
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

**ASPECTOS CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICOS DO TEMA
ELETROQUÍMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA APROVADOS
PELO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO PARA O
ENSINO MÉDIO - PNLEM (2007)**

CARLOS HENRIQUE BOCANEGRA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Educação.

Agosto - 2010

CARLOS HENRIQUE BOCANEGRA

**ASPECTOS CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICOS DO TEMA
ELETROQUÍMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA APROVADOS
PELO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO PARA O
ENSINO MÉDIO - PNLEM (2007)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Educação.

Orientador: Dra. MARCIA REAMI PECHULA

Co-orientador: Dr. LUCIANO FERNANDES SILVA

RIO CLARO

2010

540.07 Bocanegra, Carlos Henrique
B664a Aspectos conceituais e epistemológicos do tema eletroquímica nos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio - PNLEM (2007) /Carlos Henrique Bocanegra. - Rio Claro : [s.n.], 2010
137 f. : il., figs., tabs., quadros

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Marcia Reami Pechula
Co-Orientador: Luciano Fernandes Silva

1. Química-Estudo e ensino. 2. Obstáculos epistemológicos. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

*Aos meus pais
Enoch e Marlene e
aos meus irmãos Ana e André
pelo incentivo e colaboração*

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª. Dra. Márcia Reami Pechula pelo apoio, dedicação, confiança e o clima de amizade e respeito manifestados em sua orientação durante todo o transcorrer deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luciano Fernandes Silva pela sua amizade, apoio e inestimável colaboração, dada através de seus comentários, sugestões e críticas sempre construtivas.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Educação do Instituto de Biociências de Rio Claro pela oportunidade de poderem compartilhar seus conhecimentos acadêmicos e pela prazerosa convivência.

Aos funcionários da Secretaria Acadêmica do Departamento de Educação e da Pós-Graduação pelo suporte técnico e auxílio na superação das dificuldades diárias.

Aos amigos do grupo de estudo Isabel, Lucimara, Murilo, Nicolau, Nanci e Rita pela amizade e convívio.

Aos amigos professores da Escola Estadual Bento de Abreu e Escola Técnica Anna de Oliveira Ferraz pela amizade e colaboração demonstradas durante a realização deste trabalho.

Ao amigo Márcio, em especial, pela amizade e auxílio dados na leitura e elaboração dos textos em língua inglesa.

Ao amigo André Teixeira pelo auxílio e suporte técnico dado no decorrer deste trabalho.

Ao meu sobrinho Lucas pelos desenhos e ilustrações produzidos neste trabalho.

Aos meus dois outros sobrinhos Vinicius e Júlia por permitirem que eu usasse meu computador em vários momentos, a despeito dos graves prejuízos às suas formações lúdicas.

RESUMO

Neste trabalho, foram analisados os aspectos conceituais e epistemológicos do tema Eletroquímica contidos nos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) em 2007. Essa análise foi efetuada tendo em conta a correção das estruturas conceituais que compõem esse tópico e os obstáculos epistemológicos bachelardianos aí presentes. Foram consideradas quatro categorias de obstáculos, a saber: animistas, realistas, substancialistas e verbais. Os procedimentos de coleta e análise de dados foram baseados em abordagens de natureza qualitativa. Os principais resultados obtidos indicam a presença de algumas distorções conceituais relacionadas, principalmente, com o conceito de potencial ou diferença de potencial do eletrodo e, também, com as descrições realistas relacionadas à previsão das reações redox em processos eletrolíticos. Em particular, o conceito de potencial e seus contornos teóricos merecem maior atenção por parte dos autores dos livros didáticos. Neste caso, observamos que, em pelo menos um manual, o equívoco conceitual cometido comprometeu a compreensão dos sequenciamentos teóricos ulteriores elaborados. Quanto à previsão das reações redox, observamos que metade dos manuais didáticos analisados a abordou, considerando o desenvolvimento de regras e tabelas práticas com o propósito de mostrar ao estudante a influência de diferentes fatores sobre os processos eletrolíticos mais complexos. No entanto, este procedimento engendrou generalizações precipitadas sobre as causas que determinaram a deposição de certo metal sobre um eletrodo ou a tendência de descarga de uma espécie química sobre uma outra. O uso deste procedimento pedagógico também favoreceu interpretações equivocadas quanto à previsão de ocorrência de certos processos eletrolíticos, além de conduzir o leitor a um entendimento distorcido do processo de produção do conhecimento científico. Em suma, encontramos uma quantidade significativa de distorções conceituais nos tópicos eletroquímicos dos livros analisados que, somados aos aspectos metodológicos (procedimentos e ou critérios pouco adequados utilizados na previsão de ocorrência das reações redox, entre outros) e epistemológicos (visão de ciência fragmentada, obstáculos presentes nos conceitos expostos) comprometem a qualidade do manual didático e a correta aprendizagem dos conceitos científicos. Em particular, observamos nos tópicos eletroquímicos a ocorrência dos quatro tipos de obstáculos epistemológicos mencionados anteriormente. Destacamos o predomínio dos obstáculos realistas e verbalistas. Neste sentido, os obstáculos realistas se manifestaram, principalmente, por meio de imagens realistas para vislumbrar as estruturas conceituais que se desejavam ensinar. Essas imagens se traduziram em conhecimentos de primeira ordem, aproximados, portanto, suscetíveis a interpretações não racionalizadas, apoiadas em uma linguagem própria do senso comum, característica do último obstáculo. Cabe frisar que também identificamos na metade dos livros analisados alguns exemplos de obstáculos substancialistas relativos à descrição das propriedades dos compostos químicos, por meio das “propriedades substanciais”. Apenas ocasionalmente, encontramos obstáculos animistas.

Palavras-chave: Livros didáticos. Ensino de Química. Eletroquímica. Aspectos conceituais. Obstáculos epistemológicos.

ABSTRACT

In this work, we analyzed the epistemological and conceptual aspects of the topic electrochemistry contained in textbooks of chemistry approved by the National Textbook Program for high school (PNLEM) in 2007. This analysis was performed taking into account the correction of the conceptual structures that make up these topics and the Bachelardian epistemological obstacles present in these structures. We considered four categories of obstacles, namely: animist, realistic, substancialistic and verbal. The procedures to collect and analyze data were based on qualitative approaches. The main results indicate the presence of some conceptual distortions mainly related to the concept of potential or difference of potential of the electrode and also to the realistic descriptions related to forecast of redox reactions in the electrolytic process. In particular, the concept of potential and its theoretical field deserve more attention by the authors of the textbooks. In this case, we observed that in at least one textbook the conceptual mistake made affected the understanding of the theoretical issue order further developed. We observed that in half of the analyzed teaching materials the forecast of redox reactions was reported considering the development of practical rules and tables in order to show students the influence of different factors on the more complex electrolytic processes. However, this procedure engendered hasty generalizations about the causes that led to the deposition of some metal on an electrode or a preference for the disposal of a chemical species on another one. In this case, the use of this procedure favored misinterpretations in relation to predict the occurrence of certain electrolytic processes, and lead the reader to a distorted understanding of the production process of scientific knowledge. In summary, we found a significant amount of conceptual distortions in electrochemical topics of the textbooks analyzed that, added to the methodological (inappropriate procedures and criteria used in predicting the occurrence of redox reactions, among others) and epistemological aspects (fragmented view of science, obstacles present in the concepts exposed), compromise the quality of textbooks and correct learning of scientific concepts. We observed in electrochemical topics the four kinds of epistemological obstacles previously mentioned. Specifically, there was the prevalence of realistic and verbal obstacles. In this sense, the realistic obstacles were manifested mainly through realistic images to glimpse the conceptual structures wanted to be taught. These images were translated into knowledge of first order (approximated), which is influenced by no-rationalized interpretations, supported in a common sense language, which is one of the aspects of verbal obstacles. It is emphasized that we also identified in half of the textbooks some examples of substancialistic obstacles related to the description of the properties of chemical compounds through the “substantial properties”. We only occasionally found animist obstacles in the textbooks analyzed.

Keywords: Textbooks of chemistry. Teaching of chemistry. Electrochemistry. Conceptual aspects. Epistemological obstacles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática de uma pilha eletroquímica recebendo trabalho útil da fonte de energia.....	39
Figura 2- Esquema representativo das etapas envolvidas no cálculo do potencial do eletrodo.....	41
Figura 3- Diferenças de potenciais entre dois eletrodos que compõe uma pilha - sistema espontâneo.....	43
Figura 4- Foto ilustrativa representando a medida da força eletromotriz de uma pilha.....	79
Figura 5- Medidas da fem de pilhas com diferentes tamanhos.....	80
Figura 6- Esquema ilustrativo sobre o funcionamento de uma pilha elétrica.....	82
Figura 7- Processo de óxido-redução de uma barra de cobre.....	87
Figura 8- Medida do potencial elétrico de uma pilha comum.....	88
Figura 9- Pilha em funcionamento - medida de sua ddp.....	90
Figura 10- Esquema representacional da interface metal-eletrodo e as reações catódicas e anódicas que nela ocorrem.....	102
Figura 11- Processo de niquelagem de uma peça metálica.....	105
Figura 12- Processo de deposição química do cobre metálico sobre o ferro (prego).....	116

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Dados do PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) de 1995 a 2009..	19
Quadro 1: Possibilidades de medidas da ddp.....	44
Quadro 2: Cálculo da ddp das pilhas: procedimentos e equações contidas nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.....	93
Quadro 3: Agrupamentos analíticos e proposições conceituais - sobre o fluxo de cargas - levantadas nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.....	99
Quadro 4: Aspectos qualitativos e quantitativos que envolvem a lei de Faraday.....	114

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. O LIVRO DIDÁTICO NO BRASIL.....	14
2.1 Alguns contornos históricos.....	14
Os livros didáticos e o PNLEM.....	19
O livro didático de Química.....	22
A Eletroquímica e o ensino de Química.....	25
2.2 Procedimentos metodológicos.....	30
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ELETROQUÍMICA NO ENSINO MÉDIO: ASPECTOS CONCEITUAIS E OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS.....	36
3.1 Eletroquímica: fundamentos teóricos.....	36
Potencial e diferença de potencial elétrico.....	41
Medidas do potencial do eletrodo.....	42
3.2 Fundamentos epistemológicos.....	44
A Epistemologia de Gaston Bachelard.....	47
Obstáculos animistas.....	54
Obstáculos realistas.....	55
Obstáculos substancialistas.....	56
Obstáculos verbais.....	58
4. O TEMA ELETROQUÍMICA E OS LIVROS DIDÁTICOS DE DE QUÍMICA: CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS E EPISTEMO- - LÓGICAS.....	60

4.1 Breve descrição dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.....	60
Química & Sociedade – PEQUIS – Santos <i>et al.</i>	60
Universo da Química - Bianchi <i>et al.</i>	62
Química – Nóbrega <i>et al.</i>	64
Química – Mortimer e Machado.....	66
Química na abordagem do cotidiano – Canto e Peruzzo.....	68
Química – Feltre.....	70
4.2 Análise dos livros didáticos do PNLEM.....	72
4.2.1- Pilhas.....	75
O conceito de potencial/diferença de potencial nos livros didáticos.....	76
Medidas de potencial e diferença de potencial elétrico.....	87
Previsão de ocorrência das reações de óxido-redução.....	93
Os processos de transferência de cargas elétricas.....	96
4.2.2 - Aspectos conceituais e epistemológicos – Eletrólise.....	104
5. SÍNTESE DOS RESULTADOS-ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	118
REFERÊNCIAS.....	124
APÊNDICES.....	131

1. INTRODUÇÃO

Recorrendo ao passado, julgamos que as ideias que nos conduziram à elaboração do plano de pesquisa surgiram a partir de inquietações e reflexões sobre nossa experiência como professor de Química e Física do Ensino Médio e da atuação como pesquisador na área da Eletroquímica. Esta última possibilitou-nos o contato direto com o processo de produção do conhecimento científico e de suas interações com o trabalho em laboratório. Além disto, a aproximação entre o campo de pesquisa acadêmico e a prática docente permitiu-nos avaliar com mais cuidado os materiais didáticos adotados no ensino de Ciências.

Neste sentido, no decorrer de nosso trabalho docente, pudemos observar que grande parte dos livros didáticos utilizados no preparo de aulas apresentava problemas quanto à correção conceitual além de outros relacionados à exposição reducionista da Ciência e das práticas científicas. Alguns desses problemas ainda persistem nos livros, embora tenha ocorrido um decréscimo na quantidade de erros conceituais, após a avaliação pelos programas oficiais. No entanto, em nossa concepção, há muito que fazer se considerarmos a importância do livro didático para o processo de ensino-aprendizagem, em particular, no ambiente escolar.

Tendo em conta esses apontamentos, neste trabalho, desenvolvemos uma discussão sobre os aspectos conceituais e epistemológicos dos tópicos da Eletroquímica encontrados nos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) em 2007. Em particular, analisamos os aspectos epistemológicos, dando ênfase aos obstáculos epistemológicos bachelardianos contidos nesses tópicos.

Nesta perspectiva, no primeiro capítulo intitulado “O livro didático no Brasil” apresentamos para o leitor um breve histórico do livro didático de Ciências Naturais e, em específico, os de Química produzidos no Brasil. Ao descrever esse processo, nosso objetivo é entender como foi articulado o processo de elaboração desse material com as abordagens teórico-metodológicas vigentes na educação ao longo do tempo, através de políticas públicas mantidas pelo Estado até culminar com o PNLEM. É importante destacar que a compreensão desses aspectos contribuiu para a caracterização geral que fizemos dos manuais didáticos.

No capítulo seguinte, elaboramos a construção do referencial teórico utilizado nessa pesquisa. As considerações teóricas sobre a Eletroquímica foram produzidas a partir da análise dos documentos oficiais, de nossa experiência docente e dos livros-texto usados em nosso mestrado em Eletroquímica. As considerações epistemológicas foram geradas tendo em conta a noção de obstáculos epistemológicos presentes nas obras de Bachelard.

Na sequência, delineamos as estruturas conceituais e os sequenciamentos teóricos exibidos pelos autores dos livros didáticos, ou seja, a partir desses contornos efetuamos a análise dos aspectos teóricos. Separamos essa análise em dois blocos. O primeiro refere-se aos processos espontâneos de conversão de energia, que correspondem às pilhas voltaicas e às medidas de potencial do eletrodo utilizando o Eletrodo de Referência de Hidrogênio (ERH). No segundo, foram considerados os processos não espontâneos, também denominados processos eletrolíticos ou eletrólise. Em ambos, destacamos inicialmente os problemas relacionados à correção conceitual e, em seguida, abordamos os obstáculos epistemológicos e suas implicações no ensino de Química.

Por fim, na “Síntese dos Resultados” discorremos sobre os principais equívocos ou distorções conceituais encontradas nos livros didáticos. Também, apresentamos os principais obstáculos epistemológicos presentes nas estruturas e nos sequenciamentos teóricos analisados.

2. O LIVRO DIDÁTICO NO BRASIL

2.1 - Alguns contornos históricos

O conhecimento científico e tecnológico está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas e nas relações sócio-econômicas que envolvem o complexo sistema de produção de nossa sociedade. Muitas vezes, somos bombardeados com um número grande de informações sobre certos temas com os quais temos pouca familiaridade e interesse. Porém, somos alertados sobre a importância de estar bem informados e de saber a respeito, para a nossa formação intelectual.

Nesse sentido, a complexidade das relações sócio-econômicas em conjunto com os aspectos políticos, ambientais e éticos que atuam em nossa sociedade exige que todos os cidadãos possuam conhecimentos científicos e tecnológicos suficientes para acompanhar e participar dos debates e das tomadas de decisões sobre temas que influenciam direta ou indiretamente a nossa vida.

Por sua vez, o processo de aquisição de conhecimentos científicos requer uma reflexão sobre os mecanismos de instrução cultural e científica que desempenham papel importante no que tange ao entendimento da estrutura e dinâmica da educação e de suas interações com o processo de aprendizagem dos conceitos científicos que se faz no ambiente escolar.

Nesta perspectiva é que situamos o livro didático. Esse material pode ser considerado um dos objetos de instrução científica mais utilizados pelos professores no processo de ensino-aprendizagem. Chartier (1990, 1994) e Corrêa (2000) relatam que, em alguns casos, ele se constitui a única referência disponível para professores e alunos desenvolverem suas atividades. Além disto, para muitos estudantes brasileiros, o livro didático é o único material que apresenta conteúdos científicos ao qual terão acesso ao longo da vida.

Para melhor avaliar a importância do livro didático na educação, destacamos que ele cumpre uma série de funções na escola. Choppin (2004), por exemplo, salienta que esses materiais, dentro de uma perspectiva mundial, apresentam múltiplos papéis que estão imbricados ao contexto sócio-cultural e ambiental, aos níveis de ensino e desenvolvimento de procedimentos metodológicos. Ainda, segundo o autor, os livros destacam-se pelas seguintes funções: instrumental, ideológica, cultural e documental.

A primeira está relacionada ao argumento de que o livro didático tem como tarefa o desenvolvimento de exercícios, atividades extras visando à apropriação, memorização de conhecimentos, habilidades etc., por parte dos alunos. A segunda função envolve aspectos históricos relacionados à formação dos Estados Nacionais, no século XIX, que procuravam, através dos manuais pedagógicos, criar uma expressão da cultura e identidade nacionais responsável pela organização política e manutenção dos estratos sociais, doutrinando-os, por meio dos conteúdos apresentados.

Por último, caberia a ele auxiliar na construção da capacidade crítica do educando por meio de leituras de textos, documentos, sínteses gerais que levassem ao confronto de idéias e opiniões, permitindo uma interação efetiva entre os vários agentes envolvidos - professor, aluno e livro didático - visando à autonomia intelectual do educando.

Outros autores (GIMENO SACRISTÁN, 1995; LAJOLO e ZILBERMAN, 1999) consideram que o livro didático é um dos representantes de todo saber sistematizado, dado pelos programas oficiais de ensino, fazendo a mediação entre os saberes escolares e as formas culturais hegemônicas ditadas pelo(s) grupo(s) social(is) dominante(s), os quais, por intermédio dele, veiculam conhecimentos, competências, técnicas que consideram importantes e ideologicamente aceitáveis.

Apple (1989) acrescenta que os livros didáticos são os responsáveis por grande parte das condições materiais necessárias para o processo de ensino e aprendizagem, configurando-se como os legitimadores da cultura e do saber a ser transmitido aos educandos.

Esses breves apontamentos indicam-nos que o livro didático configura-se como um dos agentes culturais que mais sofreram mudanças ao longo do tempo. Não somente em suas páginas, recortes e aspectos teórico-metodológicos, mas também a sua forma, editoração e divulgação foram substancialmente alteradas.

Sob esta ótica, podemos, então, localizar sua contribuição para a construção de um projeto de produção e divulgação dos saberes escolares, a partir dos diferentes contextos temporais que nortearam essa produção, efetuada através das várias formas de políticas educacionais adotadas pelo Estado.

Interessa-nos aqui tratar mais especificamente, neste momento, do livro didático utilizado no ensino de Ciências Naturais, uma vez que ele está diretamente relacionado com a transmissão e divulgação de conteúdos próprios aos empreendimentos científico-tecnológicos da contemporaneidade, conteúdos esses que iremos abordar em nosso trabalho de pesquisa.

Reportando-nos ao contexto brasileiro, com a instituição do ensino público secundário, em 1838, os manuais, apostilas e compêndios didáticos adotados, de origem francesa, estabeleceram os conteúdos curriculares e também influenciaram a metodologia utilizada pelos professores nas várias modalidades disciplinares. Muito provavelmente, o processo de construção dos materiais didáticos, a partir da segunda metade do século XIX, foi pautado pela racionalidade técnica oriunda da filosofia positivista, que delineou a elaboração de todo o incipiente empreendimento educacional e científico nacional. (AMARAL, 2006; BARRA e LORENTZ, 1986; DANTES, 1996). Neste trajeto histórico, pode-se dizer que até a primeira metade do século XX, a maior parte dos livros didáticos de Ciências Naturais produzidos eram traduções ou adaptações dos manuais europeus de Física, Química e Biologia (BARRA e LORENTZ, 1986).

Esses autores relataram um grande número de problemas no tocante à utilização destes materiais, entre os quais podemos citar: falta de exercícios para os alunos; visão de ciência pronta e acabada com pouca ênfase nos aspectos experimentais próprios de cada Ciência; prioridade ao ensino por transmissão e aquisição de conteúdos; precariedades no desenvolvimento de habilidades científicas por parte do educando e, principalmente, a produção desse material didático para outra realidade, a européia, distante dos interesses da escola brasileira.

Acrescente-se a isto o fato de que existiu e continua a existir, em nosso país, uma estreita relação entre o livro didático e o processo de escolarização, entendido aqui como parte dos mecanismos didático-pedagógicos aplicados nas escolas que se traduzem na mediação, através do livro, do processo de aprendizagem dos conteúdos, sejam eles específicos ou de formação geral humanística.

A situação começou a mudar a partir da segunda metade do século XX com a intensificação de um movimento que apareceu na década de 30, cujo objetivo era a produção de materiais didáticos que agregassem os mais modernos conceitos e metodologias sobre Ciências e seu ensino, com a elaboração de conteúdos programáticos próprios e condizentes com a realidade da escola brasileira.

Neste percurso, surgiram instituições que foram responsáveis pela elaboração, produção e distribuição desses materiais, além de produzirem inúmeros projetos, equipamentos e kits escolares relacionados ao ensino de Ciências Naturais. Patrocinados pelo Ministério da Educação, e também, em boa parte, por subvenções estrangeiras (países europeus, EUA, Banco Mundial, Fundação Rockefeller, Ford, entre outras) foi marcante a

influência desses materiais no cenário educacional brasileiro entre as décadas de 50 e 80 do século passado.

Corroborando o argumento anterior, Barra e Lorentz (1986) acrescentam que a introdução de novos materiais didáticos nas escolas brasileiras como, por exemplo, os *kits* de ensino de Ciências Naturais somente foi possível em virtude da implantação da LDB - Lei de Diretrizes e Bases - em 1961. Essa lei revogou a obrigatoriedade do currículo nacional único, o que permitiu às escolas escolher quais materiais, currículos e conteúdos seriam mais adequados ao desenvolvimento de seu trabalho educativo.

Neste contexto, podemos também citar o conhecido acordo MEC-USAID (Ministério da Educação - *United States Agency for International Development*) que proporcionou, com o apoio da Fundação Ford e de outras instituições, a confecção de diversos materiais, muito difundidos na década de 60. Entre esses, estavam: a versão verde e azul do BSCS (*Biological Sciences Curriculum Study*), os textos do PSSC (*Physical Sciences Study Committee*), CBA (*Chemical Bond Approach*), CHEMS (*Chemical Educational Material Study*) e o projeto inglês *Nuffield* (1967) - *Biology, Chemistry*, entre outras disciplinas -, todos destinados à melhoria do ensino dando ênfase ao desenvolvimento de mecanismos de investigação científica com a participação dos alunos em atividades laboratoriais que, segundo os idealizadores, promoveriam através da vivência o entendimento do método científico.

Olhando especificamente para a produção desses materiais didáticos, Krasilchik (1980) reportou alguns problemas relacionados com a sua divulgação nos meios escolares. No entanto, ela reconhece que o enorme esforço dessas instituições, principalmente nas décadas de 60 e 70, em patrocinar diversos empreendimentos no campo educacional, permitiu um grande aporte de recursos técnicos e financeiros destinados a diferentes iniciativas (produção de materiais didáticos, kits escolares, formação e treinamento de professores), o que gerou condições favoráveis ao desenvolvimento da melhoria do processo de aprendizagem, levando a novas possibilidades e iniciativas de criação de materiais próprios à realidade nacional.

Seguindo nesta linha histórica, os anos 80 do século passado evidenciaram o efervescente processo de redemocratização da sociedade brasileira que se pautou, no campo educacional, pelo questionamento crítico das concepções tecnicistas de ensino dominantes nos governos militares anteriores. A nova constituição em 1988 abriu um importante espaço para as discussões sobre qual projeto educacional seria adotado pela sociedade brasileira.

No campo político-econômico, o final da década de 80 foi também caracterizado pelos ajustes estruturais ditados pelo Consenso de Washington - fundamentado na doutrina neoliberal - que se traduziram, em nosso país, através da implantação de medidas econômicas que visavam a assegurar a estabilidade financeira e política do Estado (SOARES, 1998).

Neste contexto, a LDB, promulgada em 1996, refletiu a postura neoliberal vigente que reformou o Estado brasileiro, que passou a receber mais créditos concedidos pelo Banco Mundial mediante a condição de implantar progressivamente suas orientações, propostas no campo educacional, segundo quatro eixos norteadores, a saber: 1) princípio da descentralização; 2) a questão da qualidade de ensino; 3) a prioridade ao ensino fundamental e 4) os custos, recursos e financiamento da educação (SOARES, 1998).

Tendo em conta o último eixo norteador como referência, o Banco Mundial priorizou os recursos concedidos com vistas à aquisição de material didático (livros didáticos, materiais instrucionais etc.) dado que esta política pública possibilitaria compensar a precariedade da formação docente, principalmente nos países subdesenvolvidos, como é o caso do Brasil, segundo o Banco (LOCKHEED *et al.*, 1989).

No plano interno, isso se refletiu na implantação de políticas públicas que se estendem até os dias de hoje, relacionadas à distribuição gratuita de livros didáticos a toda rede pública de ensino. Neste sentido, atualmente, o Estado Brasileiro investe milhões de reais na compra e distribuição desses materiais.

De modo específico, desde 1985, o Brasil possui um amplo programa de avaliação, compra e distribuição de livros didáticos para o ensino fundamental denominado Programa Nacional do Livro Didático - PNLD. Além disso, em 2004, passou a contar com um programa especialmente voltado para a avaliação, compra e distribuição de livros didáticos para o Ensino Médio - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM).

A partir dos dados oficiais apresentados na tabela 1, podemos avaliar a importância do PNLD, quando consideramos o número de estudantes atendidos. Adicionalmente, observamos que, desde 1995, houve certa regularidade nos recursos aplicados nos programas dos livros, embora tenha ocorrido um incremento nos investimentos - com algumas flutuações - ao longo do período considerado. De qualquer modo, mesmo sem considerar o PNLEM, os dados também nos revelam que vultosas cifras foram gastas com a compra de livros didáticos voltados para os sistemas de ensino público brasileiro.

Tabela 1 - Dados do PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) de 1995 a 2009.

Período Financeiro	PNLD	Quantidade de Alunos Atendidos	Quantidade de Escolas Beneficiadas	Quantidade de Livros Adquiridos	Recursos Aplicados na Aquisição e na Distribuição
1995	PNLD/96	29.423.376	179.953	80.267.799	196.408.625,96
1996	PNLD/97	30.565.229	179.133	84.732.227	233.251.104,59
1997	PNLD/98	22.920.522	167.953	84.254.768	253.871.511,35
1998	PNLD/99	32.927.703	172.681	109.159.542	373.008.768
1999	PNLD/00	33.459.900	169.949	72.616.050	249.053.552
2000	PNLD/01	32.523.493	165.495	130.283.354	474.334.699
2001	PNLD/02	31.942.076	162.394	120.695.592	539.040.870
2002	PNLD/03	31.966.753	159.228	57.024.873	266.128.366
2003	PNLD/04	31.911.098	153.696	119.287.883	574.839.852
2004	PNLD/05	30.837.947	149.968	111.189.126	619.247.203
2005	PNLD/06	29.864.445	147.407	44.245.296	352.797.577
2006	PNLD/07	28.591.571	144.943	102.521.965	495.126.957
2007	PNLD/08	31.140.144	139.839	110.241.724	559.752.767
2008	PNLD/09	29.158.208	136.781	60.542.242	302.621.896
2009	PNLD/10	28.968.104	136.781	103.581.176	505.332.618

Fonte: Hofling (2006), p.24. A partir de 2004 os dados foram extraídos do Ministério da Educação - FNDE¹.

Os livros didáticos e o PNLEM

A partir de 2004, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE - incorporou o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio - PNLEM. Em 2006, por exemplo, foram distribuídos livros didáticos de Português e Matemática para 7,01 milhões

¹ Disponível no endereço eletrônico: www.fnde.gov.br/index/pnld-dados-estatisticos.

de alunos das três séries do Ensino Médio, resultando num investimento de 121,9 milhões de reais. Em 2007, foram distribuídos 9,1 milhões de livros de Biologia, beneficiando 6,9 milhões de alunos em 15,2 mil escolas e acarretando um incremento de 105 milhões de reais em relação ao ano anterior.

Dando continuidade ao PNLEM, em 2008 foram distribuídos cerca de 14 milhões de livros didáticos de História e de Química a todos os alunos do Ensino Médio. Em 2009, foram comprados em torno de 43 milhões de livros didáticos para o Ensino Médio totalizando, aproximadamente, a cifra de 417 milhões de reais (BRASIL, 2009).

Numa análise mais abrangente, pode-se dizer que a criação do PNLEM foi um importante passo dado pelo Estado para estabelecer uma política educacional em sintonia com a realidade e necessidades da escola pública brasileira, permitindo assim democratizar o acesso ao livro didático através da distribuição gratuita a todos os estudantes do Ensino Médio.

O PNLEM também representou a possibilidade de promover um incremento na qualidade dos livros didáticos voltados para o Ensino Médio - em seus aspectos conceituais, metodológicos etc. - através da prescrição de padrões mínimos de certificação desses materiais a serem ofertados pelo mercado editorial.

Sob este aspecto, o PNLEM propõe avaliações freqüentes para os livros didáticos e, em particular, para os livros de Química destinados ao Ensino Médio². Estas avaliações articulam-se com as recentes abordagens teórico-metodológicas norteadoras do ensino de Química que foram propostas nos documentos oficiais (BRASIL, 1998, 1999, 2002, 2006).

Desta forma, foi considerado como princípio fundamental para a aprovação dos livros didáticos de Química, no processo avaliativo, o fato de eles apresentarem-se corretamente conceituados e divulgarem valores que favorecessem o “respeito às diferenças, à ética e à convivência solidária”. Neste percurso, vários especialistas que atuam principalmente na área de ensino de Química, provenientes de diferentes universidades brasileiras, realizaram a avaliação desses materiais.

O instrumento de análise utilizado para avaliá-los foi a chamada Ficha de Avaliação. Esse documento contém um item que contempla uma breve descrição da estrutura da obra e

² Química: Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio: PNLEM/2008 / Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2007. 67 p.

de seus componentes. Seguem os critérios de eliminação e de qualificação em um total de 59 itens descritores, envolvendo os mais diversos aspectos relacionados aos contextos teóricos, metodológicos, epistemológicos e éticos.

Nos critérios eliminatórios, foram avaliados os aspectos relativos à correção conceitual, às orientações pedagógico-metodológicas e à construção do conhecimento científico e da cidadania.

Nos critérios de qualificação, foram considerados os mesmos aspectos anteriores abordados em um contexto mais específico, tendo em conta, por exemplo, as informações referentes ao uso de uma linguagem adequada e atualizada no manual didático e se os conhecimentos prévios dos alunos foram contemplados na exposição dos conteúdos. Além disso, também foi avaliado se o conhecimento científico estava contextualizado e se houve valorização da História e Filosofia da Ciência no processo de construção do conhecimento. Foram também acrescentados como critérios de qualificação, os aspectos que se reportam ao livro do professor e os aspectos gráfico-editoriais que o compõem.

Importante mencionar que do total de vinte e um livros didáticos de Química analisados, somente seis deles foram aprovados para serem utilizados nas escolas públicas, através do PNLEM³.

Assim, queremos destacar que o processo de produção e distribuição de livros didáticos de Química refletiu os esforços e iniciativas de diferentes instituições governamentais, universidades e grupos de pesquisa comprometidos em oferecer ao público brasileiro materiais didáticos de boa qualidade e que pudessem favorecer a formação e o desenvolvimento intelectual dos alunos, dentro das possibilidades e dos limites de atuação desses materiais.

No entanto, do ponto de vista prático, Megid Neto e Fracalanza (2003), Amaral (2006) e Megid Neto e Leão (2006) relatam que as avaliações realizadas pelo PNLD, nos livros didáticos de Ciências Naturais, pelas equipes de trabalho, estão sujeitas a dificuldades, limitações e até mesmo contradições entre o discurso e a prática dessas equipes, e dos agentes diretamente envolvidos. Em particular, Megid Neto e Fracalanza (2003) apontam que, em alguns casos, diferentes instituições - editoras, escolas, pesquisadores, entre outros - exercem acentuada influência no processo de produção e divulgação do livro didático. Além disto, os procedimentos utilizados, as formas de constituição das equipes de avaliação e as mudanças

³ O processo avaliativo ocorreu em 2007. Os livros aprovados foram distribuídos a partir de 2008.

constantes de seus membros refletem-se na elaboração dos critérios adotados, os quais podem ser responsáveis pela aprovação ou reprovação do manual didático.

Embora todos os aspectos levantados pelos pesquisadores em questão sejam referentes às avaliações efetuadas pelo PNLD, é bem provável que para o PNLEM o quadro seja semelhante. Entendemos que as disputas e conflitos presentes na produção e divulgação do empreendimento do livro didático podem mascarar alguns problemas relacionados aos aspectos conceituais, metodológicos, entre outros, que o livro apresente. Daí a importância de desenvolvermos um trabalho de pesquisa voltado para a análise - neste caso, conceitual e epistemológica - dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.

Em outro momento, salientamos que a produção dos manuais didáticos no Brasil, ao longo da história, foi e continua sendo caracterizada pela adoção de políticas públicas que estabeleçam as condições de elaboração e produção desses materiais.

Olhando de modo específico para os manuais didáticos de Química, observamos que, no decorrer do tempo, essas políticas influenciaram o surgimento de diferentes concepções teórico-metodológicas que nortearam a sua produção. Tendo em conta essas observações, descreveremos a seguir os principais aspectos relacionados a essas concepções.

O livro didático de Química

Em relação aos livros didáticos de Química, Schnetzler (1981) ressalta que houve entre 1945-1980 uma significativa produção voltada para uma interpretação descontextualizada do conhecimento químico e sua relação com a vida cotidiana. A autora conclui que este tipo de abordagem favoreceu uma visão distorcida desta ciência e que pouco contribuiu para a formação crítica do aluno. Acrescenta, também, que esta tendência foi reforçada pelos manuais didáticos na década de 1970. Ainda segundo a autora, este quadro começou a ser alterado com o surgimento de novas abordagens para o ensino de Química que passaram a contextualizar o conhecimento científico tendo em conta suas relações com a tecnologia e a sociedade.

Neste sentido, vale ressaltar que, nos anos 80 do século passado, ocorreu uma importante mudança nos rumos do ensino de Química no Brasil. Em diferentes universidades foram criados grupos de pesquisa que passaram a lidar com o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade - CTS (SANTOS e MORTIMER, 2002).

Estes grupos apresentaram importantes contribuições para a construção de novos entendimentos sobre o ensino de Química e a sua função na sociedade atual. O foco deste novo

“olhar” passou a ser a função social do ensino de Química. Além disso, colocou-se cada vez mais ênfase na formação de um cidadão crítico e atuante na sociedade.

Chassot (2004) indica que esta abordagem influenciou os pesquisadores e autores na elaboração de um grande número de trabalhos científicos, livros e materiais didáticos, dentre os quais destacam-se: o projeto Unidades Modulares de Química (AMBROGI *et al.*, 1980); o Proquim - Projeto de Ensino de Química (SCHNETZLER *et al.*, 1986); Construindo Conceitos Químicos (MALDANER, 1986); Cotidiano e Educação (LUTFI, 1988); Apreendendo Química (ROMANELLI, *et al.*, 1997) e Interação e Transformação Química para o Segundo Grau (GEPEQ - USP, 1988).

Ainda deve ser destacado o trabalho desenvolvido por Maldaner (1992) a partir de atividades experimentais sobre a realidade física do educando e o trabalho do grupo GIPEC⁴ - Grupo Interdepartamental de Pesquisa sobre Educação em Ciências - da Universidade Regional do Noroeste do RS - Unijuí, que retrata situações vivenciais do educando recontextualizando seus saberes, permitindo assim novos entendimentos no que se refere aos conhecimentos científicos, em particular ao empreendimento científico de uma forma mais abrangente.

Por fim, o trabalho de Galliazzi *et al.* (2004), denominado Unidades de Aprendizagem, chama a atenção por problematizar o conhecimento apriorístico e trabalhar com aspectos das relações dialógicas (professor-aluno) presentes nos textos que compõem a coleção.

De modo geral, todos os trabalhos citados remetem a novas possibilidades de entendimento do processo de ensino-aprendizagem na Química a partir de novas elaborações teórico-metodológicas surgidas nos últimos vinte e cinco anos.

Dentro desta perspectiva de mudança nos rumos do ensino de Ciências e, mais especificamente, do ensino de Química, queremos destacar o fato de que os documentos oficiais elaborados, neste contexto, salientam que é necessário romper com práticas educativas que enfatizam procedimentos de aquisição de conhecimentos lineares e fragmentados. Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio sugerem, por exemplo, que os conteúdos curriculares da área da Química devem frisar situações vivenciais dos alunos e assim estabelecer um profícuo diálogo entre os alunos e o professor.

