
CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM ELETROQUÍMICA E CIRCULAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA⁺⁺

Neusa J. C. Caramel
Pós-Graduação Interunidades - USP
*Jesuína L. A. Pacca*¹
Instituto de Física – USP
São Paulo – SP

Resumo

Esta pesquisa trata das concepções dos estudantes sobre as reações de óxido-redução, responsáveis pela geração de corrente elétrica, bem como as relações que eles estabelecem com a circulação de corrente elétrica nos materiais. Escolhemos duas situações problematizadoras: fenômenos que ocorrem numa pilha e numa eletrólise, procurando focalizar particularmente os aspectos microscópicos relativos à movimentação das cargas. Foram elaboradas questões sobre essas duas situações e aplicadas a alunos da 3ª série do Ensino Médio e do 3º ano do curso de Licenciatura e Bacharelado em Química. Os resultados mostram dificuldades em explicar a circulação de corrente elétrica e de relacioná-la com as reações químicas nos sistemas considerados. De modo geral, os estudantes apresentam concepções alternativas incoerentes e longe da explicação científica aceita. Esses resultados e as questões elaboradas para o diagnóstico podem se constituir em um material didático-pedagógico alternativo para o ensino de eletroquímica; as questões constituindo atividades adequadas para evidenciar as

⁺ Alternatives conceptions in electrochemistry and electric current circulation

^{*} Recebido: julho de 2010.
Aceito: novembro de 2010.

¹ Apoio parcial do CNPq.

concepções dos estudantes e os resultados apontando para o foco de uma discussão em sala de aula.

Palavras-chave: *Concepções alternativas em eletroquímica. Conceito de corrente elétrica. Ensino de Física/Química. Reações de óxido-redução.*

Abstract

This investigation deals with students' conceptions about redox reactions that are responsible for electric current generation as well as the relations they established with electric current circulation in materials. We chose two problem-solving situations: phenomena that occur in a cell and in electrolysis, trying to focus on the microscopic aspects of charge motion. Questions about these two situations were applied to third year High School students and to third year Undergraduate University Chemistry students. Results show their difficulty for explaining electric current circulation and for relating it to chemical reactions in the considered situations. In general students show alternative conceptions that are incoherent and far from the accepted scientific explanation. These results and the questions that were elaborated for the analysis may form an alternative didactic-pedagogical material for teaching electrochemistry; the questions constitute appropriate activities to evidence the conceptions of students and the results pointing to the outbreak of a discussion in the classroom.

Keywords: *Alternative conceptions in electrochemistry. Concept of electric current. Physics/Chemistry Teaching. Redox reactions.*

I. Introdução

A maioria dos conceitos utilizados em química não tem um modo simples e direto de serem percebidos por vias sensíveis ou diretas. Quando falamos de elementos e de compostos químicos em sala de aula, não temos evidência imediata de que os estudantes percebem e compreendem adequadamente ideias que estão em discussão; somente através de avaliações subsequentes verificamos que muitas

concepções não foram adquiridas ao longo da formação acadêmica, o que leva aos erros encontrados (JOHNSTONE, 1982).

Pesquisas sobre o entendimento de alunos do Ensino Médio e da Universidade sobre reações de óxido-redução e eletroquímica foram publicadas nas últimas décadas, relatando as concepções alternativas mais frequentes quando se trata desse conteúdo. Ogude e Bradley (1996) notaram que, embora muitos estudantes possam resolver problemas quantitativos em eletroquímica, como aparecem nos exames de química, poucos são capazes de responder a questões qualitativas, que requerem um conhecimento conceitual mais profundo.

Estudos importantes se concentram principalmente sobre os modelos que os estudantes possuem sobre corrente elétrica num circuito dc (PACCA et al, 2003). Muito pouco é conhecido por eles sobre o mecanismo microscópico de geração e circulação da corrente elétrica e a interpretação desses fenômenos em termos de entidades eletrostáticas é precária, Eylon e Ganiel (1990) entrevistaram estudantes, procurando encontrar, nas suas concepções, alguma associação entre os fenômenos macroscópicos (corrente elétrica, resistência e diferença de potencial), que ocorrem nos circuitos elétricos, e os processos microscópicos correspondentes. Concluíram que 20% dos alunos entrevistados têm dificuldade para descrever e explicar fenômenos ocorridos num circuito simples e que a maioria dos estudantes não está apta a invocar relações entre os níveis macro e micro, quando raciocinam sobre um circuito elétrico.

Por outro lado, o trabalho de Sanger e Greenbowe (1999) teve como principal objetivo analisar dez livros didáticos de química, procurando relacionar o conteúdo ou as representações gráficas neles presentes com a possível indução de ideias errôneas ou de representações que podem resultar em conceitos equivocados. Os pesquisadores elaboraram uma lista de instruções, a fim de alertarem os autores de livros didáticos, de qualquer nível de escolaridade, para que atentem às definições vagas e incompletas e à descuidada discussão sobre o papel dos vários componentes envolvidos nos processos químicos.

