

# Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica

Luciane F. de Goes<sup>1</sup> (PG)\*, Carmen Fernandez<sup>1,2</sup> (PQ), Sílvia M. L. Agostinho<sup>2</sup> (PQ)

\*luciane@iq.usp.br

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo

<sup>2</sup>Instituto de Química da Universidade de São Paulo

*Palavras-Chave: eletroquímica, concepções alternativas, dificuldades conceituais*

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo investigar as concepções e as dificuldades sobre conceitos fundamentais de eletroquímica de um grupo de professores de química do Ensino Médio, participantes de um curso de extensão na Universidade de São Paulo. A coleta de dados se deu através de um questionário composto por onze questões abertas que envolveram os seguintes conceitos: reações de oxirredução, oxidante, redutor, eletrodo, pilha, célula eletrolítica, ponte salina e força eletromotriz. As respostas aos questionários foram analisadas e agrupadas por semelhança. Os resultados indicam que os professores apresentam algumas das concepções alternativas sobre eletroquímica relatadas na literatura. Além disso, nota-se uma grande dificuldade em relação ao conceito de força eletromotriz por parte dos sujeitos investigados. Os conceitos envolvidos também são discutidos ao longo do trabalho. Aponta-se a necessidade de cursos de extensão sobre o conteúdo de eletroquímica.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a temática eletroquímica vem sendo alvo de estudos envolvendo os obstáculos enfrentados pelos professores para ensiná-la (DE JONG, ACAMPO, VERDONIK, 2002; DE JONG, TREAGUST, 2002; ÖZKAYA, 2002; SANGER, GREENBOWE, 1999). As dificuldades encontradas pelos alunos na compreensão de conceitos relacionados (SANGER, GREENBOWE, 1997a); as informações muitas vezes equivocadas presentes em livros didáticos (MENDONÇA, CAMPOS, JÓFILI, 2004; SANGER, GREENBOWE, 1999; ÖSTERLUND, BERG, EKBORG, 2010); as concepções alternativas (BARRAL, FERNÁNDEZ, OTERO, 1992; BARKE, HAZARI, YITBAREK, 2009; GARNETT, TREAGUST, 1992a; 1992b; LEE, 2007; NIAZ, 2002; RINGNES, 1995; SANGER; GREENBOWE, 1997a; 1997b; 2000; SCHMIDT, MAROHN, HARRISON, 2007); o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de professores sobre processos redox (AYDIN, BOZ, 2013;; FREIRE, FERNANDEZ, 2014; HUME, 2010; ROLLNICK, MAVHUNGA, 2014)); e as estratégias de ensino e atividades práticas envolvendo processos redox (HUDDLE, WHITE, ROGERS, 2000; NIAZ, CHACÓN, 2003; SESEN, TARHAN, 2013).

As reações oxirredução são abordadas em diferentes áreas da Química como, por exemplo, na química geral, na físico-química, na orgânica e na inorgânica. As dificuldades podem estar associadas a problemas como: complexidade envolvendo o conceito de número de oxidação e dificuldade em identificar os agentes oxidante e redutor (DE JONG, TREAGUST, 2002); terminologia utilizada pelo professor que não favorece a aprendizagem dos conceitos; linguagem imprecisa e, muitas vezes inapropriada, presente nos livros didáticos, usada na explicação de conceitos envolvidos nestas reações (DE JONG, TREAGUST, 2002; OGUDE, BRADLEY, 1994; ÖSTERLUND, BERG, EKBORG, 2010; ÖZKAYA, 2002; SILVA, CINTRA, 2013).

Após realizarem uma revisão da literatura sobre o ensino e a aprendizagem da eletroquímica, De Jong e Treagust (2002) recomendam que os professores tomem conhecimento de "concepções alternativas dos alunos sobre fenômenos eletroquímicos

e as dificuldades na compreensão desses fenômenos" (DE JONG, TREAGUST, 2002, p.235). No quadro 1, são apresentadas algumas das principais concepções alternativas em relação ao conteúdo de eletroquímica elencadas por Garnett e Teagust (1992a, 1992b) e por Sanger e Greenbowe (1997).