Entretanto, muitas vezes, a inadequação de certos conteúdos curriculares somada à quantidade de erros conceituais presentes nos diversos manuais didáticos - destinados não

⁴ Nesse caso, nos reportamos aos trabalhos relacionados ao ensino de Química.

somente ao ensino de Química, mas ao ensino de Ciências Naturais -, comprometem a produção e a qualidade do livro didático (LOPES, 1992, 1993, 1996, 1999; BIZZO, 1996; 2000).

Neste trajeto, são também reportados nas pesquisas sobre livros didáticos de Ciências, aspectos relacionados a visões distorcidas da Ciência e do empreendimento científico que estes materiais divulgam como, por exemplo, concepções dogmáticas e parciais da Ciência e tratamento atemporal, pronto e finalizado do conhecimento científico (AMARAL e MEGID NETO, 1997; MEGID NETO e FRACALANZA, 2003; MEGID NETO E LEÃO, 2006).

Outros trabalhos (MOREIRA e OSTERMANN, 1993) destacam diversas concepções “errôneas” ou distorcidas sobre o empreendimento científico presentes nos livros didáticos de Ciências como, por exemplo, a indicação de que o método científico é um procedimento indutivo, lógico e rígido, que se inicia com a observação e cumpre rigorosamente as etapas previamente determinadas, até obter necessariamente o conhecimento científico, que seria cumulativo e definitivo.

São também descritas em muitas pesquisas sobre livros didáticos a existência de concepções reducionistas da ciência e a excessiva ênfase em alguns aspectos ligados à experimentação (HODSON, 1994; SILVA e ZANON, 2000; GALIAZZI e GONÇALVES, 2004).

Lopes (1990, 1992, 1993, 2007), em um extenso trabalho de pesquisa sobre livros didáticos de Química, analisou os obstáculos epistemológicos⁵ contidos nestes manuais e concluiu que seriam necessárias significativas alterações na forma como certos conteúdos didáticos são apresentados. Acrescentou, também, a necessidade da incorporação de aspectos ligados à história da Química como meio de superação dos obstáculos presentes.

Nesse momento, é importante frisar que, apesar de todos estes esforços em apontar as constantes distorções conceituais e epistemológicas encontradas nos livros didáticos, ainda há muito a ser feito para melhorá-lo (por exemplo, na correção, revisão e adequação dos conteúdos curriculares), sobretudo se considerarmos a importância histórica que o livro didático possui em nosso sistema educativo, conforme salientamos anteriormente.

Por fim, tendo em conta essas observações, julgamos pertinente elaborar um trabalho de pesquisa que pudesse envolver algumas considerações sobre aspectos conceituais e

⁵ Referem-se aos obstáculos categorizados por Gaston Bachelard, como veremos mais adiante.

epistemológicos presentes nos livros didáticos de Química. Daí nosso interesse pelas seis coleções de livros didáticos de Química aprovadas pelo PNLEM 2007.

No entanto, dada a grande e diversificada quantidade de conteúdos teóricos incluídos nos manuais didáticos de Química, devemos, em um primeiro momento, apontar qual deles iremos eleger para análise que pretendemos realizar. Além disto, também devemos indicar quais aspectos epistemológicos almejamos avaliar nesses manuais.

A Eletroquímica e o ensino de Química

O estudo da Ciência Eletroquímica é de fundamental importância para a compreensão dos diferentes aspectos teórico-conceituais relacionados aos empreendimentos científicos e tecnológicos que permeiam nossa sociedade. Não é rara a divulgação em revistas especializadas, artigos de jornais e pela mídia em geral de relatos sobre viagens espaciais com robôs funcionando com potentes baterias portáteis, carros elétricos com autonomia para percorrer longas distâncias, entre outros, o que comprova o interesse e a curiosidade que o assunto desperta.

Além disto, atualmente é grande a preocupação dos governos em intensificar esforços e aumentar os recursos financeiros com o propósito de estimular a elaboração de projetos de pesquisa que envolvam a criação de fontes “limpas” de energia, em substituição àquelas provenientes de fontes não renováveis e emissoras de gases estufa.

Numa análise mais apurada, pode-se dizer que a área de atuação da Eletroquímica é muito extensa e envolve diferentes processos químicos relacionados a diversas aplicações industriais e tecnológicas, além das citadas anteriormente, como: os processos de eletrodeposição relacionados à prevenção da corrosão nos metais, processos de sínteses de materiais orgânicos e decomposição de poluentes pesados (fenóis, alguns polímeros não degradáveis) e de gases poluentes atmosféricos. Esses são alguns exemplos que expressam o quanto a produção, o consumo de artefatos industriais e o controle de poluentes em nossa sociedade estão vinculados ao desenvolvimento de processos tecnológicos, em particular, daqueles que demandam conhecimentos da Eletroquímica. A partir dessas observações podemos apontar como é importante o trabalho educativo com o tema Eletroquímica no Ensino Médio.

Há várias possibilidades para se trabalhar os conteúdos de Eletroquímica. Dentre elas, os PCNEM, por exemplo, sugerem que é preciso considerar e avaliar criticamente os conteúdos curriculares que levem em conta a perspectiva da investigação sobre o desenvolvimento dos processos tecnológicos presentes em nossa sociedade. Estes processos

são históricos e constituem-se em fonte de informações sobre a gênese dos conceitos científicos, além de interagir com vários aspectos (sociais, econômicos, políticos, ambientais, entre outros) que engendram o empreendimento científico. Também, salienta-se que a abordagem histórica e epistemológica deveria estar imbricada à apresentação dos processos tecnológicos, envolvendo, por exemplo, a produção de energia através de fontes (eletro) químicas.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) sugerem que os conhecimentos químicos sejam estabelecidos a partir do trabalho didático com os materiais e as substâncias, tendo em conta os seguintes focos de interesse a eles relacionados: propriedades, constituição e suas transformações. Também, recomendam que as transformações que ocorrem nas substâncias sejam qualitativamente expostas. Em específico para a Eletroquímica, estabelecem que o estudo dos processos de oxidação e redução seja focado a partir dos conhecimentos da estrutura da matéria e de considerações energéticas - produção e consumo - presentes nas transformações químicas.

Corroborando as Orientações Curriculares, os PCNs+ (BRASIL, 2002) apontam que, na elaboração do plano de ensino de Química para as três séries do Ensino Médio, considerem-se nove temas estruturadores. Particularmente, para a Eletroquímica, propõem que o tema estruturador “Energia e transformação química” - a ser desenvolvido no primeiro ou no segundo ano - apresente as reações de óxido-redução envolvidas numa determinada transformação espontânea e que se faça a previsão da energia elétrica gerada, através do uso da tabela de potenciais-padrão dos eletrodos. No caso de um processo eletrolítico (não espontâneo), propõem que sejam abordadas as experiências de Faraday com o objetivo de se estabelecerem relações entre os aspectos macro e microscópicos da matéria.

De modo geral, pode-se dizer que as indicações didático-curriculares contidas nos documentos oficiais analisados propõem que o ensino de Química, em particular, de Eletroquímica faça-se de forma articulada com outras áreas do conhecimento humano, considerando os diversos aspectos sócio-científicos relacionados à Ciência e ao empreendimento científico.

No entanto, esses documentos fornecem poucas indicações a respeito dos conteúdos curriculares - conceitos científicos - a serem trabalhados dentro de cada área específica. Também na literatura, apesar de haver um número razoável de trabalhos tratando de abordagens alternativas para o currículo e ensino de Química (SANTOS e SCHNETZLER, 1997; SANTOS e MORTIMER, 2009; MILARÉ *et al.*, 2009), são poucas as propostas que descrevem quais conteúdos e conceitos da Química, em particular da Eletroquímica, são

importantes para o desenvolvimento intelectual e a participação crítica do aluno em nossa sociedade.

De fato, propor ou prescrever conteúdos programáticos específicos ou discorrer sobre o modo como eles devem ser trabalhados nas escolas não é tarefa simples, sobretudo dada a pluralidade sócio-cultural e econômica existente no Brasil, que condiciona a produção e a legitimação de distintas propostas curriculares.

Porém, Chassot (2004) apresenta uma proposta de conteúdos programáticos específicos para o Ensino Médio baseada na sua longa experiência como professor e também como pesquisador na área de ensino e história da Química. Ele a faz, propondo encadeamentos teórico-metodológicos criativos, próprios de quem conhece as dificuldades pedagógicas com que o professor depara-se no seu dia a dia, além das dificuldades que o aluno enfrenta relativas à aprendizagem dos conceitos científicos.

Por sua vez, Lutfi (2005) desenvolveu sua proposta de conteúdos curriculares de Eletroquímica fundamentada em visitas a indústrias metalúrgicas (“galvânicas”). Os conceitos científicos abordados por esse autor foram contextualizados com as questões sociais (condições de trabalho, segurança etc.) envolvidas no cotidiano do processo de produção. Essa estratégia de ensino ofereceu uma oportunidade para os alunos trabalharem as leis de Faraday - experimentos com eletrodos, entre outros - relacionando os aspectos macro e microscópicos da matéria com os sócio-científicos, de acordo com as orientações apresentadas nos parágrafos anteriores.

Esses apontamentos levam-nos a dizer que o tema Eletroquímica é um dos mais relevantes no estudo da Química no Ensino Médio. Além disso, é importante destacar que temos uma formação de especialista nessa área do conhecimento humano, fato que nos coloca numa posição privilegiada para a análise de conteúdos eletroquímicos expostos nos manuais didáticos.

Trabalhando como professor de Química e de Física no Ensino Médio e Técnico há mais de duas décadas, principalmente em escolas públicas, temos uma expressiva familiaridade com os elementos teórico-conceituais próprios à Eletroquímica e, nesse caso, consideramos que esse fato possa ser relevante para a análise e discussão que iremos propor neste trabalho. Adicionalmente, estudando durante três anos em um dos principais centros de pesquisa deste país, a Universidade de São Paulo (Instituto de Química - *campus* São Carlos), pudemos desenvolver um outro trabalho de mestrado direcionado à investigação das propriedades das baterias de níquel-platina e de outros sistemas de conversão de energia. Esta experiência contribuiu significativamente para nossa formação profissional, além, é claro, de

permitir o contato com os mais recentes processos eletroquímicos e artefatos tecnológicos - pilhas combustíveis, de hidrogênio, de lítio, entre outros - fundamentais para o desenvolvimento científico-tecnológico do Brasil.

No plano educacional, esta vivência possibilitou-nos analisar com maior profundidade alguns aspectos teóricos relacionados à Química de modo geral. Em particular, na Eletroquímica, também permitiu-nos analisar como ocorre o processo de construção do conhecimento científico no âmbito acadêmico e de que forma ele se traduz em conhecimento escolar, quando da elaboração dos manuais didáticos.

E, igualmente, com base nas pesquisas realizadas (LOPES, 1992, 1993, 1996, 1999; BIZZO, 1996; 2000) e em nossa experiência didática, trabalhando, diariamente, com os manuais didáticos adotados pelas escolas e outros - anteriores ao PNLEM - que são utilizados para consulta no preparo das aulas, observamos o fato de que parte deles continua apresentando, ao longo do tempo, problemas relativos à correção conceitual. No capítulo sobre Eletroquímica, o quadro não é diferente, aliás, em alguns manuais, a situação é mais delicada, de modo que seria necessário reescrever totalmente o tópico.

Reforçando estes argumentos, pode-se destacar o fato de que recentemente foram reprovados cerca de setenta por cento dos manuais didáticos de Química submetidos ao crivo avaliativo do PNLEM em 2007, o que se constitui em forte indício de que esse material continua apresentando problemas conceituais, além de outros responsáveis pela sua reprovação, que fogem à análise a ser efetuada neste trabalho.

Enfocando as estruturas conceituais da Eletroquímica presentes nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM, entendemos que uma análise criteriosa deva ser realizada para avaliar se os aspectos teóricos e/ou sequenciamentos teórico-metodológicos discursivos propostos necessitam ser revistos ou corrigidos ou, ainda, se os conceitos científicos abordados carecem de complementos e, em que situações, esses são realmente importantes para um completo entendimento dos conteúdos eletroquímicos.

Tendo em conta esses apontamentos, concluímos que é necessário analisar a base conceitual que compõe os tópicos eletroquímicos, de forma mais ampla do que aquela exposta nos documentos oficiais e nos manuais didáticos. Um aspecto importante, por exemplo, refere-se às sutis articulações entre alguns conceitos que se propagam no livro didático sem uma devida discussão.

Neste caso, podemos citar as aproximações que surgem entre os conceitos de potencial do eletrodo (utilizado na Eletroquímica) e o potencial elétrico, cuja origem reporta à Física.

Nesta perspectiva, também queremos indicar que os aspectos teóricos relacionados com as leis de Faraday devem ser abordados com base na explanação dos processos eletroquímicos industriais mais simples, tais como: a obtenção de gás hidrogênio a partir da eletrólise da água, a obtenção do sódio a partir da fusão do sal de cozinha, entre outros.

Adicionalmente, as relações entre corrente elétrica aplicada e a massa de reagente depositada podem ser exploradas neste contexto. A discussão de outros fatores - temperatura, sobrepotencial etc. - envolvidos nos processos industriais em questão poderão ser tratados e, nesse caso, deverão enfatizar claramente as condições de utilização de tabelas de potenciais para a previsão dos produtos eletrolíticos obtidos.

Em nossa avaliação, esses e outros aspectos presentes nos manuais didáticos merecem atenção especial, uma vez que podem se converter em bloqueios à compreensão dos conceitos científicos por parte dos alunos.

Paralelamente à análise que envolve os aspectos de natureza mais conceitual, também consideramos pertinente uma avaliação dos aspectos epistemológicos presentes nos tópicos eletroquímicos contidos nos livros do PNLEM.

Entendemos que a análise dos aspectos conceituais deve estar atrelada àquela dos aspectos epistemológicos, sobretudo porque esses têm importantes implicações no processo de ensino-aprendizagem, sendo, muitas vezes, decorrentes do uso de estruturas conceituais distorcidas e de encadeamentos teóricos incompletos ou reduzidos presentes nos livros didáticos.

Para este objetivo, consideramos relevante avaliar os aspectos epistemológicos, presentes nos livros didáticos de Química, a partir das idéias de Gaston Bachelard⁶. Esse autor oferece um importante referencial teórico para a nossa análise.

Bachelard desenvolveu a interessante idéia de obstáculo epistemológico⁷ visto aqui de modo simples, como uma estrutura conceitual e/ou lingüística - pode também tomar a forma de uma imagem, analogia etc. - que bloqueia a compreensão dos conhecimentos científicos.

⁶ Bachelard (1884 -1962)- Filósofo e poeta francês. Sua obra pode ser dividida em dois campos distintos: o primeiro referente à ciência e epistemologia e o segundo, à poética. Com o fim da Primeira Guerra Mundial, foi trabalhar em sua terra natal como professor de Ciências - Física e Química. Seus primeiros trabalhos foram publicados em 1928 (Ensaio sobre o conhecimento aproximado e Estudo sobre a evolução de um problema de Física: a propagação térmica dos sólidos). Em 1930, foi convidado a lecionar na Faculdade de Letras de Dijon. Em 1940, iniciou seu trabalho na Sorbonne. A partir de 1942, Bachelard iniciou sua produção no campo da poética. Em 1955, ingressou na Academia da Ciências Morais e Políticas da França e em 1961 foi laureado com o Grande Prêmio Nacional de Letras.

⁷ No próximo capítulo apresentaremos com mais detalhes o conceito de obstáculo epistemológico e das categorias que foram utilizadas neste trabalho.

Neste trabalho, os aspectos epistemológicos serão analisados por intermédio dos obstáculos epistemológicos presentes nos manuais de Química do PNLEM. Sobretudo, entendemos ser relevante utilizar quatro categorias de obstáculos, a saber: animistas, realistas, substancialistas e verbais.

Na literatura encontramos poucos trabalhos relatando a presença dos obstáculos em livros didáticos de Química ou de suas implicações no processo de aprendizagem dos conceitos científicos (OLIVEIRA, 1995; KIOURANIS *et al.*, 2005; PENHA *et al.*, 2007; GOMES E OLIVEIRA, 2007; FINZI, 2008; MELZER *et al.*, 2009).

Por sua vez, merecem destaque os trabalhos desenvolvidos pela pesquisadora Alice Casimiro Lopes que contribuiu significativamente para a divulgação das idéias de Bachelard no campo acadêmico nacional. Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura sobre a presença dos obstáculos, nos manuais didáticos nacionais, deriva de seus estudos no campo epistemológico.

Outros pesquisadores (LONGUERCIO *et al.*, 2001) que também trabalharam com os obstáculos no ensino de Química ressaltaram a grande complexidade da ciência química no que se refere ao entendimento de suas linguagens, códigos, representações e abstrações. Concluíram que isto exige um profundo conhecimento dos professores para identificar e superar diferentes obstáculos epistemológicos presentes nos manuais didáticos e nas práticas escolares.

Neste sentido, Garnett e Treagust (1992, 1992a) reportaram que é necessário um olhar mais atento em relação à linguagem utilizada nos livros didáticos, pois, muitas vezes, os alunos desenvolvem diferentes abstrações ou representações mentais com significações próprias relacionadas ao seu cotidiano. Essa situação, segundo os autores, vem a ser um entrave à aquisição de uma linguagem científica apropriada.

Tendo em conta essas observações, consideramos significativo analisar os tópicos referentes à Eletroquímica contidos nos manuais didáticos do PNLEM. Neste sentido, propomos as seguintes questões de pesquisa: os conteúdos de Eletroquímica presentes nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM estão apresentados de forma conceitualmente correta? É possível identificar nos livros didáticos aspectos que possam ser denominados obstáculos epistemológicos no tratamento desses conteúdos?

2.2 - Procedimentos metodológicos

Esse trabalho é de natureza qualitativa. Segundo André e Ludke (2004), as principais características de uma pesquisa de natureza qualitativa são:

[...] a) A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento. b) Os dados coletados são predominantemente descritivos. c) A preocupação com o processo é muito maior do que com o produto. d) O significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos (*sic*) de atenção especial pelo pesquisador. e) A análise de dados tende a seguir um processo indutivo (ANDRÉ e LUDKE, 2004, p.11).

A escolha da abordagem qualitativa para esta pesquisa deve-se à complexidade do objeto analisado - o livro didático - e ao grande número de situações de estudo e outros fatores que interagem na formulação dos conteúdos curriculares presentes nesses materiais.

Chamamos a atenção para o fato de que nessa investigação faremos a análise dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM, levando em conta os procedimentos que compõem a pesquisa bibliográfica.

Lima e Miotto (2007) relatam que essa pesquisa apresenta contornos metodológicos distintos da revisão bibliográfica, uma vez que ela,

[...] vai além da simples observação de dados contidos nas fontes pesquisadas, pois imprime sobre eles a teoria, a compreensão crítica do significado neles existente. (p. 44).

Segundo Gil (2004), este tipo de pesquisa tem sido muito utilizada em estudos exploratórios ou descritivos, nos quais o objeto de estudo possui poucas referências na literatura, o que torna difícil a formulação de hipóteses precisas e adequadas. O diálogo com o objeto de estudo faz-se através das fontes bibliográficas - publicações, livros etc. - que permitem um contato direto com os dados que ajudarão a compor a estrutura analítica do trabalho. De modo geral, essa pesquisa é composta por um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções para as questões levantadas no trabalho.

Considerando estes aspectos, a proposta de pesquisa aqui apresentada envia pela abordagem bibliográfica (exploratório-descritiva), uma vez que nosso objeto de estudo surgiu, para divulgação, em meados de 2007⁸.

Além disto, dada sua natureza dinâmica, ocorreu uma interação constante entre o objeto de estudo e o pesquisador no que diz respeito a apontar ou alterar os procedimentos,

⁸ Essa pesquisa iniciou-se em 2008. Até então, não encontramos referências na literatura sobre os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM-2007.

avaliar mudanças na rota de trabalho ou rever as questões de estudo, dentre outras possibilidades.

Portanto, na elaboração dos procedimentos de trabalho, nossa atenção e destreza foram constantemente exigidas, com o propósito de captar, analisar e até mesmo reformular os aspectos relativos à descrição do objeto de estudo, a partir de sua relação com os objetivos traçados.

A este respeito, Lima e Miotto (2007) salientam que a pesquisa bibliográfica de âmbito exploratório permite certa “flexibilidade” dos procedimentos relacionados ao processo de coleta de dados. Entretanto, elas advertem que

[...] essa flexibilidade, porém, não significa descompromisso com a organização racional e eficiente frente à tarefa, pois a pesquisa bibliográfica requer do realizador atenção constante aos 'objetivos propostos' e aos pressupostos que envolvem o estudo para que a vigilância epistemológica aconteça. (p. 40)

É importante destacar que a pesquisa bibliográfica, enquanto estudo teórico, produzido através das constantes reflexões e da análise de documentos escritos - chamados de fontes -, segue uma sequência ordenada de procedimentos, a saber:

- I) Investigação das soluções - nesta fase ocorre a coleta da documentação tendo em conta: a) levantamento do material bibliográfico; b) teste do instrumento de coleta: roteiro de leitura; c) levantamento das informações;
- II) Análise explicativa das soluções - refere-se à análise da documentação e dos conteúdos das informações obtidas, sendo efetuada através da habilidade e olhar crítico do pesquisador para selecionar e justificar os dados contidos no material selecionado;
- III) Síntese integradora - é a fase final do processo de investigação metódica dos documentos. Está relacionada ao processo de estruturação de dados feito através da articulação do material de estudo e às reflexões e sínteses do pesquisador no que tange às suas anotações, percepções, indagações etc. É o momento crucial, pois aí ocorrerá a proposição de soluções para o(s) problema(s) de pesquisa.

Na pesquisa bibliográfica, a leitura constitui-se o principal procedimento utilizado para identificação dos dados e das informações relevantes contidas no material selecionado. A leitura deve ser feita constantemente, a fim de captar ou reavaliar informações que escaparam do olhar crítico e analítico do pesquisador (SALVADOR, 1986).

Assim, são sugeridos diferentes momentos para a leitura do material, tais como: a) Leitura de reconhecimento do material bibliográfico - consiste em uma rápida leitura que tem por finalidade localizar, selecionar e agrupar o material que pode apresentar dados e informações referentes à pesquisa; b) Leitura exploratória - associada à leitura de reconhecimento, tem o propósito de checar se as informações e dados selecionados são relevantes para o estudo; c) Leitura seletiva - momento em que o pesquisador metodicamente avalia o material e identifica quais dados são realmente importantes para os fins propostos; d) Leitura reflexiva ou crítica - análise crítica do material bibliográfico, tendo em conta a visão do autor da obra, com o objetivo de resenhar as informações obtidas, associando-as com as questões da pesquisa; e) Leitura interpretativa - neste ponto, o pesquisador deve realizar uma síntese interpretativa, considerando as reflexões do autor diante das questões levantadas e de suas implicações na elaboração do trabalho.

O instrumento utilizado na fase das investigações das soluções é denominado roteiro de leitura. Esse instrumento constitui-se em um arquivo de informações contendo descritores relevantes ao processo de coleta de dados. Sua construção deve ser pautada no estudo do objeto de pesquisa e no(s) objetivo(s) traçado(s) para o trabalho de investigação.

Neste trabalho, esse roteiro foi organizado no formato de uma ficha de leitura contendo as seguintes informações: os dados de identificação do manual didático; os aspectos relacionados ao tema analisado, objetivos e descrições dos tópicos; sua relevância para o estudo. Completaram as fichas os resumos sobre a contribuição da obra para o trabalho, além do levantamento das proposições e sequenciamentos teóricos presentes e sua articulação com os objetivos propostos para o trabalho. Vale ressaltar que essa ficha foi constantemente alterada à medida que novas interlocuções com o livro didático fizeram-se necessárias, até adquirir o formato aqui exposto.

Foram produzidas seis fichas de leitura correspondentes ao material que é objeto de estudo deste trabalho, ou seja, os manuais didáticos de Química aprovados pelo PNLEM em 2007. As leituras e fichamentos desses materiais foram feitos a partir do livro do professor. Inicialmente, foi efetuada uma leitura de reconhecimento para cada manual, considerando nove capítulos⁹ aleatórios que, em nossa compreensão, foram suficientes para caracterizar cada manual quanto aos aspectos teórico-metodológicos trabalhados. Para este propósito,

⁹ Tradicionalmente os livros de química de ensino médio abrangem três grandes tópicos de conteúdos, a saber: a Química Geral, a Físico-Química e a Química Orgânica. Escolhemos aleatoriamente três capítulos de cada tópico citado.

também foram lidas e fichadas as orientações pedagógicas contidas no final de cada livro ou em encartes separados.

Em específico, os capítulos referentes à Eletroquímica foram fichados a partir das várias leituras descritas nos parágrafos anteriores. Neste caso, como já destacamos, os apontamentos que compõem as fichas foram continuamente reelaborados tendo em conta a dinâmica das leituras realizadas e as ideias e reflexões que surgiram neste processo. Em suma, na elaboração das fichas de leitura dos manuais didáticos foram levantadas as informações referentes à caracterização geral das obras e aos tópicos eletroquímicos presentes.

Quando houve necessidade, por exemplo, de transcrever para a ficha de leitura determinada estrutura conceitual ou o pensamento do autor contido no manual didático, foi utilizado o recurso do “esboço” (SALVADOR, 1986).

Esse consiste em um resumo que segue a mesma estrutura de exposição do manual didático, mantendo as idéias dos autores. Em alguns casos, os dados foram agrupados e escritos sob a forma de sentenças ou sequenciamentos discursivos, com o cuidado de conservar as impressões originais. É o que ocorreu, por exemplo, quando descrevemos as definições a respeito das leis de Faraday encontradas nos livros didáticos analisados.

A partir dos dados coletados, elaboramos na forma de texto uma descrição geral para cada um dos manuais do PNLEM, além de destacarmos as principais definições e estruturas conceituais da Eletroquímica que nortearam a discussão teórica produzida pelos autores.

De modo semelhante, foram elaboradas mais seis fichas de leituras¹⁰. Duas delas concernentes aos referenciais específicos da Eletroquímica e quatro relativas às obras de Bachelard que se constituem no referencial epistemológico utilizado nesta pesquisa. Livros, dissertações e outros materiais empregados, referentes à epistemologia de Bachelard, foram lidos e interpretados, mas não fichados.

As informações contidas nesses referenciais foram sistematizadas e organizadas considerando-se o estudo dos dispositivos e processos de conversão de energia, no campo da Eletroquímica e do arcabouço teórico em que se apóiam os obstáculos epistemológicos, no campo da Epistemologia.

De modo especial, as informações apresentadas na ficha de leitura sobre os processos de conversão de energia foram selecionadas a partir da análise dos documentos oficiais e de

¹⁰ Neste caso, optamos por preencher as fichas de leitura somente com o recurso do esboço. Para cada obra analisada corresponde uma ficha, mesmo que sejam utilizadas várias delas para descrever determinado assunto.

nossa já mencionada experiência profissional. Em nosso entendimento, elas correspondem aos pré-requisitos necessários para a elaboração dos conteúdos eletroquímicos dos livros didáticos de Química do Ensino Médio.

Neste sentido, as seguintes estruturas conceituais foram organizadas e estudadas: conceito de interfaces eletrizadas e sua importância na Eletroquímica; as relações entre a Eletroquímica com as ciências dos materiais; os conceitos de potencial e diferença de potencial elétrico e sua aplicação no estudo das interfaces; descrição do funcionamento de uma pilha eletroquímica; o estudo dos eletrodos polarizados e dos processos de medida da diferença de potencial dos eletrodos; os conceitos de potencial químico e eletroquímico; aplicações das leis de Faraday em sistemas eletrolíticos; alguns exemplos de conversores eletroquímicos e os fatores que influenciam os processos de deposição eletroquímica.

Por sua vez, os fundamentos epistemológicos foram sistematizados e estudados com base no entendimento dos aspectos filosóficos envolvidos na crítica que Bachelard fez ao realismo ingênuo e ao positivismo *comteano* e suas influências no campo científico. Nesta perspectiva, foram examinadas quatro categorias de obstáculos e as relações entre elas. As categorias examinadas foram: animistas, realistas, substancialistas e verbais.

O processo de análise e interpretação dos dados nesta pesquisa deu-se através da síntese integradora. Neste ponto, procuramos compreender como os autores dos livros didáticos expressaram suas concepções, através da análise das definições, conceitos e estruturas teóricas presentes nesses materiais.

O recurso dos quadros e tabelas foi uma das formas que empregamos para a apresentação dos dados sistematizados. Esses dados foram comparados com os argumentos explicativos extraídos das obras de referência. Essas obras - também denominadas “lentes”-, em conjunto com o referencial teórico construído, formaram a base teórico-conceitual sob a qual se estabeleceram todas as reflexões expostas neste trabalho.

Outro recurso utilizado foi o de agrupar os argumentos explicativos utilizados pelos autores com o intuito de expor um determinado conceito ou estrutura conceitual. Esse expediente foi aplicado, por exemplo, na apresentação dos procedimentos metodológicos envolvidos no cálculo da diferença de potencial do eletrodo ou da pilha encontrados nos livros didáticos do PNLEM.

Finalizando este percurso metodológico, elaboramos a apresentação das análises comparativas e reflexões, a partir das definições, estruturas conceituais e excertos elencados por meio desses recursos.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ELETROQUÍMICA NO ENSINO MÉDIO: ASPECTOS CONCEITUAIS E OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Nesta etapa do trabalho serão feitos alguns apontamentos e reflexões sobre os conceitos básicos da Eletroquímica que devem ser apresentados nos livros didáticos e discutidos em práticas educativas direcionadas para o Ensino Médio. Além disso, faremos algumas considerações sobre as estruturas conceituais presentes nesses materiais que podem representar obstáculos à correta exposição do tema.

Consideramos importante abordar os conteúdos eletroquímicos tendo em conta as indicações curriculares expostas nos documentos oficiais, a nossa experiência didática como professor de Química e Física no Ensino Médio e Técnico e o nosso trabalho de pesquisa desenvolvido em um dos mais importantes centros universitários desse país. Agregadas, essas vivências proporcionaram-nos alguns elementos teóricos importantes que se constituíram, em grande parte, em referências para as nossas análises e reflexões.

Para orientar nossa análise teórica no campo da Eletroquímica teremos como principais referências os trabalhos de Bockris e Reddy (1978; 1978a) e Ticianelli e Gonzalez (1998). Os primeiros são reconhecidos internacionalmente pelas pesquisas, trabalhos e livros publicados. Grande parte dos conceitos eletroquímicos abordados nesta pesquisa pode ser extraído dos trabalhos desses autores. Os últimos também se constituem em renomados pesquisadores e autores de diversos trabalhos científicos.

Diante desses apontamentos, na sequência serão efetuadas breves considerações sobre os conceitos da Eletroquímica e de seus domínios teóricos.

3.1 - Eletroquímica: fundamentos teóricos

De modo geral, a Eletroquímica pode ser vista como o ramo da Química que trata das transformações que certos sistemas sofrem ao serem percorridos por uma corrente elétrica ou pela produção de corrente elétrica, quando ocorre a transformação de substâncias ou espécies químicas nesses sistemas.

A eletroquímica apresenta caráter interdisciplinar, sobretudo porque interage com vários ramos do conhecimento científico como, por exemplo, a mecânica quântica, no estudo das trocas de elétrons entre um condutor eletrônico (metal) e os íons presentes em uma solução, e com a ciência dos materiais e das superfícies, no estudo de certas propriedades dos eletrodos, tais como: a estabilidade química e termodinâmica, a resistência mecânica, a condutividade elétrica, entre outros.

De forma simples, os estudos eletroquímicos podem ser agrupados em duas grandes áreas de conhecimento: a) a dos processos iônicos que se refere ao estudo dos íons em solução e dos sólidos que se fundem formando líquidos que contêm íons; b) a dos processos eletródicos que diz respeito ao estudo das transferências de cargas elétricas que ocorrem na interface condutor eletrônico-solução.

Olhando para o campo de atuação da Eletroquímica, pode-se dizer que ele está fundamentado no estudo dos fenômenos que ocorrem na região compreendida entre o condutor eletrônico e a solução, região mais comumente chamada interface metal-solução¹¹.

Nesta região desenvolvem-se processos de separação de cargas até que os dois lados da interface fiquem com cargas iguais - de sinais opostos - e, como resultado, surge uma diferença de potencial nesta interface. De modo específico, os processos de separação de cargas e a intensidade dos campos elétricos nela presentes afetam de modo significativo as propriedades e o comportamento das superfícies dos materiais e isso se traduz na dificuldade de tratamento teórico, qual o caso do modelamento matemático dos processos eletroquímicos.

Nesta perspectiva, por exemplo, um dos mais simples e usados conversores de energia é a denominada pilha eletroquímica¹². Sua descrição e funcionamento geralmente estão associados ao estudo teórico de tópicos da Eletroquímica, presentes nos livros didáticos. Dada a sua relevância para o estudo que propomos nessa pesquisa, faremos a seguir uma apresentação desse dispositivo.

Considere a pilha eletroquímica representada na figura 1, formada por dois eletrodos - condutores eletrônicos (lâminas de platina - Pt e ródio - Rh) - mergulhados em uma solução aquosa de ácido iodídrico (HI). Inicialmente, somente a lâmina de Pt encontra-se mergulhada na solução. Nestas condições, a interface Pt/solução pode ou não estar em equilíbrio. Na condição de equilíbrio não há excesso de carga superficial na lâmina do metal e nem na solução¹³. Além disso, não ocorre o fluxo de elétrons através da interface, o que corresponde a dizer que os potenciais eletroquímicos das espécies na solução e no eletrodo (que passam através da interface) são iguais¹⁴.

¹¹ É uma superfície bidimensional aparente na qual estão em contato duas fases diferentes. É aparente devido ao fato de que quando duas fases entram em contato, o resultado é a formação de uma região na qual ocorre uma transição contínua a partir das propriedades de uma das fases para as da outra. (nota do tradutor). Bockris e Reddy (1978), pag.8.

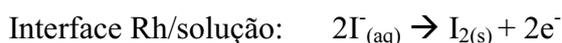
¹² Utilizaremos as definições e as estruturas conceituais presentes em Bockris e Reddy (1978; 1978a).

¹³ Neste caso, na interface, a ddp e o campo elétrico serão nulos, se desconsiderarmos a orientação preferencial dos dipolos da água.

¹⁴ Na Eletroquímica, o equilíbrio é dinâmico, ou seja, os íons movem-se da solução para o eletrodo e no sentido oposto, de tal modo que as velocidades das reações de transferência de cargas igualam-se.

No momento em que é introduzido o segundo eletrodo (Rh) e a fonte de energia- de elétrons - é ligada, se houver equilíbrio, esse se desfaz. Os elétrons vão para a superfície da lâmina de platina e, através de um complexo mecanismo quântico - efeito túnel -, “atravessam” a interface Pt/solução e interagem com os íons H^+ provenientes da ionização da solução de ácido iodídrico. Neste caso, ocorre a seguinte reação de redução: $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$. Observa-se que os íons H^+ reduzem-se (se descarregam) sobre o eletrodo de Pt, produzindo gás hidrogênio (H_2).

Por sua vez, para manter a neutralidade elétrica do sistema, os íons iodeto (I^-) cedem seus elétrons para o eletrodo de Rh - reação de oxidação (perda de elétrons), formando iodo sólido - com a mesma velocidade com que a solução (H^+ na interface) recebe elétrons provenientes da interface Pt/solução. O processo global pode ser representado pelas equações dadas a seguir:



Obs. (aq): solução aquosa; (s): estado sólido; (g): estado gasoso

A partir destas considerações, define-se pilha eletroquímica como o sistema formado por um condutor eletrônico que atua como fonte de elétrons para as espécies químicas presentes na solução - condutor iônico - em conjunto com outro condutor eletrônico que atua como sumidouro de elétrons, ou seja, recebe elétrons do condutor iônico. Neste sistema não há transferência líquida de elétrons, isto é, o fluxo de elétrons que sai de um condutor eletrônico é igual ao fluxo que entra no outro condutor eletrônico. Deve ser observado que nesse sistema a velocidade de reação da pilha pode ser controlada pela regulação eletrônica da fonte de energia, a qual impulsiona os elétrons através da pilha.

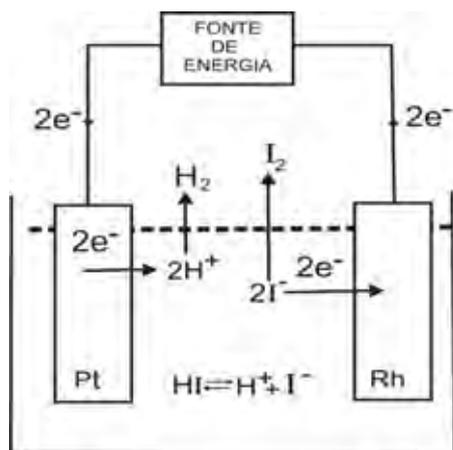


Figura 1- Representação esquemática de uma pilha eletroquímica recebendo trabalho útil da fonte de energia. (adaptado de Bockris e Reddy, 1978).

