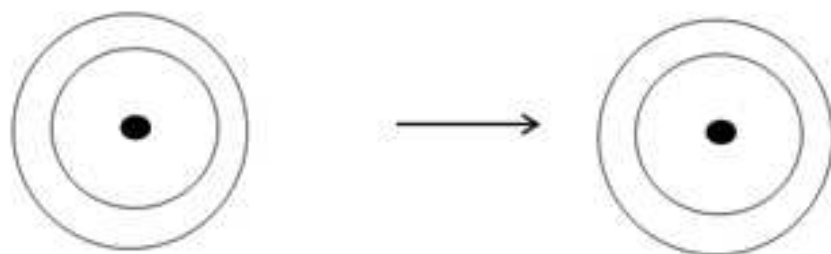
05. Considere a equação química dada por  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + 1\text{e}^-$  e levando em consideração que o número atômico do lítio é igual a 3, utilize as imagens a seguir para representar a equação química observada.



Sobre a equação acima, responda:

- Houve ganho ou perda de elétrons?
- Qual foi a variação de Nox verificada para o lítio?
- A equação em análise corresponde a uma oxidação ou redução?

06. Considere a equação química dada por  $\text{N} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{N}^{3-}$  e levando em consideração que o número atômico do nitrogênio é igual a 7, utilize as imagens a seguir para representar a equação química observada.



Sobre a equação acima, responda:

- Houve ganho ou perda de elétrons?
- Qual foi a variação de Nox verificada para o nitrogênio?
- A equação em análise corresponde a uma oxidação ou redução?

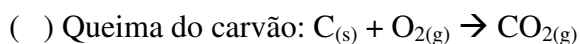


As questões a seguir devem ser respondidas utilizando as orientações para o cálculo do número de oxidação presentes na tabela apresentada pelo professor.

07. Indique o número de oxidação para os átomos dos elementos representados nas substâncias a seguir.

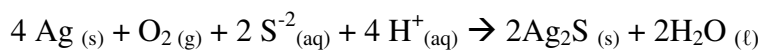
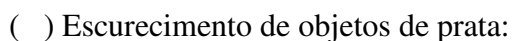
Substâncias	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	Zn	Cu
Nox						
Substâncias	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe <sup>+2</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Nox						
Substâncias	HCl	H <sub>2</sub> O	HClO	KNO <sub>3</sub>	AgSO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Nox						

08. Analise as equações químicas a seguir e assinale (X) nas equações que representam reações redox e identifique a substância que sofreu oxidação e a substância que sofreu redução.



Qual substância sofreu oxidação?

Qual substância sofreu redução?



Qual substância sofreu oxidação?

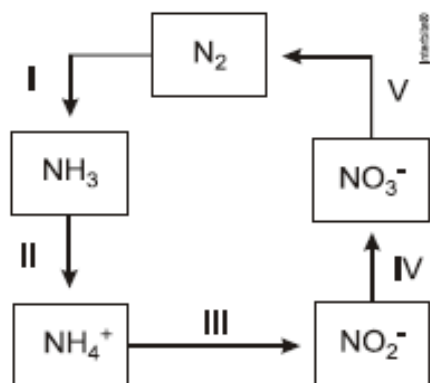
Qual substância sofreu redução?



Qual substância sofreu oxidação?

Qual substância sofreu redução?

09 (ENEM/2014) A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados na agricultura pode acarretar alterações no solo e na água pelo acúmulo de compostos nitrogenados, principalmente a forma mais oxidada, favorecendo a proliferação de algas e plantas aquáticas e alterando o ciclo do nitrogênio, representado no esquema. A espécie nitrogenada mais oxidada tem sua quantidade controlada por ação de microrganismos que promovem a reação de redução dessa espécie, no processo denominado desnitrificação.



O processo citado está representado na etapa

- a) I
- b) II
- c) III
- d) IV
- e) V

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM – AULA 02

Antes de responder a questão 01 é necessário assistir ao vídeo “Deslocamento do Cobre” disponível em <https://bit.ly/2EsyncRC>.