As pesquisas sobre o tema estão, geralmente, preocupadas em subsidiar professores no ensino desse conteúdo. Algumas para chegar aos modelos adequados que permitam relacionar a eletrodinâmica com a estrutura microscópica dos materiais, oferecendo elementos para o estabelecimento de pontes ou analogias; outras, oferecendo estratégias de ensino para facilitar a mudança conceitual sobre conceitos de eletroquímica e outras, ainda, trazendo efeitos de simulações de computador, como, por exemplo, para mostrar os processos químicos microscópicos que ocorrem numa célula galvânica. Entretanto, a utilização desses materiais pelos professores ainda é pequena, levando à hipótese de que os professores também têm

aquelas dificuldades e não compreendem o potencial desses recursos, que por isso não chegam à sala de aula.

No final de 1970, surgiu um grande número de estudos preocupados, especificamente, com os conteúdos das ideias dos estudantes sobre os diversos conceitos científicos e, sobretudo na década de 80, proliferaram investigações visando diagnosticar, em profundidade, a compreensão conceitual alternativa dos alunos antes, durante e depois do ensino formal (SANTOS, 1998).

Os principais resultados, que trazem os conceitos da eletroquímica que se referem à produção e à circulação da corrente elétrica, na concepção alternativa dos estudantes, podem ser conhecidos das publicações, mas raramente são levados para a escola e transformados em subsídios para ensinar. Consideramos que diagnosticar as concepções e tomar consciência delas pode ser um ponto de partida para ensinar. Assim sendo, nosso trabalho propõe avançar nessa questão, construindo questões específicas para os estudantes e conhecendo melhor os modelos com que eles operam para a interpretação/explicação que dão às reações de óxido-redução, relacionando-as à geração de corrente elétrica e à circulação de corrente elétrica nos materiais, particularmente quanto aos aspectos microscópicos relativos à movimentação das cargas, acentuando a ligação entre a física e a química; aspectos ligados à conservação da massa nesses fenômenos não serão analisados.

II. Desenvolvimento da pesquisa

Com este trabalho, propomos pesquisar com nossos estudantes as formas de pensar os conceitos envolvidos na geração e circulação de corrente elétrica, bem como identificar os elementos dos possíveis modelos alternativos que estariam por trás das respostas errôneas. Escolhemos dois fenômenos bastante comuns no ensino de química e de física e muitas vezes também presentes no cotidiano: um deles ocorre numa pilha (célula eletroquímica), que é utilizada para produzir corrente elétrica ao longo de um condutor; o outro ocorre numa eletrólise em meio aquoso (célula eletrolítica), que é utilizada para formar novos materiais.

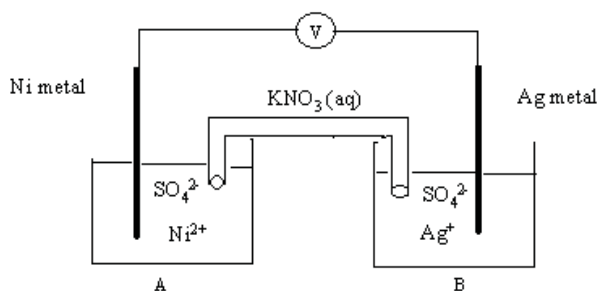
Em particular, interessamo-nos pelos sujeitos na faixa escolar na qual esses conceitos já foram ensinados e naquelas transformações que, pelas suas características, são representativas do estudo em questão. A pesquisa foi realizada com 125 alunos, dos quais 73 cursavam a 3ª série do Ensino Médio e 52 o 3º ano do curso de Licenciatura e Bacharelado em Química, que haviam estudado o tema Eletroquímica no ano anterior. Trabalhamos com sujeitos dos quais queremos conhecer a maneira de pensar sobre um conteúdo bem determinado, partindo de

questões sobre as quais eles sejam capazes de se expressar. Como instrumento de aquisição de dados foi utilizado um questionário para o levantamento das concepções a respeito da Pilha e da Eletrólise – dispositivos frequentemente presentes nos livros didáticos e nos programas de ensino. É importante ressaltar que todos os estudantes convidados a participar já haviam estudado o conteúdo acadêmico envolvido nesta investigação; tanto os da última série do Ensino Médio como os da Licenciatura, que seriam futuros professores, nos interessaram pela possibilidade eventual de comparar as concepções. O instrumento por nós utilizado para a obtenção de dados foi essencialmente constituído por duas questões com três itens cada uma. Essas questões estão muito presentes nas atividades escolares e no nosso caso constituem um dos instrumentos mais decisivos para estudar os processos e produtos nos quais está interessado o investigador qualitativo.

As questões apresentadas

Questão 1- Pilha

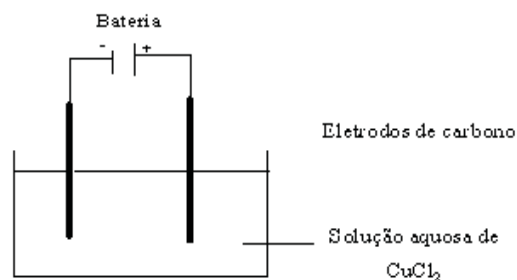
Na pilha representada, a oxidação do níquel introduz íons níquel adicionais na semicélula A e a redução dos íons prata deixa um excesso de cargas negativas na semicélula B.



- Explique como a corrente elétrica é produzida nesta pilha.
- Explique, através de palavras ou de desenho, o movimento das cargas (íons e/ou elétrons), de forma a produzir corrente elétrica.
- Escreva as semi-reações de oxidação e de redução, que ocorrem na pilha acima.