Até o momento efetuamos uma descrição do processo em que a energia elétrica - fonte de energia - fornecida para a pilha é responsável pela ocorrência e controle das reações químicas observadas. Nos manuais didáticos nacionais, tal processo é chamado de processo eletrolítico ou eletrólise. Ele é não-espontâneo, ou seja, recebe trabalho útil da fonte para promover a ocorrência da reação.

Do ponto de vista teórico, os processos eletrolíticos são governados pelas leis de Faraday¹⁵ que estabelecem relações qualitativas e quantitativas envolvendo a quantidade de energia elétrica aplicada e o equivalente-grama¹⁶ da espécie química presente na interface reacional. Deste modo, por exemplo, se um equivalente de elétrons flui através da interface, um equivalente-grama da espécie presente deverá passar por uma transformação química - a espécie será oxidada ou reduzida.

Considerando essas observações, entendemos que a exposição qualitativa dos processos eletrolíticos é de extrema importância para que se compreendam as transformações químicas que ocorrem durante a eletrólise. Neste contexto, as leis de Faraday só terão sentido para os alunos se forem abordadas em seu conjunto, a partir do entendimento de que no processo de conversão de energia em questão, os produtos reacionais obtidos dependem do controle do potencial aplicado pela fonte de energia.

¹⁵ As leis de Faraday podem ser enunciadas do seguinte modo: “A passagem de uma corrente elétrica de um condutor metálico para um condutor eletrolítico, ou vice-versa, é sempre acompanhada por uma reação eletroquímica”. De modo quantitativo - “A magnitude do efeito químico, em equivalentes químicos, é a mesma tanto na superfície metálica quanto na solução eletrolítica e está determinada pela quantidade de eletricidade que passa”. (TICIANELLI e GONZALEZ, 1998, p. 12-13).

¹⁶ O equivalente-grama (químico) da espécie química presente na eletrólise pode ser definido como sendo a relação entre a massa molar dessa espécie e o número de elétrons envolvidos na reação eletroquímica.

Importante destacar que uma pilha eletroquímica pode produzir corrente elétrica a partir de reações químicas que nela ocorrem. Neste caso, esses sistemas são denominados “sistemas espontâneos”, pois fornecem trabalho útil através das reações químicas. No Brasil, esses sistemas são simplesmente chamados de pilhas ou baterias primárias. Existem vários tipos desses dispositivos no mercado, entre eles podemos citar: as pilhas comuns, as alcalinas, as de zinco/cloro etc. Uma característica importante desses artefatos é que eles são descartados quando os reagentes esgotam-se. As baterias - utilizadas em automóveis - funcionando no modo de descarga, as células combustíveis, entre outros, são também exemplos de sistemas espontâneos.

Um dos aspectos mais importantes a ser tratado aqui se refere à discussão sobre o conceito potencial elétrico. Sua relevância científica pode ser mais bem avaliada quando se considera que, por exemplo, tanto nos sistemas espontâneos como nos não-espontâneos o processo de conversão da energia química em elétrica e elétrica em química, respectivamente, está diretamente relacionado aos desvios* do potencial elétrico através da pilha em relação ao seu potencial de equilíbrio termodinâmico.

Segundo Bockris e Reddy (1978), por mais de 30 anos, a partir dos estudos de Butler e Volmer - sobre a intensidade desses desvios, ocorridos entre 1924 e 1930 -, a comunidade científica não considerou sua importância no estudo prático dos sistemas de conversão de energia, ou seja, pouca atenção foi dada às ideias apresentadas por esses cientistas. Este fato trouxe como consequência um atraso significativo no desenvolvimento de processos eletroquímicos relacionados à produção de substâncias e de conversores de energia (pilhas de combustão)¹⁷.

Além da importância científica e histórica, do ponto de vista pedagógico consideramos relevante discutir com alunos o conceito de potencial elétrico e de suas relações com outros sequenciamentos teóricos - a elaboração das tabelas de potenciais-padrão dos eletrodos, o eletrodo de referência de hidrogênio, as medidas de corrente elétrica dos sistemas eletroquímicos, entre outros - que abrangem o campo de estudo sobre o assunto. Nossa experiência didática tem mostrado que, embora os livros didáticos abordem o conceito e seus sequenciamentos, os alunos, em grande parte, continuam a apresentar dificuldades na aprendizagem dos mesmos.

* Esses desvios são chamados de sobrepotencial ou sobretensão.

¹⁷ Pilha de combustão é um conversor eletroquímico de energia, composto por uma série de células a combustível. Ela opera continuamente convertendo energia química em energia elétrica. Apresenta elevada eficiência energética e os subprodutos – energia térmica e água – causam baixo impacto ambiental.

Neste sentido, serão apresentados a seguir alguns apontamentos sobre o conceito de potencial e diferença de potencial elétrico que nos auxiliarão na análise futura dos manuais didáticos.

Potencial e diferença de potencial elétrico

Para os livros de Física¹⁸ - ciência de origem desses conceitos -, a diferença de potencial elétrico entre dois pontos A e B dentro de um campo elétrico pode ser definida como o trabalho realizado por um agente externo para deslocar uma carga de prova de um ponto A até um ponto B. Se for considerado que o ponto A está numa distância muito grande - no infinito - de todas as outras cargas presentes define-se arbitrariamente o valor zero para o potencial neste ponto. Desta forma, o potencial elétrico num ponto qualquer pode ser entendido como o trabalho realizado por um agente externo para trazer uma carga de prova do infinito até o ponto considerado.

De outro modo, em termos energéticos, o potencial do eletrodo¹⁹ pode ser calculado a partir do ciclo energético apresentado a seguir. Neste caso, os valores do calor de sublimação e da energia de ionização são positivos, pois correspondem a energias recebidas pelo sistema para realizar tais processos. A soma das etapas deste ciclo corresponde ao valor do potencial do eletrodo, ou seja, $E = S + I - H$.

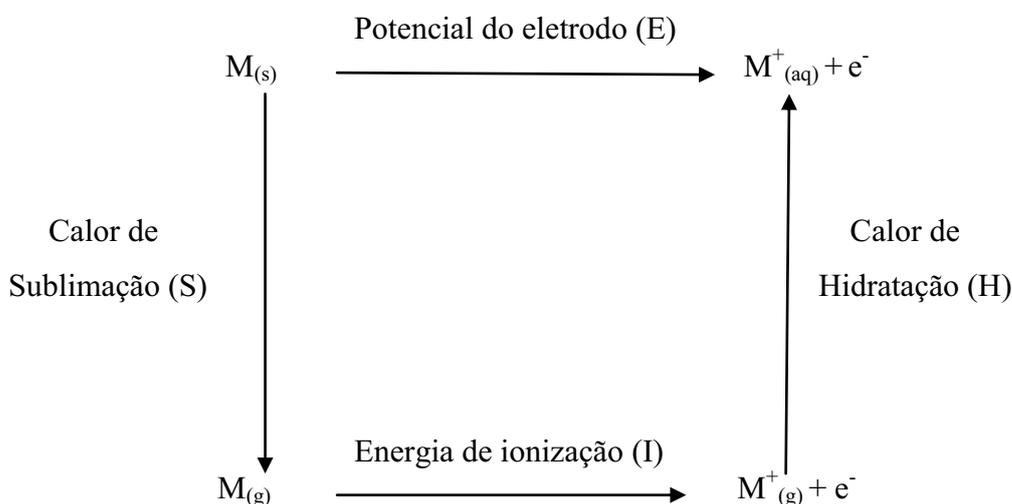


Figura 2- Esquema representativo das etapas envolvidas no cálculo do potencial do eletrodo.

¹⁸ Halliday e Resnick (1998), v. 3.

¹⁹ Neste caso, o potencial do eletrodo refere-se ao seu potencial de oxidação - capacidade de ser oxidado, ou seja, perder elétrons. Observe que no ciclo energético apresentado, ele corresponde à representação dada por: $M_{(s)} \rightarrow M_{(aq)}^+ + e^-$

Considerando o ponto de vista eletroquímico, a diferença de potencial de uma pilha - sistema espontâneo - pode ser descrita pelo processo de separação de cargas que ocorre na interface metal-solução. Esta separação origina uma diferença de potencial na interface eletrodo/eletrólito.

Para medi-lá se conecta um dos terminais metálicos do voltímetro no eletrodo de estudo. O segundo terminal pode ser conectado diretamente à solução eletrolítica ou em outro eletrodo. Independentemente do modo como foi estabelecida a conexão, surgem novas interfaces durante o processo de medida desta diferença de potencial. Assim, por exemplo, se o eletrodo metálico M_1 e os fios metálicos, nos quais se fez a conexão com o segundo eletrodo metálico M_2 , são diferentes, uma diferença de potencial de contato (DP_{M_2/M_1}) é gerada na interface M_1 / M_2 durante o processo de medida, além da diferença de potencial metal-solução ($DP_{M_2/S}$).

Em decorrência disso, na prática não se pode medir especificamente a diferença de potencial na interface eletrodo-solução, somente é possível medir a diferença de potencial de um sistema de interfaces. Eis aqui uma questão que deve ter tratamento adequado a fim de que o leitor possa compreender certas simplificações apresentadas pelos livros didáticos no que se refere à pilha de Daniell e às medidas do potencial de eletrodo.

Medidas do potencial do eletrodo

No caso específico da pilha de Daniell, o contato entre os eletrodos metálicos de cobre e zinco produz uma diferença de potencial adicional (de contato). Em síntese, a medida da diferença de potencial na interface metal-solução transforma-se em uma soma de, no mínimo, quatro diferenças de potenciais entre fases distintas, a saber: a diferença de potencial que se deseja medir ($DP_{M_1/S}$) e mais três parcelas – a diferença de potencial solução/metal (DP_{S/M_2}); a diferença de potencial entre os dois metais (DP_{M_2/M_1}); a diferença de potencial no voltímetro que se opõe à soma das demais diferenças de potenciais.

A ponte salina, caso esteja presente na solução eletrolítica também contribui com mais uma fase. A leitura indicada no voltímetro corresponde a esta somatória. Em particular, se for considerado que os terminais do aparelho de medida (voltímetro) apresentam a mesma composição, a diferença de potencial medida se reduz à variação entre as diferenças de potenciais das interfaces, conforme esquematizado na figura 3 a seguir.

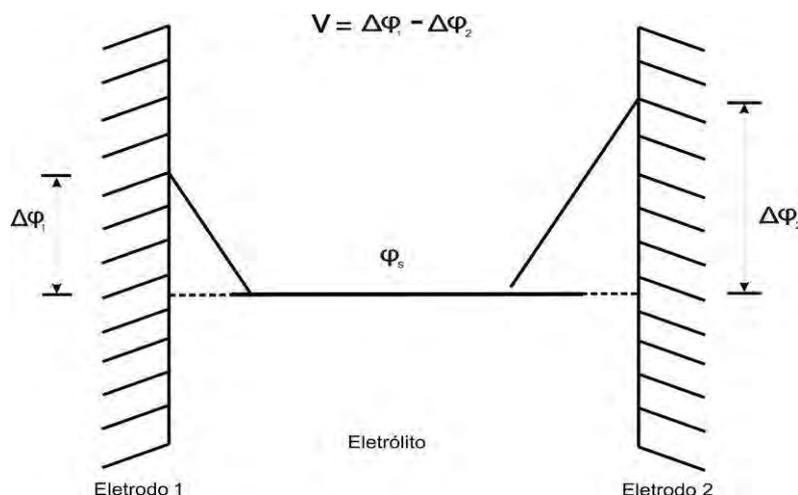


Figura 3 - Diferenças de potenciais entre dois eletrodos que compõem uma pilha - sistema espontâneo. Fonte: Ticianelli e Gonzalez (1998), p. 29.

Legenda: $\Delta\phi_1$ = diferença de potencial na interface 1; $\Delta\phi_2$ = diferença de potencial na interface 2; V = diferença de potencial entre os eletrodos ; ϕ_s = potencial elétrico da solução eletrolítica.

Quanto ao potencial-padrão do eletrodo, o procedimento de medida que é realizado com o voltímetro é análogo ao das pilhas. No entanto, neste caso a medida desse potencial é feita através de um eletrodo de referência. O mais freqüentemente utilizado é o eletrodo normal (de referência) de hidrogênio (ENH ou ERH).

Em linguagem científica, é dito que o ENH é não-polarizado. De modo simples, pode-se dizer que um eletrodo não-polarizado é aquele que suporta pequenas perturbações de potenciais - aplicados por uma fonte externa - sem que haja alteração na diferença de potencial na interface metal-solução, ou seja, $DP_{M2/S}$ é igual a zero. Isso se deve ao fato de que a variação de potencial na interface depende da disposição de cargas nela presentes. Se a quantidade de cargas variar, através de uma perturbação externa, o potencial também varia. Entretanto, em um eletrodo não-polarizado as cargas externas passam rapidamente pela interface e, quanto maior a facilidade com que elas a atravessam, mais resistente será a interface às variações na diferença de potencial que nela se sucedem (BOCKRIS e REDDY, 1978a). Assim, todas as perturbações externas dirigem-se unicamente para a interface de estudo.

Uma das aplicações desse conceito refere-se à combinação da interface eletrodo-solução (de estudo) com uma interface não-polarizável de referência, como, o ENH, que pode ser aproveitado para a elaboração das tabelas de potenciais relativos dos eletrodos. Uma vez que, por convenção, o ENH apresenta potencial nulo, a medida da diferença de potencial entre um eletrodo e o ENH reduz-se ao valor relativo do eletrodo de estudo. Rigorosamente falando, à ddp ou o potencial do eletrodo medida pelo voltímetro corresponde à ddp na

interface metal-solução de estudo acrescida de uma parcela correspondente à ddp entre as duas fases metálicas.

O quadro 1 a seguir exhibe as diferentes possibilidades de medidas das diferenças de potencial.

Quadro 1- Possibilidades de medidas da ddp.

Medidas	Possibilidades
Da ddp absoluta em uma interface isolada	Não se pode medir
Das variações da ddp em uma interface	Pode-se medir
Da somatória das ddp em uma pilha eletroquímica	Pode-se medir
Da ddp relativa - ddp de uma pilha utilizando o ENH	Pode-se medir

Fonte: Bockris e Reddy (1978a).

De forma geral, as considerações teórico-conceituais aqui apresentadas correspondem, em grande parte, aos pré-requisitos necessários para que se possa efetuar a análise dos tópicos eletroquímicos contidos nos manuais didáticos do PNLEM. Além dessas, outras proposições conceituais complementares foram elaboradas e encontram-se no apêndice um.

3.2 - Fundamentos epistemológicos

A segunda parte dessa reflexão teórica consiste na identificação dos obstáculos epistemológicos bachelardianos. Essa reflexão nos ajudará a compreender os obstáculos que os livros didáticos de Química, em particular, os tópicos eletroquímicos apresentam à aprendizagem dos conceitos científicos.

Antes de considerar este ponto, primeiramente cabe uma reflexão sobre os múltiplos aspectos que caracterizam a Epistemologia e seu campo de atuação. Escolhemos as obras produzidas por Japiassu (1981; 1986) para efetuar esse estudo, tendo em conta que seu trabalho epistemológico se estende à análise da “epistemologia histórica”, traço marcante e característico dos estudos epistemológicos desenvolvidos por Bachelard.

Segundo Japiassu (1986), por se tratar de uma “disciplina recente”, a construção da Epistemologia se faz lenta e amparada por amplos debates quanto ao seu estatuto, domínios teóricos, campo de pesquisa etc. Adicionalmente, esse autor salienta que o campo de pesquisa da Epistemologia é muito extenso e relaciona-se intimamente com o discurso produzido pelas Ciências Naturais e Humanas.

Deste modo, a princípio, descreveremos o termo tendo em vista seu aspecto etimológico e seus significados. Na sequência faremos algumas considerações sobre seu campo teórico de atuação.

De forma simples, para Japiassu (1986), a Epistemologia pode ser entendida como discurso (*logos*) sobre a ciência (*episteme*). Considerando sua origem, o autor destaca que:

[...] Assim, o estatuto do discurso epistemológico, como duplo, é ambíguo: discurso sistemático que encontraria na filosofia seus princípios e na ciência seu objeto. p.24.

[...] Tradicionalmente, a epistemologia é considerada como uma disciplina especial no interior da filosofia. Eram os filósofos que faziam as pesquisas em epistemologia. Esta era “para” a ciência ou “sobre” a ciência, mas não era obra dos próprios cientistas. [...] Essencialmente, a epistemologia é o estudo crítico dos princípios, das hipóteses e dos resultados das diversas ciências. p. 25

A este respeito, Japiassu (1981) aponta para a heterogeneidade da Epistemologia e o amplo espectro de abordagens utilizadas por filósofos e cientistas para caracterizá-la.

[...] Por esta simples enumeração, já podemos perceber o quanto a epistemologia constitui uma disciplina proteiforme que, segundo as necessidades, torna-se “lógica”, “filosofia da ciência”, “teoria do conhecimento”, “psicologia”, “história”, “sociologia” etc. p.4.

Ainda em relação ao aspecto etimológico, Abbagnano²⁰ (1968) acrescenta que os termos epistemologia e gnosiologia apresentam “o mesmo significado” e referem-se à teoria do conhecimento.

[...] Não indicam, como muitas vezes se crê, uma disciplina filosófica geral, como a lógica ou a ética ou a estética, mas, de preferência, o tratamento de um problema que nasce de um pressuposto filosófico específico, isto é, no âmbito de uma determinada diretriz filosófica. Tal diretriz é a do idealismo; e o problema cujo tratamento é o tema específico da teoria do C. (**conhecimento**) é o da realidade das coisas

²⁰ Em inglês, o termo *Epistemology* - introduzido em 1854 - é o mais empregado. *Gnoseology* é raramente utilizado. No francês, ao contrário, o mais usado é *Gnoséologie*. No alemão é utilizado o termo *Erkenntnistheorie*. Raramente é utilizado *Gnoseologie*. A escola alemã - *Marburg* - considerava três disciplinas filosóficas fundamentais: a lógica, a ética e a estética. A teoria do conhecimento corresponderia à lógica.

ou, em geral, do "mundo externo". A teoria do C. apoia-se em dois **pressupostos**: 1º que o C. seja uma "categoria" do espírito, uma "forma" da atividade humana ou do "sujeito", que possa ser indagada no universal e no abstrato, isto é, prescindindo dos processos cognitivos particulares de que o homem dispõe fora e dentro da ciência; 2º que o objeto imediato do conhecer seja, como o julgaria Descartes, somente a idéia ou a representação; e que a idéia seja uma entidade mental, ou seja, exista apenas "dentro" da consciência ou do sujeito que a pensa". (grifos nossos).

A análise desse excerto revela-nos dois modos distintos de conceber a teoria do conhecimento - através do enfoque idealista e racionalista (realista) - apresentados no primeiro e segundo pressupostos, respectivamente. Embora Abbagnano (1968) considere-os idealistas em sua concepção, os aspectos que caracterizam o racionalismo cartesiano²¹ estão nitidamente presentes na exposição dos argumentos explicativos.

Além disto, Abbagnano (1968) relata que Kant, no final do século XVIII, questionou a validade do segundo pressuposto. A partir de então, a teoria do conhecimento perdeu sua primazia e significado, e o termo epistemologia passou a ser utilizado. Quanto a este aspecto, Japiassu (1981) relata o processo de mudança de racionalidade que surgiu a partir das idéias de Kant.

Na perspectiva kantiana, o *Entendimento* consiste na faculdade intelectual cuja função principal é a de operar nas Ciências, possuindo apenas uma racionalidade limitada. Quanto à *Razão*, consiste na faculdade intelectual devendo visar à totalidade do real, embora não se apóie na intuição nem tampouco nas visões diretas. [...] No entanto, a distinção kantiana nos parece muito fecunda para compreendermos o problema atual da racionalidade científica: de um lado, temos o *entendimento*, que é o poder do juízo e das regras, aquilo que permite que os fenômenos sejam sintetizados - e é por meio de síntese que procede a ciência, ao estabelecer feixes de inteligibilidade permitindo o surgimento de conexões sistemáticas entre os fenômenos; do outro a *razão*, que se manifesta como o poder dos princípios, operando num nível superior ao do entendimento e regulando o uso que o homem faz dele. (p. 170).

Esse processo de mudança de racionalidade influenciou outras correntes filosóficas como, por exemplo, o positivismo comteano no século XIX. O traço mais importante dessa corrente se revela através da separação entre o conhecimento científico e o conhecimento

²¹Japiassu (1981, p.8) aponta que o aspecto principal do racionalismo cartesiano do século XVII consiste em "postular que o mundo obedece a leis simples, redutíveis às matemáticas e, portanto, cognoscíveis apenas ao raciocínio lógico".

universal- filosófico. Neste caso, para os positivistas, o conhecimento científico constitui a única forma de “conhecimento verdadeiro”. Este fato elevou o status das Ciências, principalmente as naturais, em sua totalidade. Desta forma, todo “conhecimento verdadeiro” deveria ser comprovado através de métodos científicos, os quais passaram a ser validados somente pela Ciência. Como veremos no tópico seguinte, Bachelard questionou a superioridade do conhecimento científico, nos moldes delineados por Comte, frente a outras formas de conhecimento, através das críticas que fez à corrente positivista e ao realismo ingênuo.

Na contemporaneidade, Abbagnano (1968) reporta que com a rejeição do primeiro pressuposto, foi assumido como “objeto de indagação” - de estudo - os processos de produção de conhecimentos científicos ou a linguagem científica em detrimento do conhecimento em sua forma geral. Assim, a teoria do conhecimento (Epistemologia), no campo filosófico, foi substituída por outra disciplina, a metodologia, que se refere à “análise das condições e dos limites de validade dos processos de investigação e dos instrumentos linguísticos do saber científico”.

No campo de pesquisa das Ciências Naturais, muitas vezes, a Epistemologia se confunde com a própria metodologia e passa a ser entendida como tal. No campo das Humanidades, ela se constitui em corpo ou referencial teórico de estudo, que determina a escolha dos procedimentos metodológicos adotados nas pesquisas.

Com base nesses apontamentos abordaremos a seguir os aspectos históricos que envolvem a construção da epistemologia bachelardiana. Também serão focados os aspectos relacionados à identificação dos obstáculos epistemológicos.

A Epistemologia de Gaston Bachelard

De origem humilde, nascido na França em 1884, Bachelard experienciou as profundas transformações ocorridas em seu país na virada do século XIX e nas primeiras décadas do século XX. O fato de ter que trabalhar para custear seus estudos, somado à precária condição sócio-econômica francesa após a Primeira Guerra Mundial, contribuiu para que ele iniciasse sua carreira universitária somente aos quarenta e seis anos. Quatro anos mais tarde publicou um dos seus principais trabalhos no campo filosófico, “*Le Nouvel Esprit Scientifique*” - no qual apresentou uma síntese de sua Epistemologia não-cartesiana. Em 1938, publicou “*La Formation l'Esprit Scientifique*” trabalho que complementou o anterior, acrescentando à discussão o conceito de obstáculos epistemológicos. Nesta trajetória, outros trabalhos

importantes podem ser citados, tais como: “*Le Rationalisme Appliqué*” (1949) e “*Le Matérialisme Rationel*” (1952).

Bachelard (2008), em seus estudos epistemológicos, considerou três períodos históricos referentes à evolução do pensamento científico. O primeiro, chamado de “estado pré-científico” inicia-se na antiguidade clássica e segue até o século XVIII. O segundo, denominado “estado científico”, se estenderia do final do século XVIII até o início do século XIX. Por fim, o período chamado de “novo espírito científico” que se iniciou em 1905, com os trabalhos de Einstein -“momento em que a Relatividade de Einstein deforma conceitos primordiais que eram tidos como fixados para sempre” (p. 9).

Para o autor, todo saber científico é produto de constantes reconstruções produzidas a cada momento por intermédio do “novo espírito científico”. É esse pressuposto que fundamenta grande parte de seu trabalho epistemológico.

Sobre este aspecto, Japiassu (1986) refere-se à obra de Bachelard como uma reflexão sobre a história das Ciências, de suas revoluções e das atitudes e procedimentos que dirigem o espírito científico. Segundo ele, Bachelard se propôs a:

[...] construir uma epistemologia visando à produção dos conhecimentos científicos sob todos os seus aspectos: lógico, ideológico, histórico... Para ele ciências nascem e evoluem em circunstâncias históricas bem determinadas. Por isso, a epistemologia deverá interrogar-se sobre as relações susceptíveis de existir entre a ciência e a sociedade, entre a ciência e as diversas instituições científicas ou entre as diversas ciências. O que importa é que se descubram a gênese, a estrutura e o funcionamento dos conhecimentos científicos. (p.66).

Outro ponto importante da obra epistemológica de Bachelard refere-se à sua influência em estudos ulteriores referentes ao conceito de “verdade” e de seu estatuto, no âmbito das filosofias e ciências. Segundo Japiassu (1981, p. 29):

Uma das contribuições mais fundamentais da epistemologia histórica atual, tal qual vem sendo desenvolvida após as inovações de G. Bachelard, consiste em mostrar que a categoria de *Verdade* não pode mais ser concebida como o *cimento* das teorias do conhecimento. Porque tanto as ciências quanto as filosofias e as demais formas de saber estão convencidas de que, no término de suas investigações, não é “a verdade” que irão encontrar, mas tão-somente “verdades” descobertas após um penoso e longo processo de produção histórica.

De modo geral, o trabalho de Bachelard destaca-se pela sua notória habilidade de análise e questionamento das mais variadas questões científicas da contemporaneidade. Seu

livre acesso pela Física, Química e Matemática produziu uma gama de discursos sobre a filosofia e epistemologia das Ciências, além de severas críticas à corrente empirista-positivista e ao realismo ingênuo que norteavam o empreendimento científico no início do século XX. Nesta perspectiva, pode-se dizer que Bachelard contribuiu para o surgimento de um “novo espírito científico” nas Ciências Naturais.

Na Física, por exemplo, ele apontou que os trabalhos de Einstein deram origem a uma sistemática mudança nas “noções de base”, rompendo com a Física newtoniana. Todavia, esclareceu que as leis de Newton continuavam sendo válidas dentro de certos limites.

Ainda, segundo ele, a Matemática teve de reconsiderar seus “elementos de base” e multiplicar seus “sistemas de base” em decorrência de uma verdadeira revolução iniciada pela geometria de Lobatchevski, que rompeu com a geometria euclidiana, nos mesmos moldes que ocorrera na Física. Nos dois casos, trata-se não de um abandono das idéias anteriores - de seus pressupostos -, mas sim da introdução de uma nova ordem de racionalidade que rompe com a idéia de ciência como simples acúmulo de fatos e teorias.

De modo específico para a Química, Bachelard possibilitou profundas mudanças. A Química não é mais vista como “uma pesada ciência da memória”. Ele a anuncia como “uma Química matemática no mesmo estilo, em que, há um século e meio, fala-se de uma nova Física matemática”. Considerou a nova Química como a manifestação de um materialismo racional, ou seja, como uma filosofia comprometida com a busca permanente da razão e de sua constante revolução, através do diálogo e da colaboração harmoniosa entre o real e o racional.

Para ele, o real compreende o conjunto de fatos e fenômenos que estão disponíveis ao pesquisador. Em particular, o real científico ou construído corresponde ao conhecimento científico e difere do real dado ou aparente, que é aquele ligado ao fenômeno ou evento em si, ao senso comum, às primeiras impressões. Nas abordagens empírico-positivistas, o conhecimento provém da experiência e a razão apoia-se em um real dado.

Neste sentido, para Bachelard a construção do real científico deve ser feita através do diálogo da razão (sujeito e objeto) com a experiência mediada pela técnica - “fenomenotécnica”. O fenômeno não se apresenta mais ao observador através dos dados naturais, extraídos da experiência comum e imediata. A objetividade antes fundada no objeto - fonte de dados - se distancia do mesmo, à medida que, na ciência contemporânea o fenômeno só adquire caráter científico se for objeto da fenomenotécnica, ou seja, ele só se constrói a partir dela.

E é por meio desta catarse que o conhecimento científico estrutura-se em sua dimensão histórica e temporal, ou seja, sua construção racional é sempre posta à prova pela contínua superação ou ruptura dos erros, das primeiras idéias, do conhecimento anterior. Para Lopes (2007), Bachelard revela-nos que as Ciências Físicas no século XX e, em particular, a Química, pode ser vista como “uma ciência elaborada sobre as bases de uma fenomenotécnica”.

Sob este aspecto, tendo em conta o exemplo do processo de elaboração da tabela periódica, Bachelard (1990) salienta que o racionalismo materialista - pelo uso da técnica - supera as explicações artificiais dos fenômenos. Assim, para ele,

O racionalismo materialista, devido ao preenchimento do quadro das substâncias, recebe uma clara satisfação. Todos esses números atômicos têm o seu representante químico. A aritmética material está, doravante, ao abrigo de toda objeção (*sic*) de artificialidade ainda que seja uma conquista das mais subtis teorias e mais difíceis técnicas. O racionalismo materialista introduziu uma ordem evidente na desordem e a contingência da experiência imediata. (p. 121)

Outro traço marcante de sua Epistemologia relacionado à dicotomia entre conhecimento comum e o científico diz respeito ao caráter descontínuo do processo de produção do conhecimento científico ao longo da história.

Essa descontinuidade pode ser observada: a) nas rupturas entre o conhecimento científico e o senso comum. Não há uma continuidade no sentido de aprimoramento do conhecimento comum para o científico. Além disto, também não há continuidade entre duas formas de racionalidade distintas como, por exemplo, a mecânica clássica e a quântica; b) por meio do processo de recorrência histórica, que é o questionamento do fato passado tendo em conta os fatos do presente. Neste caso, o fato passado não precede o fato atual, a Ciência não é cumulativa, como admitem muitos historiadores da Ciência.

Vê-se, então, a necessidade educativa de formular uma história recorrente, uma história que esclareça pela finalidade do presente, uma história que parta das certezas do presente e descubra, no passado, as formações progressivas da verdade. Assim, o pensamento científico se afirma (*sic*) no relato de seu progresso. (BACHELARD, 1983, p. 184).

A partir dessa descontinuidade²², Bachelard elabora o conceito de “obstáculo epistemológico” visto aqui como um entrave ao progresso científico que surge no momento da constituição do conhecimento científico sob a forma de resistência à construção racional desse conhecimento ou devido à própria inércia do pensamento.

É no próprio ato de conhecer, intimamente, que aparecem, por uma espécie de imperiosidade funcional, as lentidões e as dificuldades. Aí é que mostraremos causas de estagnação e até de regressão; aí é que discerniremos causas de inércia que chamaremos de obstáculos epistemológicos. (BACHELARD, 1983, p. 147).

[...] A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação. Em ambos os casos, esse estudo não é fácil. A História, por princípio, é hostil a todo juízo normativo. É no entanto necessário colocar-se num ponto de vista normativo, se houver a intenção de julgar a eficácia de um pensamento. (BACHELARD, 2008, p. 21).

Para Bachelard (2008), caberá ao epistemólogo²³ avaliar o processo de formação e construção histórica dos conceitos científicos com o objetivo de evitar que os obstáculos se estabeleçam no decorrer deste processo.

O epistemólogo deve, pois, captar os conceitos científicos em sínteses psicológicas efetivas, isto é, em sínteses psicológicas progressivas, estabelecendo, a respeito de cada noção, uma escala de conceitos, mostrando como um conceito deu origem a outro, como está relacionado a outro. Terá, então, alguma probabilidade de avaliar a eficácia epistemológica. O pensamento científico vai logo aparecer como dificuldade vencida, como obstáculo superado. (p.13).

Japiassu (1986) argumenta que “o conceito que sustenta todo o “projeto” de Bachelard é o de obstáculo epistemológico.” Neste sentido, Bachelard salienta que devemos sempre tentar superar os obstáculos e manter vigilância constante, prontos a psicanalizar o conhecimento objetivo, ou seja, retirar dele todas as impressões subjetivas que se possa retirar, pois:

[...] um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não discutido. Hábitos intelectuais que foram úteis salutaros podem, com o tempo, enterrar a pesquisa. (BACHELARD, 1983, p.148).

²² Aqui também se pode falar em descontinuidade da razão, pois o processo de construção do conhecimento ocorre dinamicamente através do diálogo com a razão. Deste modo, o conhecimento é constantemente retificado pela razão.

²³ [...] “Um fato mal interpretado por uma época permanece, para o historiador, um fato. Para o epistemólogo, é um obstáculo, um contra-pensamento”. p. 12.

Segundo Bachelard, a opinião e a experiência primeira são os primeiros obstáculos a superar, pois o espírito científico impede-nos de ter uma opinião sobre questões que não compreendemos ou de colocar a experiência acima da crítica.

A opinião pensa mal; ela não pensa: ela traduz necessidades em conhecimentos. Ao determinar os objetos pela sua utilidade, ela se impede de os conhecer. Nada se pode fundar sobre a opinião: é preciso destruí-la. (BACHELARD, 1983, p.148).

Na formação do espírito científico, o primeiro obstáculo é a experiência primeira, é a experiência colocada antes e acima da crítica que é necessariamente elemento integrante do espírito científico. Dado que a crítica não agiu explicitamente, a experiência não pode, em caso algum, ser um apoio seguro. (BACHELARD, 1983, p.151).

No campo educacional, a contribuição de Bachelard também merece destaque, apesar de ele não ter escrito trabalho algum, especificamente, sobre a educação ou ensino de Ciências. No entanto, essas questões permeiam a obra de Bachelard revelando sua preocupação em discutir e analisar, principalmente, temas relacionados às rupturas existentes entre o conhecimento científico e o comum no plano escolar; à superação dos obstáculos epistemológicos²⁴ que aparecem durante o processo de aprendizagem dos conceitos científicos, através da construção e intercâmbio de idéias entre o sujeito e objeto; e, por fim, ao processo desenvolvido entre professores e alunos, no livro didático e na história das Ciências no processo de ensino.

Para Bachelard, só se aprende ensinando e o trabalho educativo com alunos não deve ser feito via acúmulo de informações, mas através do diálogo e da construção de idéias entre as partes, amparadas pela razão aberta, não dogmática, em constante processo de vigilância. Neste sentido, a aprendizagem dos conceitos científicos ocorre a partir da reconstrução ou retificação permanente dos conhecimentos anteriores. Os hábitos intelectuais e os obstáculos oriundos do senso comum dos alunos, que se constituem em bloqueios à aprendizagem, devem ser superados.

De outro modo apresentam-se as noções-obstáculos. Essas podem ser configuradas a partir de estruturas de linguagens, imagens, objetos, analogias, entre outras. Percebemos, por exemplo, os objetos tendo como referência nossos sentidos. Os objetos possuem uma forma e

²⁴ No campo da educação, Bachelard (2008) também se utiliza do termo “obstáculo pedagógico”, como sendo entraves que não permitem ao aluno compreender o conhecimento científico. Esses podem surgir durante o processo de aprendizagem dos conceitos científicos, a partir dos obstáculos presentes nos conhecimentos prévios dos alunos.

ocupam um lugar definido no espaço, em nossa realidade macroscópica. Quando nos reportamos aos elétrons, por exemplo, estamos nos referindo à outra realidade, a outro nível de pensamento, o submicroscópico²⁵. No entanto, os elétrons permanecem com as características da visão macroscópica - corpúsculos. Para Bachelard, eles não são corpúsculos, não apresentam forma nem lugar definido. Bachelard denominou-os de “coisas não-coisas”. Noções-obstáculos deste tipo também devem ser superadas durante o processo de aprendizagem dos conceitos científicos.

Nesta perspectiva, segundo Bachelard, caberá ao professor a tarefa de inserir o aluno no contexto de um racionalismo aberto e dinâmico contribuindo para que ele não se acomode às determinações pedagógicas do senso comum, fruto de uma razão acrítica, operacional e letárgica às construções conceituais mais elaboradas e, portanto, condicionada a simples cálculos algébricos.

No entanto, Lopes (2007) salienta que, para Bachelard, os professores de Ciências:

[...] eles mesmos educados no imobilismo da razão parecem empreender um trabalho de controle racional, temerosos dessa efervescência psíquica. Domesticam e sufocam a razão em nome da tradição, oferecendo em troca um saber de alegria e interesse medianos, ao se utilizarem de metáforas realistas e animistas, caras ao espírito estudantil, visando a facilitar o aprendizado. (p. 70).

Para que os mestres superem o “imobilismo da razão”, Bachelard pondera que os mesmos devem sempre estar vigilantes à sedução que o senso comum exerce sobre os alunos, por intermédio de explicações simplistas que ele oferece aos conceitos científicos. Vale destacar aqui a preocupação de Bachelard com os procedimentos didáticos utilizados pelos professores de Ciências em suas aulas, considerados, na maior parte dos casos, pouco eficientes para a aprendizagem dos conceitos por parte dos alunos. Ainda, segundo o autor:

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (BACHELARD, 2008, p. 23).