**Quadro 1. Concepções alternativas sobre eletroquímica (Adaptado de GARNETT, TREAGUST, 1992a, 1992b; SANGER, GREENBOWE, 1997a; 1997b)**

Oxidação e Redução	O estado de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento.
	Em todas as equações, a adição e a remoção de oxigênio podem ser usadas para identificar uma reação de oxidação ou redução.
	Nas equações químicas, a mudança de cargas de espécies poliatômicas pode ser usada para identificar uma reação de oxidação ou redução.
	Os processos de oxidação e redução ocorrem independentemente.
	Números ou estados de oxidação podem ser atribuídos a moléculas poliatômicas ou a íons.
	A carga de espécies poliatômicas indica o estado de oxidação da molécula ou do íon.
Corrente Elétrica	Em uma equação, mudanças nas cargas de espécies poliatômicas podem ser usadas para determinar o número de elétrons removidos ou ganhos pelas espécies reativas.
	A eletricidade na química e na física é diferente porque o fluxo de corrente ocorre em direções opostas.
	Elétrons movem-se em solução pela atração alternada de um íon para outro.
	Quando um eletrólito conduz corrente, elétrons movem-se para um íon no cátodo e são transportados por esse íon para o ânodo.
	Em uma pilha os ânions e cátions são atraídos uns pelos outros e isso afeta o movimento dos íons nos eletrodos.
	Elétrons movem-se através dos eletrólitos por serem atraídos por íons positivos em solução.
	Prótons fluem nos condutores metálicos.
	A corrente convencional é o fluxo de cargas positivas (geralmente prótons).
	Os elétrons fluem nos eletrólitos.
	Prótons e elétrons fluem em direções opostas em um eletrólito.
	O movimento de íons em soluções não constitui uma corrente elétrica.
	Elétrons podem fluir pela solução aquosa sem assistência dos íons.
Ponte Salina	Apenas as cargas negativas constituem o fluxo de corrente no eletrólito e na ponte salina.
	Prótons fluem em eletrólitos (independentemente se a solução é ácida, básica ou neutra).
	Em uma célula eletroquímica, a ponte salina fornece elétrons necessários para completar o circuito.
	A ponte salina auxilia no fluxo de corrente (ou seja, no fluxo de elétrons porque os íons positivos na ponte atraem os elétrons de uma meia-célula para outra meia célula.
Ânodo e Cátodo	Ânions na ponte salina e nos eletrólitos transferem elétrons do cátodo para o ânodo.
	Cátions na ponte salina e no eletrólito aceitam elétrons e transferem do cátodo para o ânodo.
	O ânodo é carregado positivamente porque ele perde elétrons e o cátodo é carregado negativamente porque ganha elétrons.
	O ânodo é carregado negativamente e por isso atrai cátions, o cátodo é carregado positivamente e por isso atrai ânions.
	Nas tabelas de potenciais de redução padrão, a espécie com maior potencial é o ânodo.
	A lista de potenciais padrão de redução coloca a reatividade dos metais em ordem decrescente de cima para baixo.
Diferença de Potencial	A identificação do ânodo e do cátodo depende da localização física da meia célula.
	Ânodos, como ânions, sempre são carregados negativamente, cátodos, como cátions, são carregados positivamente.
	Uma diferença de potencial entre dois pontos é exclusivamente devido a diferenças na concentração de carga nesses pontos.
	Há uma concentração elevada de elétrons no ânodo.
	Existem uma baixa concentração de elétrons no cátodo.
	Os elétrons deixam o ânodo, onde existe uma elevada concentração de elétrons e movem-

	se através do circuito externo para o cátodo, onde existe uma baixa concentrações de elétrons.
	A designação do $E^0$ para a semi célula padrão $H_2(1atm) / H^+(1M)$ ser zero não é arbitrária pois é baseada na química do $H^+$ e $H_2$ .
	Não há necessidade de uma meia-célula padrão.
	Potenciais de meia célula são absolutos na natureza e podem ser usados para predizer a espontaneidade das meias células.
	Potenciais das células são derivados da adição individual dos potenciais de redução.
	Potenciais de meia célula não são propriedades intensivas.
Funcionamento das pilhas eletroquímicas	Elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam pelo eletrólito (e/ou pela ponte salina) e emergem no ânodo para completar o circuito.
	Nas células eletroquímicas, os ânions e cátions movem-se até que suas concentrações nas meias células sejam iguais.