01. Assistindo ao vídeo indicado, verifica-se que o fragmento da placa de zinco que ficou submerso na solução de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) passou a ter uma coloração diferente. Como explicar tal acontecimento?

Para responder as questões de 02 a 04 é necessário assistir, até 0:49, o vídeo “As pilhas eletroquímicas” disponível em <https://bit.ly/2zVsdRk>.

02. Escreva a semi-reação que representa o ocorrido com os átomos da placa de zinco que estavam submersos na solução. Esta semi-reação indica que os átomos de zinco sofreram uma oxidação ou uma redução?

03. Escreva a semi-reação que representa o ocorrido com os íons cobre que interagiram com a placa de zinco. Esta semi-reação indica que os íons cobre sofreram uma oxidação ou uma redução?

04. Escreva a reação global da reação verificada. A reação química que aconteceu foi uma reação redox? Justifique a sua resposta.

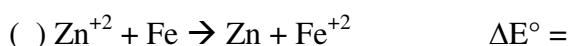
Para responder a questão 05 será necessário consultar a seguinte tabela de potencial padrão de redução.

Semi-reações de redução	$E^\circ$ (V)
$Al^{+3}_{(aq)} + 3 e^- \rightarrow Al_{(s)}$	- 1,66
$Zn^{+2}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Zn_{(s)}$	- 0,76
$Fe^{+2}_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow Fe_{(s)}$	- 0,44
$Ag^{+1}_{(aq)} + 1 e^- \rightarrow Ag_{(s)}$	+ 0,8
$Au^{+3}_{(aq)} + 3 e^- \rightarrow Au_{(s)}$	+ 1,40

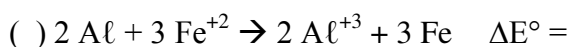
05. Analise as equações químicas a seguir e assinale (X) nas equações que representam reações redox que ocorrem de maneira espontânea. Em todas as equações, calcule a diferença de potencial e identifique as substâncias consideradas como agentes oxidantes e agentes redutores.



Agente Redutor: \_\_\_\_\_ Agente Oxidante: \_\_\_\_\_



Agente Redutor: \_\_\_\_\_ Agente Oxidante: \_\_\_\_\_



Agente Redutor: \_\_\_\_\_ Agente Oxidante: \_\_\_\_\_

Para responder as questões de 06 a 08 é necessário assistir ao vídeo “A volta do ferro à natureza” Disponível em <https://bit.ly/2Qr2iLL>.

06. O aço é considerado uma substância pura ou uma mistura? Justifique a sua resposta indicando qual (is) elemento (s) está (ão) presente (s) na composição química do aço.

07. Como é popularmente conhecido o aço que não enferruja? Qual é o principal elemento químico que o torna um aço diferenciado?

08. Observando a experiência demonstrada no vídeo, com palha de aço em quatro tubos de ensaio com diferentes proporções de água e oxigênio em seu interior, escreva a composição de cada sistema na tabela e responda a pergunta a seguir:

Tubos	1	2	3	4
Substâncias inicialmente presentes nos tubos de ensaio.				
Situação da palha de aço após alguns minutos				
Pergunta: Quais são as substâncias envolvidas no processo de formação da ferrugem?				

Para responder as questões 09 e 10, será necessário articular as informações registradas na tabela da questão 08 com os dados da tabela a seguir.

Semi-reações de redução	$E^\circ$ (V)
$\text{Fe}^{+2}_{(\text{aq})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$	- 0,44
$2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2 \text{OH}^-_{(\text{aq})}$	- 0,42
$\text{Fe}^{+3}_{(\text{aq})} + 1 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{+2}_{(\text{aq})}$	+ 0,77
$\text{O}_2_{(\text{g})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-_{(\text{aq})}$	+ 0,82

09. Para os experimentos observados nos tubos de número 3 e 4. Escreva as semi-reações, e também a reação global.

10. O processo de enferrujamento do ferro é espontâneo ou não espontâneo? Justifique.

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM – AULA 03

Antes de responder as questões 01 a 03 é necessário assistir ao vídeo “Como reduzir os efeitos da maresia / Algumas explicações sobre” disponível em <https://bit.ly/2zXuZ8Q>.