²⁵ Johnstone (1982) propõe, em particular, para a Química, três níveis de pensamento: macroscópico, simbólico e submicroscópico. Através desses níveis podemos, respectivamente: explicar as propriedades físicas das substâncias; representar as substâncias por meio de equações, fórmulas e de outras linguagens; explicar o comportamento das substâncias através da natureza quântica da matéria e de suas partículas elementares.

Nesta perspectiva, o livro didático de ensino científico é apresentado como imagem distorcida de uma cultura científica elaborada pela razão. Nas palavras de Bachelard (2008),

[...] os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural. Já não é a ciência da rua e do campo. É uma ciência elaborada num mau laboratório mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório. (p. 30).

Apesar da crítica feita ao modo como os autores de livros didáticos apropriam-se da experiência - “empirismo do senso comum” - e a transpõem para esse material, Bachelard considera que ele possui uma função importante, que é a de realizar a mediação entre os saberes científicos e os cientistas com o saber escolar com vistas à contínua construção racional do conhecimento científico. Porém, muitas vezes, o senso comum, por meio da experiência mal feita, apresenta-se como uma barreira, um obstáculo à aprendizagem dos conceitos científicos.

Lopes (1993) expressa bem esta situação quando se refere particularmente aos livros didáticos de Química. Segundo a autora,

[...] na ânsia de tornar a Ciência fácil e acessível, os autores de livros didáticos de Química abusam de metáforas realistas, banalizando os conceitos. O objetivo é afastar o aluno do racional, tornando todo e qualquer conceito visível e palpável. Em nome da mera instrumentalização do pensar, os livros didáticos de química não questionam o conhecimento comum e apenas transmitem simulacros de Ciência. (p. 329)

Dados os argumentos expostos, consideramos relevante avaliar a presença dos obstáculos epistemológicos nos manuais de Química aprovados pelo PNLEM, tendo em conta o conceito desenvolvido por Bachelard. De modo específico, abordaremos quatro categorias de obstáculos, a saber: animistas, realistas, substancialistas e verbais. A seguir, serão apresentados os principais aspectos de cada uma delas.

Obstáculos animistas

O obstáculo animista pode ser entendido como a capacidade de atribuir vida (ânimo) a objetos ou fenômenos inanimados com o intuito de explicar suas propriedades físicas ou químicas, ou seja, dar aos conhecimentos científicos certos aspectos anímicos ligados a uma identidade orgânica ou biológica. Bachelard identifica a presença desse obstáculo nos livros científicos do século XVIII, elaborados, principalmente, a partir de descrições de fatos,

fenômenos, experiências etc. A força vital, as afinidades, o fetichismo - aspectos do espírito pré-científico - eram utilizados frequentemente nestas descrições. A título de exemplo, o autor, ao se reportar a um desses livros, expõe a fragilidade dos argumentos apresentados.

Por ser o fluido elétrico essa matéria viva é que ele anima e move todo o universo, os astros e as plantas, os corações e os germes. Ele é a fonte de todo impulso, de toda fermentação, de todo crescimento, porque é “repulsivo a si mesmo”. Em tal obra, pode-se facilmente surpreender a intuição de uma intensidade de certo modo indefinida, inesgotável, pela qual o autor condensa um valor vital num material infinitamente pequeno. Sem prova alguma, pela simples sedução de uma afirmação valorizante, o autor atribui certa força sem limite a elementos. (BACHELARD, 1983, p.157).

Em outra situação, ele relata como os alunos interpretam a idéia de afinidade e sua relação com a ocorrência de uma reação química. Observe como o “espírito pré-científico” manifesta-se na forma de impulso vital.

No ensino da química, pude verificar que, na reação do ácido e da base, a quase totalidade dos alunos atribuía o papel ativo ao ácido e o papel passivo à base. Cavando um pouco no inconsciente, não se tarda a perceber que a base é feminina e o ácido é masculino. [...] Boerhaave fala ainda de sais hermafroditas. Tais modos de ver são verdadeiros obstáculos. (BACHELARD, 1983, p.160).

Em particular, no caso brasileiro, os manuais didáticos de Química produzidos até a década de setenta apresentavam obstáculos animistas que enfatizavam a presença do espírito pré-científico na explicação dos conceitos. De 1970 até o final da década de 1980, os obstáculos ainda continuavam presentes, porém com preponderância de imagens ilustrativas que tinham como objetivo facilitar a compreensão de certo conhecimento científico, ou seja, as imagens eram utilizadas como importante recurso pedagógico para ilustrar conceitos abstratos como, por exemplo, a estrutura atômica, os números quânticos e a ligação química (LOPES, 1990). Após a década de 1990, não encontramos referências na literatura a respeito de trabalhos que se reportassem à presença ou não de obstáculos animistas nos manuais de Química produzidos a partir desta data.

Obstáculos realistas

Os obstáculos realistas são fundados na filosofia realista, considerada por Bachelard a única filosofia inata, norteadora das idéias do senso comum, próprias do realismo ingênuo. No realismo, o conhecimento imediato e concreto encontra-se no objeto. É necessário descrevê-lo

e analisá-lo, através de nossas percepções visuais e táteis, para que se possa retirar dele o conhecimento.

Na descrição do objeto, o realista extrai suas propriedades, vistas aqui como inerentes ao próprio objeto. Por outro lado, quando na presença de um conhecimento abstrato, ele formula explicações baseadas em imagens, analogias ou metáforas que, em geral, distorcem o significado do conhecimento em questão.

Neste sentido, o realista é avesso a abstrações, trabalha somente com o conhecimento de primeira instância (real aparente) e faz dele a base de conhecimento do objeto. A partir do real aparente elabora imagens e procede à generalização. O real construído (conhecimento objetivo), produto de uma razão mediada pela técnica não lhe corresponde, pois o realista se estabelece no primado do conhecimento do senso comum. Por ser um conhecimento não racionalizado, ele se constitui em obstáculo à aprendizagem.

Uma vez que as concepções realistas e animistas têm em comum o dado imediato como fonte de conhecimento, pode-se estabelecer relações ou pontos de convergência entre elas, como, por exemplo, atribuir características humanas às substâncias ou descrever suas propriedades como detentoras de princípios anímicos latentes (LOPES, 2007).

Bachelard (1978; 1983) aponta outras possibilidades de atuação dos obstáculos realistas, tais como: na determinação do peso atômico dos elementos, no desenvolvimento histórico da noção de valência, na história do eletrismo, na discussão da teoria atômica e na formulação do conceito de matéria a partir da teoria quântica. Em particular, no processo de organização da tabela periódica de Mendeleiev, Bachelard (1978) acrescenta:

Lembremos a organização eletrônica dos diversos elementos da Química e tentemos notar a sutil passagem do plano realista ao plano da matemática probabilística. Pouco a pouco, foi-se levado a interpretar a ordem de Mendeleiev como o sinal da riqueza progressiva dos elementos químicos em elétrons. Antes da intervenção da doutrina dos quanta, esta explicação geral do sistema dos elementos era o triunfo do realismo. (p.129)

Obstáculos substancialistas

Os obstáculos substancialistas manifestam-se principalmente na Química, também chamada, “a ciência das substâncias”. O traço marcante do substancialismo é considerar que as propriedades de determinada substância são atributos intrínsecos a ela, ou seja, não há variação da propriedade substancial quando se considera a mesma substância. Sendo intrínseca, ela não se faz através da interação com o meio ou com a técnica utilizada para evidenciá-la.

Bachelard (1983) aborda o substancialismo em vários momentos de sua obra, em particular no caso da discussão sobre o fenômeno do fogo. Para ele,

[...] o fogo é talvez o fenômeno que mais preocupou os químicos. Por muito tempo, acreditou-se que decifrar o enigma do fogo era decifrar o enigma central do universo. (p. 165).

Ainda segundo Bachelard (1983), “[...] Como o fogo não pôde revelar seu mistério, é tomado como uma causa universal: então tudo se explica [...]. Ele ficou no espírito pré-científico como um fenômeno complexo que remete ao mesmo tempo à Química e à Biologia.” (p. 166).

Há outra característica importante do substancialismo que é o enigma do interior a ser descoberto, ou seja, o substancialismo do oculto. O fogo carrega no mais profundo íntimo, a propriedade substancial oculta que deve ser revelada. Suas qualidades superficiais provêm dessa propriedade substancial. Logo, as percepções visuais predominam e o conhecimento obtido é de primeira mão. Desta forma, o conhecimento objetivo fica obstaculizado, pois não se discute, por exemplo, que as propriedades do fogo são decorrentes das interações fogo-matéria mediadas pelo uso da técnica. Tal procedimento possibilitaria a construção racional do conhecimento científico. Para Bachelard (2008),

O obstáculo substancialista, como todos os obstáculos epistemológicos, é polimorfo. [...] Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta. Seria possível falar de um substancialismo do oculto, de um substancialismo do íntimo, de um substancialismo da qualidade evidente. (p.121).

[...] O que é oculto é fechado. Pela análise da referência ao oculto, será possível caracterizar o que vamos chamar de *mito do interior* e, depois, o *mito mais profundo do íntimo*. (p. 122).

[...] Quando o espírito aceita o caráter substancial de um fenômeno particular, perde qualquer escrúpulo para aceitar as metáforas. Insere na experiência particular, que pode ser exata, uma imensidão de imagens tiradas dos mais diversos fenômenos. (p.139).

Além disto, o substancialismo permite-nos até mesmo quantificar a intensidade de uma qualidade superficial, na medida em que ela é determinada pela quantidade da propriedade substancial (sua essência). Isto aproxima a concepção realista dos contornos substancialistas aqui traçados e sugere que, em muitos casos, os dois obstáculos atuem em conjunto.

Não é sem propósito que o autor considera que os obstáculos substancialistas são os mais difíceis de serem superados, uma vez que eles se articulam com a experiência imediata e com o senso comum na explicação desse e de outros fenômenos em diferentes disciplinas das Ciências Naturais.

Obstáculos verbais

Para Bachelard, o significado e a representação - na forma de símbolos ou imagens - de um conceito científico²⁶, em uma dada área do conhecimento, pode ser distorcido ou reelaborado ou mesmo eliminado quando, no processo histórico de construção do conhecimento, surgirem novos entendimentos ou paradigmas a respeito dele ou dos contornos teóricos em que ele atua. Muitas vezes, os novos entendimentos alcançados exigem novos domínios explicativos, expressos através de uma nova linguagem, ou seja, de uma linguagem científica mais apropriada, ou também por intermédio de novas representações simbólicas ou imagéticas.

Nesta perspectiva, para o autor, a desatenção para com o uso que se faz do novo significado adquirido pelo termo ou expressão verbal e outras formas representacionais, manifestada nos limites dos novos entendimentos ou paradigmas alcançados, passa a se constituir em um obstáculo, denominado obstáculo verbal.

De modo semelhante, também representa um obstáculo verbal o uso inadequado de termos e expressões da linguagem do senso comum para nomear conceitos científicos, próprios à linguagem científica.

Em ambos os casos, o autor nos indica que o obstáculo verbal se manifesta através das rupturas inerentes ao conhecimento científico ou entre o conhecimento científico e o conhecimento do senso comum. Ainda, segundo ele:

Quando foi preciso imaginar o inimaginável domínio do núcleo atômico, propuseram-se fórmulas verbais que são inteiramente relativas à ciência teórica. Não se deve, naturalmente, tomar essas fórmulas literalmente e lhes dar um sentido direto. Uma constante transposição da linguagem rompe então a continuidade do pensamento comum com o científico.

[...] a linguagem científica é, por princípio, uma neolinguagem. Para ser ouvido na comunidade científica, é preciso falar de modo

²⁶ Bachelard utiliza também a expressão **noção científica** para designar **conceito científico**. Por exemplo, a noção científica de calor específico corresponde ao processo de construção racional da “noção” num contexto historicamente determinado. BACHELARD, 1983, p.183 (grifo nosso).

científico, traduzindo os termos da linguagem comum em linguagem científica. (BACHELARD, 1983, p.178).

A título de exemplo, ao discorrer a respeito do conceito de temperatura, o autor comenta as rupturas inerentes ao conhecimento científico, quando esse conceito é descrito a partir de duas ordens de racionalidade distintas, a termodinâmica clássica e a teoria atômica de Niels Bohr. Ou seja,

O conceito de “temperatura do núcleo atômico” totaliza de fato duas reformas. Ele avalia primeiro, em novo domínio, a noção cinética de temperatura tal qual foi introduzida na ciência pela termodinâmica clássica, e transpõe em seguida esse conceito científico para uma esfera de aplicação em que o conceito clássico não se aplica normalmente. (BACHELARD, 1983, p.179).

Com um exemplo peculiar, no qual o ar é comparado a uma esponja, Bachelard reporta-se às rupturas entre o conhecimento do senso comum (o uso do termo esponja) e o conhecimento científico (utilizado para explicar o fenômeno da expansão ou compressão do ar).

Nos dois casos exibidos, o autor salienta que é preciso discutir as rupturas na linguagem e os obstáculos verbais que aparecem, tendo em conta a exposição e a reflexão a respeito do processo histórico de construção das Ciências.

Particularmente, na educação, é necessário superar esses obstáculos para que se proceda adequadamente à aprendizagem dos conceitos científicos.

4. O TEMA ELETROQUÍMICA E OS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA: CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICAS

4.1- Breve descrição dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM

Descreveremos sucintamente alguns aspectos gerais relativos à estruturação dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM e, em particular, os tópicos eletroquímicos. Neste sentido, serão apontadas as elaborações teóricas esboçadas pelos autores com o objetivo de indicar como os conceitos²⁷, as estruturas conceituais e os sequenciamentos didáticos propostos foram organizados.

Química & Sociedade - PEQUIS - Santos, W. L. P.; Mól, G. S.; Matsunaga, R. T.; Dib, S. M. F.; Castro, E. N. F.; Silva, G. S.; Santos, S. M. O.; Farias, S. B. 1. ed. Nova geração, 2007. 742p.

O livro didático Química & Sociedade foi elaborado em volume único e está subdividido em nove unidades e vinte e seis capítulos. Do ponto de vista da abordagem pedagógica, destaca-se que cada capítulo inicia-se com um texto focado em aspectos sociais.

Do ponto de vista metodológico, destaca-se o fato de que o livro contém várias atividades experimentais, além de outras como “Pense, debata e entenda” - breves legendas -, seguidas da apresentação de exercícios de fixação e de revisão.

No livro são tratadas questões relacionadas a aspectos da ciência, da tecnologia e da sociedade. Nesse sentido, em vários capítulos são oferecidos textos que procuram estabelecer condições para a participação dos educandos em processos decisórios relacionados às questões científicas e tecnológicas, de modo que possam compreender os estreitos vínculos existentes entre os aspectos sociais, políticos, econômicos e ambientais presentes no processo de produção do conhecimento científico e os impactos causados pelo uso da ciência e da tecnologia.

Quanto aos conteúdos específicos da Eletroquímica, os autores destinaram dois

²⁷ Utilizaremos a idéia de conceito como sendo: as definições ou representações de um objeto pelo pensamento expressas por meio de suas características gerais. Conforme já salientamos em outro momento, para Bachelard o conceito científico é aquele elaborado a partir de um processo de construção racional do conhecimento, em um contexto historicamente determinado.

Já estrutura conceitual corresponde ao(s) conceito(s) e argumentos explicativos utilizados na elaboração de determinado corpo teórico. O sequenciamento didático se refere à seqüência de estruturas conceituais adotadas pelo autor no livro didático.

capítulos intitulados, “Ligação metálica e óxido-redução” e “Pilhas e Eletrolise”. No primeiro capítulo, o livro apresenta uma discussão sobre o conceito de reações de oxirredução, juntamente com a definição do número de oxidação (Nox) e as regras para a sua determinação. Os autores contextualizam essa discussão através do texto - “Metais: Materiais do nosso dia a dia” - que se reporta à descrição sobre a importância dos metais para o desenvolvimento da humanidade, salientando suas propriedades - brilho, cor, condutibilidade elétrica, térmica, tendência a corrosão etc. Em específico, apresenta aportes teóricos sobre a ligação metálica relacionando-os às propriedades de algumas ligas metálicas usadas na indústria de transformação. Neste ponto, os autores introduzem uma sucinta discussão teórica sobre processos de óxido-redução e suas aplicações - siderurgia e metalurgia. O texto é finalizado com o balanceamento das reações redox. Para exemplificar esse balanceamento são utilizados os processos envolvidos na transformação dos metais.

O capítulo intitulado Pilhas e Eletrolise é iniciado com a seguinte questão - “O que fazer com as pilhas, quando elas não funcionam mais?” O encadeamento dos tópicos apresenta a seguinte ordem: “óxido-redução entre metais”; “Química na escola” ; “Líquidos podem atacar metais?”; “A Pilha de Daniell”.

Nesse trajeto, alguns conceitos são abordados com o auxílio de textos, tais como: “Potencial-padrão de Redução - como prever se determinado metal vai ser oxidado ou reduzido em uma pilha?”; “Potencial Elétrico de Pilhas - é possível dar partida em um motor de automóvel utilizando uma pilha de rádio? Por quê?”

Na sequência, o livro trabalha com o tema “Descarte de Pilhas e baterias - Os metais que reagem com o nosso organismo”, apresentando gráficos e tabelas da produção de pilhas no Brasil e de alguns metais pesados utilizados na produção desses artefatos bem como seus efeitos sobre a saúde. Finaliza esta seção com algumas questões que atentam para a contaminação dos solos e a reciclagem de materiais, sendo que várias delas apontam para as relações existentes entre os aspectos sociais, econômicos e ambientais e o processo de produção de conhecimento científico e tecnológico.

No item “Tipos de pilhas e baterias” são apresentadas algumas características desses artefatos, tais como a densidade de energia e de potência e a energia específica. São também reportados os principais tipos de pilhas, tais como: pilhas secas, pilhas alcalinas, a pilha de níquel-cádmio, entre outras além de uma breve descrição sobre o funcionamento das baterias chumbo-ácido.

Com o tema sobre células combustíveis - “Do ponto de vista ambiental, qual a grande vantagem de se utilizar o hidrogênio como combustível?”, os autores questionam a necessidade de se procurar fontes renováveis de energia de baixo custo e menos poluentes. Nesta parte do texto, os leitores são convidados a refletir sobre os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis provenientes de fontes não renováveis.

O estudo da eletrólise é realizado na seção “Química na escola - O que acontece quando uma corrente elétrica passa por um líquido? - uma atividade experimental”. Segue com a definição e exemplos de eletrólise ígnea e em solução aquosa. De modo especial são incorporados os processos de produção do alumínio e cloro. Também são apresentados no tópico “Eletrodeposição ou galvanoplastia e purificação de metais” alguns processos tecnológicos salientando a necessidade de se reciclar os vários materiais utilizados no nosso dia a dia.

Na seção “Aspectos quantitativos da eletrólise”, os autores apresentam o seguinte questionamento: “Qual a quantidade de energia elétrica necessária para depositar 100 gramas de cromo num objeto?” A partir desse questionamento é introduzido um breve histórico sobre a vida e obra do cientista inglês Michel Faraday. Na sequência são abordadas as leis da eletrólise em seus aspectos qualitativos, sendo dada pouca atenção aos aspectos quantitativos.

Com o texto “Como evitar a corrosão de um navio de aço que navega em um forte eletrólito - o mar?”, são salientados os processos de proteção dos cascos dos navios e geladeiras com a finalidade de indicar que os aspectos teórico-conceituais da ciência estão intimamente relacionados com a produção de artefatos tecnológicos.

Finalizando o capítulo apresenta-se na seção “Tema em foco”, o texto - “Metais, Sociedade e ambiente”. Nessa parte do livro são expostos os processos de reciclagem de metais e são articuladas algumas questões de natureza sócio-ambiental. Neste sentido, o livro propõe uma pesquisa interdisciplinar com pessoas que trabalhem com o processo de reciclagem de materiais, explorando os aspectos sociais e axiológicos relacionados, entre outros aspectos, à busca de identidade e cidadania por parte dessas pessoas.

Universo da Química - Bianchi, J. C. A.; Albrecht, C. H.; Maia, D. J. 1. ed. FTD, 2005. 680p.

O livro Universo da Química está organizado em volume único e contém cinco unidades e dezesseis capítulos. A divisão dos temas a serem trabalhados durante os três anos do Ensino Médio foi estabelecida da seguinte maneira: os cinco primeiros capítulos - “substâncias, energia, radioquímica, mol e modelos atômicos” - indicam os conteúdos

programáticos do primeiro ano. Para o segundo ano, os conteúdos estendem-se do sexto capítulo ao décimo primeiro - “compostos inorgânicos, gases, reservas da crosta e tecnologia, soluções, termoquímica e cinética química” - e no terceiro ano os conteúdos abordados seguem do capítulo doze ao dezesseis - “equilíbrio químico, eletroquímica, os primórdios do carbono, organização das moléculas orgânicas e as modernas moléculas orgânicas”.

O livro apresenta várias propostas e estratégias de ensino envolvendo exercícios resolvidos, de fixação, de vestibulares, experiências de laboratório, textos complementares e o uso frequente de caixas de texto com temas que apresentam relevância científica e histórica.

Nesta perspectiva, os conteúdos curriculares enfatizam os aspectos históricos relacionados ao processo de produção do conhecimento científico. Porém, os textos e os quadros biográficos utilizados reforçam, muitas vezes, somente aspectos descritivos da vida e obra dos cientistas.

De modo específico para a Eletroquímica, o livro apresenta somente um capítulo com o mesmo nome. Esse capítulo inicia-se com um experimento - “Obtendo eletricidade por meio de reações químicas”- e com um texto resumido sobre a história da eletricidade. Nesta parte aborda-se o conceito de força eletromotriz a partir de um dado histórico, sem levar a cabo uma discussão sobre o significado deste termo no contexto em questão. Adicionalmente, em alguns trechos, os autores descrevem as origens históricas da eletricidade, como naquele que aponta as contribuições do cientista Luigi Galvani.

Na sequência, o livro traz os itens: “Pilhas ou células eletroquímicas”; “Pilha ou célula - são sinônimos?”; “A pilha de Daniell”; “Exercícios resolvidos e propostos”.

Nos itens seguintes - “Força eletromotriz de pilhas”; “Valores de potenciais de eletrodo em relação a um eletrodo-padrão”; “Reações Espontâneas e não espontâneas”; “Agente oxidante e redutor”-, os autores trabalham com as definições formais desses conceitos. É também reportado, com exemplos ilustrativos, o funcionamento da pilha seca de Leclanché e da bateria utilizada nos automóveis.

O tópico sobre “Eletrólise - Processos eletroquímicos não-espontâneos”- foi subdividido em: “Eletrólise ígnea - ausência de água e a eletrólise aquosa - presença de água”; “A previsão de reações eletrolíticas aquosas”; “Eletrodeposição catódica”; “Eletrodeposição anódica”; “Corrosão - a corrosão do ferro e do aço”; “os metais protetores do ferro e do aço”. No final de cada item citado são apresentados exercícios resolvidos e propostos.

Na abordagem dos aspectos quantitativos da eletrólise, os autores desenvolvem o estudo das relações entre a corrente elétrica aplicada e as massas ou volumes dos produtos

obtidos (eletrólise ígnea do cloreto de sódio). Essa parte do texto é iniciada com a seguinte questão: “Quantos gramas de sódio se obtêm durante o processo, usando certo valor de corrente elétrica e determinado intervalo de tempo?” Na sequência, através de uma curta descrição histórica dos aspectos relacionados com a medida da carga do elétron, são apresentados problemas resolvidos que exploram a fixação de procedimentos formais de cálculos matemáticos dando-se pouca ênfase à elaboração de raciocínios lógicos próprios ao tema em estudo.

Finalizando-se o capítulo, são descritas as regras para o cálculo do número de oxidação (Nox) de algumas substâncias e espécies iônicas além do balanceamento de reações químicas envolvidas no processo de oxirredução. Convém lembrar que, em todo o capítulo, essas estruturas conceituais constituíram-se pré-requisito mínimo necessário para a compreensão dos processos eletroquímicos. Exercícios de vestibulares completam o capítulo.

Em destaque, nas caixas de textos espalhadas pelo capítulo fez-se uma revisão histórica de eventos relacionados à produção de conhecimento científico e tecnológico na área da Eletroquímica. Os temas contemplados foram: “O elétron”; “Luigi Galvani”; “O nascimento da eletroquímica”; “John Frederic Daniell”; “História das Pilhas”; “Eletricidade animal”; “A garrafa de Leyden”; “Geradores de eletricidade”; “Pára-raios; Raios e relâmpagos”; “Uma solução para as pilhas”; “O elemento químico potássio”; “Galvanoplastia”; “Cromagem”; “Ferrugem”; “Metais de sacrifício”; “Michel Faraday”; “Fontes de energia e tecnologia”; “Célula a combustível”; “Lentes fotossensíveis para óculos de sol”. Adicionalmente, o texto “Eletroquímica e a geração de energia” traz informações sobre pesquisas recentes na área. Esse texto possibilita uma interação mais dinâmica entre o leitor e as novas tecnologias, abordando os desafios que a sociedade enfrenta na atualidade quanto à produção de energia.

Química - Nóbrega, O. S.; Silva, E. R.; Silva, R. H. 1. ed. Ática, 2007. 592p.

O livro Química dos autores Nóbrega *et al.* foi elaborado em volume único contendo trinta e três capítulos. O livro também apresenta um anexo sobre a nomenclatura dos compostos orgânicos e um outro com questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). A disposição observada dos conteúdos no decorrer dos capítulos difere um pouco da tradicional sequência programática presente nos livros didáticos, a saber: Química Geral; Físico-Química e Química Orgânica. Assim, por exemplo, os autores colocaram os conteúdos referentes à Química Orgânica antes da discussão dos tópicos Cinética, Equilíbrio Químico e

Eletroquímica. Além disto, há um capítulo sobre Química Ambiental em que são explorados aspectos da relação entre o homem e o meio-ambiente.

Observa-se que, os autores utilizam estratégias de ensino relacionadas ao desenvolvimento de atitudes observacionais por parte dos alunos. Deste modo, há o predomínio de atividades pedagógicas focadas na compreensão dos aspectos macroscópicos da matéria. Entretanto, pouca atenção é dispensada ao desenvolvimento de esquemas e estratégias que possibilitem ao aluno a compreensão dos aspectos microscópicos a partir da visão macroscópica trabalhada. Completam os capítulos alguns exercícios de fixação, de vestibulares, caixas de textos e, ao final de cada capítulo, um resumo com as principais idéias apresentadas.

Para os conteúdos de Eletroquímica, o livro traz dois capítulos: “Reações químicas produzindo energia elétrica” e “Energia elétrica produzindo reações químicas”. Em particular, os conteúdos referentes a reações de oxirredução foram trabalhados em um capítulo que apresenta o estudo das reações químicas.

O capítulo “Reações químicas produzindo energia elétrica” é iniciado com o item “Reações de óxido-redução produzindo energia elétrica”, o qual aborda algumas informações históricas sobre a invenção da pilha. Os autores apontam que a compreensão sobre o modo pelo qual o dispositivo de Volta produziu corrente elétrica é necessário para que o leitor analise as transformações ocorridas em um experimento elaborado na sequência do texto. Paralelamente, nas caixas de textos são fornecidas as definições formais de pilhas, baterias, agente oxidante e redutor e outros complementos.

Na sequência são abordados os itens: “Diferença de Potencial de uma pilha”; “Origens da diferença de potencial de uma pilha”; “Potencial padrão do eletrodo”; “Tabela dos potenciais padrão de redução” e “Previsão de reações com o E^0 ”. Também apresenta-se o texto “Bafômetro” e um resumo sobre os conteúdos trabalhados. Exercícios de fixação e de vestibulares finalizam o capítulo.

No capítulo “Energia elétrica produzindo reações químicas”, os autores exploram o funcionamento de dispositivos eletroquímicos capazes de converter a energia elétrica recebida, responsável pela ocorrência das reações redox, em energia química. Deste modo, inicialmente discute-se, através de um exemplo, o processo da eletrólise do ponto de vista teórico-conceitual. Na sequência é abordada a “Eletrólise ígnea e em solução aquosa” - com exemplos demonstrativos nos quais são utilizados os aspectos observacionais como representação do fenômeno em escala macroscópica.

O capítulo é finalizado com exercícios de fixação, de vestibulares e um resumo dos tópicos abordados. Nas caixas de texto aparecem: “Obtenção do alumínio”; “Obtenção do magnésio”; “Purificação do cobre”; “Proteção contra a corrosão”; “Produção de cloro”.

Química – Mortimer, E. F.; Machado, A. H. 1. ed. Scipione, 2007. 398p.

O livro Química dos autores Mortimer e Machado foi elaborado em volume único, dividido em dezesseis capítulos. A ordenação dos conteúdos segue as propostas curriculares usuais de Química adotadas no Ensino Médio e presentes nos livros didáticos. Porém, a estrutura dos capítulos foi concebida de forma diferenciada, uma vez que cada um deles contém um ou mais textos seguidos de atividades, além de experimentos e questões que visam à reflexão sobre certo conhecimento científico.

Ressalva-se que em alguns capítulos há a apresentação inicial de projetos envolvendo, entre outros temas, as propriedades e as transformações de materiais acompanhados de textos e atividades. Paralelamente são também utilizadas caixas de texto, gráficos e tabelas que auxiliam a exposição dos conteúdos programáticos. No final de cada capítulo há uma série de questões de vestibulares.

Trata-se de uma obra em que as relações entre ciência, tecnologia e sociedade são discutidas e analisadas a partir de textos e atividades nos quais ressalta-se que a compreensão dos diferentes aspectos da natureza da ciência é de fundamental importância no processo de transformação dos educandos em cidadãos participativos e prontos para atuar e tomar decisões em todos os setores de nossa sociedade.

Em específico para a Eletroquímica, o livro didático contempla um capítulo intitulado “Movimento de elétrons: uma introdução ao estudo da eletroquímica”. No primeiro texto apresentado - “Introdução ao estudo das reações de oxidação e redução” -, são tratadas algumas transformações dos materiais. Essas são exemplificadas através do processo de eletrólise e da galvanoplastia. Adicionalmente foram incorporadas algumas definições - estado de oxidação, elétrons de valência - abordadas dentro do enredo apresentado.

Na atividade denominada - “Vitamina C como agente redutor - interação com iodo”, propõe-se um experimento envolvendo o estudo da reação de oxido-redução, no qual o aluno observa as variações nas cores das soluções e relaciona-as aos estados de oxidação dos elementos que formam as substâncias estudadas. Há de se destacar que após essa atividade, os autores fornecem informações e considerações sobre os pressupostos teóricos que compõem

as estruturas conceituais presentes na atividade. Na sequência algumas questões discursivas são apresentadas.

Nos textos dois, três e quatro, respectivamente: “Algumas informações sobre o grupo do iodo - os halogênios”; “Algumas regras de nomenclatura de sais e ácidos mais comuns” e “Algumas informações sobre a vitamina C” -, são tratados os estados de oxidação dos elementos contidos no grupo do iodo e o tipo de ligações presentes na vitamina C. Também são reportadas nas atividades dois e três - “Vitamina C como agente redutor - interação com permanganato de potássio” e “Maçãs Especiais” - propostas de experimentos em que são ressaltados os aspectos observacionais envolvidos na compreensão do fenômeno.

Na primeira atividade, o objetivo é explorar novamente a propriedade redutora da vitamina C. Na segunda, dependendo das condições de trabalho, as propriedades oxidantes e redutoras do ácido málico presente na maçã são estabelecidas através da comparação das características visuais observadas. Nessa situação salienta-se o fato de que a propriedade de certa substância não é absoluta, ou seja, ela se faz presente na interação com o meio reacional e não isoladamente como atributo específico da mesma.

Tendo em conta esses aspectos, os conteúdos são trabalhados, principalmente, através do uso de esquemas e estratégias didáticas que auxiliam na compreensão das propriedades microscópicas da matéria - usos de modelos explicativos em nível atômico-molecular - a partir da descrição do fenômeno em seus aspectos macroscópicos.

Esta estratégia de ensino aponta para a possibilidade de (re)elaboração contínua dos conceitos científicos já trabalhados, agregando, de forma progressiva, outros aspectos importantes para o desenvolvimento das capacidades cognitivas dos educandos.

Na exposição dos tópicos seguintes são reforçadas estruturas conceituais já discutidas que fundamentam a elaboração de outras definições e conceitos referentes à Eletroquímica. Na ordem programática aparecem: “Compreendendo a tabela de potenciais padrão de redução” e “Investigando uma pilha comum”, com experimentos, questões discursivas e considerações teóricas sobre as atividades propostas. No “Projeto um - Pesquisa sobre baterias”-, os autores sugerem aos alunos alguns tipos de baterias como, por exemplo, chumbo/ácido e níquel/ cádmio.

Na atividade seis - “Um exemplo de eletrólise” - é proposto um experimento investigativo no qual o estudo do aspecto fenomenológico - reação de oxirredução que se passa na célula eletroquímica - é analisado a partir da identificação dos produtos formados durante o processo. Paralelamente, são trabalhados os aspectos representacionais - as

equações químicas e o processo global eletroquímico que ocorre nessa célula. Os textos cinco e seis - “Alguns exemplos que envolvem o uso da eletrólise para obtenção de materiais” e “Estudando o alumínio - vantagens e riscos” - mostram a relação existente entre o conhecimento científico e o processo de produção de artefatos tecnológicos, apontando as possíveis implicações sócio-ambientais.

A atividade sete - “Investigação sobre a corrosão do ferro” - exemplifica, através de experimento, as transformações que ocorrem em materiais de uso comum. O prego é utilizado como exemplo, salientando a observação de suas condições reacionais - diferentes meios e temperatura - e indicando a necessidade de se controlar as variáveis para que se possa registrar e tratar, com boa margem de confiabilidade, os dados experimentais obtidos. No final dessa atividade, os autores recorrem às “considerações finais” para estabelecerem os principais fundamentos teóricos que norteiam a prática educativa realizada. O capítulo é finalizado com questões discursivas e de múltipla escolha dos principais exames vestibulares do nosso país.

Química na abordagem do cotidiano²⁸ - Canto, E. L.; Peruzzo, F. M. 3.ed. Moderna, 2007. v.2, 344p.

A obra “Química na abordagem do cotidiano” de Canto e Peruzzo foi elaborada em três volumes, nos quais são abordados, respectivamente, os tópicos: Química Geral e Inorgânica; Físico-Química e Química Orgânica, divididos em trinta e sete capítulos. Chama atenção a grande quantidade de conteúdos programáticos apresentados, o que aponta para a necessidade de escolha, por parte dos professores, daqueles mais importantes para o desenvolvimento intelectual do aluno. Os conteúdos estão dispostos na ordem usual, segundo as matrizes curriculares trabalhadas no Ensino Médio e presentes nos diversos manuais didáticos.

Cada capítulo é iniciado com um texto denominado “Comentário Preliminar” que fornece ao estudante algumas noções do tema que será desenvolvido. Na sequência é apresentado um texto denominado “Alguns conteúdos importantes” que fornece uma sinopse dos conteúdos curriculares propostos.

²⁸ Trata-se de uma coleção. Os volumes 1 e 3 também foram avaliados.

Outra estratégia utilizada pelos autores aparece no item “Motivação”, no qual uma atividade de ensino é proposta (geralmente um experimento) com a finalidade de oferecer subsídios para o estudo dos temas subsequentes. Completa os capítulos a seção “Desenvolvendo o tema”, com estruturas conceituais específicas ao estudo em questão. Também está presente o item “Em destaque”, com textos gerais sobre avanços tecnológicos relativos à Química, além de exercícios de fixação e de vestibulares.

Deve ser ressaltado o uso frequente de caixas de textos contendo indicações de temas para pesquisa, sugestão de atividades extras e mapas conceituais. Quanto a este último, foi observado que os autores empregam-no frequentemente com o objetivo de interrelacionar os aspectos teórico-conceituais presentes nos capítulos.

Em relação à Eletroquímica, o livro (volume dois) contém três capítulos, a saber: “Processos de óxido-redução”; “Eletroquímica: celas galvânicas”; “Eletroquímica: celas eletrolíticas”. No primeiro capítulo, os autores dedicam-se a uma extensa discussão sobre o processo de oxido-redução com definições formais de reações de oxido-redução, agentes oxidantes e redutores e eletronegatividade. Além disso, há inúmeros exemplos envolvendo o balanceamento de equações químicas de óxido-redução. Na seção “Em destaque” os autores apresentam os textos – “A eletronegatividade é uma propriedade periódica”; “O bafômetro de dicromato” e “O processo fotográfico em preto e branco”.

O capítulo “Eletroquímica: celas galvânicas” inicia-se com o tópico “Comentário Preliminar”, que traz um breve texto a respeito da importância das pilhas e baterias em nossa sociedade. No item “Em destaque” é apresentado o texto “Os 200 anos da pilha elétrica”, como tema motivador para o questionamento a respeito do funcionamento e das propriedades desses artefatos tecnológicos.