Questão 2 – Célula eletrolítica

A obtenção de vários materiais utilizados pelo homem é realizada através do processo da eletrólise. O equipamento abaixo foi utilizado para efetuarmos a eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de cobre II (CuCl_2) com eletrodos de carbono.



- Escreva o sentido do movimento das cargas (íons positivos, íons negativos e elétrons) nesta célula através dos fios e na solução durante o processo da eletrólise.
- Neste equipamento há uma corrente elétrica e uma corrente iônica. Explique a origem dessas correntes.
- Explique o que acontece na solução durante o processo da eletrólise.

Pretendemos, com essas questões, verificar qual o entendimento do estudante, numa visão qualitativa, a respeito da origem e da movimentação das cargas, tanto no circuito externo (fios), como no interno (eletrólito), atentando para a consistência das suas explicações, com respeito aos dois métodos de condução e ao modo como estão relacionados para que haja circulação de elétrons.

O enunciado apresentado para as questões já contém informações sobre a espécie química que se oxida (perde elétrons) e a que se reduz (recebe elétrons), não sendo, portanto, necessário o conhecimento relativo à tabela de potenciais padrão de redução (E^0) das espécies químicas envolvidas, para identificação das transformações químicas que ocorrem na pilha.

Dois critérios guiaram a escolha das duas situações presentes nas questões:

Primeiro, a situação discutida deve ser tal que o estudante tenha que ter experiência e compreensão suficientes para resolvê-la, apelando para aspectos mais gerais e qualitativos, que evitem referência direta/imediata a conteúdos escolarizados, geralmente sem significado, traduzidos por frases feitas.

Segundo, o processo em discussão deve estimular uma sequência de raciocínio que, envolvendo o conceito de movimento de cargas, exige a explicação do fenômeno, consistente com a concepção de circulação da corrente elétrica.

A intenção de apresentar a questão num esquema comum, familiar para o aluno, é facilitar, num primeiro momento, o apelo a suas ideias explicativas, espontâneas, uma vez que ele já havia estudado esse conteúdo.

A aplicação do instrumento foi feita pelo professor que conduzia a sala de aula, que pediu a colaboração dos alunos para responderem com suas próprias palavras e de acordo com a compreensão do fenômeno.

III. Análise dos resultados

O material foi analisado procurando-se compreender e dar sentido às explicações dos alunos. Para a análise desse material, constituído pelas respostas escritas, utilizou-se a metodologia de análise de conteúdo das respostas escritas, muito utilizada em pesquisas com dados qualitativos (LUDKE; ANDRÉ, 1986). Com esse procedimento, procura-se o significado latente das expressões dos alunos. A análise qualitativa dos dados obtidos das respostas dos estudantes levou a uma organização e interpretação das informações através da construção de categorias significativas (PACCA; VILLANI, 1990). Nesse caso, o conteúdo nelas envolvido deveria dar conta do que o sujeito pensou e aplicou para dar as suas explicações. Com essa categorização, passamos a procurar relações e padrões que pudessem dar subsídios para construir o que seriam modelos alternativos e verificar nossa hipótese quanto à origem das explicações errôneas.

As categorias foram criadas com base nos resultados de pesquisas anteriores e também com a proximidade aos dados brutos obtidos empiricamente; após isso, pudemos aproximar sucessivamente esses dois caminhos, aprimorando nossas hipóteses interpretativas, que constituiriam os modelos alternativos para os alunos subjacentes às suas expressões.

As respostas, em geral, pareciam muito semelhantes se analisadas como erros simples, mas, durante a análise e procurando as ideias subjacentes, perceberam-se nuances interessantes, principalmente nos elementos utilizados e nas suas relações para chegar às explicações (com os conceitos de reações de oxido-redução, polos positivo e negativo, diferença de potencial, cátodo e ânodo, elétrons, íons, cargas). Os conteúdos apresentados nas respostas mostravam predomínio ora de conteúdos pertinentes ao campo da Física, ora ao campo da Química, bem como explicações que envolviam aspectos macroscópicos, ou mesmo micros-

cópicos dos fenômenos solicitados, mostrando que, no pensamento dos estudantes, Física e Química são disciplinas compartimentalizadas. Com uma análise superficial, poderíamos até pensar que eles tinham uma ideia do processo microscópico que ocorre quando a célula eletroquímica está em funcionamento, mas, analisando suas expressões com mais cuidado, percebemos que essas ideias não consideram o aspecto de interdependência entre as entidades envolvidas na geração e circulação das cargas, não atentando nem aos aspectos químicos, nem aos aspectos da "física estabelecida". Também percebemos que os discursos alternativos apresentam características fundamentais, uma delas é a questão da ambiguidade e especificidade encontradas, o que permite a construção de diferentes categorias, de acordo com a hipótese interpretativa do pesquisador (PACCA; VILLANI, 1990). Nesse caso, a referência a trabalhos anteriores pode ajudar sem tirar a possibilidade de criatividade do pesquisador.

As categorias de análise

As categorias de análise foram elaboradas através da extração do conteúdo latente nas informações dadas pelos alunos em suas respostas, quando estas se afastavam ou eram contraditórias com respeito à Física e à Química aceitas cientificamente.