01. Cite ao menos três utensílios do seu dia a dia, produzidos em aço, que precisam dos cuidados necessários para evitar a corrosão eletroquímica.

02. Quais medidas podem ser adotadas para evitar que utensílios do seu dia a dia, produzidos em aço, sofram com a corrosão eletroquímica?

03. Suponha que dois idênticos objetos de aço tenham sido distribuídos para duas diferentes residências. A primeira residência está localizada no sertão do estado de Pernambuco e fica próxima a um rio, já a segunda residência está localizada na avenida beira mar do bairro de Boa Viagem. Dessa maneira, em qual das residências o objeto de aço estará mais vulnerável a formação da ferrugem? Justifique.

Para responder as questões 04 a 06 será necessário articular as informações verificadas no vídeo “Telecurso2000 - Aula 23/50 - Química - Cromação, Niquelação, Estanhagem, Zincagem” disponível em <https://bit.ly/2zSAxRZ>, com as informações presentes na tabela a seguir.

Semi-reações de redução	E° (V)
$Al^{+3}_{(aq)} + 3 e^{-} \rightarrow Al_{(s)}$	- 1,66
$Cr^{+2}_{(aq)} + 2 e^{-} \rightarrow Cr_{(s)}$	- 0,91
$Zn^{+2}_{(aq)} + 2 e^{-} \rightarrow Zn_{(s)}$	- 0,76
$Fe^{+2}_{(aq)} + 2 e^{-} \rightarrow Fe_{(s)}$	- 0,44

$2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2 \text{OH}^-_{(aq)}$	- 0,42
$\text{Ni}^{+2}_{(aq)} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(s)}$	- 0,23
$\text{Sn}^{+2}_{(aq)} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}_{(s)}$	- 0,14

04. Alumínio, Cromo e Zinco são metais que oxidam espontaneamente se colocados em contato com a água? Explique o porquê destes metais serem utilizados como revestimentos protetores do aço contra a corrosão eletroquímica.

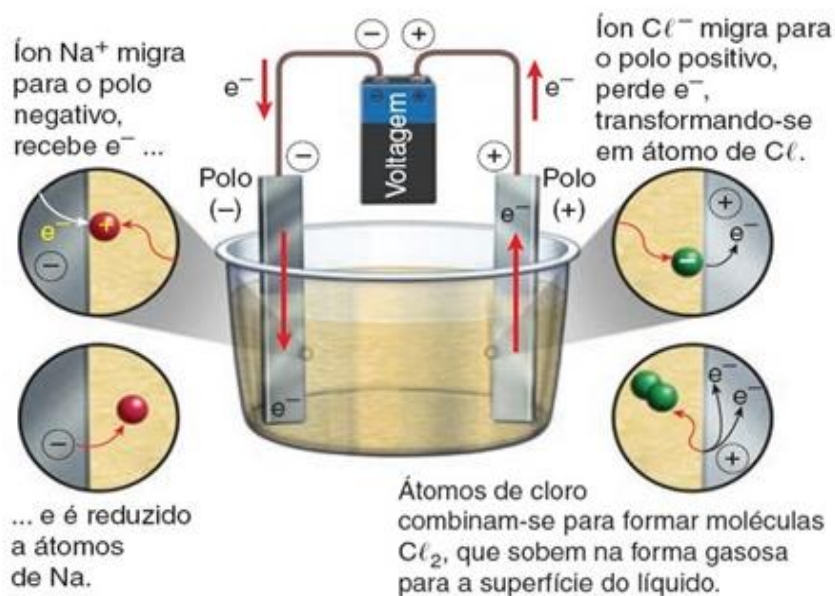
05. Níquel e Estanho são metais que oxidam espontaneamente se colocados em contato com a água? Explique o porquê destes metais serem utilizados como revestimentos protetores do aço contra a corrosão eletroquímica.