Existem diversas causas que levam a essas concepções alternativas elencadas no quadro 1. Pode-se perceber que uma das causas é devido à maioria dos alunos não fazerem relações entre os conteúdos aprendidos na química e na física (CAMEL, PACCA, 2011). A utilização de diferentes convenções em química e física podem criar problemas conceituais para alguns alunos. Além disso, muitas palavras utilizadas na ciência possuem significados diferentes da linguagem do cotidiano.

Outro fator que leva a concepções alternativas é a forma como os livros didáticos abordam esse conteúdo. Algumas das concepções alternativas listadas no quadro 1, muitas vezes, são decorrentes de ilustrações contidas nos livros didáticos. Por exemplo: geralmente os livros didáticos e os professores posicionam o ânodo no lado esquerdo da pilha, mas não mencionam que essa é uma convenção da IUPAC.

Apesar das várias pesquisas em relação às dificuldades e concepções dos alunos em relação ao conteúdo de eletroquímica, nota-se que estudos sobre as concepções de professores a respeito desse conteúdo ainda são escassos (ÖZKAYA, 2002). O presente estudo teve como objetivo principal investigar as concepções e as dificuldades de professores de química, da cidade de São Paulo, Brasil, em relação a conceitos fundamentais de eletroquímica. Aproveita-se a oportunidade para discutir conceitos de eletroquímica, que *a priori* são conceitos fundamentais e de domínio público no campo científico, mas muitas vezes pouco enfatizados no Ensino Médio.

## METODOLOGIA

Este estudo é resultado da investigação durante um curso de quarenta horas, com teoria e experimentação, para um grupo de vinte e um professores do Ensino Médio de escolas da cidade de São Paulo, SP, Brasil. Foi utilizado um questionário e as respostas às questões foram utilizadas para o planejamento do curso. O mesmo questionário foi aplicado ao final e foi objeto de análise em outro trabalho (GOES et al., 2016).

A maioria dos participantes possuía licenciatura em química e eram professores iniciantes, ou seja, com menos de cinco anos de experiência, atuante, principalmente, em instituições públicas de ensino.

A coleta de dados se deu no início do curso, a partir de um questionário com onze perguntas abertas abordando conceitos básicos de eletroquímica, tais como: reação de oxirredução, oxidante, redutor, eletrodo, pilha, célula eletrolítica, ponte salina e força eletromotriz. As perguntas foram divididas em dois blocos, o primeiro em relação à definição de termos básicos sobre eletroquímica, e o segundo bloco envolvendo questões sobre a força eletromotriz (fem).

Uma vez que, quatro dos participantes do curso colaboraram na elaboração do mesmo, o questionário foi respondido por apenas dezessete professores participantes. Cada professor respondeu de forma individual e sem nenhuma fonte de consulta. Após a coleta de dados, as respostas foram analisadas individualmente e sistematizadas de acordo com a semelhança entre elas. Após a sistematização das respostas, as mesmas foram categorizadas em correta, parcialmente correta, errada e não respondida. As respostas consideradas parcialmente corretas foram aquelas que continham uma afirmação correta sem justificativas, ou, acompanhada de termos em que os professores entravam em contradição.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro bloco de questões (1a até 1g) corresponde à definição de termos relacionados ao conteúdo de eletroquímica. Para a primeira questão foram obtidos seis diferentes tipos de respostas, descritas no quadro 2.

Quadro 2. Sistematização das respostas da questão 1a - defina reações de oxirredução.