Um olhar rápido e superficial para as respostas erradas levaria a considerá-las como erros conceituais de significação, quando, por exemplo, se leva em conta o fenômeno da redução como perda de elétrons; mas aqui foram entendidas como a intenção do estudante de dar sentido à sua explicação, expondo sua maneira de pensar e mantendo-se coerente com algum modelo que consideramos alternativo.

Procuramos, assim, organizar os resultados obtidos em categorias mais específicas e mais localizadas, em um conteúdo com base em algum modelo que justificasse ou desse sentido às respostas "errôneas". Ao mesmo tempo, as categorias deveriam conter elementos da mesma natureza que regessem os fenômenos da eletroquímica e mais especialmente aqueles relativos aos processos que envolvem a geração de corrente elétrica. Evidentemente, a própria questão apresentada dava conta dessa exigência metodológica, apontando elementos que são característicos do fenômeno a que nos referimos quando tratamos da eletroquímica no ensino.

Definimos categorias finais após um processo de idas e vindas para compatibilizar os dados empíricos e as hipóteses sustentadas, em parte, pela literatura para um modelo alternativo; elas nos pareceram significativas para descrever os fenômenos do tema abordado e capazes de incluir a maior parte das respostas al-

ternativas encontradas. As representações dos alunos foram consideradas relevantes no sentido de constituírem formas de organizar e dar significado aos conteúdos escolares no processo de construção de seu próprio conhecimento, uma vez que focalizamos as divergências entre as concepções dos estudantes e os conceitos científicos.

A partir dos dados do discurso escrito explícito, verificamos que as explicações dos estudantes apresentavam similaridades e diferenças importantes, de forma que pudemos, através da reorganização desses resultados, extrair padrões implícitos nessa aparente diversidade que resulta do conteúdo latente nas respostas dos estudantes. Indicamos os sujeitos autores das respostas por um número seguido do curso a que pertencem; assim, por exemplo, 15em indica o aluno 15 do ensino médio, 15f indica o aluno 15 da faculdade; em seguida, vem a questão e o item, quando forem pertinentes.

IV. Concepções Alternativas caracterizadas

Sobre a Conservação das Cargas

a) Transferência de carga sem conservação. As cargas são movimentadas sem atenção ao desequilíbrio elétrico que ocorre simultaneamente nas soluções. Sendo assim, a circulação das cargas só é percebida através ou do circuito externo ou da solução e não fica caracterizado um circuito fechado.

Como o níquel oxida, seus elétrons se movimentam em direção aos íons prata, com o objetivo de ficar com carga positiva, a movimentação dos elétrons é que produz a corrente elétrica". (1em – pilha)

Como o níquel é oxidado, ele perde elétrons, que são passados para a placa de prata, que aumenta sua massa. A concentração de íons na semi-célula B diminui e na semi-célula A aumenta. A placa de Níquel perde massa. (5em – pilha)

O movimento das cargas é da esquerda para a direita. (48em – eletrólise: 2a)

O sentido dos íons é do negativo para o positivo. (17f – eletrólise: 2a)

b) Dois efeitos inicialmente separados que se somam. Quando as equações de oxidação e de redução foram somadas, verificamos a ausência de conservação das cargas, assim sendo, o total de cargas das espécies iniciais difere do total

de cargas das espécies transformadas, conforme podemos verificar através dos exemplos abaixo:

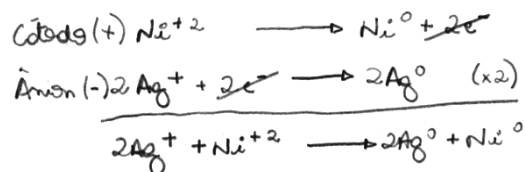


Fig. 3 – Aluno 35em.

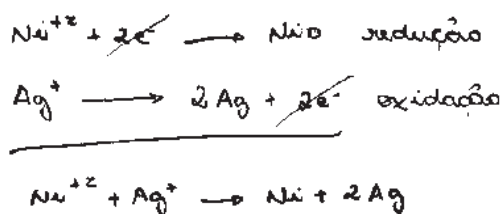


Fig. 4: aluno 62em.

Verificamos que apenas os estudantes do Ensino Médio somaram as equações com o objetivo de obter a equação global. Os alunos do Ensino Superior atenderam unicamente aos itens solicitados na questão.

c) Transferência de cargas “marcadas”. As cargas que saem de um, entram no outro. Já há um vislumbre de equilíbrio elétrico. O fator simultaneidade das reações de óxido-redução é evidenciado. A transferência de cargas “marcadas” parece dar conta da necessidade da igualdade no número de elétrons que são cedidos e recebidos, mas nos parece mais atender a uma simetria matemática do que ao equilíbrio das cargas no conjunto.

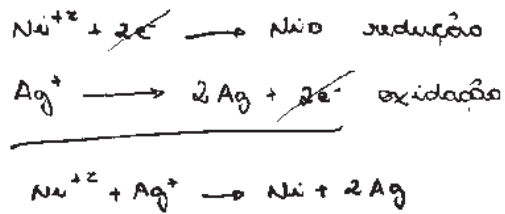


Fig. 5 – Aluno 62em.