06. Dentre os metais listados na tabela, qual é utilizado pela indústria para o revestimento interno de latas de alimentos? É recomendado comprar alimentos com latas amassadas? Por quê?

As questões de 07 a 09 serão respondidas após a exploração dos conceitos relativos aos tipos de eletrólise e galvanoplastia.

07. A imagem a seguir representa a aparelhagem montada para a realização da eletrólise ígnea do cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), utilizando eletrodos de platina. Com base nas informações contidas na ilustração, preencha corretamente a tabela a seguir.

Figura 26 - Representação da eletrólise ígnea do cloreto de sódio



Fonte: UNODIGITAL (2014).

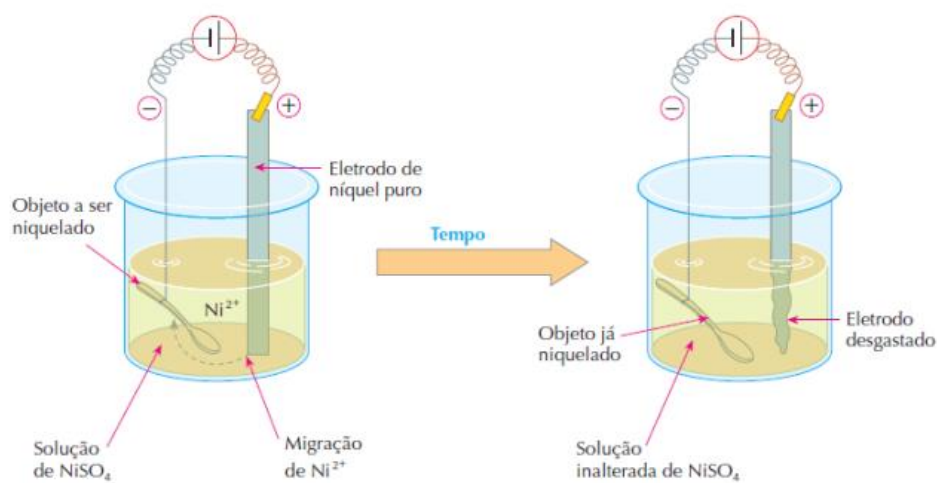
	Polos	Semi-reações
O soluto está: ( ) fundido ( ) aquoso	Cátodo Polo ( ):	
Os eletrodos são: ( ) inertes ( ) ativos	Ânodo Polo ( ):	
	Reação Global:	
Este processo é ( ) espontâneo ( ) não espontâneo		
Justifique:		

Para responder às questões de 08 a 09, considere o texto e a imagem a seguir

A galvanoplastia é um processo que permite dar um revestimento metálico a determinada peça. A seguir é mostrado um aparato experimental, montado para possibilitar o revestimento de uma colher com níquel.



Figura 27 - Niquelação de uma colher



Fonte: Feltre (2004).

08. A niquelação de uma chave corresponde a uma eletrólise ígnea ou a uma eletrólise aquosa? A chave deve estar posicionada no cátodo ou no ânodo sistema? Justifique.

09. Escreva as semi-reações que acontecem tanto na superfície da colher quanto na placa de níquel puro.

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS  
ARTICULADOS À TEMÁTICA GALVANOPLASTIA**

**SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM – AULA 04**

**PROBLEMA**

Uma equipe de mecânicos de uma loja de manutenção de bicicletas realizou, na orla da praia de Boa Viagem, uma campanha de conscientização dos usuários deste meio de transporte sobre o momento adequado para troca das correntes de transmissão.

Na ocasião, os mecânicos presentearam alguns ciclistas com a substituição gratuita das correntes de suas bicicletas, por correntes que serão utilizadas por mais tempo até a próxima troca.

Nesse contexto, responda:

Como explicar o desgaste químico percebido nas correntes? Descreva (com texto e desenhos) o possível procedimento eletroquímico que os fabricantes poderiam adotar para que os ciclistas possam utilizar as correntes por mais tempo.

**RESPOSTA:**