Na sequência desse capítulo, os autores desenvolvem os temas a partir de cinco unidades programáticas, a saber: a) “Diferença de potencial e corrente elétrica”, que fornece alguns conceitos teóricos básicos sobre eletricidade além de uma descrição a respeito do uso do voltímetro; b) “Celas Eletroquímicas”, na qual, definições formais são apresentadas. Também é proposto um experimento demonstrativo para medidas de diferença de potencial elétrico; c) “Estudo das celas galvânicas”, a partir do experimento demonstrativo anterior trata-se da pilha de Daniell, sua representação esquemática, seu funcionamento e da função da ponte salina nela presente. A utilização de recursos iconográficos, mapas conceituais, caixas de textos e exercícios de fixação discursivos compõem as estratégias pedagógicas utilizadas pelos autores para esse estudo; d) “Potencial-padrão de semicela”, em que se apresenta,

textualmente, a definição de eletrodo-padrão de hidrogênio salientando sua utilização como referencial adotado em experimentos envolvendo pilhas ou baterias; e) “Aplicações da tabela de potenciais-padrão”, que fornece exemplos envolvendo cálculos da força eletromotriz de uma pilha e uma breve abordagem teórica sobre a espontaneidade das reações redox.

Finalizando o capítulo, há uma sessão denominada “Em destaque”, na qual, os autores trabalham com textos que têm por objetivo aproximar o conhecimento científico do cotidiano do aluno. Deste modo, são desenvolvidos os seguintes temas: “Problemas causados por obstruções dentárias”; “Uso de um agente redutor para a limpeza da prata metálica escurecida”; “Pilhas e baterias comerciais”. Uma extensa lista de exercícios de vestibulares completa o capítulo.

O capítulo “Eletroquímica: células eletrolíticas” está dividido em quatro unidades programáticas, com o ordenamento dos tópicos semelhante ao apresentado no capítulo anterior. Assim temos: a) “Células Eletrolíticas” - que abrangem os conceitos de eletrólise (em solução e ígnea) apresentando a nomenclatura e exemplos comparativos como, pilhas e sistemas eletrolíticos. Há também uma descrição dos fenômenos eletroquímicos envolvidos; b) “Aplicações da Eletrólise” - que descreve o processo de galvanoplastia, de anodização, do refino eletrolítico do metal cobre, entre outros; c) “Noções de metalurgia” - em que são abordados, sucintamente, os processos de produção do ouro, platina, prata, mercúrio, cobre ferro, estanho, zinco, chumbo, cromo, manganês, sódio, magnésio e alumínio. Adicionalmente, na seção “Em destaque” apresenta-se os textos: “Indústrias de galvanoplastia”; “Processo de Héroult & Hall”; “A importância de reciclar o alumínio”; d) “Estequiometria das reações eletroquímicas” - apresenta alguns aspectos teóricos envolvendo carga e corrente elétrica e sua relação com a lei de Faraday. Finalizam o capítulo, dois exemplos aplicativos da lei de Faraday, além dos exercícios de fixação e de vestibulares.

De modo geral, pode-se destacar que os autores dedicaram mais atenção a exemplos de aplicações tecnológicas envolvendo o processo da eletrólise do que à descrição de estruturas conceituais específicas.

Química - Feltre, R. 6. ed. Moderna, 2008. v. 2, 384p.

A obra Química de autoria de Ricardo Feltre divide-se em três volumes nos quais são tratados, respectivamente, os conteúdos referentes à Química Geral, Físico-Química e a Química Orgânica em um total de quarenta e um capítulos²⁹. O encadeamento das unidades

²⁹ Os volumes 1 e 3 também foram avaliados.

programáticas segue a ordem tradicional já mencionada anteriormente. Dos livros aprovados pelo PNLEM em 2007, esta coleção é a que apresenta a maior quantidade de capítulos para os mesmos conteúdos específicos abordados.

O autor inicia cada discussão temática com uma breve apresentação sobre os conteúdos que serão abordados e sua relação com o cotidiano do aluno. Na sequência, são desenvolvidas as estruturas conceituais específicas, de maneira linear e contínua, intercalando exercícios resolvidos e propostos, que assumem certa relevância nos processos de fixação e análise dos conceitos por parte dos alunos, com outras atividades como, as questões discursivas de revisão. Completa os capítulos uma lista extensa de exercícios de vestibulares e outros denominados “Desafios”. Em alguns capítulos aparecem textos para leitura e também atividades práticas com procedimentos experimentais demonstrativos e roteirizados.

Em relação ao tema Eletroquímica, o livro apresenta no volume dois os seguintes capítulos, “Eletroquímica - oxi-redução e pilhas elétricas” e “Eletroquímica - Eletrólise”. O primeiro capítulo é o mais extenso e está dividido em doze itens que abordam toda a parte conceitual envolvendo o processo de oxirredução, além de fornecer os pré-requisitos necessários para a discussão subsequente sobre os vários tipos de pilhas elétricas.

Na ordem aparecem: “Reações de oxi-redução” em que são apresentados conceitos, cálculos dos números de oxidação e o balanceamento das equações de oxirredução; “A pilha de Daniell” em que, a partir de uma introdução teórica, apresenta-se o funcionamento dessa pilha e são propostas outras montagens utilizando esquemas geométricos diferentes, além de sugerir-se quatro atividades práticas na forma de breves experimentos demonstrativos; “A força eletromotriz (fem) das pilhas” em que, com auxílio de analogias reporta-se o conceito de fem e os fatores que influenciam na sua determinação; “Eletrodo padrão de hidrogênio”; “Tabela dos potenciais-padrão de eletrodo”; “Cálculo da força eletromotriz (fem) das pilhas” em que, se descrevem os procedimentos analíticos-matemáticos que embasam o cálculo da força eletromotriz das pilhas; “Previsão da espontaneidade das reações de oxirredução” - através de exemplos, utilizando a tabela de potenciais-padrão, são estimados os valores da diferença de potencial das pilhas.

Os itens seguintes referem-se a aplicações tecnológicas, tais como: “As pilhas em nosso cotidiano” - após uma breve introdução, são apresentados os seguintes sistemas eletroquímicos: a bateria de automóvel; a pilha de Leclanché, as pilhas alcalinas, a pilha de mercúrio, a de níquel-cádmio, a de lítio-iodo e a pilha ou célula de combustível.

Também há um item que versa sobre “Corrosão”- a partir de situações do dia-a-dia como, o acidente no Maracanã. Nesse item, o autor expõe alguns processos corrosivos discorrendo sobre a questão de sua formação e os tratamentos físico-químicos utilizados para evitar seu agravamento. No texto denominado “As reações de oxi-redução e os fenômenos biológicos” apresenta-se o exemplo do amálgama dentário e as implicações relacionadas à sua utilização. Após este item, o autor propõe três breves experimentos didáticos, nos moldes anteriormente descritos.

Adicionalmente, no final de cada item descrito, o livro trabalha com questões discursivas de revisão, exercícios resolvidos e exercícios complementares de vestibulares. Também fazem parte do capítulo as caixas de texto contendo os seguintes temas: “O nascimento das pilhas elétricas”; “O perigoso descarte de pilhas e baterias”; “O carro elétrico”.

O capítulo “Eletroquímica - Eletrólise” dá maior ênfase aos conteúdos relacionados a processos tecnológicos. O capítulo é dividido em doze itens, a saber: “Eletrólise ígnea”; “Eletrólise em solução aquosa com eletrodos inertes”; “Prioridade de descarga dos íons” - nos quais são discutidos, através de exemplos, os processos industriais de obtenção de gás cloro, hidrogênio e do sódio metálico, entre outros e o uso de uma tabela empírica de descarga iônica como instrumento de previsão de reações eletrolíticas; “Eletrólise em solução aquosa com eletrodos ativos (ou reativos)”, em que são tratados os processos de purificação de metais (níquel e cobre) e de galvanização ou eletrodeposição; “Comparando o funcionamento das pilhas com a eletrólise” - apresenta um esquema comparativo seguido por dois breves procedimentos experimentais; “Aplicações da eletrólise”, em que são retomados exemplos envolvendo a produção e a purificação de metais; “A estequiometria das pilhas e da eletrólise” - utiliza exemplos, em que são abordadas as leis de Faraday.

Finaliza o capítulo uma série de exercícios resolvidos e de vestibulares. Nas caixas de texto estão presentes: as bibliografias resumidas de “Michel Faraday” e de “Robert Andrews Millikan”, além de um texto sobre “A história do alumínio”.

4.2 - Análise dos livros didáticos do PNLEM

Nesta parte do trabalho analisaremos os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM em 2007 tomando por base suas considerações teóricas e epistemológicas. Para orientar esta análise trataremos especificamente do tema Eletroquímica.

Uma primeira observação, do ponto de vista conceitual, é a de que todos os livros didáticos de Química abordaram aspectos conceituais da Eletroquímica a partir das definições e matrizes teóricas provenientes da Física. Deste modo, os conceitos da Física que aparecem com maior frequência são: campo elétrico, potencial/diferença de potencial elétrico e corrente elétrica. Esses aspectos são marcantes e em pelo menos um manual³⁰, um item adicional com definições e conceitos da Física foi elaborado. Corroborando esses argumentos, mostraremos a seguir como as estruturas conceituais e os sequenciamentos didáticos sobre Eletroquímica foram construídos em cada um dos manuais didáticos aprovados pelo PNLEM.

a) Química & Sociedade - PEQUIS - Santos, W. L. P.; Mól, G. S.; Matsunaga, R. T.; Dib, S. M. F.; Castro, E. N. F.; Silva, G. S.; Santos, S. M. O.; Farias, S. B. 1. ed. Nova geração, 2007. 742p.

Pilhas

Óxido → Pilha de → Potencial padrão → Potencial elétrico
 Redução Daniell de redução das Pilhas

Eletrólise

Experimento → Discussão teórica → Lei de Faraday → Processos corrosivos
 Roteirizado

b) Universo da Química - Bianchi, J. C. A.; Albrecht, C. H.; Maia, D. J. 1. ed. FTD, 2005. 680p.

Pilhas

Pilhas → Pilha de → Força → Reações
 eletroquímicas Daniell eletromotriz espontâneas e
 e potenciais não espontâneas
 de eletrodo

³⁰ Canto e Peruzzo (2007)

Eletrólise

Processos eletroquímicos não espontâneos → Previsão de reações eletrolíticas → Exemplos de processos eletrolíticos → Aspectos quantitativos → Número de Oxidação

c) Química - Nóbrega, O. S.; Silva, E. R.; Silva, R. H. 1. ed. Ática, 2007. 592p.

Pilhas

Reações redox e a produção de energia elétrica → Células eletroquímicas → Diferença de potencial de uma pilha → Potencial padrão do eletrodo → Previsão de reações

Eletrólise

Eletrólise → Exemplos Ilustrativos → Prioridade de descarga dos íons

d) Química - Mortimer, E. F.; Machado, A. H. 1. ed. Scipione, 2007. 398p.

Pilhas

Estudo das reações redox → Tabela dos potenciais padrão de redução → Pesquisando uma pilha comum → Exemplos

Eletrólise

Exemplos de eletrólise → Obtenção de materiais → Trabalho investigativo: a corrosão do ferro

e) Química na abordagem do cotidiano - Canto, E. L.; Peruzzo, F. M. 3.ed. Moderna, 2007. v.2, 344p.

Pilhas

Reações redox transferência de elétrons; Regras de balanceamento → Voltímetro e diferença de potencial; corrente elétrica → Pilhas e Força Eletromotriz → Tabela de potenciais padrão → Previsão de reações espontâneas

Eletrólise

Celas eletrolíticas → Facilidade → Exemplos → Carga → Lei de
 e o conceito de de descarga de processos e corrente Faraday
 eletrólise das espécies eletrolíticos e elétrica
 químicas durante
 a eletrólise

f) Química - Feltre, R. 6. ed. Moderna, 2008. v. 2, 384p.

Pilhas

Reações → Pilha de → Força → Reações → Exemplos
 de oxirredução; Daniell Eletromotriz espontâneas: Pilhas e
 Regras de (fem) das previsão corrosão
 balanceamento pilhas

Eletrólise

Eletrólise: → Prioridade de → Exemplos → Estequiometria → Lei de
 definição e descarga ilustrativos das pilhas e da Faraday
 tipos dos íons eletrólise

Para fins didáticos, optamos por realizar a análise conceitual e epistemológica das obras a partir dos aspectos que envolvem o estudo das pilhas e, na sequência, daqueles que compõem o estudo dos sistemas eletrolíticos - eletrólise.

4.2.1- Pilhas

Observamos que as estruturas conceituais apresentadas nos livros didáticos do PNLEM, referentes ao estudo das pilhas, podem ser agrupadas em quatro campos teóricos de atuação, desse modo: as definições relacionadas com o conceito de potencial ou diferença de potencial elétrico; as medidas dessas grandezas realizadas por meio de equipamentos elétricos; a previsão de ocorrência das reações de óxido-redução através do uso da tabela de potenciais padrão de redução; os processos de transferência de cargas que ocorrem na solução e nos eletrodos. Para organizar nossa exposição apresentaremos os principais aspectos teóricos presentes nessas estruturas e suas implicações no campo epistemológico.

O conceito de potencial/diferença de potencial nos livros didáticos

Os sequenciamentos teóricos expostos permitem-nos visualizar que o conceito relacionado ao potencial ou diferença (de) potencial elétrico - do eletrodo ou da pilha - aparece com frequência nos livros didáticos. Trata-se de um conceito fundamental para o entendimento de vários processos e dispositivos eletroquímicos abordados nos livros didáticos. Passemos então a discuti-lo mais detalhadamente, a partir das definições que aparecem nos manuais.

O primeiro aspecto que queremos salientar diz respeito à correta exposição desse conceito nos livros didáticos dos autores Canto e Peruzzo (2007b) e Mortimer e Machado (2007). Por outro lado, Bianchi *et al.* (2005), Santos *et al.* (2007), Nóbrega *et al.* (2007) e Feltre (2007b) o apresentaram de forma simplificada e, em alguns casos, distorcida.

Observemos nos excertos a seguir as definições utilizadas nesses livros didáticos para o conceito potencial ou diferença de potencial elétrico.

O potencial elétrico de uma pilha é sua capacidade de deslocar elétrons através de um circuito fechado externo que pode realizar trabalho. Essa capacidade é **denominada potência, ou diferença de potencial (ddp), entre os pólos.** (SANTOS *et al.*, 2007, p. 654, grifo nosso).

O potencial elétrico é dado em volts(V) e corresponde ao trabalho, em joules (J) para deslocar uma carga, em coulombs (C) [...] É comum se referir ao potencial elétrico de uma pilha como força eletromotriz (fem), mas essa denominação de unidade não é mais usada. Além da diferença de potencial elétrico nas pilhas, há um outro fator: sua potência. [...] A potência de uma pilha, quantidade útil e importante, determina em parte a quantidade de trabalho por tempo que a célula pode realizar em condições padrão. (p. 655).

É importante destacar que se deve tomar cuidado quando se faz referência a conceitos provenientes de uma outra área de conhecimento. O conceito de potencial ou diferença de potencial elétrico requer contornos de aplicação diferentes, se compararmos sua utilização no campo da Física a seu emprego no campo da Eletroquímica.

Considerando estes aspectos, a análise do excerto indica-nos que os autores, na tentativa de elucidar algumas estruturas conceituais da Física, podem levar seus leitores a confundir o conceito de potencial e diferença de potencial elétrico quando focados a partir do estudo da Química. Afinal, o que é potencial elétrico? Seu significado é diferente de potência? Existem dois potenciais elétricos - um na Química outro da Física? Essas e outras perguntas

poderiam ser formuladas sem que o leitor pudesse, a partir do excerto apresentado, obter respostas corretas.

Conforme já frisamos, o estudo eletroquímico das pilhas ou dos processos eletrolíticos revela-se distinto daquele próprio dos circuitos elétricos presentes na Física. Portanto, quando se aborda conteúdos específicos da Eletroquímica - pilhas, por exemplo - deve ser observado que os fenômenos elétricos e/ou eletroquímicos - transferência de elétrons, reações eletródicas, entre outros - ocorrem em uma região muito específica chamada de interface eletrodo-solução.

Nesta região limite entre o eletrodo (metal) e a solução (eletrólito), de espessura próxima de 10 nanômetros (nm), estabelece-se um campo elétrico elevado - na ordem de 10^6 volts/centímetros - que dirige os fenômenos ora reportados.

Nas palavras de Bockris e Reddy (1978), essa região é o “coração da eletroquímica”. Em decorrência, quando se fala, por exemplo, em potencial ou diferença de potencial elétrico das pilhas, devemos deixar claro que esta diferença origina-se na interface em questão e, além disto, há várias possibilidades para que ela se estabeleça, tais como: a) pelo carregamento elétrico dos dois lados opostos da interface através da interação do dipolo elétrico do eletrólito (água, por exemplo) com a superfície metálica; b) pelas reações de transferência de elétrons no limite da interface; c) ao se carregar o metal utilizando fonte externa de energia. Neste caso, o eletrólito responde com uma carga igual de sinal contrário àquela proporcionada pelo carregamento do metal.

Deste modo, no estudo específico da pilhas, não é propriamente no fio condutor que se origina a diferença de potencial elétrico e sim na interface eletrodo/solução, como frisado anteriormente.

Nessa perspectiva, entendemos que a incorporação dessas idéias nos manuais didáticos poderá promover uma oportuna discussão, no sentido de auxiliar o leitor durante o processo de aprendizagem dos conceitos científicos reportados. Adicionalmente, em uma pesquisa realizada com alunos de Ensino Médio e de nível superior, Ogude e Bradley (1996) relataram que o uso de uma terminologia adequada no trato dos conceitos - força eletromotriz, potencial elétrico, corrente elétrica, entre outros - também pode evitar que ocorram distorções na interpretação dos mesmos.

Olhando de modo específico para os obstáculos epistemológicos, Bachelard salienta que uma das formas de manifestação do obstáculo verbal está nos equívocos de linguagem utilizados pelos autores para descrever, por exemplo, conceitos científicos. A análise do

excerto anterior mostra-nos que o uso incorreto do termo diferença de potencial como sinônimo de potência elétrica compromete o entendimento da estrutura conceitual trabalhada no manual didático, mesmo que na sequência os autores tenham apresentado uma definição adequada para o conceito de potência.

Além disto, até em exemplos mais simples, o obstáculo verbal imiscui-se na estrutura conceitual entenebrecendo o que realmente se deseja ensinar, como no caso a seguir, em que Santos *et al.* (2007) discorrem a respeito do processo de oxidação da palha de aço em solução aquosa de sulfato cúprico.

No caso da palha de aço, o ferro passa do metal para a solução. Essa reação pode ser representada pela equação: $\text{Fe(s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{e}^-$. (p. 650).

É importante frisar que não é o ferro que passa para a interface metal-solução e sim os elétrons. Nesse caso, a passagem dos elétrons do metal para a interface acarreta uma transformação química no ferro, ou seja, ele é oxidado - perde elétrons - produzindo íons ferrosos que vão para a solução. Embora a estrutura correta seja de fácil compreensão, Bachelard adverte-nos que a palavra ou o conceito mal racionalizado pode inserir o aluno em uma trama de imagens atraentes ao conhecimento do senso comum que ele possui, bloqueando o domínio do conhecimento científico.

Também avaliamos que o conceito de força eletromotriz vem sendo utilizado nos livros de Química para descrever parâmetros relacionados ao estudo das pilhas e, principalmente, nos processos de carga e descarga eletrolíticos. Importante destacar que este conceito não representa propriamente uma força, ou seja, sua medida não é dada em newtons.

Neste sentido, Canto e Peruzzo (2007b), de modo simples e adequado, diferenciam os conceitos de força eletromotriz e diferença de potencial elétrico. Para eles:

A diferença de potencial elétrico nos terminais (pólos) de uma pilha ou bateria, medida quando ela não esteja em uso para produzir corrente elétrica, é denominada **força eletromotriz** (fem) dessa pilha ou bateria. (p.91, grifo do autor).

Por sua vez, Feltre (2007b) reporta-se aos termos através de uma analogia.

A altura da queda de água corresponde, na eletricidade, ao que se chama de diferença de potencial (ddp) – ou, mais especificamente, de força eletromotriz da pilha (fem) -, que representa a “pressão” que

move os elétrons através do condutor externo; ela é medida em volts, com o uso de voltímetros. Lembre-se de que a “fem é a ddp medida entre os pólos da pilha, quando não há passagem de corrente elétrica pelo circuito”. (Foto B). (p. 302).



Figura 4 – Foto ilustrativa representando a medida da força eletromotriz de uma pilha.

Fonte: Feltre (2007b), p. 302.

Aqui aparece a palavra “pressão” para explicar a diferença de potencial de uma pilha. Lopes (1990) reportou que o uso deste termo em alguns livros didáticos analisados por ela - entre eles o livro didático de Feltre e Setsuo (1968) - constitui-se em “um erro conceitual grave” que compromete a compreensão de conceitos tais como o potencial de oxidação ou redução do eletrodo. Em termos comparativos, não parece que houve mudança significativa nos repertórios didáticos trabalhados pelo autor do livro, ou seja, continuam-se incorporando-se analogias distorcidas ou explicações reducionistas no trato dos conceitos científicos.

Finalizando a argumentação, o autor do livro didático aponta que a fem é medida pela ddp, nas condições de corrente elétrica nula. Neste caso, a referência utilizada é a equação do gerador ($U = E - ri$), na qual: U é a ddp medida pelo voltímetro; E é a força eletromotriz; i é a corrente elétrica; r a resistência interna. Na condição de $i = 0$, o termo ri também se anula e então $U=E$, ou seja, a ddp medida iguala-se à força eletromotriz da pilha. Entretanto, quando esta situação é ilustrada pelo autor na figura 4, a lâmpada está acesa, o que indica a passagem de corrente elétrica entre seus terminais.

Na sequência o livro apresenta, de forma simples (figura 5), medidas da fem de três pilhas de tamanhos diferentes, salientando que embora as fem sejam iguais, a maior das pilhas fornecerá maior quantidade total de eletricidade. É o caso de se indagar: Há necessidade de todos os contornos pedagógicos anteriores para explicar o conceito de força eletromotriz?



Figura 5- Medidas da fem de pilhas com diferentes tamanhos.

Fonte: Feltre (2008), p. 302.

Ainda em relação ao exposto, Bianchi *et al.* (2005) reportam que os termos diferença de potencial e força eletromotriz são sinônimos. Segundo, os autores:

A unidade de diferença de potencial (ddp ou ΔE) ou força eletromotriz (fem) é o volt (V), que representa a tendência de os elétrons moverem-se de um eletrodo para outro. (p. 492).

Em outras situações, os mesmos autores inovam na explicação do potencial das pilhas, como quando se reportam ao uso do conceito de potencial eletroquímico.

Para conhecermos os valores dos potenciais eletroquímicos dos diversos eletrodos, é importante a escolha de um eletrodo-padrão que possa ser comparado com os demais.

[...] É necessário observar que o potencial obtido para o zinco é exatamente o potencial eletroquímico (E°) de oxidação do metal em questão. (BIANCHI *et al.*, 2005, p. 492).

Em um primeiro momento, o entendimento do leitor fica obscurecido quanto ao conhecimento científico que se pretende apresentar, uma vez que não se trabalha no livro as possibilidades e limites do emprego dessas definições no campo da Eletroquímica. Os autores não abordam, por exemplo, o significado de potencial ou diferença de potencial elétrico antes desse excerto.

Também observamos que na sequência é apresentado o termo potencial eletroquímico como sinônimo de potencial do eletrodo. Estes termos são realmente equivalentes do ponto de vista conceitual? Ou melhor, em que condições podemos referir-nos a eles como equivalentes?

Para que o leitor compreenda o conceito de potencial eletroquímico e suas relações com o potencial do eletrodo, faz-se necessário desenvolver alguns procedimentos matemáticos que fogem aos objetivos traçados neste trabalho.

No entanto, de forma sucinta, podemos apresentá-lo como o trabalho total (químico + elétrico por mol de cargas) necessário para transportar um mol de partículas carregadas desde o infinito (vácuo) até o interior da interface. Não se consegue medir o valor absoluto das parcelas que compõem esse trabalho total. Entretanto, podemos medir as variações ou gradientes de potencial (químico ou elétrico). Neste caso, o gradiente de trabalho químico para uma espécie química - denominado potencial químico - atua como a força motriz no processo de difusão pura para o transporte da espécie em questão. Já o gradiente de trabalho elétrico - variação de potencial elétrico - atua como força motriz no processo de condução pura da espécie considerada.

Portanto, o gradiente de potencial eletroquímico pode ser entendido como a força motriz total para o transporte de espécies carregadas, constituído pelos processos de difusão e condução das espécies químicas. Deste modo, embora sejam abordados a partir de uma mesma delimitação física - a interface e seus contornos - os conceitos de potencial eletroquímico e potencial do eletrodo não são equivalentes. Pode-se, inclusive estabelecer uma relação matemática entre eles delineada pela equação de Nernst (apêndice dois).

A partir desses argumentos, podemos indagar: Por que apresentar para o aluno o conceito de potencial eletroquímico, sem um devido tratamento teórico? Não seria mais simples falar somente em potencial do eletrodo ou das pilhas? Não se trata aqui de impor, aos autores, de que forma devam ser elaborados os textos, os conceitos etc., mas sim de questionar se as estruturas teóricas expostas são realmente necessárias e importantes para a uma adequada aprendizagem dos conceitos científicos no campo da Eletroquímica. Corroborando com estas observações, não encontramos qualquer referência ao emprego do conceito de potencial eletroquímico, nos outros manuais didáticos do PNLEM, o que de certo modo nos indica que sua relevância didática deveria ser mais bem avaliada pelos autores em questão.

Chama nossa atenção também o apelo às explicações pseudo-científicas ou o uso de linguagem imprópria para descrever o mecanismo de funcionamento de uma pilha ou mostrar a “origem da diferença de potencial de uma pilha”, como exposto na figura 6 e no trecho a seguir.

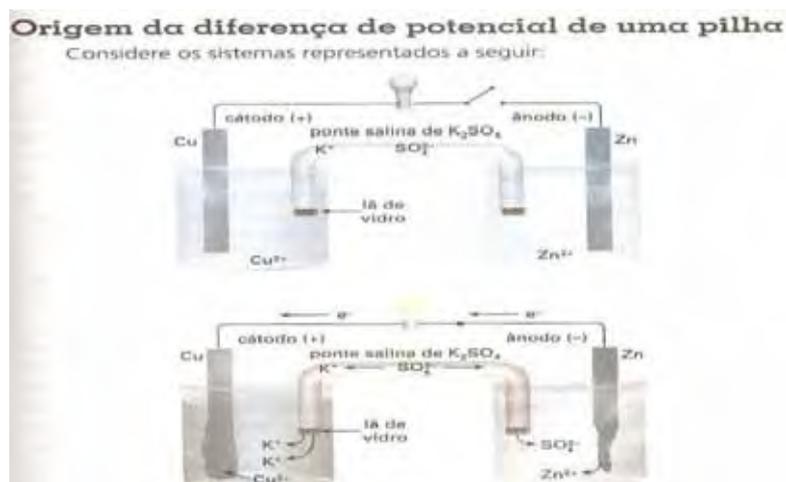


Figura 6- Esquema ilustrativo sobre o funcionamento de uma pilha elétrica.

Fonte: Nóbrega *et al.* (2007), p. 501.

Quando a chave está aberta, não se percebe reação porque não há íons Cu^{2+} nas proximidades da placa de zinco e a sua migração da outra semicélula é muito lenta. Mas, como o zinco mantém sua tendência em perder elétrons, podemos supor que houve acúmulo de elétrons na placa na forma de “elétrons livres”. O mesmo efeito também ocorre na placa na placa de cobre, pois este metal também tem certa tendência em perder elétrons. No entanto, como essa tendência é maior nos átomos de zinco, a “pressão de elétrons” do zinco é maior que a do cobre e há acúmulo maior de elétrons na placa de zinco. (NÓBREGA *et al.*, 2007, p. 501).

Embora o esquema reproduza corretamente o que ocorre em uma pilha elétrica - o percurso dos elétrons, a mobilidade dos íons na ponte salina, a ligação entre o cátodo e o ânodo - a interpretação fornecida pelos autores não tem sentido físico. Neste esquema, os íons cúpricos não vão se aproximar da placa de zinco, ou seja, eles permanecem na semicela da esquerda com a chave aberta ou não. Além disto, na semicela da esquerda está ocorrendo o processo de redução dos íons Cu^{+2} , ou seja, sua concentração molar está diminuindo, pois está sendo formado um depósito de cobre metálico sobre o eletrodo de cobre. A ponte salina aí presente tem a função de repor com íons positivos (cátions) a solução eletrolítica, mantendo a neutralidade elétrica da semicela em questão.

Adicionalmente, não é adequado utilizar novamente a expressão “pressão de elétrons” para fundamentar ou justificar qualquer explicação a respeito do funcionamento de uma pilha. Constitui-se em um obstáculo que deve ser superado para que se faça a real compreensão dos conhecimentos científicos, como veremos mais adiante. Da forma como foi concebida e

estruturada a explicação, é pouco provável que o leitor compreenda ou desenvolva uma visão correta a respeito do tema tratado.

Além disto, em outro momento, os mesmos autores esclarecem o significado de potencial do eletrodo e da diferença de potencial da pilha. Segundo eles:

Sendo maior, a “pressão dos elétrons” do zinco vence o fluxo contrário, que vem da placa de cobre. O movimento resultante dos elétrons vai de uma região de maior pressão eletrônica para outra de menor pressão.

(...) A pressão dos elétrons corresponde ao *potencial elétrico do eletrodo* (facilidade com que os átomos/ions do metal perdem/recebem elétrons). A diferença de potencial da pilha indica uma medida da força propulsora do fluxo de elétrons, que é determinada pela diferença entre os potenciais elétricos dos dois eletrodos. Se o potencial de um dos eletrodos fosse conhecido, o outro poderia ser facilmente determinado por subtração. Entretanto, é impossível medir o potencial de um eletrodo. (NÓBREGA *et al.*, 2007, p. 502).

Eis então a origem do potencial elétrico do eletrodo - “a pressão dos elétrons”. Que pressão é essa? Não se sabe ao certo. Entretanto, para os autores, ela corresponde a uma medida da “força propulsora do fluxo de elétrons” que, por sua vez, pode ser determinada pela diferença de potenciais elétricos dos dois eletrodos e, não nos esqueçamos de que este potencial não pode ser medido. Além disso, se ocorrer o que foi dito no excerto, os elétrons deveriam se deslocar no sentido do eletrodo de maior potencial para o de menor potencial elétrico, ou seja, no sentido contrário ao verificado experimentalmente. Essas explicações distorcidas ou sem sentido físico ou conceitual remetem-nos às palavras de Bachelard (2008, p. 19) - “[...] chega-se o momento em que o espírito prefere o que confirma seu saber àquilo que o contradiz, em que gosta mais de respostas do que de perguntas”.

Em outras situações observamos, em alguns casos, o emprego de analogias ou comparações reducionistas para descrever o funcionamento de uma pilha comum relacionando conceitos em escala macroscópica - energia potencial da água - com outros em escala microscópica - energia potencial do elétron. Tais comparações comprometem o entendimento das estruturas conceituais que se deseja ensinar, como nos exemplos a seguir.

No topo da cachoeira, a energia potencial da água é maior do que na base, assim temos uma queda-d’água espontânea. Numa pilha, a energia potencial do elétron é maior no pólo negativo (ânodo) que no pólo positivo (cátodo). Se ligarmos eletricamente o ânodo ao cátodo, um fluxo de elétrons se deslocará espontaneamente do pólo negativo

para o pólo positivo para diminuir a energia do elétron. (BIANCHI *et al.*, 2005, p. 484).

Adicionalmente, os autores utilizam a imagem de uma cachoeira ao lado de uma pilha para enfatizar que se trata de processos semelhantes do ponto de vista conceitual.

Feltre (2007b), no excerto a seguir, reforça novamente através do exemplo da cachoeira, interpretações errôneas ou distorcidas a respeito do processo de transferência de elétrons que ocorrem em uma pilha elétrica.

Quando a água cai espontaneamente, em uma cachoeira, a Física explica o fato dizendo que a água caiu de um nível de maior energia para outro, de menor energia (no caso, energia potencial). Quanto maior for a quantidade de água e maior a altura da queda, maior será a energia liberada pela água (que pode ser transformada, por exemplo, em energia elétrica, em uma usina hidroelétrica). **Fato idêntico ocorre com as pilhas.** Dependendo dos materiais (metais e eletrólitos) que formam a pilha, ela irá “despejar” uma quantidade maior ou menor de elétrons, com mais ou menos energia, através do circuito externo: (p. 302, grifo nosso).

O que ocorre em uma cachoeira - em termos de transformação ou dissipação de energia - é idêntico ao que ocorre em um sistema físico representado por uma pilha? Pode-se comparar, através das analogias utilizadas, fenômenos tão distintos - escalas macro e microscópica - quanto os relatados nas descrições? A resposta para ambas as perguntas é não.

Como reportado anteriormente, em uma pilha os fenômenos elétricos - a separação de cargas devido à presença de um campo elétrico, o surgimento da diferença de potencial, entre outros, acontecem na interface metal-eletrólito. Todos esses processos são governados pelo comportamento dos elétrons e, de modo específico, pelo efeito túnel que eles experimentam.

Este efeito não se ajusta às leis da mecânica clássica newtoniana. No tratamento clássico, quando um elétron com energia total E incide sobre uma barreira de potencial com energia E_p maior que E , ele é totalmente refletido na barreira e volta na mesma direção que incidiu. O mesmo problema abordado pela Mecânica Quântica mostra, no entanto, que há uma probabilidade finita de que o elétron seja encontrado no outro lado da barreira, continuando seu trajeto. Este efeito, conhecido como tunelamento pela barreira ou efeito túnel, é observado experimentalmente e norteia os processos ou fenômenos que ocorrem em uma pilha como, por exemplo, as reações de transferência de elétrons que ocorrem na interface metal-solução.

Portanto o sistema físico representado por uma cachoeira ou queda d'água não é de modo algum análogo ao de uma pilha eletroquímica³¹. Além disto, Feltre (2007b) complementa esse exemplo com a seguinte explicação, já mencionada anteriormente: “a altura da queda de água corresponde, na eletricidade, ao que se chama de diferença de potencial (ddp)”.

Passamos a analisar com mais profundidade os obstáculos epistemológicos que essas estruturas carregam, tendo em conta a questão do uso da linguagem.

Nos exemplos expostos, a expressão “pressão de elétrons” utilizada pelos autores representa um obstáculo verbal, pois ao compará-la com o potencial elétrico do eletrodo encobre-se a ruptura existente entre o conhecimento comum e o científico. Nas palavras de Bachelard, o obstáculo verbal apresenta uma “falsa explicação obtida à custa de uma palavra explicativa” (BACHELARD, 2008, p. 27).

O termo pressão apresenta forte conotação na linguagem comum e seu uso prolifera-se no dia a dia, adquirindo múltiplos sentidos em diversos campos do conhecimento humano. Ao ser transposta para a linguagem científica, ela carrega as marcas de um conhecimento não retificado, de primeira instância, ou seja, do conhecimento comum que o aluno possui. Deste modo, passa a ser um obstáculo à compreensão dos conceitos científicos.

Nesta perspectiva, o conceito de potencial eletroquímico também representa um obstáculo verbal. A partir do momento em que este conceito foi visto como equivalente ao conceito de potencial do eletrodo, os autores não observaram as diferenças existentes entre ambos no curso do processo de desenvolvimento do conhecimento científico. O conceito de potencial eletroquímico apresenta um domínio conceitual mais abrangente que exige certo grau de abstração para que possa ser entendido. Assim, as comparações efetuadas não estabelecem os limites e possibilidades de atuação dos mesmos, isto é, não esclarecem as diferenças existentes entre ambos a partir do momento em que o conceito científico de

³¹ Bachelard (2008, p. 100) refere-se à analogia entre a bomba hidráulica e os geradores elétricos ressaltando que: [...] “a ciência moderna serve-se da analogia da bomba para ilustrar algumas características dos geradores elétricos, mas é para tentar esclarecer as idéias abstratas de diferença de potencial e de intensidade de corrente”. Neste caso, ele argumenta que a “analogia hidráulica entra depois da teoria”, ou seja, há um conhecimento racional anterior sobre os geradores elétricos.

No parágrafo anterior ao citado, através do exemplo em que a máquina elétrica de Marat é comparada à bomba hidráulica, ele adverte-nos que o uso de tal analogia para explicar o funcionamento do dispositivo de Marat é próprio da “mentalidade pré-científica”, dado que essa analogia precede qualquer explicação racional sobre esse dispositivo.

Diante dos argumentos expostos, entendemos que o exemplo da cachoeira e a pilha eletroquímica representa uma oportunidade propícia para que os leitores reflitam sobre as possibilidades e os limites do uso dessa analogia nos livros didáticos de Química.

potencial eletroquímico foi extraído de seu contexto específico e adaptado para o manual didático, de forma resumida ou até mesmo imprópria.

Outro tipo de obstáculo presente nesses exemplos é o realista. Para Bachelard, as imagens, as figuras explicativas, entre outros repertórios didáticos, podem se manifestar a partir de um conhecimento não racionalizado, abstrato, fruto do dado primeiro, contrário às retificações. Neste sentido, para o realista o conhecimento encontra-se sempre no objeto e, quanto mais abstrato esse conhecimento for, mais imagens, figuras etc. serão criados para explicar o que não se consegue ver. Temas com certo grau de complexidade e abstração, como, as pilhas e os processos eletroquímicos não escapam desta rubrica realista.