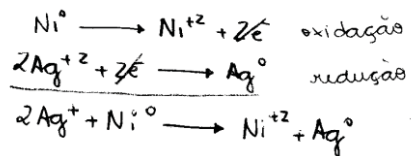


Fig. 6 – Aluno 70em.

d) Perda da natureza da espécie. A perda de elétrons é acompanhada da consequente diminuição da carga da espécie química envolvida.

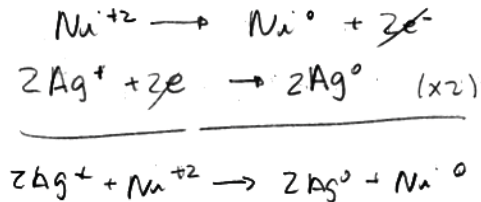


Fig. 7 – aluno 34em.

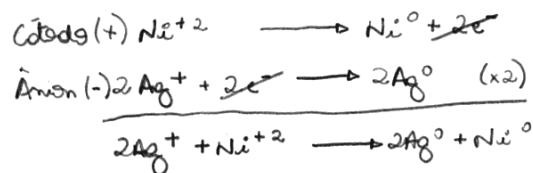


Fig. 8 – aluno 35em.

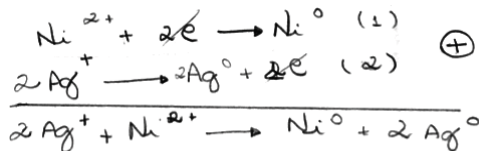


Fig. 9 – aluno 43em.

Por outro lado, podemos inferir que alguns estudantes entendem o fenômeno da REDUÇÃO, como sendo a diminuição no número de elétrons da espécie química, ou seja, perda de elétrons, e não como diminuição na carga da espécie química considerada.

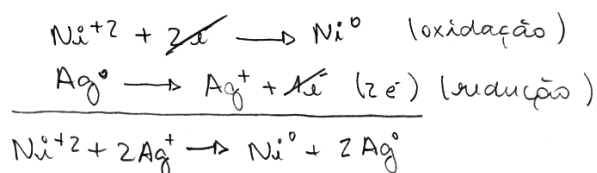


Fig. 10 – aluno 3em.

Nota-se, em muitos dos exemplos, que os estudantes ignoraram o enunciado da questão, representando o níquel passando de Ni^{2+} para Ni^0 , contrariando o que foi afirmado.

Sobre a Circulação de Corrente

a) A “energia” do sistema flui em dois sentidos, do positivo para o negativo ou do negativo para o positivo, identificados nos eletrodos, movimento que se prolonga no circuito externo (fios), ou seja, continuam utilizando em suas explicações a ideia de que o movimento de íons e elétrons está associado à carga do eletrodo e, assim, as espécies químicas são atraídas para os eletrodos.

O caminho é do pólo positivo para o negativo. (46f – eletrólise: 2a)

Após a dissociação, os cátions Cu^{2+} são atraídos pelo cátodo (-) e os ânions cloreto são atraídos pelo ânodo (+). (22f – eletrólise: 2a)

Pela movimentação dos íons no sistema, o níquel oxida e se ioniza e libera íons Ni^{2+} , as cargas negativas que estavam na solução B são atraídas para A. (15f- pilha)

b) Corrente unicamente de natureza iônica. Nessa categoria, os alunos utilizam unicamente a corrente de natureza iônica, que é a corrente que se verifica na solução, mas para os alunos a movimentação desses íons é localizada tanto na solução, quanto nos fios. Ao utilizarem o termo ‘íon’, não parecem fazer referência aos íons provenientes da dissociação iônica que ocorre no eletrólito, mas sim àqueles envolvidos no processo de óxido-redução, negligenciando, desse modo, as partículas negativas provenientes da dissociação do eletrólito que fazem parte da dinâmica do processo.

De qualquer modo, continua descaracterizado o circuito fechado, pois a movimentação das cargas está limitada ao eletrólito e o circuito externo parece não ter função.

Os íons de prata passam pelo fio e se acumulam na placa de níquel enquanto os cátions da solução de Ni^{2+} passam para a solução de Ag^+ , isso gera uma corrente elétrica e a oxidação da placa de níquel e a redução do de prata. (42em - pilha)

Os íons de Ni^{2+} passam através de um fio metálico para o recipiente onde se encontram uma solução de SO_4 e uma placa de prata. (59em-pilha: 1a)

A corrente elétrica é produzida através da passagem das cargas negativas de B (onde Ag está sofrendo redução) para A (onde Ni está sendo oxidado). (19f - pilha: 1a)

c) Origem da circulação / eletrólito inativo. A corrente elétrica circula devido às diferenças de carga, que é normalmente (e problematicamente) atribuída ao cátodo e ao ânodo. Há uma tendência em transferirem diretamente as cargas entre os eletrodos através da solução, ignorando totalmente a atividade do eletrólito nesse processo, isto é, as cargas provenientes do eletrólito e da dissociação que nele se processa.