	Resposta	Quantidade de respostas	
Defina reações de oxirredução	Produz corrente	1	Errado
	Transferência de elétrons	8	Certo
	Reação com Oxigênio	1	Errado
	Perda e ganho de elétrons	1	Certo
	Ocorre oxidação e redução	1	Certo
	Variação do número de oxidação	5	Certo

De acordo com o quadro 2 pode-se observar que a maioria das respostas dadas pelos professores foi considerada correta e apenas duas respostas foram consideradas erradas. Não é correto definir reações de oxirredução como sendo a reação que produz corrente, pois nem toda a reação de oxirredução produz corrente elétrica. Para que isso aconteça é necessário que haja eletrodos e que as reações se dêem na interface, como ocorrem em células galvânicas e em células eletrolíticas. Além disso, processos de corrosão, mesmo ocorrendo em interfaces, e reações que ocorrem em uma fase única não geram uma corrente líquida.

Pode-se observar a existência da concepção alternativa de que reações de oxirredução são aquelas reações que necessitam do oxigênio para ocorrer. Essa definição não é correta, uma vez que reações que envolvam o elemento oxigênio podem não ser consideradas reações de oxirredução (serve de exemplo a desidratação de um álcool, que é uma reação ácido-base (MOHRIG, et al., 1998)) e existem outros oxidantes diferentes do oxigênio como, por exemplo, o cloro, o íon permanganato (ATKINS, 1997).

Para a questão 1b, foram obtidos oito diferentes tipos de respostas, descritas no quadro 3. Para essa questão, uma mesma resposta foi sistematizada em dois ou mais tipos de respostas, fazendo com que a soma total de respostas seja diferente de 17. Isso ocorreu, pois, para uma mesma resposta, observaram-se duas ideias como, por exemplo, um dos participantes apenas respondeu "oxidante é quando ganha elétron", enquanto outro participante respondeu: "é a substância que sofre redução, ou seja, ganha elétron". O que fez com que se desdobrasse esse tipo de resposta em duas respostas distintas: substância que sofre redução e ganha elétron.

**Quadro 3. Sistematização das respostas da questão 1b - defina o termo oxidante.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
Defina o termo oxidante	Ganha elétron	5	Certo
	Elemento que quebra ligação	1	Errado
	Substância que sofre redução	4	Certo
	Perde elétron	3	Errado
	Polo positivo	1	Errado
	Aumento do NOX	4	Errado
	Provoca redução	1	Errado
	Ânodo	1	Errado

De acordo com o quadro 3 pode-se observar que as respostas consideradas corretas se concentraram em duas expressões: “ganho de elétrons” e “substância que sofre redução”. Nota-se que mais da metade das respostas foram consideradas erradas, pois:

- nem todo oxidante atua quebrando ligação química. Serve de exemplo, a ação oxidante do íon ferro (III) sobre o íon estanho (II);
- o oxidante ganha elétrons;
- a polaridade não tem relação com oxidante ou com redutor. Os polos positivos e negativos não estão vinculados a ânodo e cátodo. Em células galvânicas o ânodo é o polo negativo e em células eletrolíticas o cátodo é o polo negativo;
- o oxidante atua aumentando o número de oxidação de outro elemento e ele causa a oxidação;
- por definição, ânodo é sempre o eletrodo em que ocorre oxidação (BURROWS, et al., 2012).

Para a questão 1c também foram obtidas oito diferentes respostas (quadro 4). Iguamente ao caso da questão 1b, houve mais respostas do que o total de participantes devido a uma mesma resposta corresponder a duas ideias diferentes, por exemplo, um participante respondeu: “redutor é a substância que sofre oxidação, ou seja, perde elétron”, enquanto outro participante respondeu apenas que “perde elétron”.