Desse modo, o repertório didático utilizado pelos autores dos manuais para explicar o funcionamento das pilhas, com base na comparação entre a cachoeira e esse artefato, é um bom exemplo de obstáculo realista. No esforço de trazer para a realidade do leitor, através de analogias, o conhecimento científico em questão, os autores tornam-os mais acessíveis e próximos dos conhecimentos do senso comum que, muitas vezes, eles já possuem.

Neste contexto, os alunos, por exemplo, costumam não questionar o conhecimento, pois para eles esses são apenas uma continuação ou uma extensão de seus conhecimentos anteriores. Não são discutidos, por exemplo, os aspectos macro e (sub)microscópicos relativos ao entendimento do processo de transporte de elétrons na interface reacional. As propriedades em escala macro são facilmente adaptadas à escala microscópica. Não há rupturas neste processo, o aluno vê somente um continuísmo científico e pedagógico que oblitera as diferenças entre a Física clássica e a quântica, presentes na exposição dos fatos explicativos referentes ao funcionamento das pilhas, como relatamos anteriormente.

As percepções visuais e tácteis também assumem grande importância para o realista. Amparados por essas percepções, ele toma o objeto como conhecimento. A partir desse conhecimento, faz generalizações para outras situações. Assim, as imagens, figuras, analogias etc. criadas para representar certo experimento aparecem com frequência e constituem-se, muitas vezes, no próprio conhecimento. Para Bachelard, constitui-se em obstáculo realista, a imagem não racionalizada, ou seja, aquela destituída do processo precedente de construção racional das idéias.

Queremos destacar que Bachelard não se coloca contra a utilização de analogias, metáforas ou imagens no ensino de ciências, porém, ele alerta-nos sobre a possibilidade desses recursos lingüísticos ou imagéticos reforçarem concepções do senso comum que os alunos já possuem. Em suas palavras:

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem. (BACHELARD, 2008, p. 101)

Observe o exemplo a seguir, no qual Santos *et al.* (2007) descrevem o processo de óxido-redução de uma barra de cobre metálico em solução de nitrato de prata em tempos distintos. Tendo como referência a figura 7, os autores concluem que houve corrosão da barra de cobre e “precipitação” de prata no esquema representado pela “primeira foto”. Será mesmo? E na “segunda foto”, não houve alteração? Pela figura exposta, não é possível determinar se houve corrosão da barra de cobre, “precipitação de prata” ou, até mesmo, deposição química da prata sobre a lâmina de cobre. Assim, seja qual for considerada a primeira ou segunda foto, a marca realista está presente através da generalização rápida fruto do dado aparente, imagético e não racionalizado.

Observe, na primeira foto, que houve precipitação de prata na solução e a lâmina de cobre ficou corroída. Por isso, concluímos que ocorreu uma reação de óxido-redução. Na segunda foto, observa-se que não houve alteração nem na solução nem na lâmina de prata³². **Concluimos**, assim, que não houve reação. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 650, grifo nosso).



Figura 7 – Processo de óxido-redução de uma barra de cobre.

Fonte: Santos *et al.* (2007), p. 650.

Medidas de potencial e diferença de potencial elétrico

Percebemos que em todos os manuais didáticos analisados nesse trabalho, atribuiu-se um destaque especial aos procedimentos de medida da grandeza potencial ou diferença de

³² No exemplo exposto, o autor não se refere ao uso da lâmina de prata. Somente neste trecho ele a menciona. Na caixa de texto da figura 7, apenas a lâmina de cobre é citada.

potencial elétrico de uma pilha ou de um eletrodo. O uso de equipamentos elétricos - voltímetros ou multímetros - na obtenção dessas medidas é reportado com um dos meios mais simples e de fácil disponibilidade para o aprendiz fazer a medida.

Também é reportado nos manuais que a medida do potencial do eletrodo é efetuada com o auxílio de um eletrodo-padrão ou de referência, mais especificamente, o eletrodo normal ou de referência de hidrogênio (ENH ou ENR). No entanto, em quase todos os livros pesquisados, não são abordados os limites dessas medidas ou o que realmente se mede quando se utilizam esses equipamentos elétricos.

Tendo em conta esses apontamentos, passaremos a analisar como os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM descrevem o processo de medida da grandeza ddp ou potencial de uma pilha ou do eletrodo, priorizando as estruturas conceituais que apresentam distorções e que, de algum modo, comprometem a compreensão do leitor.

Observe o exemplo a seguir, em que Santos *et al.* (2007) propõem-se a medir o potencial elétrico de uma pilha, através do uso de um voltímetro.



Figura 8 – Medida do potencial elétrico de uma pilha comum.

Fonte: Santos *et al.* (2007), p. 656.

Neste caso, nenhuma referência é feita em relação ao fato de que a medida realizada na pilha é a da sua força eletromotriz (fem). Não se discutem os limites de se trabalhar com os termos diferença de potencial e força eletromotriz dentro do contexto estabelecido.

Adicionalmente, a primeira questão que aparece no canto superior da figura é respondida da seguinte forma:

Existem pilhas que possuem o mesmo potencial, mas são de tamanhos diferentes, como as pilhas de 1,5V. A diferença entre essas pilhas está na potência que fornecem. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 656).

É claro que uma das diferenças está na potência que as pilhas fornecem. Contudo, como reportado anteriormente, os autores consideram os termos potencial elétrico e potência como sinônimos. Neste sentido, a distorção dos conceitos apresentados compromete toda a sequência lógica de encadeamento dos tópicos eletroquímicos presentes no manual didático além de proporcionar ao aluno dificuldades de compreensão e interpretação das estruturas conceituais expostas.

Na obra de Nóbrega *et al.* (2007) também há um procedimento semelhante para medida da “voltagem ou diferença de potencial da pilha”. Segundo eles:

Intercalando entre os dois eletrodos um voltímetro, a agulha se desloca, indicando passagem de corrente elétrica. **O sentido do deslocamento da agulha indica o sentido do fluxo de elétrons**, e o valor do deslocamento, obtido pela leitura no voltímetro, corresponde à *voltagem ou diferença de potencial da pilha*, que, neste caso, é igual a 0,51V, quando a temperatura é igual a 25° C e as concentrações dos íons Zn^{+2} e Ni^{+2} iguais a 1mol/L. (NÓBREGA *et al.*, 2007, p. 500, grifo nosso).

Neste trecho, os autores descrevem, de modo confuso, o funcionamento de uma pilha, relatando que o sentido da agulha indica o sentido dos elétrons. No entanto, na figura 9 é observado que o sentido dos elétrons opõe-se ao sentido da agulha. Por sua vez, o significado da grandeza ddp da pilha, embora conciso, está corretamente formulado.

Um dos traços marcantes dos obstáculos realistas refere-se à elaboração de imagens concretas para explicar formas de raciocínio abstratas. Assim, o conhecimento que se deseja ensinar torna-se mais acessível ao aluno. É o que ocorre nesse exemplo. É necessário ver para compreender, ainda que esta visão manifeste-se através de um conhecimento aparentemente, de primeira mão. Desse conhecimento advém a racionalização mal feita que bloqueia o entendimento do leitor.

Adicionalmente, na caixa de texto na mesma página, os autores definem ddp de uma pilha como a “diferença entre os potenciais de redução das espécies envolvidas em uma reação de óxido-redução”. Mais adiante será tratado e analisado o uso das equações, das tabelas de potenciais e os processos de cálculo para o potencial ou a ddp de uma pilha comum.

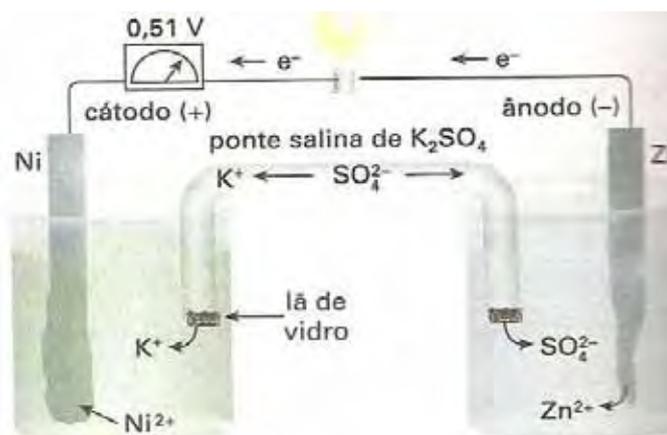


Figura 9 - Pilha em funcionamento - medida de sua ddp.

Fonte: Nóbrega *et al.* (2007), p. 500.

Também observamos que o uso de linguagem imprópria aparece, por exemplo, quando Feltre (2007b) propõe-se a explicar a leitura mostrada no voltímetro durante o processo de funcionamento de uma pilha. Conforme já salientamos nos parágrafos anteriores, o obstáculo verbal pode se revelar por meio do uso de uma linguagem do senso comum e isso dificulta a aprendizagem dos conceitos científicos.

Deste modo, teremos um fluxo de elétrons escoando, pelo fio externo, da chapa de zinco (pólo negativo ou anodo) para a chapa de cobre (pólo positivo ou catodo). A **voltagem dessa corrente elétrica** é lida com um voltímetro, como o que aparece na foto ao lado. (p. 295, grifo nosso).

Frequentemente, os manuais didáticos apontam que o potencial ou a ddp de um eletrodo pode ser medido através do ENH. Esse eletrodo, segundo os manuais, representa um padrão arbitrário ao qual é atribuído o valor zero para o seu potencial elétrico. Neste contexto, os fundamentos teóricos que suportam seu uso como eletrodo padrão raramente são apresentados. Em todos os livros analisados observa-se o uso de analogias. Essas proporcionam comparações entre medidas de altura com as medidas de potencial elétrico, ou seja, são privilegiados os aspectos operacionais e o uso prático dessas medidas em detrimento de uma discussão conceitual mais elaborada.

Percebemos que em um único livro analisado há relatos que justificam a utilização do eletrodo ENH. No entanto, a explicação fornecida não aborda os aspectos referentes ao fato de que o ENH é não polarizado.

No caso das medidas eletroquímicas, o padrão escolhido foi o denominado eletrodo-padrão (ou eletrodo normal) de hidrogênio. E por que hidrogênio? Por que o H^+ é o cátion mais comum em soluções, já que ele se forma pela dissociação da água: [...] (FELTRE, 2007b, v.2, p. 303).

A explicação fornecida por Feltre (2007b) está conceitualmente equivocada. Se estivesse correta do ponto de vista conceitual, a seguinte questão teria sentido: por que não utilizar o gás oxigênio como padrão, já que o íon OH^- também aparece na dissociação da água- $H_2O \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$?

Esse exemplo chama nossa atenção pela presença do obstáculo substancialista. Sua atuação é aqui constatada na medida em que o livro didático faz uso do cátion H^+ para elaborar explicações sobre o ENH.

Na visão substancialista, a água contém os elementos substanciais e esses são representados pelos átomos de hidrogênio e oxigênio que determinam suas propriedades. Deste modo, no substancialismo não se discute, por exemplo, que as propriedades da água só se manifestam a partir das interações entre os átomos que a formam. Prevalece a idéia de que o todo é a soma das partes que o integram.

Então, nada mais natural do que atribuir à espécie química H^+ as propriedades do ENH. Afinal ela é a “mais comum” e carrega em si a “propriedade substancial” responsável pelas qualidades superficiais, ou seja, a razão de ser do ENH. Preso no “substancialismo do oculto”, Feltre (2007b) não aborda os reais motivos pelo qual se utiliza o ENH como padrão de medida.

Nesse caso, o texto ficaria mais fundamentado e apropriado a um debate com os alunos de Ensino Médio se o autor contemplasse algumas propriedades da interface não polarizada do ENH. Outros conceitos também poderiam ser explorados tais como: o capacitor e o resistor num circuito fechado e sua relação com uma interface não polarizada. Por exemplo, poderia ser mostrado que a interface metal/solução adequa-se razoavelmente ao modelo do capacitor plano de placas paralelas.

Ainda em relação aos obstáculos substancialistas, vale ressaltar que encontramos nos conteúdos eletroquímicos dos manuais didáticos alguns exemplos nos quais prevalece o aspecto que mais acentua o traço substancialista, ou seja, a idéia de que a propriedade é um atributo intrínseco da substância. Observe os excertos a seguir.

[...] O ouro tem coloração amarelada; a prata, cor prateada; e o cobre, avermelhada. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 626).

[...] Apesar de o ferro reagir com o oxigênio do ar, ele tem sua resistência aumentada quando é misturado com átomos de outros elementos químicos, constituindo as ligas [...]. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 630).

Nessas pilhas, parte da energia química armazenada nas ligações entre os átomos que constituem as substâncias é utilizada para produção de corrente elétrica. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 648).

Embora essas expressões sejam utilizadas frequentemente nos livros didáticos, Bachelard nos alerta sobre a presença desses obstáculos. Por exemplo, a cor amarela não é uma propriedade específica do ouro. O fato de ser amarelo é decorrente da interação do metal com o meio. Assim, dependendo da espessura da lâmina de ouro considerada, sua cor pode variar assumindo outros padrões, tais como: o ouro azul, o verde, o rosáceo, entre outras tonalidades. Quanto ao ferro, prevalece no excerto a concepção de que aquilo que se forma na reação conserva suas características anteriores. Não se reconhece, por exemplo, que a liga formada não possui as mesmas propriedades que o ferro, justamente por que ela não é mais o ferro propriamente dito, houve uma transformação através da interação entre os átomos de ferro com outros átomos e assim se produziram novos compostos com distintas propriedades.

No substancialismo, a energia é um atributo que está contido no interior da substância. Para Bachelard não há distinção entre matéria e energia e as interações ou transformações que ocorrem não são os meios de se obter energia e sim a própria condição de existência da energia. Só existe energia porque há interação e transformação. Deste modo, a energia não está contida na substância, mas revela-se a partir das transformações que nela ocorrem.

Sob este aspecto, Canto e Peruzzo (2007b), através do exemplo a seguir, prenunciam o estudo das pilhas ou baterias como uma caixa a ser aberta, um interior oculto a ser revelado, no qual se escondem os enigmas e as propriedades latentes. Como já salientamos, é no “substancialismo do oculto” que se encontram as explicações para as qualidades superficiais dos fenômenos.

Até aqui preocupamo-nos em falar sobre características da parte do circuito elétrico externa à pilha ou à bateria, considerando esses dispositivos como se fossem uma “caixa-preta”, em cujo interior

ocorre algum processo “misterioso”. É esse “mistério” que começaremos a desvendar a seguir. (p. 92).

Previsão de ocorrência das reações de óxido-redução

Dando prosseguimento ao nosso estudo, observamos que os autores dos livros didáticos analisados deram atenção especial às estruturas conceituais relacionadas com a previsão de ocorrência das reações e o uso da tabela de potenciais-padrão para essa finalidade. A partir de procedimentos teóricos e cálculos matemáticos envolvendo o uso dessa tabela, foi possível calcular a diferença de potencial de uma pilha.

Encontramos nos livros didáticos diferentes argumentos explicativos referentes aos procedimentos metodológicos envolvidos no cálculo da diferença de potencial do eletrodo ou da pilha. Também observamos dois tipos de equações - relações matemáticas - utilizadas nesse cálculo. A seguir, descreveremos esses argumentos através de cinco agrupamentos analíticos levantados nos livros didáticos. São eles:

1a) A partir da equação da pilha montada, o ânodo e o cátodo são determinados. Utiliza-se a tabela de potenciais padrão de redução (TPPR) para os diferentes eletrodos.

1b) Verificar qual dos eletrodos apresenta maior $E^0_{\text{redução}}$; Colocá-lo como semi-reação de redução; escrever a semi-reação de oxidação com o eletrodo de menor $E^0_{\text{redução}}$, invertendo o sinal da semi-reação de oxidação. Igualar a quantidade de elétrons nas duas semi-reações e no final, somar algebricamente as duas semi-reações e obter a reação completa da pilha.

1c) O maior valor de $E^0_{\text{redução}}$ corresponde à semi-reação de redução e o menor valor é da semi-reação de oxidação. A quantidade de elétrons nas duas semi-reações deve ser igualada.

1d) Tendo em conta os valores dos potenciais (TPPR), verifica-se que quanto maior o $E^0_{\text{redução}}$ do eletrodo maior a tendência de redução.

1e) A partir da TPPR, todo elemento ou substância que estiver mais acima na tabela funciona como redutor em relação a um elemento ou substância que está mais abaixo (oxidante). Deste modo, a reação de cima funciona no sentido da oxidação - reação invertida - enquanto que a reação de baixo funciona no sentido da redução (reação direta).

O quadro 2 apresenta esses procedimentos e as equações utilizadas para o cálculo da ddp das pilhas.

Quadro 2 - Cálculo da ddp das pilhas: procedimentos e equações contidos nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.

Referências	Procedimentos	Equações utilizadas*
Química & Sociedade - Santos <i>et al.</i>	1a	$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ânodo}}$ $\Delta E^{\circ} = \text{potencial ou ddp elétrico da pilha}^{33}$
Universo da Química - Bianchi <i>et al.</i>	1b	$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{redução}} + E^{\circ}_{\text{oxidação}}$
Química - Nóbrega <i>et al.</i>	1c	$E^{\circ}_{\text{pilha}} = E^{\circ}_{\text{red. (cátodo)}} - E^{\circ}_{\text{oxid. (ânodo)}}$
Química - Mortimer e Machado	Não aborda os procedimentos para o cálculo da ddp da pilha.	-----
Química na abordagem do cotidiano - Canto e Peruzzo	1c; 1d	$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ânodo}}$ ou $\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{elet. que recebe elétrons}} - E^{\circ}_{\text{elet. que perde elétrons}}$
Química - Feltre	1e	$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{oxidante}} - E^{\circ}_{\text{reductor}}$

* Todas as equações referem-se ao cálculo do E°_{pilha} ou ΔE° na condição padrão: concentração molar das espécies igual a 1mol/L; T= 25°C; pressão 100 KPa.

Queremos destacar que todos os livros didáticos analisados, sem exceção, assumiram que os valores absolutos dos potenciais das semicelas não podem ser medidos e que os

³³ Embora não façam citação direta ao procedimento da soma de potenciais, no exemplo dado (ver, p. 95), os autores utilizam este artifício matemático.

potenciais padrão de redução dos eletrodos só poderão ser medidos com auxílio de um eletrodo de referência (ENH).

Apenas um deles (BIANCHI *et al.*, 2005) calculou o potencial da pilha utilizando a equação $\Delta E^0 = E^0_{\text{redução}} + E^0_{\text{oxidação}}$ conforme mostrado no quadro 2. O procedimento adotado consistiu em realizar a soma dos termos trocando o sinal algébrico da semi-reação de oxidação (menor valor para o potencial padrão de redução).

Embora esse procedimento seja tecnicamente o mesmo que calcular o potencial da pilha como uma diferença de potencial, Sanger e Greenbowe (1999) relatam que calcular o potencial da pilha como uma soma pode levar os alunos à interpretação de que os potenciais das semicelas individuais apresentam significado físico quando, de fato, somente a diferença de potencial é que possui. Adicionalmente, os alunos podem se convencer de que o potencial de uma semicela pode ser medido sem o auxílio de um segundo eletrodo.

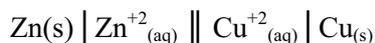
Outro problema citado pelos pesquisadores, que surge a partir da utilização do procedimento da soma de potenciais, refere-se ao fato de que os alunos são levados a pensar que os potenciais padrão de oxidação e redução para quaisquer semi-reações podem ser somados diretamente sem uma prévia consideração do número de elétrons envolvidos.

Além disto, acrescentam que o uso do procedimento da diferença de potenciais evita que seja necessário explicar para o aluno por que o sinal do potencial da semicela deve ser alterado quando a semi-reação é invertida - de acordo com a lei de Hess³⁴ - mas, em contrapartida, o potencial não é multiplicado por um fator numérico quando a equação é multiplicada por este fator, o que contradiz a lei de Hess.

O exemplo a seguir ilustra em parte essa situação. Neste caso, dois procedimentos de cálculo da ddp de uma pilha, o da diferença e o da soma de potenciais, foram abordados. Os autores do livro didático não apresentam uma discussão sobre os limites da utilização de cada um deles, ou seja, não exploram conceitualmente o porquê de se utilizar um ou outro procedimento, reforçando somente o desenvolvimento de cálculos matemáticos - a adição e a troca de sinais dos potenciais dos eletrodos que compõe a pilha de Daniell.

³⁴ Lei de Hess- A variação da entalpia - quantidade de calor liberada ou absorvida em um processo químico - só depende do estado inicial e final do processo, não dependendo das etapas intermediárias. De forma mais abrangente, esta lei estabelece que quando reações químicas individuais são adicionadas, os valores das propriedades termodinâmicas extensivas - variação da energia livre de Gibbs, por exemplo - podem ser também adicionados. Os potenciais de semicelas ou das pilhas são propriedades intensivas e não podem ser somados utilizando a lei de Hess.

Vejamos como se calcula a diferença de potencial elétrico de uma pilha, utilizando como exemplo a pilha de Daniell.

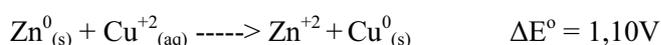
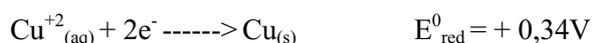
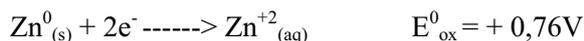


De acordo com a equação anterior, teremos: $\Delta E^{\circ} = (E^{\circ}_{\text{catodo}}) - (E^{\circ}_{\text{anodo}})$

$$\Delta E^{\circ} = (E^{\circ}_{\text{Cu}}) - (E^{\circ}_{\text{Zn}})$$

$$\Delta E^{\circ} = (+ 0,34\text{V}) - (- 0,76\text{V}) \quad \Delta E^{\circ} = 1,10\text{V}$$

Outra forma utilizada para calcular o potencial de uma **pilha é a partir da soma de suas semi-reações**. Nesse caso, teremos:



Note que, como a semi-reação **do zinco foi invertida para se obter a equação de oxidação, o sinal de seu potencial também foi invertido**, obtendo-se o mesmo valor encontrado. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 656, grifos nossos).

Do ponto de vista qualitativo e quantitativo, os livros didáticos analisados apresentaram adequadamente os procedimentos de cálculo para a ddp das pilhas. Somente em Mortimer e Machado (2007) não foi delineado tratamento teórico ou metodológico qualquer. No entanto, nos exercícios propostos pelos autores aparecem situações em que o conhecimento dos procedimentos de cálculo da ddp das pilhas é necessário. Entendemos que, nesse caso, o livro didático poderá incorporar, em edições futuras, conteúdos específicos sobre o tema em questão. O uso do procedimento da soma de potenciais, pelas razões expostas, deve ser evitado.

Quanto à discussão das propriedades intensivas da grandeza potencial ou ddp elétrico das pilhas para a compreensão do procedimento e dos exemplos contidos no livro didático - Bianchi *et al.*(2005) - foi observado que os autores apresentaram breve comentário a respeito, o que corroborou, em parte, com a discussão teórica e metodológica desenvolvida nesse manual didático. Excetuando algumas ressalvas aos procedimentos metodológicos adotados nos manuais, não observamos a presença de obstáculos epistemológicos nesse item.

Os processos de transferência de cargas elétricas

Outro ponto importante, presente nos livros didáticos, diz respeito à descrição do processo de transporte e transferência de cargas elétricas que ocorrem nos sistemas eletroquímicos, em particular nas pilhas e nas celas eletrolíticas.

Sanger e Greenbowe (1999) reportam algumas concepções distorcidas dos estudantes em relação ao movimento de cargas elétricas em uma solução eletrolítica. Muitos deles consideram que os elétrons atravessam a solução eletrolítica. Para os pesquisadores, esse fato é derivado do uso de representações imagéticas não adequadas assim como de conteúdos teóricos vagos ou distorcidos, presentes nos manuais didáticos utilizados pelos alunos.

Outros trabalhos (GARNETT e TREAGUST, 1992, 1992a; OGUDE e BRADLEY, 1994 e SANGER e GREENBOWE, 1997) que envolvem a descrição das concepções distorcidas dos estudantes do Ensino Médio quanto à questão do transporte e transferência de cargas em sistemas eletroquímicos - pilhas e celas eletrolíticas - relatam que o resultado mais importante obtido na pesquisa³⁵ refere-se à identificação de uma estrutura alternativa dos estudantes para explicar a noção de corrente elétrica como sendo somente devida ao fluxo de elétrons.

Ainda segundo esses pesquisadores, há outras concepções distorcidas, tais como: ânions na ponte salina e no eletrólito transferem elétrons do cátodo para o ânodo; elétrons entram na solução a partir do cátodo e fluem pela solução e pela ponte salina saindo no ânodo para completar o circuito. Para os pesquisadores, essas concepções estão também presentes no ideário dos alunos e são resistentes a qualquer tipo de mudança.

Caramel (2006) ao investigar as concepções dos estudantes brasileiros – secundaristas e universitários (do curso de Química) –, quanto ao entendimento das reações redox e suas relações com a circulação de corrente elétrica nas pilhas e em celas eletrolíticas, aponta que:

Encontramos em nossos alunos dificuldades ao explicarem os fenômenos microscópicos que ocorrem nas células em operação, pois na maioria dos casos as explicações não dão conta dos conteúdos estabelecidos cientificamente. A grande maioria das explicações apenas admite a corrente eletrônica, ou seja, elétrons circulam através do condutor metálico, de um ponto a outro do circuito, já que é este modelo que o aluno possui das aulas de física. Quando se referem à condução no eletrólito apresentam concepções alternativas bastante incoerentes e longe da explicação científica. (p. 14).

Tendo em conta estes aspectos, interessa-nos analisar a forma como os manuais didáticos aprovados pelo PNLEM abordam a questão do transporte de elétrons, das cargas positivas e negativas (íons) através da interface eletrodo-solução e da solução eletrolítica (ou

³⁵ Trata-se da pesquisa de Garnett e Treagust, 1992.

da ponte salina), respectivamente. Este item é de fundamental importância para a compreensão dos processos eletródicos, ou seja, processos de circulação da corrente elétrica e mecanismos de funcionamento de um sistema eletroquímico, em particular, das pilhas voltaicas.

Para este objetivo, a partir dos conteúdos eletroquímicos presentes nos manuais didáticos, foram elaborados, seis agrupamentos analíticos referentes à descrição do processo de geração do fluxo de cargas ou de elétrons - corrente elétrica - nas pilhas voltaicas. Em todos os agrupamentos produzidos foi preservada a linguagem utilizada pelos autores. São eles:

- I) Nas reações redox que ocorrem nas pilhas, parte da energia química armazenada nas ligações atômicas das substâncias é usada para a produção de corrente elétrica;
- II) Em uma pilha, os elétrons fluem espontaneamente, através de um fio condutor, do eletrodo de menor potencial (pólo negativo) para o eletrodo de maior potencial de redução (pólo positivo), gerando assim uma corrente elétrica no fio condutor;
- III) Para que se produza corrente elétrica em uma pilha, é necessário que dois eletrodos diferentes sejam ligados por um fio condutor e que as soluções eletrolíticas das semicélulas estejam em contato por meio de uma ponte salina;
- IV) Uma corrente elétrica é gerada ou produzida nas trocas de elétrons decorrentes das reações redox espontâneas. Corresponde a um fluxo de elétrons escoando pelo fio externo;
- V) Na pilha de Daniell, a corrente elétrica “dentro da solução” é gerada pelo fluxo de cátions e ânions através de uma membrana porosa. Este fluxo é necessário para que se estabeleça o equilíbrio elétrico em uma pilha;
- VI) A corrente elétrica que flui pela solução eletrolítica é devida a um fluxo ordenado de cátions e ânions.

Observando os agrupamentos levantados nos livros didáticos podemos caracterizar dois tipos principais de correntes elétricas descritas pelos autores³⁶. O primeiro tipo - representado pelos agrupamentos I, II, III e IV - diz que a geração ou produção de corrente elétrica em uma pilha dá-se pelo contato elétrico entre dois eletrodos diferentes através de um fio condutor. Neste caso, as reações redox espontâneas que ocorrem nas pilhas fornecem os elétrons que fluem do eletrodo de menor potencial (pólo -) para o eletrodo com maior

³⁶ Ver quadro 3, para maiores informações.

potencial (pólo +) de redução. O segundo tipo representado pelos agrupamentos V e VI, é caracterizado pelo movimento ordenado de cátions e ânions na solução eletrolítica, isto é, diz respeito a uma corrente iônica. Nos próximos parágrafos, por simplificação, vamos nos referir a esses dois tipos de corrente como: corrente elétrica e corrente iônica, respectivamente.

De forma semelhante, a partir das proposições conceituais encontradas nos manuais didáticos sobre o fluxo de cátions e ânions na ponte salina foram elaborados cinco agrupamentos analíticos que descrevem o tema em questão. São eles:

- 1) A troca de íons que ocorre na membrana porosa ou na ponte salina da pilha de Daniell impede que o sistema atinja o equilíbrio químico. Se ele fosse atingido, o processo de redução e oxidação pararia, impossibilitando o funcionamento da pilha;
- 2) A ponte salina fornece os cátions e os ânions necessários para manter neutra a solução eletrolítica dos dois eletrodos que constituem a pilha;
- 3) A ponte salina mantém o contato entre as duas soluções eletrolíticas que compõem a pilha de Daniell. Ela permite a migração iônica de uma célula para outra, mantendo a neutralidade elétrica;
- 4) Na ponte salina, o fluxo de cátions - na direção do cátodo - e ânions (na direção do ânodo) compensa o excesso de cargas positivas e negativas geradas, respectivamente, no cátodo e no ânodo de uma pilha durante seu funcionamento;
- 5) Na pilha de Daniell, o movimento iônico na ponte salina ocorre de uma semicélula para outra, nos dois sentidos.

A análise desses agrupamentos aponta para o fato de que, de modo geral, os autores preocuparam-se, principalmente, em descrever a função da ponte salina que é manter a neutralidade elétrica da solução eletrolítica, controlando o transporte de espécies químicas - cátions e ânions - e assim permitindo o funcionamento da pilha galvânica.

O quadro 3, a seguir, exhibe os diferentes agrupamentos analíticos encontrados nos livros didáticos, referentes ao processo de produção de corrente elétrica e iônica nas pilhas. Também são apresentadas as proposições conceituais presentes nesses materiais, referentes ao fluxo de cargas - íons - na ponte salina e na solução eletrolítica.

Quadro 3 - Agrupamentos analíticos e proposições conceituais - sobre o fluxo de cargas - levantadas nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM.

Livros didáticos	Agrupamento(s) utilizado(s) para explicar o processo de produção da corrente elétrica	Proposições conceituais utilizadas para caracterizar o fluxo de cargas na ponte salina e na solução eletrolítica
Química & Sociedade – PEQUIS – Santos <i>et al.</i>	I	1
Universo da Química - Bianchi <i>et al.</i>	II	2
Química – Nóbrega <i>et al.</i>	III	3
Química – Mortimer e Machado	IV, VI*	Não apresenta discussão sobre este tema.
Química na abordagem do cotidiano- Canto e Peruzzo	II, IV e VI	4
Química - Feltre	IV, V	5

* Corrente elétrica apenas como um fluxo de cátions e ânions que flui pela solução.

Os dados obtidos no quadro 3 indicam que em todos os manuais didáticos analisados há uma descrição sobre a forma pela qual a corrente elétrica é produzida em uma pilha. Em particular, somente nas referências Mortimer e Machado (2007) e Canto e Peruzzo (2007b), o agrupamento referente à produção de corrente iônica se faz presente distintamente da corrente elétrica. Estes foram os únicos casos em que os autores abordaram, em momentos diferentes, os dois tipos de corrente que podem ser gerados em uma pilha. Por sua vez, Feltre (2007b) relata, além de uma “corrente elétrica” (fluxo de elétrons escoando pelo fio), a existência de uma corrente elétrica “dentro da solução” que poderia ser identificada por uma corrente iônica. Porém, na descrição que fez não aponta claramente as características que pudessem classificá-la como tal.

Em relação à exposição sobre o mecanismo de transporte de íons através da ponte salina, foi constatado que os autores desenvolveram o tema de forma satisfatória, destacando a

sua principal função que é a de manter a neutralidade elétrica da solução. Por outro lado, apenas Mortimer e Machado (2007) não abordaram o tema. Neste sentido, como já foi salientado, entendemos que algumas alterações e ou incorporações conceituais devam ser feitas pelos autores.

Embora os manuais, de modo geral, apresentem os tópicos com correção, foi observado que as descrições deram pouca atenção aos aspectos relativos à origem das correntes elétrica e iônica na pilha eletroquímica. Em decorrência, questões simples, porém importantes, para a compreensão do mecanismo de funcionamento de uma pilha, não foram tratadas nos manuais. Entre essas, podem ser citadas: como se dá o fluxo de elétrons da solução para o fio condutor ou vice-versa? O que é medido pelo aparelho elétrico (amperímetro)? Ou, ainda, as correntes elétricas e iônicas podem ser medidas?

Adicionalmente, os autores dos livros didáticos, quando se reportaram à questão da origem das correntes elétrica e iônica, deram pouca atenção ao fato de que é na interface metal-solução que ocorrem os processos de transferências de elétrons nas pilhas. Neste sentido, uma descrição mais detalhada desse fenômeno poderia favorecer a compreensão dos mecanismos que envolvem a produção dessas correntes nos sistemas eletroquímicos.

Somente Canto e Peruzzo (2007b) apresentaram uma exposição um pouco mais elaborada sobre a origem da corrente elétrica nas pilhas. Observe o trecho a seguir.

É importante perceber que o circuito elétrico inclui o interior da pilha, porém não é um condutor metálico que conduz a corrente dentro dela, mas sim outro tipo de condutor elétrico: soluções aquosas.

[...] Assim, a experiência de acender uma lâmpada com uma pilha de Daniell envolve um circuito elétrico fechado que consiste basicamente de duas partes: uma externa à pilha, formada por fios metálicos, e uma parte interna à pilha, na qual a **corrente elétrica que atravessa as soluções aquosas** é um fluxo ordenado de cátions e ânions. (CANTO E PERUZZO, 2007b, p. 96, grifo nosso).

Para que se compreenda realmente que corrente é essa que atravessa a solução retomaremos alguns aspectos conceituais relativos ao processo de transferência de elétrons na interface metal-solução eletrolítica.

De acordo com a lei de Faraday, toda vez que um sistema eletroquímico sofre uma perturbação - a passagem de corrente elétrica pela interface metal/eletrodo é um exemplo - há a ocorrência de uma reação eletroquímica. Nesta situação, a espécie reagente aproxima-se da interface e a reação de transferência de cargas efetivamente se realiza. Para garantir a

neutralidade elétrica da solução, cargas elétricas devem ser transportadas para o outro eletrodo. Surgem então neste processo uma corrente elétrica que flui através do circuito externo - fio condutor - e uma corrente iônica que flui pela solução eletrolítica. Neste caso, observe que são os íons - os portadores de cargas - que são reduzidos ou oxidados na interface reacional. Neste processo, espécies eletroquimicamente modificadas são produzidas e fluem através da solução eletrolítica para o outro eletrodo constituinte do sistema eletroquímico.

Considerando estes aspectos, no processo de transferência de elétrons na região da interface, a diferença entre as densidades de corrente catódica (de redução) e anódica (de oxidação) compõe a corrente elétrica líquida que pode ser detectada no amperímetro, ou seja, este aparelho mede a diferença entre as duas contribuições de correntes - catódica e anódica. Assim, em um sistema eletroquímico do tipo pilha, a corrente que se mede no amperímetro é o resultado das reações redox que ocorrem na região da interface e estas são determinadas pela velocidade de transferência do elétron do eletrodo para a espécie eletroativa ou vice-versa. Isto é válido quando se utiliza altas concentrações das espécies eletroativas e do eletrólito suporte, situação que garante uma alta condutividade elétrica da solução eletrolítica. A figura 10 mostra esquematicamente a situação descrita.

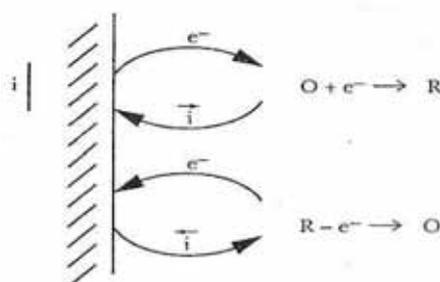


Figura 10 - Esquema representacional da interface metal-eletrodo e as reações catódicas e anódicas que nela ocorrem. Fonte: Ticianelli e Gonzalez (1998, p. 29).

Legenda: $O + e^- \rightarrow R$: é a reação de redução da espécie O (ganho de elétron); $R - e^- \rightarrow O$: é a reação de oxidação da espécie R (perda de elétron); i^{\rightarrow} é a densidade de corrente catódica; i^{\leftarrow} é a densidade de corrente anódica; i é a corrente elétrica resultante (diferença entre a catódica e a anódica) que pode ser medida experimentalmente pelo amperímetro.