Os elétrons vão do ânodo (pólo negativo) para o cátodo (pólo positivo). (11em- eletrólise: 2a)

O cátodo reduz, ou seja, o positivo vai ganhar elétrons e o ânodo oxida, perdendo assim seus elétrons. (64em – eletrólise: 2a)

Nesta pilha o níquel se oxida “liberando” carga negativa para a semi-célula B e recebe carga positiva da prata. (Ag). (54em – pilha:1a)

d) Elétrons em movimento na solução. Consideram a condução no eletrólito como movimento de elétrons. Parece que utilizam o modelo da condução em metais e, assim, a corrente através da célula também é eletrônica.

Elétrons saem da parte negativa da bateria, atravessam a solução em direção à parte positiva. (67em – eletrólise: 2a).

V. Conclusões e interpretação dos resultados

As pesquisas em educação devem ser consideradas como fonte de subsídios para a melhoria do ensino de ciências. Em particular, referimo-nos ao conceito de corrente elétrica relacionado ao fenômeno químico de óxido-redução, que podem ser tratados nas aulas de Física e de Química. Assim, consideramos uma contribuição para o ensino e a aprendizagem o levantamento das categorias de pensamento e modos de pensar dos alunos sobre esses conteúdos, presentes nos currículos. Esta pesquisa teve como objetivo reunir, analisar e interpretar informações, mostrando como os estudantes tentam dar sentido aos conceitos de Eletroquímica com o conhecimento já estudado ou construído. Ela parte do pressuposto construtivista da aquisição de conhecimentos, no qual a aprendizagem é um processo dinâmico e social em que quem aprende constrói significados, de forma ativa, a partir de suas experiências concretas e da interação nos ambientes de aprendizagem. O conhecimento inicial, dentro deste pressuposto, é essencial para essa construção, que deve chegar ao conhecimento científico.

As categorias elaboradas refletem algumas semelhanças com os dados obtidos em pesquisas sobre concepções alternativas na África do Sul, Alemanha, Austrália (EYLON; GANIEL, 1990). Esse fato vem reforçar as pesquisas que indicam que as concepções alternativas são universais, encontradas tanto em alunos quanto em professores de todos os níveis, embora algumas diferenças possam ser encontradas como consequência de contextos específicos que favorecem uma ou outra concepção.

Também encontramos, em nossos alunos, dificuldades ao explicarem os fenômenos microscópicos que ocorrem nas células eletroquímica e eletrolítica em operação, pois na maioria dos casos as explicações não dão conta dos conteúdos estabelecidos cientificamente. Claramente, um entendimento de circuito elétrico e equações de óxido-redução é importante, dado que é pré-requisito essencial para a compreensão de células eletrolíticas e eletroquímicas em operação.

Fundamentalmente, processos de óxido-redução são uma família de reações que envolvem transferência de elétrons entre espécies. Oxidação refere-se à

perda de elétrons, enquanto redução refere-se ao ganho de elétrons. Nessas representações, praticamente corriqueiras em aulas de Química desde o Ensino Médio, aparecem os primeiros conceitos químicos, em que os alunos demonstram ter muita dificuldade, nos níveis representacional, descritivo, funcional e explicativo.

Assim sendo, a deficiente apropriação da linguagem específica, também apareceu de forma significativa, demonstrando utilizarem os termos *oxidação*, *redução*, *íons*, *cátions* e *ânions*, num sentido diferente da Química oficialmente aceita. Muitos parecem justificar a geração da corrente por uma única causa: a transformação das espécies químicas (oxidação e redução), sem se importarem com os aspectos dinâmicos de movimentação das cargas, tanto nos fios, quanto nos eletrólitos. A importância dos íons não foi entendida na realização da condução elétrica carregada pelo movimento dos íons, nestes sistemas aquosos. Como características gerais, constatamos que, tanto os alunos do Ensino Médio quanto os alunos do Ensino Superior, apresentam dificuldades a respeito da natureza da corrente; condução, conservação e equilíbrio das cargas e, também dos aspectos relativos à linguagem formal da Química.

As frases e representações salientadas neste trabalho ilustram essas dificuldades. Embora os estudantes expliquem a circulação da corrente, não encontramos indicativos de que compreendam que há condução tanto na parte do circuito (fios) quanto na parte interna (eletrólito) (PACCA et al, 2003). Apesar de não terem sido mencionados os termos cátodo/ânodo, polo(+)/polo(-), alguns alunos os utilizaram em suas explicações, demonstrando novamente confusão quanto ao emprego e quanto à condição teórica dessas convenções. Isso faz com que extrapolem para a solução, o sinal do eletrodo, indicativo de que não se preocupam com o aspecto da neutralidade elétrica da solução, condição necessária para o funcionamento da pilha.

A questão da neutralidade elétrica da solução, que envolve os íons provenientes da dissociação dos sais utilizados, foi preocupação de poucos estudantes. Na verdade, o que pudemos observar foi a situação contrária, onde cada semicélula pode assumir uma carga elétrica. A função da ponte salina é praticamente ignorada. Sendo assim, para esses alunos, o movimento de íons na solução não constitui uma corrente elétrica. Nos casos em que foi citada, sua função foi a de transportar íons, mas apenas num sentido, ou seja, uma determinada espécie de íons de uma célula a outra, ignorando o equilíbrio das cargas. A dissociação iônica que necessariamente e espontaneamente ocorre na solução, não foi utilizada nas explicações da grande maioria dos alunos. Os equívocos relativos à ponte salina e à neutralidade elétrica, provavelmente, decorrem da deficiência de informações nos livros-texto. A maior parte dos alunos dá uma descrição superficial, outros, nenhuma explicação a res-

peito da ponte salina, sendo que, muitas vezes, estes utilizam diagramas vagos que podem induzir a erros. Por exemplo, a regra “a ponte salina completa o circuito” é uma interpretação simplista muito frequente entre os estudantes para a função da ponte salina e é encontrada em livros-texto da escola secundária e também da universidade. Essa regra é tanto vaga quanto inadequada para o entendimento completo de sua função, podendo ser mal interpretada significando elétrons se movimentando através da ponte salina – reforçando, assim, a concepção alternativa de condução eletrônica no eletrólito.

Por outro lado, diferentemente de outras pesquisas (OGUDE et al, 1996), poucos localizaram o movimento de elétrons através da solução como aparece nas explicações encontradas entre os sujeitos do Ensino Superior: “*Quando ocorre a oxidação e redução no cátodo e ânodo, os elétrons ‘atravessam’ pela ponte salina e pelo eletrodo fazendo com que haja uma corrente elétrica*”; “*Aplicando uma ddp entre os eletrodos, o Ni⁰ oxida liberando 2 e-. A movimentação dos e- através da ponte salina até a célula B, onde os íons Ag⁺ recebem os e- e se depositam no eletrodo, forma a corrente elétrica*”. Encontramos uma única explicação entre os sujeitos do Ensino Médio: “*Pela movimentação dos íons livres pelo circuito (fio condutor/ ponte salina) empurram os elétrons*”.

O papel da ponte salina parece não ser compreendido, além de desconhecem a relação entre os efeitos que aparecem no processo e as modificações no eletrólito e na concentração nas células. Na literatura (SANGER; GREENBOWE, 1997 a; 1997 b; 1999), encontramos que os alunos explicam a movimentação de elétrons na solução de várias maneiras, como por exemplo, elétrons se movendo através da solução, sendo atraídos alternadamente de um íon a outro, ou elétrons se movendo através da solução “presos” aos íons.

VI. Consequências para o ensino

Um resultado interessante e que parece ser novidade é aquele em que os alunos explicaram a existência de condução elétrica pela movimentação de íons no fio.

É muito evidente a visão de que corrente elétrica existe somente quando há movimentação de cargas entre dois pontos num campo elétrico. Relevando-se o conceito de campo elétrico, podemos justificar por que 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. A tendência de alguns alunos utilizarem o modelo

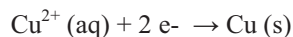
de corrente como “choque”, “conflito”, também foi encontrada na pesquisa de Pacca et al. (2003), em alunos brasileiros do Ensino Médio, quando buscavam o entendimento em relação à circulação da corrente elétrica em um dispositivo.

Outra ideia alternativa levantada é que a corrente elétrica se estabelece sem um circuito fechado; o fato de só considerarem a corrente eletrônica e os erros conceituais de significação relativos às reações de óxido-redução parecem ser os pontos fundamentais que tornam sem sentido para o aluno o entendimento do funcionamento da pilha e a realização de uma eletrólise. Parece-nos muito claro que a utilização de modelos mecânicos de eletricidade, no qual elétrons são vistos como pequenas bolas duras que se movem ao longo do fio, como se fosse um túnel e, o fato dos alunos serem inclinados a compartimentalizar o conhecimento, tratando Química e Física como entidades distintas e independentes utilizando diferentes terminologias para descrever os mesmos fenômenos, são fontes de várias concepções alternativas em eletroquímica. Acreditamos ser importante dar mais atenção para a interdisciplinaridade quando quaisquer fenômenos, como as reações de óxido-redução, são abordados.

A existência e o poder das ideias alternativas tornam impossível conceber uma concepção de ensino como simples transmissão de informações. As aprendizagens significativas deveriam reforçar a passagem das concepções alternativas às científicas, em detrimento do acúmulo de informações em quantidade e variedade, verificado atualmente na maior parte de nossas escolas. A comunicação entre os alunos e o professor de ciências encontra, assim, uma série de dificuldades. Uma delas está associada à diferença entre a linguagem, a experiência cotidiana, (uma vez que as pilhas representam o cotidiano dos alunos) e a visão científica do fenômeno. O discurso do professor é uma fonte de informação que utiliza múltiplas linguagens e vários níveis de pensamento. Cada linguagem tem seus próprios códigos e o significado que se dá às palavras, às orações ou aos desenhos é algo que ocorre “na cabeça” do sujeito.

Os estudantes tendem a explicar fenômenos químicos usando, fundamentalmente, um critério visual relacionado às propriedades macroscópicas. Os professores, ao introduzirem o conceito de carga de um eletrodo, a partir da pilha de Daniell (célula galvânica de zinco e cobre), utilizam expressões como “o zinco é negativo”, “o cobre é positivo”, utilizam o nome de certas substâncias para designar certos eletrodos.

Esta forma abreviada de formulação traz dificuldades de entendimento da cinética das partículas ao redor do eletrodo, pois, em seguida, explicam que o eletrodo de cobre tem sua massa aumentada:



Para os estudantes, essa reação implica que os íons positivos de cobre têm que ganhar elétrons e isso ocorre num eletrodo dito positivo. Isto representa um grande conflito cognitivo, pois esse modelo é contrário aos das leis elétricas da repulsão entre corpos com carga de mesmo sinal.