Quanto à presença de obstáculos epistemológicos, as seguintes considerações podem ser feitas tendo em conta os aspectos conceituais levantados nos parágrafos anteriores.

Observamos que aparecem nos manuais didáticos algumas distorções conceituais devido ao uso de estruturas de linguagem impróprias ou pouco adequadas à descrição dos processos de fluxo de cargas nas pilhas galvânicas. Feltre (2007b), por exemplo, ao tentar

relatar o transporte de elétrons em uma pilha de modo “simples” emprega termos e estruturas de linguagem próprias do senso comum, que, sem maiores esclarecimentos, passam a se constituir em bloqueios à compreensão dos conceitos científicos por ele abordados. Vejamos o exemplo a seguir.

Em linguagem simples, podemos dizer que o anodo (pólo negativo) “empurra” elétrons para o circuito externo, enquanto o catodo (pólo positivo) “puxa” elétrons do circuito externo. Assim, quanto maior a tendência do anodo em “soltar” elétrons e quanto maior a tendência do catodo em “capturar” elétrons, tanto maior será a diferença de potencial exibida pela pilha. (p. 303).

Em primeiro lugar o cátodo não captura e nem puxa elétrons para si. Da mesma forma, o ânodo não empurra ou solta elétrons. Como já salientado, os processos eletroquímicos ocorrem na interface metal-solução através de mecanismos bem mais elaborados envolvendo outras ponderações³⁷, bem diferentes daquelas referentes a puxar e soltar elétrons.

Além disto, na tentativa de traduzir para o contexto escolar o conhecimento científico, o autor do livro didático consegue, de fato, somente transmitir, por meio da metáfora realista utilizada, um arremedo de ciência, um conhecimento de primeira mão, não racionalizado e, portanto, sujeito a toda sorte de analogias e imagens que se possa criar. Neste caso, tornar o conhecimento mais simples significa também aproximá-lo do realismo ingênuo que o aluno traz consigo. Sob esta ótica, não há mudança ou ruptura entre o conhecimento comum e o científico e, deste modo, a estrutura conceitual exposta se constitui em um obstáculo realista.

No capítulo anterior reportamos que os obstáculos realistas e animistas têm em comum o conhecimento de primeira aproximação como fonte de conhecimento e que, em alguns casos, esses obstáculos atuam de forma conjunta. É o que ocorre neste exemplo. As palavras “soltar”, “empurrar”, “capturar” e “puxar” atribuem qualidades anímicas ao cátodo e ao ânodo. Para Bachelard, atribuir qualidades aos fenômenos é um dos aspectos que caracteriza o espírito pré-científico. Podemos também acrescentar que conferir predicados anímicos a certos conhecimentos que apresentam determinado grau de abstração, para torná-lo mais acessível ou “fácil” ao aluno, é um dos traços marcantes do obstáculo animista.

³⁷ Essas ponderações, por exemplo, referem-se ao carregamento elétrico dos dois lados opostos da interface através da interação do dipolo elétrico do eletrólito (água) com a superfície metálica; ao carregamento do metal utilizando fonte externa de energia, entre outras.

Ainda em relação aos obstáculos animistas presentes neste item, constatamos que os livros didáticos analisados - Santos *et al.* (2007), Bianchi *et al.* (2005), Nóbrega *et al.* (2007), Mortimer e Machado (2007) e Canto e Peruzzo (2007) - evitaram o uso de verbos e expressões que pudessem atribuir ânimo ou vida aos objetos e conceitos descritores da ciência Eletroquímica.

4.2.2 - Aspectos conceituais e epistemológicos - Eletrólise

Até o momento foram analisados os sistemas eletroquímicos em que a produção de corrente elétrica ocorre a partir de reações redox espontâneas. Trataremos a seguir dos sistemas nos quais o fornecimento de energia elétrica ou trabalho útil feito por um gerador - pilha, bateria etc.- para um eletrodo, propicia a ocorrência de reações redox não espontâneas, isto é, os denominados sistemas eletrolíticos e os processos de eletrólise. De forma simples, podemos dizer que, neste caso, o gerador fornece os elétrons para o cátodo e esses se dirigem para a interface reacional onde acontecem essas reações.

Ainda queremos destacar o fato de que as polaridades dos eletrodos são invertidas em relação às das pilhas voltaicas, ou seja, o cátodo na eletrólise é o eletrodo “negativo” e o ânodo é o “positivo”. Porém, tanto nas pilhas quanto na eletrólise, no cátodo ocorre a redução e no ânodo a oxidação.

De modo geral, constatamos que as estruturas conceituais relacionadas à previsão de reações eletrolíticas, a partir da ordem de prioridade de descarga das espécies químicas, representam grande parte dos conteúdos sobre eletrólise contidos nos livros didáticos. Adicionalmente, partindo-se desses conteúdos são trabalhados os aspectos quantitativos da eletrólise - as leis de Faraday.

Por sua vez, os exemplos expostos nos livros didáticos abordam principalmente processos tecnológicos - obtenção e refino de metais, entre outros - nos quais os produtos reacionais obtidos durante os processos eletrolíticos são determinados, em parte, pela diferença de potencial aplicada e também pela polaridade adotada nos terminais do gerador.

Nesta perspectiva, Garnett e Treagust (1992) relatam a respeito da crença que os estudantes de Ensino Médio possuem de que em uma cela eletrolítica a polaridade dos terminais da bateria - diferença de potencial ou “voltagem aplicada”- não tem efeito sobre o cátodo e o ânodo. Segundo eles, este fato pode ser visto como um dos principais obstáculos ao entendimento do processo de oxidação e redução eletrolíticos.

Tendo em conta estes aspectos, observamos que as coleções de livros de Química dos autores Bianchi *et al.* (2005), Nóbrega *et al.* (2007), Canto e Peruzzo (2007b) e Feltre (2007b) fizeram comentários a respeito da influência da ddp aplicada pelo gerador na eletrólise. De modo específico, esses manuais reportaram que a ocorrência das reações eletrolíticas está condicionada ao fornecimento de uma ddp maior que aquela calculada para as reações espontâneas, utilizando a tabela de potenciais padrão de redução (TPPR). Adicionalmente, Feltre (2007b) também salientou que na prática a ddp aplicada deverá ser maior que a calculada, para vencer as resistências elétricas do circuito. Santos *et al.* (2007), Mortimer e Machado (2007) não trataram do assunto.

Quanto à polaridade dos eletrodos, constatamos que todos os manuais relataram a diferença existente entre eles quando comparados através de seus usos nas pilhas e na eletrólise. Isto proporcionou aos leitores uma descrição simples, clara e objetiva dos processos eletrolíticos.

No entanto, nenhum deles abordou, por exemplo, o que acontece nesses processos quando os pólos do gerador, nos quais se ligam os eletrodos, são invertidos. Para Garnett e Treagust (1992) esta situação, para fins didáticos, é importante para ilustrar outras configurações ou esquemas nos quais a eletrólise possa ocorrer.

Observe o exemplo esboçado na figura 11. Neste caso, trata-se do processo de electrodeposição do níquel metálico sobre uma colher - obtido pela redução dos íons Ni^{2+} - que é realizado através do fornecimento de energia pelo gerador.

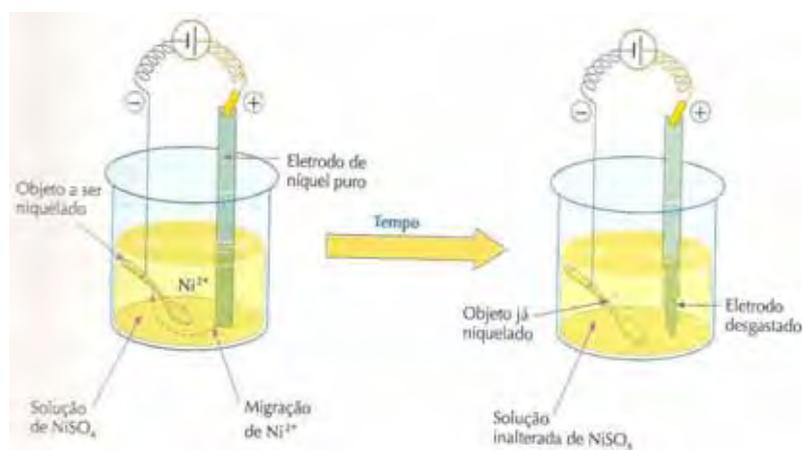


Figura 11 - Processo de niquelagem de uma peça metálica.

Fonte: Feltre (2007b), p. 344.

Uma possibilidade de intervenção - não verificada nos livros didáticos - refere-se à discussão do que aconteceria se a polaridade do gerador fosse invertida. Neste processo é possível visualizar este novo arranjo e estabelecer conexões entre o processo eletrolítico, a ddp aplicada e as alterações de polaridade e sua influência nos produtos obtidos. Como já salientamos, entendemos que isto pode auxiliar na superação dos obstáculos ou das concepções distorcidas que os alunos apresentam.

Outro ponto a ser analisado diz respeito à descrição do processo de ocorrência das reações eletrolíticas presentes nos manuais aprovados pelo PNLEM, em específico, os procedimentos didáticos relativos à previsão de ocorrência das reações redox eletrolíticas - não espontâneas. Tais procedimentos são de suma importância para que o leitor entenda o processo de conversão de energia elétrica em energia química, que se sucede através das reações redox mencionadas.

Faremos a seguir uma descrição dos procedimentos utilizados para prever a ocorrência das reações de oxido-redução seguidos dos comentários sobre os limites de sua utilização, para cada um dos manuais didáticos do PNLEM. Procedimentos adicionais utilizados nos manuais também serão citados³⁸.

a) Química & Sociedade - Santos *et al.* (2007) - Não faz menção a qualquer critério ou procedimento de previsão de ocorrência de reações redox não espontâneas.

b) Universo da Química - Bianchi *et al.* (2005) - Utiliza a TPPR como “instrumento útil” de previsão. No cátodo ocorre primeiramente a reação que possui maior valor para o EPR. No ânodo, a reação com maior EPO. Esclarece que os EPR são tabelados nas CP e que a eletrólise não é realizada em tais condições. Como procedimento adicional, apresenta uma regra prática de uso geral. Ordena a ocorrência das reações anódicas e catódicas segundo critérios empíricos não especificados.

c) Química - Nóbrega *et al.* (2007) - A partir de exemplos elabora uma tabela de prioridade de descarga de íons. Estabelece que os fatores EPR/EPO e a concentração molar interferem nas reações redox que ocorrem nos processos eletrolíticos. Com esta tabela faz previsões e generaliza seu uso em outras reações redox não espontâneas. Também comenta que o uso dos EPR/EPO não é adequado para prever a ocorrência de reações redox eletrolíticas, uma vez

³⁸ As siglas que aparecem no texto correspondem a: CP = condições padrão; EPR = potencial padrão de redução; EPO = potencial padrão de oxidação; ENH = eletrodo normal de hidrogênio; TPPR = tabela dos potenciais padrão de redução.

que foram obtidos a partir das condições padrão. No entanto, em alguns casos, argumenta que sua utilização pode ser adequada para se fazer a previsão. Adicionalmente, estabelece um critério empírico para ordenar a descarga dos íons H^+ e OH^- . Neste caso, esses íons vão descarregar primeiro em relação à água, se suas concentrações molares forem maiores que 10^{-1} Molar.

d) Química - Mortimer e Machado (2007) - Utilizam a TPPR nos exemplos envolvendo sistemas redox não-espontâneos. Inicialmente sofrerá oxidação a espécie química que apresentar EPO maior. De modo análogo, sofrerá redução a espécie que apresentar maior EPR. Não faz comentários adicionais sobre os procedimentos empregados.

e) Química na abordagem do cotidiano - Canto e Peruzzo (2007b) - Fazem uso de uma tabela que ordena a facilidade de descarga dos íons nos eletrodos. Salientam que ela foi elaborada pelos químicos para responder a questões práticas relacionadas à descarga dos íons em solução. Na eletrólise ígnea utilizam a TPPR como critério para estabelecer a ocorrência das reações. Relatam que a utilização da tabela, que exibe a ordem de descarga dos íons, é restrita às soluções aquosas.

f) Química - Feltre (2007b) - Para que ocorra a reação redox na eletrólise ígnea, a diferença de potencial aplicada deve ser maior que aquela obtida para a reação espontânea (sentido contrário), quando se utiliza a TPPR. Na eletrólise aquosa, em um primeiro momento, uma “fila das tensões eletrolíticas” (qualitativa) é utilizada e em seguida a própria TPPR (valores numéricos). A reação redox com maior EPR é a que ocorre primeiro, no cátodo. Também é reportado que o uso da TPPR não fornece boa previsão sobre a descarga dos cátions, uma vez que ela foi elaborada nas CP e as reações redox eletrolíticas não ocorrem nestas condições. Além disto, em alguns casos, devido à adsorção de íons em alguns eletrodos (o ENH, por exemplo), torna-se necessário aplicar um sobrepotencial para que a reação ocorra. Outro procedimento adotado consiste no uso de uma tabela obtida empiricamente alocando os cátions e ânions em ordem de prioridade de descarga em soluções aquosas. Generaliza seu emprego através dos exemplos contidos no texto. Para a eletrólise com eletrodos ativos, utiliza, de forma ambígua, a TPPR e a tabela experimental reportada.

Os dados elencados nos indicam que os autores - Bianchi *et al.* (2005), Nóbrega *et al.* (2007), Canto e Peruzzo (2007b) e Feltre (2007b) - trabalham exclusivamente com procedimentos didáticos visando à apresentação dos conteúdos programáticos nos moldes delineados pelo método empírico-indutivo. Como veremos adiante, são muitos os exemplos contidos nos manuais em que esses autores desenvolvem seus argumentos, a partir de

configurações específicas envolvendo sistemas eletrolíticos, os quais são apresentados como padrões para a elaboração de sínteses generalistas sobre o mecanismo de previsão das reações redox eletrolíticas.

Nesta perspectiva, os autores desses livros apresentam que determinada tabela - por exemplo, a TPPR - é obtida através dos resultados de experimentos realizados por cientistas que descobrem o sequenciamento ou a ordenação das espécies químicas segundo a prioridade de descarga no cátodo e no ânodo.

[...] Experiências desse tipo levaram os químicos a concluir que, em solução aquosa, existem íons H^+ e OH^- cujo aparecimento pode ser assim equacionado. [...] Para responder a essas perguntas, os químicos elaboraram experimentalmente - baseados em resultados como os da tabela mostrada na página anterior - a fila de facilidade de descarga de íons nos eletrodos, que aparece ao lado. (CANTO E PERUZZO, 2007b, p. 122-123).

Entretanto, raramente é apresentada uma estruturação lógica, pautada em procedimentos didáticos, que permita aos alunos entender os processos eletrolíticos dentro de um enfoque mais racionalista. Quando os livros elaboram-no, um grande número de ressalvas e condições à utilização dos procedimentos é apresentado, tornando-os confusos e pouco articulados com os critérios adotados para a previsão das reações redox eletrolíticas.

Neste sentido, frequentemente é trabalhado nesses manuais o uso prático da tabela de potenciais de redução ou a da prioridade de descarga iônica, para que os alunos possam fazer os exercícios propostos. Os argumentos expostos podem ser mais bem avaliados através dos trechos a seguir.

No entanto, quando a eletrólise do cloreto de sódio é realizada em meio aquoso, os produtos formados no ânodo e no cátodo são o gás cloro e o gás hidrogênio respectivamente. Isso significa que, de algum modo, a água está participando da eletrólise. Nesse caso, em vez de o íon Na^{1+} ser reduzido no cátodo, é a água que sofre redução, produzindo gás hidrogênio; o íon Cl^{1-} continua a ser oxidado no ânodo, formando o gás cloro (Cl_2). Por meio dos exemplos a seguir, verificamos que, na eletrólise aquosa, a água tanto pode participar (oxidando e/ou reduzindo) quanto não. (BIANCHI *et al.*, 2005, p. 504-505).

[...] Então, qual critério servirá de apoio para a previsão das espécies que sofrerão oxidação e redução? Novamente, **a tabela de potenciais de redução será o instrumento mais útil e adequado.** (p. 505, grifo nosso).

Nesse exemplo, os autores apontam que na eletrólise aquosa do sal de cozinha é a água que sofre redução ao invés do íon Na^{+1} - no processo ígneo ele é reduzido - e utilizam como critério para a escolha, a tabela dos potenciais de redução. Porém, um pouco mais adiante salientam:

Os valores dos potenciais informam-nos quais reações são possíveis, porém não há qualquer dado relativo às suas velocidades: reações espontâneas podem ser muito lentas e não oferecem interesse prático. Além disso, os valores de E° são tabelados em condições-padrão (*sic*), porém, raramente as eletrólises são realizadas em tais condições. Em função desses **argumentos, algumas generalizações podem ser feitas quando há possibilidade de diversas semi-reações no tanque eletrolítico** sob a ação de corrente elétrica contínua. (BIANCHI *et al.* 2005, p. 507, grifo nosso).

Na sequência, no texto do livro didático, a partir dos exemplos trabalhados, os autores propõem algumas regras práticas para serem usadas como critério de previsão de ocorrência das reações redox não-espontâneas, tendo em conta que o critério de previsão das reações baseado na tabela de potenciais de redução não é adequado em alguns casos. Para o aluno do Ensino Médio, tais orientações tornam-se incoerentes, pois, em um primeiro momento, ele deve usar a TPPR para fazer a previsão e, logo em seguida, ele é alertado de que, sob certas condições - não especificadas -, o uso da TPPR pode levá-lo a cometer equívocos na interpretação dos resultados. Os autores propõem então que sejam feitas algumas “generalizações” - empíricas - para dar conta das distorções nos resultados das reações que ocorreriam se fosse empregada a TPPR como critério de previsão. Observe o trecho a seguir.

[...] a maioria dos cátions pode ser reduzida à forma metálica quando em solução aquosa, exceto os cátions dos metais do grupo I (alcalinos) e II (alcalinos terrosos) e o alumínio.

Quando o eletrólito é um ácido forte, em solução aquosa, a espécie que sofre redução é o $\text{H}^{1+}_{(\text{aq})}$ e não a água: $2\text{H}^{1+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$ (BIANCHI *et al.* 2005, p. 507).

Adicionalmente, outras quatro generalizações e uma observação a respeito das TPPR são apresentadas pelos autores em questão.

Como já reportado em outro momento, os obstáculos realistas podem se apoiar em descrições genéricas dos fenômenos e de suas propriedades. Em alguns casos, descrever os fenômenos é para o realista somente um relato estendido dos conhecimentos que ele possui. E é também a partir dessas descrições que ele realiza generalizações precipitadas, ou seja, um conhecimento não racionalizado é produzido por meio de suas primeiras impressões.

É neste sentido que as estruturas conceituais expostas nos excertos constituem-se em obstáculos realistas, pois, ao descrever os procedimentos adotados para a previsão das reações redox, os autores não deixam claro ao aluno qual é a racionalidade envolvida no processo de elaboração das “generalizações”, restando somente a ele o recurso da memorização para saber quando se deve usar a TPPR ou os resultados das “generalizações” para prever a ocorrência das reações.

De modo semelhante, Feltre (2007b) utiliza como critério para previsão de reações eletrolíticas em meio aquoso a tabela de ordem de descarga dos cátions e ânions. No entanto, quando é tratada a questão da eletrólise com eletrodos ativos - aqueles que participam das reações redox -, os critérios são reelaborados (conforme o caso) para que se possa explicar os produtos eletrolíticos obtidos. Considere o trecho dado a seguir:

O eletrodo de grafite, por exemplo, resiste a quase tudo, exceto ao oxigênio, pois, sendo uma variedade de carbono, ele sofre oxidação na presença de oxigênio: $C_{(\text{grafite})} + O_2 \rightarrow CO_2$.

Os eletrodos metálicos funcionam bem na posição de catodo. **Na posição de anodo**, porém, o metal pode ser rapidamente corroído, ou melhor, pode participar da própria eletrólise, uma vez que: o anodo é um oxidante poderoso; os metais (Me) tem uma tendência natural de perder elétrons (oxidação): $Me \rightarrow Me^+ + e^-$. Chega-se então a uma situação extrema, na qual o **anodo ou pólo positivo “prefere” retirar elétrons do próprio metal que o constitui, em vez de descarregar os ânions existentes em solução**; desse modo, o próprio anodo vai sendo desgastado ou corroído.

Aliás, essa situação é bastante comum; **praticamente todos os metais acima do cobre** ($E^0 = + 0,34V$) na tabela dos potenciais- padrão de eletrodo **irão sofrer oxidação eletrolítica** se forem colocados como anodo em uma célula eletrolítica. Nesses casos, diremos que o eletrodo é **não inerte** ou **ativo**, uma vez que ele está tomando parte na reação de eletrólise. (FELTRE, 2008b, p. 342, grifo do autor).

Neste caso, poderíamos inicialmente indagar: realmente é necessário apresentar exemplos desse tipo, de tal nível de complexidade, para o aluno de Ensino Médio?

Se a resposta for afirmativa, o texto deverá conter apontamentos mais esclarecedores sobre o processo de eletrólise descrito. Afinal, o que determina a posição de ânodo ou cátodo? Não somente os elementos metálicos e os não metálicos (carbono grafite, fósforo, entre outros), como foi dito no excerto, sofrem oxidação na presença de oxigênio, os elementos semi-metálicos também sofrem. Então, esses últimos também podem ser considerados

eletrodos ativos? Qual critério deve-se usar para classificar os eletrodos como ativos? Quais metais, acima do cobre, não se enquadram no critério estabelecido pelo autor?

Do modo como foi construído o texto, muito provavelmente o leitor terá grandes dificuldades para compreender em quais situações poderá utilizar ou não o critério da tabela de potenciais de redução ou da tabela de prioridade de descarga, para avaliar quais serão os produtos obtidos em uma reação eletrolítica.

Além disto, a expressão - “chega-se então a uma situação extrema, na qual o ânodo ou pólo positivo prefere retirar elétrons [...]”, - utilizada pelo autor para explicar o fenômeno em questão, revela-se portadora do obstáculo animista, ou seja, atribui-se ao ânodo certa vontade própria - anímica. Para Bachelard, um conhecimento não racionalizado pode ser decorrente de uma síntese imediata e, em alguns casos, meramente descritiva.

É por meio desse conhecimento não racionalizado que se cometem alguns absurdos no ensino de Química. Parafraseando o autor do livro didático poderíamos dizer que se chega a uma situação extrema na qual o estudante pouco apreende a deparar-se com essas estruturas conceituais. É bem provável que memorize somente alguns procedimentos matemáticos necessários à sua aprovação escolar, os quais, não apresentam vínculos com a construção racional do conhecimento, ou seja, o aluno permanece na superficialidade do conhecimento exposto e contrário a qualquer processo de retificação desse conhecimento.

Em outras situações, os manuais desenvolvem engenhosas elaborações discursivas para explicar a ocorrência das reações eletrolíticas, como no trecho dado a seguir, no qual é discutida a eletrólise aquosa de uma solução de iodeto de potássio (KI) de concentração igual a 0,1 mol/L.

Na solução aquosa de iodeto de potássio, há íons K^+ e I^- , provenientes da dissociação desse sal, os íons H^+ e OH^- , em concentração muito baixa (10^{-7} mol/L), provenientes da auto-ionização da água, e moléculas de água. Assim no cátodo são possíveis três reações, cujas semi-equações e os respectivos potenciais de redução:



Os **testes experimentais** realizados indicam a formação de gás hidrogênio e íons OH^- (o meio torna-se básico), o que leva à conclusão de que no cátodo ocorreu a reação: $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2 OH^-_{(aq)}$

Como o potencial padrão de redução dos íons K^+ é o mais baixo, a não ocorrência de sua redução é, de certa forma, compreensível. No entanto, o **potencial de redução dos íons H^+ é maior que o das**

moléculas de água e, por isso, o H^+ deveria sofrer redução antes da água. Isso só não ocorre por causa da concentração muito reduzida do íon H^+ (10^{-7} mol/L), que impossibilita sua reação em extensão razoável. Além disso, o valor do potencial de redução é válido para concentrações 1,0 mol/L. Ao contrário, a água encontra-se em grande quantidade e essa disponibilidade facilita a sua reação. (NÓBREGA *et al.*, 2007, p. 518, grifos nossos).

Os autores então concluem:

Com os dados dessas duas experiências, podemos ordenar os cátions e os ânions envolvidos em relação à prioridade de descarga no cátodo e no ânodo: [...] Assim já podemos fazer algumas previsões. (p. 521).

Observe que, dois fatores podem determinar a prioridade de descarga dos íons na cela eletrolítica: o potencial de redução e a concentração das espécies envolvidas. Esse último, segundo Nóbrega *et al.* (2007), passa a ser o fator determinante no processo de descarga iônica. Em momento algum é discutida a natureza empírica dos procedimentos adotados e sua validação para outras situações de estudo. Além disto, será mesmo a concentração dos íons H^+ o fator determinante da ocorrência dessa reação não espontânea?

Embora nos livros indicados haja claras citações sobre os limites de utilização da tabela padrão de potenciais de redução e de suas implicações na previsão das reações eletrolíticas, entendemos que os manuais enfatizam em excesso o uso deste procedimento.

Além disso, será que em outras situações, por exemplo, com eletrodos e ou concentrações eletrolíticas diferentes, a ordem de descarga dos íons será a mesma? Ou, ainda, há outros fatores que podem determinar qual é a prioridade de ocorrência das reações eletrolíticas?

Na realidade, fazer previsões a respeito da ocorrência das reações eletrolíticas utilizando a TPPR não é tarefa fácil, uma vez que isto requer que os autores apresentem aos estudantes um tratamento simplificado dos aspectos que norteiam a ocorrência dessas reações. Assim, por exemplo, a tabela dos potenciais padrão considera que todas as espécies químicas aquosas possuem concentração igual a 1 Molar e todas as espécies gasosas apresentam pressão igual a 1 atm. Como já reportado, raramente um processo eletrolítico ocorre nestas condições e, portanto, os produtos reacionais obtidos, em grande parte, não correspondem aos produtos previstos pela TPPR.

Outro fator que interfere consideravelmente nas previsões é o efeito do sobrepotencial e, conforme analisamos, somente Feltre (2007b) discute esta questão.

Sanger e Greenbowe (1999) relatam que alguns eletrodos³⁹ são menos reativos que a água* devido ao fato de apresentarem potenciais de redução bem maiores os dela. No entanto, era de se esperar que outros eletrodos⁴⁰ com potenciais de redução menores que os da água fossem mais reativos. Porém, esses eletrodos são cineticamente inertes, ou seja, suas semi-reações são extremamente lentas. Para que essas reações ocorram em taxas apreciáveis é necessário que seja aplicado um sobrepotencial bem maior que aquele necessário para reduzir ou oxidar a água. Neste caso, a previsão de ocorrência de reações redox que envolva esses eletrodos será distorcida ou errônea, se a tabela de potenciais de redução for utilizada para tal intento.

Se a discussão sobre os aspectos que norteiam a ocorrência das reações redox é realmente importante para a elaboração dos conteúdos programáticos que compõem os manuais, então os autores deveriam enfatizar que existem fatores adicionais, tais como: o sobrepotencial, a concentração das espécies, a temperatura, o fenômeno da complexação química dos íons presentes etc. Todos esses fatores interferem nas reações e dificultam a previsão de ocorrência das mesmas. Sob esta ótica, deve-se então evitar apresentar a tabela de prioridade de descarga - obtida a partir de observações experimentais - como critério único ou mais eficaz para se fazer previsões sobre as reações redox.

Entretanto, caberá aos autores dos livros didáticos decidirem quais contornos metodológicos serão abordados e em que grau de complexidade serão feitos os estudos dos processos eletrolíticos. Em estudos mais gerais, a TPPR poderá ser utilizada, desde que leve-se em conta os limites e as possibilidades de seu uso.

Neste sentido, Mortimer e Machado (2007) optaram por desenvolver este estudo através de exemplos que ilustram de forma clara e objetiva o uso da TPPR para fazer a previsão das reações redox.

Ainda em relação aos procedimentos adotados nos livros didáticos visando à apresentação dos conteúdos sobre eletrólise, queremos destacar que embora Canto e Peruzzo (2007b) façam uso do método empírico-indutivo nos moldes já expostos, nos exemplos mais complexos - processos de anodização, refino do cobre (uso de eletrodos ativos), entre outros - os autores apresentam uma linguagem clara e acessível ao estudante do Ensino Médio.

Um último tema a ser discutido refere-se à exposição dos aspectos quantitativos da eletrólise relacionados com a aplicação das leis de Faraday. Dentre os manuais do PNLEM

³⁹ Por exemplo, $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$, $E_{\text{red}}^{\circ} = 1,50\text{V}$; * semi- reação: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, $E_{\text{red}}^{\circ} = 1,23\text{V}$

⁴⁰ Exemplos: a) $\text{C} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_4$, $E_{\text{red}}^{\circ} = 0,13\text{V}$; b) $\text{PtO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Pt} + 2\text{H}_2\text{O}$, $E_{\text{red}}^{\circ} = 1,0\text{V}$.

analisados, somente dois deles - Nóbrega *et al.*(2007) e Mortimer e Machado (2007) - não apresentaram qualquer comentário a respeito. Merece destaque o fato de que Bianchi *et al.* (2005), Canto e Peruzzo (2007b) e Feltre (2007b) apresentaram uma exposição correta, coesa e bem articulada com os objetivos traçados para o Ensino Médio quanto à aprendizagem dos conteúdos que relacionam as leis de Faraday aos processos tecnológicos presentes em nossa sociedade.

Descreveremos a seguir as principais definições que envolvem as leis de Faraday encontradas nos livros analisados, mantendo as impressões originais dos autores. Assim temos:

- A) Primeira lei de Faraday: a quantidade de uma substância depositada eletroliticamente é proporcional à quantidade de carga elétrica (Q) que atravessa o eletrólito.
- B) A massa da substância produzida ou consumida em um eletrodo de uma cela eletroquímica (pilha ou eletrólise) relaciona-se, por meio de uma proporção estequiométrica, com a quantidade de elétrons envolvidos na semi-reação desse eletrodo. Os elétrons, por sua vez, relacionam-se com a carga elétrica total que atravessa o circuito elétrico.
- C) A massa de substância produzida num eletrodo é proporcional à carga elétrica que circula na cela eletrolítica e à massa molar dessa substância.
- D) a massa da substância eletrolisada é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que atravessa a solução.

O quadro 4 a seguir, sintetiza as elaborações conceituais sobre a lei de Faraday encontradas nos livros didáticos analisados.

Quadro 4 - Aspectos qualitativos e quantitativos que envolvem a Lei de Faraday.

Referências	Definições contidas nos livros didáticos	Equações utilizadas
Química & Sociedade - Santos <i>et al.</i>	A	$m = k.Q$ m: massa da substância; K: constante de proporcionalidade; Q: quantidade de carga elétrica que percorre o sistema.

Universo da Química - Bianchi <i>et al.</i>	Não apresenta formalmente a lei de Faraday. Trabalha com a estequiometria da reação.	$Q = i \cdot t$ Q: a quantidade de carga elétrica; i: corrente elétrica; t: tempo em segundos.
Química – Nóbrega <i>et al.</i>	-----	-----
Química - Mortimer e Machado	-----	-----
Química na abordagem do cotidiano - Canto e Peruzzo	B; C	$Q = i \cdot t$ Q: a quantidade de carga elétrica; i: corrente elétrica que passa pelo circuito; t: tempo em segundos
Química - Feltre	D	$Q = i \cdot t$ Q: quantidade de matéria; i: corrente elétrica; t: tempo em segundos.

Ainda que tenham desenvolvido satisfatoriamente o tema, observamos que Santos *et al.* (2007) apresentaram um texto carente de exemplos relacionados aos aspectos quantitativos do processo eletrolítico. Também observamos a presença de uma estrutura conceitual equivocada, quando os autores referem-se a esses aspectos utilizando, como exemplo, o processo de deposição química.

O excerto e a figura 12 a seguir mostram esse equívoco. A massa de cobre depositada não pode ser determinada somente pela conexão do sistema esboçado na figura 12 com o voltímetro. Para se aplicar ou medir uma diferença de potencial em certo sistema são necessários, no mínimo, dois eletrodos. Além disto, para determinar a massa de cobre seria

necessário utilizar uma balança analítica ou dependendo da espessura da camada depositada, um método indireto mais complexo como, por exemplo, a elipsometria⁴¹.

No que se refere aos obstáculos epistemológicos, podemos também acrescentar que o uso da imagem reproduzida nessa figura para explicar o fenômeno da deposição⁴² constitui-se em um exemplo de obstáculo realista, por razões já expostas em parágrafos anteriores.

A transferência de elétrons de átomos de ferro para átomos de cobre leva à formação de cobre metálico e descoloração da solução de sulfato de cobre. Se esse sistema metal-solução **estiver ligado a um sistema com um voltímetro**, pode-se determinar a massa de cobre depositada. (SANTOS *et al.*, 2007, p. 671, grifo nosso).



Figura 12 – Processo de deposição química do cobre metálico sobre o ferro (prego).

Fonte: Santos *et al.* (2007), p.671.

Uma última ressalva a ser feita diz respeito ao uso de linguagem pouco adequada para descrever o processo de “passagem de corrente elétrica” durante a eletrólise, por exemplo:

Calcule a massa de cobre metálico depositada por **uma corrente elétrica** de 1,93A que atravessa uma solução de sulfato cúprico durante 10 minutos. (FELTRE, 2008b, p. 354, grifo nosso).

O processo de deposição de finas camadas de metais sobre objetos pela passagem de corrente elétrica em uma solução eletrolítica é denominado eletrodeposição ou galvanoplastia. (SANTOS *et al.*, 2007, p.670, grifo nosso).

⁴¹ É um método óptico não destrutivo que permite, por exemplo, medir a espessura e o índice de refração de filmes finos transparentes - filmes de óxidos - depositados sobre um substrato altamente absorvente. O método consiste em avaliar as mudanças no estado de polarização da luz causada pela reflexão no sistema substrato-filme.

⁴² O processo de deposição eletroquímica é um processo não espontâneo que envolve a aplicação de uma diferença de potencial, através de uma fonte externa - ver figura 11, como exemplo. A imagem que aparece na figura 12 refere-se ao processo espontâneo da deposição química e, portanto, não se encaixa na definição de processo eletrolítico ou eletrólise.

A energia elétrica fornecida pelo gerador flui pelos fios condutores até a interface eletrodo-solução onde ocorrem as reações redox. Nesta perspectiva, o uso da expressão corrente elétrica deve ser feito com atenção, uma vez que na Eletroquímica esse termo apresenta um domínio explicativo que abrange dois contornos teóricos específicos - o fluxo de cargas na solução e o fluxo de elétrons nos fios condutores.

Portanto, a utilização da expressão em **negrito** pode sugerir que um fluxo de elétrons também atravessa a solução. Convém lembrar que na solução ocorre o fluxo de espécies carregadas e não o de elétrons. A este fluxo denominamos corrente iônica, como salientada em outro momento.

Considerando esses argumentos, o termo corrente elétrica utilizado no exemplo revela-se um obstáculo verbalista, pois, não esclarece ao leitor as diferenças ou discontinuidades provocadas na linguagem científica quando se utiliza essa expressão de modo mais amplo.

5. SÍNTESE DOS RESULTADOS - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

No longo percurso histórico de produção e divulgação do livro didático, delineado nesta pesquisa, apontamos a importância desse material no contexto escolar e dos programas educacionais associados à distribuição gratuita dos livros didáticos, em especial, o PNLEM.

Deste modo, argumentamos que as avaliações efetuadas nos livros didáticos de Química pelo PNLEM, proporcionaram a possibilidade de estabelecer padrões de qualidade para esse material, a partir de diferentes critérios considerados como significativos para a sua classificação ou eliminação.

Em nossa concepção, essas avaliações representam um salto qualitativo em direção à busca da melhoria contínua desse importante instrumento de divulgação cultural. Não se trata, portanto, de simplesmente aprovar ou reprovar o livro didático por meio do PNLEM, mas antes de contribuir no sentido de oferecer aos professores de Química de Ensino Médio um material didático adequado às suas necessidades profissionais e aos objetivos traçados nos planos de ensino escolares.

Por outro lado, encontramos uma quantidade significativa de distorções conceituais nos tópicos eletroquímicos dos livros analisados que, somados aos aspectos metodológicos (procedimentos e ou critérios pouco adequados utilizados na previsão de ocorrência das reações redox, entre outros) e epistemológicos (visão de ciência fragmentada, obstáculos presentes nos conceitos expostos) comprometem a qualidade do manual didático e a correta aprendizagem dos conceitos científicos.

Tendo em conta essas considerações faremos na sequência uma análise detalhada dos aspectos relativos à correção conceitual das estruturas teóricas da Eletroquímica contidas nos manuais didáticos analisados e os obstáculos epistemológicos que elas suscitam.

A investigação dos tópicos eletroquímicos presentes nos livros aprovados pelo PNLEM revelou alguns problemas quanto à correção conceitual, aspecto que pode prejudicar o desenvolvimento dos sequenciamentos teóricos propostos pelos autores e a sua compreensão por parte do estudante.

Um dos aspectos conceituais, presentes nesses livros, que mais chamaram nossa atenção refere-se ao tratamento teórico dado ao conceito de potencial ou diferença de potencial elétrico ou do eletrodo. Dos seis manuais analisados, apenas Mortimer e Machado (2007) e Canto e Peruzzo (2007b) desenvolveram-no de forma conceitualmente correta.

Nóbrega *et al.* (2007), Feltre (2007b) e Bianchi *et al.* (2005) expuseram-no corretamente do ponto de vista formal, porém, utilizaram o recurso das imagens e analogias de forma abusiva para ilustrar os argumentos empregados. Esses autores apresentaram ao leitor um conhecimento próximo ao do senso comum que ele já possui e que pode comprometer a compreensão do conceito em questão. Nesse caso, queremos apontar a necessidade de uma revisão na linguagem trabalhada e nas imagens e analogias utilizadas. Já em Santos *et al.* (2007), os conceitos e os sequenciamentos teóricos propostos precisam ser completamente reelaborados.

Corroborando essa análise conceitual, encontramos obstáculos realistas e verbalistas no desenvolvimento dessas estruturas teóricas. Neste caso, com o propósito de dar concretude a conceitos abstratos, como é o caso do potencial ou diferença de potencial do eletrodo, Nóbrega *et al.* (2007), Feltre (2007b) e Bianchi *et al.* (2005) apresentam visões distorcidas dessas estruturas, comparando os aspectos microscópicos aos macroscópicos, distintos em suas origens e que se situam em uma outra ordem de racionalidade. Consideramos este aspecto marcante e responsável por grande parte das interpretações equivocadas encontradas nesses manuais didáticos.

De modo semelhante, os tópicos relacionados às “medidas de potencial ou diferença de potencial” foram trabalhados através do uso de figuras e exemplos que enfatizavam aspectos operacionais dessas medidas. Apenas na obra de Canto e Peruzzo (2007b) observa-se uma descrição em que os aspectos teóricos envolvidos são expostos em conjunto com exemplos ilustrativos apoiados em explicações recorrentes ao domínio da Física, ciência de origem dessas estruturas teóricas. Entendemos que este procedimento favoreceu a exposição, por exemplo, dos argumentos discursivos necessários à compreensão do processo de construção racional das estruturas teóricas em questão.

Ainda em relação a este aspecto, Mortimer e Machado (2007) e Bianchi *et al.* (2005) apresentaram esses conteúdos utilizando uma linguagem simples e acessível ao leitor, porém sem maiores esclarecimentos dos aspectos teóricos envolvidos na sua elaboração. Outros dois livros - Nóbrega *et al.* (2007) e Feltre (2007b) - continham exemplos em que o uso impróprio da linguagem distorceu as explicações sobre o que era medido com os dispositivos elétricos. Em Santos *et al.* (2007), a exposição desse tópico ficou prejudicada em virtude dos equívocos conceituais cometidos na elaboração anterior do conceito de potencial ou diferença de potencial elétrico.

Novamente, aparecem os obstáculos realistas (NÓBREGA *et al.*, 2007) e verbalistas (NÓBREGA *et al.*, 2007) na descrição deste tema, porém em menor escala. Nesta perspectiva, prevaleceram as imagens realistas para vislumbrar as estruturas conceituais que se desejava ensinar. Essas imagens traduziram-se em conhecimentos de primeira ordem, suscetíveis a interpretações não racionalizadas, apoiadas em uma linguagem própria do senso comum.

Quanto aos aspectos concernentes aos processos de transferência de cargas, observamos que Mortimer e Machado (2007) e Canto e Peruzzo (2007b) descrevem-nos de forma correta e completa. Entretanto, em três manuais analisados, Nóbrega *et al.* (2007), Bianchi *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2007), não foram apontadas as diferenças entre os dois tipos de corrente elétrica que modelam o comportamento do fluxo de cargas nos fios condutores e na solução eletrolítica. Os autores não trataram da origem do fluxo de cargas na solução e não esclareceram aos leitores como atuam esses mecanismos de transporte de cargas nos sistemas eletroquímicos por eles apresentados. Por sua vez, Feltre (2007b) apesar de apresentar os dois tipos de corrente elétrica, não esclarece para o estudante, as características do fluxo de cargas na solução.

Como já relatado em outro momento, pesquisas realizadas mostraram-nos que a não distinção entre as correntes “iônica” e “elétrica” é um dos grandes equívocos praticados pelos estudantes de Ensino Médio e até mesmo de ensino superior quando do estudo dos sistemas eletroquímicos - pilhas comuns e os processos eletrolíticos.

Neste sentido, constatamos que este tema carece de uma maior atenção por parte dos autores dos livros didáticos, principalmente no que tange a elaboração de estratégias - formas de exposição do conceito, linguagem utilizada - que conduzam o estudante a uma correta interpretação dos significados e dos contornos teóricos envolvidos na descrição do conceito de corrente elétrica.

Feita a ressalva à questão conceitual, encontramos nesse tópico poucos obstáculos epistemológicos. Neste caso, como acabamos de frisar, três manuais didáticos não desenvolveram o tema dentro do domínio teórico requerido. Mesmo assim, a presença do obstáculo realista, para descrever o mecanismo do fluxo de cargas, manifestou-se em Feltre (2007b), que se utilizou de uma metáfora realista para descrever o conceito de corrente elétrica com o objetivo de torná-lo mais acessível ao leitor.

Outro tema tratado nos manuais didáticos refere-se às descrições das estruturas e dos sequenciamentos teóricos envolvidos na previsão das reações espontâneas em pilhas comuns,

utilizando a tabela de potenciais padrão de redução. Somente Mortimer e Machado (2007) não expuseram os procedimentos teórico-metodológicos de cálculo para a ddp das pilhas. Queremos destacar que, nos livros que abordaram o assunto, as descrições produzidas mostraram-se corretas e não apresentaram obstáculos epistemológicos.

O relato dos processos eletrolíticos e das regras pertinentes à previsão de ocorrência das reações não espontâneas foram dois temas muito explorados nos livros didáticos. Na realidade, grande número de exemplos relacionados a processos tecnológicos de produção e deposição de metais, entre outros, exibidos nesses manuais constituiu-se na base de apoio sobre a qual foram organizados e elaborados os procedimentos de previsão das reações não espontâneas.

Considerando este contexto, apontamos para o fato de que somente Santos *et al.* (2007) não abordaram o tema. Também queremos destacar que os autores Mortimer e Machado (2007) e Canto e Peruzzo (2007b), apresentaram por meio de exemplos simples, um procedimento pedagógico útil para se fazer a previsão de ocorrência das reações redox, através do emprego da tabela de potenciais padrão de redução. A proposta desses autores foi a de trabalhar os conteúdos teóricos, tendo em conta que não é necessário mostrar para os estudantes exemplos complexos envolvendo certo número de condições reacionais e de regras empíricas com o objetivo de se prever quais serão os produtos obtidos pela eletrólise.

Para eles, a elaboração racional dos conceitos presentes neste campo de estudo, por meio de exemplos simples, pode suprir os alunos com os conhecimentos suficientes para o seu desenvolvimento intelectual. Em nosso entendimento, a utilização deste recurso pedagógico permitiu uma exposição clara das estruturas conceituais e dos sequenciamentos teóricos propostos.

Por outro lado, Nóbrega *et al.* (2007), Bianchi *et al.* (2005) e Feltre (2007b) abordaram esse tópico privilegiando o desenvolvimento de regras e tabelas práticas com o intuito de apresentar ao estudante a influência de diferentes fatores sobre os processos eletrolíticos mais complexos. No entanto, observamos que este procedimento engendrou generalizações precipitadas sobre as causas que determinaram a deposição de certo metal sobre um eletrodo ou a preferência de “descarga” de uma espécie química sobre outra.

Assim, o uso deste procedimento pedagógico favoreceu interpretações equivocadas quanto à previsão de ocorrência de certos processos eletrolíticos elencados nesses manuais didáticos, além de conduzir o leitor a um entendimento distorcido do processo de produção do conhecimento científico.

Nesta perspectiva, para o estudante, a ciência foi vista como um conjunto de regras produzidas a partir de experiências laboratoriais específicas. Dessas se retira o conhecimento, que é generalizado e apresentado, muitas vezes, como um conjunto de normas, indicações e códigos a serem seguidos. Com isso, a natureza dinâmica e histórica da ciência é obliterada. Não se mostra que a construção do conhecimento é um processo pautado na busca da racionalidade e em constantes retificações, portanto, contrário às conclusões obtidas através de descrições estendidas das experiências primeiras.

Permeando a discussão apresentada, notamos em Nóbrega *et al.* (2007), Bianchi *et al.* (2005) e Feltre (2007b) a presença dos obstáculos realistas, nos moldes já delineados nos parágrafos anteriores.

De modo geral, identificamos nos tópicos eletroquímicos analisados algumas distorções conceituais relacionadas, principalmente, ao conceito de potencial ou diferença de potencial do eletrodo e também às descrições realistas da previsão das reações redox em processos eletrolíticos. No nosso entendimento, esses temas merecem maior atenção por parte dos autores dos livros didáticos analisados.

Quanto aos obstáculos epistemológicos presentes nesses tópicos, observamos a ocorrência dos quatro tipos mencionados anteriormente. Em específico, houve o predomínio dos obstáculos realistas e verbalistas nas obras de Santos *et al.* (2007), Bianchi *et al.* (2005), Nóbrega *et al.* (2007) e Feltre (2008). Cabe frisar que também identificamos alguns exemplos de obstáculos substancialistas em Santos *et al.* (2007), Canto e Peruzzo (2007b) e Feltre (2007b) relativos à descrição das propriedades dos compostos químicos por meio das “propriedades substanciais” ou do “substancialismo do oculto”.

Apenas ocasionalmente encontramos obstáculos animistas em Feltre (2007b). Como já havíamos reportado, até o final da década de oitenta do século passado, sua presença nos livros didáticos restringiu-se ao uso de figuras ilustrativas para exemplificar os conceitos abstratos abordados. Muito provavelmente as avaliações efetuadas nos materiais didáticos, após a década de noventa, contribuíram para a diminuição desses obstáculos. No entanto, não encontramos na literatura pesquisas relatando a presença desses obstáculos nos manuais didáticos, elaborados a partir de então, que pudessem comprovar ou não a veracidade dessa suposição.

De modo geral, queremos destacar que esses foram os principais resultados obtidos nesta investigação. Em suma, os resultados nos revelam que, pelo menos nos tópicos eletroquímicos, os livros didáticos de Química continuam apresentando problemas relativos à

correção conceitual, entre outros, a despeito de todo cuidado e seriedade presentes no processo de avaliação desses materiais pelo PNLEM.

Em nossa concepção, aí reside um dos principais papéis das pesquisas acadêmicas sobre livros didáticos, como esta que realizamos, ou seja, elas podem nos fornecer os subsídios necessários para estender nossa compreensão e permitir dizer aquilo que as equipes de avaliadores do PNLEM não conseguem captar, ou não podem dizer, dados os limites éticos de atuação profissional a que foram submetidos.

Por fim, esperamos que as considerações que apresentamos possam contribuir para a elaboração de futuros trabalhos nesta área do conhecimento humano e para a melhoria das coleções didáticas produzidas. Pesquisas envolvendo, por exemplo, os diversos conteúdos curriculares que compõem os livros didáticos e sua relação com a questão da correção conceitual, epistemológica, das abordagens e dos procedimentos metodológicos utilizados são alguns dos temas que poderão ser explorados.

Na academia e na comunidade científica diz-se, com certa constância, que uma pesquisa ou trabalho científico não termina nas conclusões, em alguns casos, elas são apenas o começo. Este início traduz-se em novas perspectivas, idéias e reflexões cultivadas e desenvolvidas durante o transcorrer do trabalho do pesquisador. Temos a certeza de que essa percepção é o que gera toda a dinâmica da ciência e do empreendimento científico na busca de soluções para as diversas demandas suscitadas pela nossa sociedade.

Considerando estes apontamentos, entendemos que ainda há muito que fazer se quisermos aprimorar a qualidade do livro didático e torná-lo um instrumento de divulgação cultural mais útil e adequado, de modo que possa efetivamente contribuir para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem em nosso país.

REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, N. **Dicionário de filosofia**. 2. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1968. 976p.
- AMBROGI, A.; VERSOLATO E. F.; LISBÔA, J. C. F. **Unidades Modulares de Química - Unidade I: Ferramentas do Químico**. São Paulo: Hamburg, 1980, 56p. LIVRO
- AMARAL, I. A.; MEGID NETO, J. Qualidade do livro didático de ciências: O que define e quem define? **Ciência e Ensino**, Campinas, n. 2, p. 13-14, Jun. 1997. ARTIGO CIENTÍFICO
- AMARAL, I. A. Os fundamentos do ensino de ciências e o livro didático. In: FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. (Orgs.). **O livro didático de ciências no Brasil**. Campinas: Komedi, 2006. p.81-123.
- APPLE, M. W. **Educação e poder**. Porto Alegre: Artmed, 1989. 208p.
- BACHELARD, G. O novo espírito científico. In: _____ **A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço**. São Paulo: Abril Cultural, 1978. p. 90-179. (Os Pensadores).
- _____ **Epistemologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1983. 196p.
- _____ **O materialismo racional**. São Paulo: Edições 70, 1990. 261p.
- _____ **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008. 316p.
- BARRA, V. M; LORENTZ, K. M. Produção de materiais didáticos de ciências no Brasil, período: 1950 a 1980. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 38, n.12, p.1970-1983, Dez. 1986.
- BIANCHI, J. C. A.; ALBRECHT, C. H.; MAIA, D. J. **Universo da Química**. 1. ed. São Paulo: FTD, 2005. 680p.
- BIZZO, N.; et al. Graves erros de conceito em livros didáticos de ciências. **Ciência Hoje**, v. 21, n. 121, p.26-35, 1996.
- BIZZO, N. Falhas no Ensino de Ciências: Erros em livros didáticos ainda persistem em escolas de Minas e São Paulo. **Ciência Hoje**, v. 27, n. 159, p. 26-31, 2000.
- BOCKRIS, J. O'M.; REDDY, A. K. N. **Electroquímica moderna**. I. Barcelona: Editorial Reverté, 1978. 675p.
- _____ **Electroquímica moderna**. II. Barcelona: Editorial Reverté, 1978a. 884p.
- BRASIL. Ministério de Educação. Resolução CEB n. 3, de 26 de junho de 1998. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio**: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, MEC/SEB, 2006, v.2, p.99-137.

BRASIL. Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Dados estatísticos**: livros didáticos. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/index.php/pnld-dados-estatisticos>> Acesso em: 10 jan. 2009.

CANTO, E. L.; PERUZZO, F. M. **Química na abordagem do cotidiano**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2007a. v.1.

_____ **Química na abordagem do cotidiano**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2007b. 344p. v.2.

_____ **Química na abordagem do cotidiano**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2007c. 264p. v.3.

CAMEL, N. J. C. Conceitos de eletroquímica e a circulação de corrente elétrica. 2006. 144f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, de Química, de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHARTIER, R. **A história cultural entre práticas e representações**. Lisboa: Difel, 1990. 248p.

_____ A história hoje: dúvidas, desafios, propostas. **Estudos Históricos**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 13, p. 97-113, 1994.

CHASSOT, A. **Para quem é útil o ensino**. 2. ed. Canoas: Ulbra, 2004. 172 p.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 30, n.3, p. 549-566, Set/ Dez. 2004.

CORRÊA, R. L. T. O livro escolar como fonte de pesquisa em história da educação. **Cadernos CEDES**, Campinas, v. 20, n. 52, p.11-23, Nov. 2000.

DANTES, M. A. M. **Os Positivistas brasileiros e as ciências no final do século XIX**: a ciência nas relações Brasil-França (1850-1950). São Paulo: Edusp, 1996.

FELTRE, R. **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2007a. 384p. v. 1.

_____ **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2007b. 417p. v. 2.

_____. **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2007c. 427p. v. 3.

FINZI, S. N. Discutindo os obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard com um grupo de professores da rede pública da cidade de São Paulo. In: XIV ENEQ - ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008>> Acesso em: 10 jan. 2010.

GALLIAZZI, M. C.; GARCIA, F. A; LIDERMANN, R. H. Construindo caleidoscópios: organizando unidades de aprendizagem. In: MORAES, R; MANCUSO, R. (Orgs). **Educação em Ciências: Produção de currículos e formação de professores**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004. p. 65-84.

GALLIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em Química. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electric Circuits and Oxidation-Reduction Equations. **Journal of Research in Science Teaching**, v.29, n.2, p. 121-142, 1992.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electrochemical (Galvanic) and Electrolytic Cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v.29, n. 10, p. 1079-1099, 1992a.

GEPEQ – Grupo de Pesquisa para o Ensino de Química. **Interação e transformação I: química para o 2.º grau**. São Paulo: Edusp, 1993. livro do aluno, guia do professor.

_____. **Interação e transformação II: química para o 2.º grau**. São Paulo: Edusp, 1995. livro do aluno, guia do professor.

_____. **Interação e transformação III: química para o 2.º grau**. São Paulo: Edusp, 1998. livro do aluno, guia do professor.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1994. 206p.

GIMENO SACRISTÁN, J. Currículo e diversidade cultural. In: SILVA, T. T.; MOREIRA, B. F. A. (Orgs). **Territórios contestados: O currículo e os novos mapas políticos e culturais**. Petrópolis: Vozes, 1995. p. 82-113.

GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomos. **Ciência & Cognição**. Rio de Janeiro, v. 12, p. 96 -109, Nov. 2007.

HODSON, D. Hacia um enfoque más crítico del trabajo de la laboratório. **Ensenanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

HÖFLING, E. M. A trajetória do programa nacional do livro didático do ministério da educação no Brasil. In: FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. (Orgs.). **O livro didático de ciências no Brasil**. Campinas: Komedi, 2006. p. 19 – 31.

JAPIASSU, H. **Questões epistemológicas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Imago, 1981, 173p.

_____. **Introdução ao pensamento epistemológico**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1986. 199p.

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

KIOURANIS, N. M. M.; SILVEIRA, M. P.; SILVA, E. L.; TANAKA, A. S.; ALVES, A. A.; CLAUS, T.; SOUZA, A. R. A pertinência do estudo das propriedades ácido-base de compostos orgânicos no ensino médio. In: VII CONGRESO - ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 2005. Barcelona. **Anais eletrônicos**. Disponível em <www.ensciencias.uab.es/congres2005/material/comuni_orales/2> Acesso em: 10 jan. 2010.

KRASILCHIK, M. Inovação no ensino das Ciências. In: GARCIA, E. W. (Coord.). **Inovação Educacional no Brasil: problemas e perspectivas**. São Paulo: Autores associados, 1980. p.177-196.

LAJOLO, M.; ZILBERMAN, R. **A formação da leitura no Brasil**. São Paulo: Ática, 1999. 376p.

LEÃO, F. B. F.; MEGID NETO, J. Avaliações oficiais sobre o livro didático de ciências. In: FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. (Orgs.). **O livro didático de ciências no Brasil**. Campinas: Komedi, 2006. p. 35-80.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista katálysis**, Florianópolis, v.10, n. esp., p. 37- 45, 2007.

LOCKHEED, E. M.; VERSPOOR, M. A. El mejoramiento de la educación primaria en los países en desarrollo: examen de las opciones de política. In: CONFERENCIA MUNDIAL SOBRE LA EDUCACIÓN PARA TODOS, 1990, Bangkok. **Proyecto de documento preparado para distribución limitada a los participantes en la Conferencia Mundial sobre la educación para todos**. Washington: Banco Mundial, 1989. 271p.

LONGUERCIO, R. Q., SAMRSLA, V. E. E; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de Química. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n.4, p. 557-562, 2001.

LOPES, A. R. C.; Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. 1990. 289f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Instituto de Estudos Avançados em Educação, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.

_____. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química - I: obstáculos animistas e realistas. **Química Nova**, São Paulo, v.15, n. 3, p.254-261, 1992.

____ Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v.74, n.177, p. 309-334, Mai./Ago. 1993.

____ Potencial de redução e eletronegatividade - obstáculo verbal. **Química Nova na Escola**, n.4, p. 21-23, Nov. 1996.

____ **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 1999. 236p.

____ **Currículo e Epistemologia**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2007. 232p. (Educação em Química).

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 2004. 99p. (Temas básicos de educação e ensino).

LUFTI, M. **Os ferrados e os cromados: produção social e apropriação privada do conhecimento químico**. 2. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 1992. 320p.

MALDANER, O. A. **Química 1-Construção de conceitos fundamentais**. Ijuí: Ed. Unijuí, 1992. 180p.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MELZER, E. E. M.; CASTRO, L.; AIRES, J. A.; GUIMARÃES, O. M. Modelos atômicos nos livros didáticos de química: obstáculos à aprendizagem. In: VII ENPEC- ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos**. Disponível em <www.foco.fae.ufmg.br/viipec/index.php/enpec/viipec> Acesso em: 10 jan. 2010.

MILARÉ, T.; RICHETTI, G. P.; FILHO, J. P. A. Alfabetização Científica no Ensino de Química: Uma Análise dos Temas da Seção Química e Sociedade da Revista Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.31, n. 3, p. 165-171, Ago. 2009.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.10, n.2, p.108-117, Ago. 1993.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2007. 398p.

NÓBREGA, O. S.; SILVA, E. R.; SILVA, R. H. **Química**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2007. 592p.

OGUDE, N. A.; BRADLEY, J. D. Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**, Madison, v.71, n. 1, p. 29-34, Jan.1994.

____ Electrode processes and aspects relating to cell emf, current, and cell components in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**, Madison, v.73, n. 12, p. 1145-1149, Dec.1996.

OLIVEIRA, J. R. O mito da substância. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.1, p. 8 -11, Mai. 1995.

PENHA, A. F.; MACHADO, A. L.; SILVA SÁ, C. S.; VARJÃO, T. A. O conceito de unidade de massa atômica no livro didático sob uma perspectiva histórica e filosófica da ciência. In: VI ENPEC- ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2007, Florianópolis. **Anais eletrônicos**. Florianópolis: ABRAPEC-Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. Disponível em < <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/entrar.html>> Acesso em 10 jan. 2010.

ROMANELLI, L. I.; JUSTI, R. S. **Aprendendo química**. Ijuí: Ed. Unijuí, 1997, 232p.

SALVADOR, A. D. **Métodos e técnicas de pesquisa bibliográfica**. Porto Alegre: Sulina, 1986. 254p.

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

_____ An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, Madison, v.76, n. 6, p. 853-860, Jun.1999.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química**: Compromisso com a Cidadania. Ijuí: Ed. Unijuí, 1997. 144p.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 02, n. 2, p. 01-23, Dez. 2002.

SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; MATSUNAGA, R. T.; DIB, S. M. F.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S.; SANTOS, S. M. O.; FARIAS, S. B. **Química e sociedade**. 1. ed. São Paulo: Nova geração, 2007. 742p. (Projeto de ensino de química e sociedade).

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: Possibilidades e limitações. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 191-218, Ago. 2009.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de química de 1875 a 1978. **Química Nova**, São Paulo, v.4, n.1, p.6-15, Jan. 1981.

SCHNETZLER, R. P.; MAZON, A. B.; REZENDE D. B.; ROMANELLI, L. I.; MARCONDES, M. E. R.; BELTRAN, M. H. R.; BELTRAN, N. O. **Proquim**: Projeto de ensino de química para o segundo grau. Campinas: CAPES/MEC/PADCT, 1986, v.1.

SILVA, L. H. A; ZANON, L. B. A experimentação no ensino de Ciências. In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. (Orgs). **Ensino de Ciências**: Fundamentos e abordagens. Campinas: R. Vieira Gráfica e Editora, 2000. p.120-150.

SOARES, M. C. C. Banco Mundial políticas e reformas. In: HADDAD, S.; TOMMASI, L.; WARDE, M. J. **O Banco Mundial e as Políticas Educacionais**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1998. p.15-40.

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edusp, 1998. 224p.

APÊNDICES

APÊNDICE 01- Pressupostos conceituais e conhecimentos proposicionais estabelecidos para os tópicos: Oxidação e Redução - Reações; celas eletroquímicas e eletrolíticas; eletrodos e processos de transferência de carga¹.

I) Oxidação e Redução

Números de Oxidação: Indicam a carga ou estado de oxidação dos átomos nos elementos, íons ou compostos. São definidos a partir de um conjunto de regras e usados para balancear semi-equações ou para identificar a equação redox e as espécies que são oxidadas e reduzidas na equação.

Oxidação pode ser definida como: o aumento do número de oxidação; a perda de elétrons ou como o ganho de oxigênio.

Redução pode ser definida como: a diminuição do número de oxidação; o ganho de elétrons ou como a perda de oxigênio.

Agente oxidante ou oxidante: Aquele que causa a oxidação de uma espécie química; aquele que aceita elétrons oriundos de uma espécie que está sendo oxidada (contém o elemento que sofre redução); aquele que é reduzido.

Agente redutor ou redutor - Aquele que causa a redução de uma espécie química; aquele que doa elétrons para a espécie que está sendo reduzida (contém o elemento que sofre oxidação); aquele que é oxidado.

Semi-reações e Semi-equações: As reações de oxidação e redução podem ser representadas separadamente como semi-reações de oxidação e redução através do uso de semi-equações.

Uma semi-reação de oxidação é representada por uma semi-equação que mostra a doação de elétrons e o aumento no número de oxidação. Uma semi-reação de redução é representada por uma semi-equação que mostra o ganho de elétrons e o decréscimo do número de oxidação.

Semi-equações incluem as espécies - oxidada e reduzida - e os elétrons. Semi-equações são escritas para mostrar as semi-reações que ocorrem no ânodo e no cátodo.

¹ Texto produzido tendo como referência: Garnett e Treagust (1992, 1992a) e Bockris e Reddy (1978).

As reações de oxidação-redução (redox) envolvem processos de oxidação e redução simultâneos. Reações redox envolvem a transferência de elétrons de uma espécie química para outra e podem ser identificadas pelas alterações nos números de oxidação das espécies reagentes.

Equações redox podem ser derivadas a partir da adição das semi-equações de oxidação e redução. Essas semi-equações, inicialmente são multiplicadas por fatores, de modo que o número de elétrons transferidos em cada semi-equação sejam os mesmos.

II) Circuitos Elétricos

Partículas carregadas: Incluem elétrons, íons negativos (ânions) e íons positivos (cátions). Elétrons e os ânions apresentam carga elétrica negativa. Cátions apresentam carga positiva. Cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais opostos se atraem.

Corrente elétrica: Envolve o movimento de cargas. Em condutores metálicos, o movimento de cargas é devido aos elétrons e em solução este movimento é devido aos cátions e ânions. A corrente elétrica circula em um caminho fechado, chamado de circuito elétrico. Elétrons se movem de regiões de baixo potencial elétrico para outras de alto potencial elétrico. A força eletromotriz (fem) de uma cela indica a capacidade da cela em realizar trabalho elétrico, ou seja, a tendência de uma reação na cela ocorrer em uma direção específica. A unidade para a fem é o Volts, cujo símbolo é V.

III) Celas / Células eletroquímicas ou galvânicas ou voltaicas ou pilhas

Sistema que converte a energia química estocada, oriunda de uma reação química espontânea, em energia elétrica. Sistemas que a partir de reações redox doam trabalho útil. A tendência relativa dos reagentes serem oxidados ou reduzidos determina a reação redox resultante. A força eletromotriz é produzida espontaneamente e indica a capacidade da cela em realizar trabalho. Ela depende do tipo de semi-reações e da concentração do eletrólito.

Semi-celas ou Semi-células: São compartimentos separados nos quais ocorrem as semi-reações de oxidação e redução. Cada cela é formada por um eletrodo imerso em um eletrólito. As duas semi-celas são munidas por uma ponte salina que permite a transferência de íons no circuito interno. Através delas ocorre a transferência de elétrons de um eletrodo para outro através de um circuito externo que os une.

Eletrodos: São condutores elétricos que proporcionam uma superfície para as semi-reações de oxidação e redução. Quando inertes tais como o grafite e a platina, não são alterados quimicamente pelas reações redox. O eletrodo no qual ocorre o processo de oxidação é denominado ânodo (pólo negativo). O eletrodo no qual ocorre a redução é denominado cátodo (pólo positivo).

Reações de transferência de cargas: Os elétrons se movem do ânodo para o cátodo, através de um circuito externo, durante o processo de oxidação que ocorre no ânodo. No cátodo, a substância que está sendo reduzida aceita elétrons. Um eletrólito conduz eletricidade dentro de uma cela pelo movimento dos cátions - em direção ao cátodo - e ânions - em direção ao ânodo. Este movimento completa o circuito e mantém a neutralidade elétrica. A ponte salina contém íons em solução e proporciona um caminho contínuo para o movimento dos íons entre as semi-células.

IV) Potenciais de redução e suas aplicações

Potenciais de redução: Indica a tendência relativa das substâncias ou espécies químicas serem reduzidas. Quanto maior o potencial de redução da substância ou espécie maior será sua força como agente oxidante.

Potencial padrão de redução: São determinados em relação à semi-reação estabelecida pela equação $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$ que apresenta, por convenção, potencial igual a zero. Substâncias ou espécies que apresentam potenciais maiores que dos íons hidrogênio ($E^\circ > 0$) são reduzidas mais facilmente que os íons hidrogênio. A condição padrão é representada por: concentração molar (1 mol /L); pressão (101.3 KPa) e temperatura de 25° C. As tabelas de potenciais padrão podem ser usadas para prever se determinada reação redox ocorre na cela, na condição padrão estabelecida. Também podem ser utilizadas para prever as semi-reações que ocorrem no cátodo ou no ânodo ou ainda, determinar quem é o cátodo/ânodo em uma cela eletroquímica. A equação acima invertida (lida da direita para esquerda) fornece o valor do potencial padrão de oxidação. Finalizando, a tabela pode ser usada para prever a fem de uma célula eletroquímica com a ressalva de que ela não fornece informação sobre a velocidade das reações redox, a alteração na concentração das espécies reagentes e outros fatores que afetam os potenciais de redução.

V) Celas ou Células Eletrolíticas

São sistemas que ao receberem trabalho útil proporcionam a ocorrência de reações redox. Deste modo, ao receberem energia elétrica, vinda de uma fonte externa, reações termodinamicamente não espontâneas ocorrem. A fem aplicada nos eletrodos deve apresentar valor bem maior que - e em direção oposta - a fem prevista para a cela eletroquímica.

O ânodo e o cátodo podem ser determinados pela conexão com os terminais externos da fem aplicada, ou seja, o eletrodo conectado ao terminal positivo da fem aplicada é o ânodo e o eletrodo conectado ao terminal negativo - de onde os elétrons fluem - torna-se o cátodo. No ânodo ocorre a oxidação (pólo positivo) e no cátodo (pólo negativo) a redução.

Reações de transferência de cargas: No circuito externo - fio condutor - os elétrons se movimentam do terminal negativo da fonte de fem para o cátodo e do ânodo para o terminal positivo da fonte de fem. No circuito interno - a solução eletrolítica - o movimento dos íons completa o circuito e mantém a neutralidade elétrica. Os ânions se movem através do eletrólito para o ânodo e cátions se movem para o cátodo.

Celas eletrolíticas e tabelas de potenciais padrão de redução: A semi-reação no cátodo proporciona a redução dos cátions presentes - fundidos ou em solução- ou da água (em solução) para formar gás hidrogênio e íons hidróxido. A semi-reação do ânodo proporciona a oxidação dos ânions - fundidos ou em solução - ou da água (em solução) para formar gás oxigênio, íons H_3O^+ ou o metal do eletrodo. A reação eletrolítica pode ser prevista a partir das tabelas de potenciais de redução combinando as semi-reações catódica e anódica. O valor previsto para a fem desta reação, a partir das tabelas de potenciais padrão de redução, é negativo e isto indica que a reação eletrolítica ocorrerá somente se for aplicado uma fem externa maior- em módulo - do que o valor negativo previsto.

A concentração dos reagentes, a natureza dos eletrodos e do eletrólito e outros fatores - temperatura, pressão, polarização, efeitos do sobrepotencial aplicado - determinam qual reação eletródica ocorrerá preferencialmente.

APÊNDICE 02- Equação de Nernst e suas aplicações²

Em uma pilha ou célula galvânica formada por dois eletrodos separados – condutores eletrônicos - contidos em uma solução eletrolítica podem ocorrer vários processos relacionados às reações de transferência de elétrons na interface metal-solução, ao transporte de espécies químicas na solução ou na interface citada, entre outros. A ocorrência de um ou mais desses processos em uma célula galvânica é determinada pela condição de equilíbrio ou não do sistema em questão. Estamos interessados em estudar o sistema na condição de equilíbrio, ou seja, não há corrente elétrica, aplicada por uma fonte externa, passando na célula.

Em específico, vamos estudar a interface eletrodo-solução, pois nesta região, na condição de equilíbrio, se manifesta uma diferença de potencial elétrico, comumente chamada de diferença de potencial galvânico na interface metal-solução. A equação de Nernst, obtida nesta condição, relaciona a diferença de potencial galvânico na interface metal-solução com o logaritmo da atividade da espécie M^{z+} presente na solução. Descreveremos a seguir, as etapas que conduzem à formulação da equação de Nernst.

Supondo que se estabeleça o seguinte equilíbrio na interface metal-solução:



A composição permanece constante com o tempo e o potencial químico dos componentes também permanece constante e são iguais em qualquer parte do sistema. Neste

$$\text{caso: } \mu_{M^{z+}}(\text{metal}) = \mu_{M^{z+}}(\text{solução})$$

Sendo: $\mu_{M^{z+}}$ = potencial químico da espécie M que possui carga $z+$

O componente M^{z+} está presente em duas fases distintas (metal e solução) que formam a interface.

Para descrever a condição de equilíbrio, na presença de campos elétricos, utiliza-se o conceito de potencial eletroquímico que apresenta significado semelhante ao potencial químico, somente é acrescentado o termo referente ao trabalho elétrico - necessário para transportar um mol de partículas carregadas desde o infinito até o interior da interface.

$$\bar{\mu}_{M^{z+}} = \mu_{M^{z+}} + zF\phi \quad \bar{\mu}_{M^{z+}} \text{ é o potencial eletroquímico da espécie } M^{z+};$$

ϕ é o potencial elétrico que a espécie química está submetida.

F é a constante de Faraday = 96500 C

² Texto produzido tendo como referência Ticianelli e Gonzalez (1998).

No equilíbrio, temos:

$$\bar{\mu}_M^{z+}(\text{metal}) = \bar{\mu}_M^{z+}(\text{solução}) \longrightarrow \Delta\phi = \phi^{\text{metal}} - \phi^{\text{solução}} = \mu_M^{z+ m} - \mu_M^{z+ s} / z_M^{z+} F \quad (1)$$

$\Delta\phi$ = a diferença de potencial elétrico (galvânico) existente na interface eletrodo-solução.

Esta é a definição termodinâmica da diferença de potencial.

O potencial químico da espécie M^{z+} pode ser definido em função de sua concentração, da seguinte forma:

$$\mu_M^{z+} = \mu_M^{0 z+} + RT \ln x_M^{z+} \quad \text{na qual: } \mu_M^{0 z+} \text{ é o potencial químico da espécie } M^{z+} \text{ em seu estado padrão - fração molar igual a um (} x = 1 \text{); componente puro.}$$

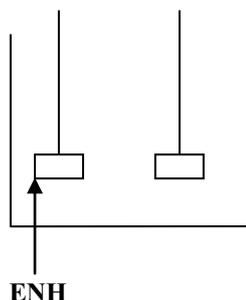
Utilizando a escala termodinâmica de concentração, ou seja, atividade (a_M^{z+}), temos:

$$\mu_M^{z+} = \mu_M^{0 z+} + RT \ln a_M^{z+} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) e sabendo que a concentração de $M^{z+}(\text{metal})$ é uma constante correspondente a fração molar unitária, ou seja, sua atividade é igual a um, temos:

$$\Delta\phi = \Delta\phi^0 - (RT / z^+ F) \ln a_M^{z+} \quad \text{que é equação de Nernst válida para a interface galvânica.}$$

Assumindo que um dos eletrodos (o da esquerda) no esquema abaixo seja o ENH, para o qual se define $\Delta\phi = 0$, pode-se escrever a equação de Nernst em função do potencial do eletrodo como:



$$E = \Delta\phi_{\text{direita}} - \Delta\phi_{\text{esquerda}} \quad \text{dado que } \Delta\phi_{\text{esquerda}} = 0$$

$$E = E^0 - (RT / z^+ F) \ln a_M^{z+}$$

E^0 é a diferença de potencial padrão, ou seja, é o valor observado quando as atividades dos reagentes e produtos são unitárias.

Esta é a equação de Nernst utilizada para o cálculo do potencial do eletrodo em relação ao ENH, para uma interface galvânica em equilíbrio, ou seja, na ausência de perturbações externas.