A análise das respostas dos estudantes em duas áreas de dificuldade, que são a condução em solução e a neutralidade elétrica, indica que as concepções alternativas relativas a esses dois aspectos estão presentes entre alunos do Ensino Médio e também entre estudantes do Ensino Superior. As interpretações qualitativas são normalmente ignoradas e a ênfase é em habilidades manipulativas. Os professores também poderiam lidar com as concepções alternativas de forma específica e dispensar um maior tempo para enfrentar as mesmas. Aspectos da condução em eletrólitos, neutralidade elétrica, processos de eletrodo, força eletromotriz e corrente são complexos e se entrelaçam e não podem ser estudados isoladamente. Assim, pode-se minimizar a possibilidade de interpretações errôneas.

Brandi et al. (2001) investigaram a possibilidade de trabalhar com mapas conceituais no ensino desse conteúdo; Yuruk (2007) investigou a utilização de estratégias de Mudança Conceitual com textos especialmente produzidos para a sala de aula, procurando levar a uma mudança. Porém os resultados dessas tentativas não foram os desejados.

A maior parte das respostas obtidas junto aos alunos do Ensino Médio, na nossa pesquisa, destacou-se pela utilização dos conceitos de simultaneidade das transformações, pela ideia do movimento de elétrons e das reações de óxido-redução como as responsáveis pelos fenômenos descritos, não envolvendo quaisquer outros elementos em suas respostas. Já a grande maioria dos alunos do Ensino Superior mostrou algumas respostas com mais detalhes e qualitativamente diferentes, utilizando explicações que nos deram mais elementos para a interpretação e mais diversidade de categorias na análise das respostas. Pudemos notar que o conceito “corrente elétrica” é tratado principalmente com foco nos elétrons, considerando o movimento de elétrons, demonstrando dificuldades para explicarem a origem da corrente elétrica no movimento de cargas.

Percebemos que o ensino do funcionamento da pilha com ênfase nas reações de óxido-redução, em compartimentos separados, não favorece ao aluno tratar a pilha como um sistema, negligenciando então a condução iônica que ocorre na ponte salina; provavelmente, isso impede a construção da ideia de corrente iônica. Alguns pesquisadores consideram particularmente problemática a forma de se apresentar o modelo da pilha de Daniell, que levaria a essa dificuldade, dado que

os dois compartimentos unidos pela ponte salina, mesmo sendo importante para dar conta das reações de óxido-redução e da situação de equilíbrio, parece dificultar a compreensão da condução iônica e reforçar as concepções alternativas como as que encontramos.

Consideramos, finalmente, que esses resultados encontrados, e que estão em boa parte de acordo com a literatura específica atual, podem subsidiar o trabalho dos professores de Química e de Física. As questões elaboradas mostraram-se bastante proveitosas para eliciar as respostas que dão conta das formas alternativas de responder incorretamente as questões, formas estas que estão na base do pensamento dos alunos e que são responsáveis pelos erros que encontramos com frequência.

Essas questões já se constituem em instrumentos pedagógicos para diagnosticar o conhecimento específico dos alunos para esse tema essencial nos currículos de química e de física, além de serem apropriadas para manter uma discussão frutífera em sala de aula. A condução da aprendizagem significativa e duradoura deve repousar no conhecimento prévio do aluno e o professor deve ser capaz de organizar estratégias para superar as barreiras conceituais, tais como as identificadas nesta pesquisa.

Agradecimentos

Agradecemos às instituições de ensino, aos professores e aos alunos, que possibilitaram a realização desta pesquisa; também ao Dr. Elifas Levi da Silva pelos comentários e sugestões que enriqueceram e deram maior clareza ao texto.

Referências bibliográficas

BRANDJ, J. et al. The impact of concept mapping and visualization on the learning of secondary school chemistry students. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 12, p. 1303-1313, 2001.

GARNETT, P. J.; Treagust, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior highschool students in electrochemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 10, p. 1079-1099, 1992.

EYLON, B; GANIEL, U. Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and eletrodynamics in studens'reasoning. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 1, p. 79-94, 1990.

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

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, 1986. 99p.

OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. Electrode process and aspects relating to cell emf, current and cell components in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 12, p. 29-34, 1996.

PACCA, J. L. A.; FUKUI, A. BUENO, M. C.; COSTA, R. H.; VALÉRIO, R. M.; MANCINI, S. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 151-167, 2003.

PACCA, J. L. A.; VILLANI, A. Categorias de análise nas pesquisas sobre conceitos alternativos. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 12, p. 123-138, 1990.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Students' misconceptions in electrochemistry regarding current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 4, p. 818-821, 1977 (a).

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

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in Electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 6, p. 853-860, 1999.

SANTOS, M. E. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado**. 2. ed. Lisboa: Livros Horizonte, 1998, 262p.

YÜRÜK, N. The effect of supplementing instruction whit conceptual change texts on students' conceptions of electrochemical cells. **Journal of Science Education and Technology**, v. 16, n. 6, p. 515-523, 2007.