**Quadro 4. Sistematização das respostas da questão 1c - defina o termo redutor.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
Defina o termo redutor	Perde elétron	5	Certo
	É o oxigênio	1	Errado
	Substância que sofre oxidação	4	Certo
	Ganha elétron	3	Errado
	Polo negativo	1	Errado
	Diminui NOX	4	Errado
	Provoca oxidação	1	Errado
	Cátodo	1	Errado

A partir do quadro 4 observa-se a mesma tendência analisada para a questão 1b. A maioria dos professores definiu redutor de forma errada, enquanto apenas nove das vinte respostas foram consideradas corretas.

As respostas para as questões 1b e 1c confirmam os dados encontrados na literatura em relação às dificuldades dos alunos para o conteúdo de oxirredução. Observa-se que os professores também apresentam dificuldades em relação aos termos, e podem ser provenientes do emprego da linguagem eletroquímica de forma equivocada como, por exemplo: oxida / é oxidado; reduz / é reduzido como se tivessem

o mesmo significado. O que age como redutor, reduz outra espécie química, portanto, não é reduzido.

Para a questão 1d foram obtidas sete diferentes respostas (quadro 5), sendo que cinco dos participantes não a responderam.

**Quadro 5. Sistematização das respostas da questão 1d - defina o termo eletrodo.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
Defina o termo eletrodo	Material que faz oxirredução	2	Errado
	Mede o potencial	1	Errado
	Dispositivo bipolar	1	Errado
	Material utilizado	1	Errado
	Metais que doam ou recebem elétron	1	Errado
	Troca de elétron	3	Errado
	Conduz corrente	3	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com o quadro 5 verifica-se que nenhuma das respostas foi considerada correta. E com esse resultado, pode-se inferir que os professores apresentam bastante dificuldade em definir o que é eletrodo. O conceito comum de eletrodo é o que prevalece, pois, os livros didáticos não definem eletrodo conforme se entende em eletroquímica. O senso comum admite como eletrodo qualquer placa de um condutor eletrônico, seja de metal ou de grafite. Em eletroquímica, entende-se por eletrodo a interface entre um condutor eletrônico e um condutor iônico. Nesta interface necessariamente existe uma diferença de potencial, causada pela distribuição não homogênea de cargas.

Para a questão 1e foram obtidas sete diferentes respostas (quadro 6) e, da mesma forma que a questão 1d, cinco participantes também não a responderam. Novamente, uma mesma resposta foi desdobrada em duas ou mais diferentes respostas, totalizando um número de respostas maior do que o número de participantes que responderam ao questionário.

**Quadro 6. Sistematização das respostas da questão 1e - defina o termo pilha.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
Defina o termo pilha	Dispositivo que conduz elétron	1	Errado
	Onde ocorre redox espontânea	2	Parcial
	Acumulador de carga elétrica	1	Errado
	Transforma energia química em elétrica	4	Certo
	Geram eletricidade	5	Certo
	Troca de elétron	3	Errado
	Conduz corrente	3	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com o quadro 6 verifica-se que apenas nove das respostas foram consideradas corretas, enquanto que oito respostas foram consideradas erradas e duas foram consideradas parcialmente corretas. As respostas foram consideradas erradas ou parcialmente corretas, pois:

- na pilha ocorre um processo espontâneo que pode gerar energia elétrica. A condução eletrônica, pelo circuito externo, quando o circuito é fechado, é uma consequência;

- processos redox espontâneos também são observados na corrosão e em reações eletroquímicas em meio homogêneo, não se caracterizando como pilha;

- pilha e capacitores são dois conceitos distintos: na pilha as cargas se movimentam enquanto que nos capacitores, as cargas são armazenadas (PURCELL, 1973); acumuladores são células galvânicas recarregáveis, serve de exemplo, o acumulador ácido de chumbo;

- a troca de elétrons ocorre em qualquer processo redox, não apenas em pilhas;

- no caso da condução de corrente elétrica, são válidos os mesmos aspectos considerados na condução eletrônica.

Para a questão 1f foram obtidas seis diferentes respostas (quadro 7). Para essa questão, o número de participantes que não a respondeu foi elevado, totalizando oito participantes.

**Quadro 7. Sistematização das respostas da questão 1f - defina o termo célula eletrolítica.**

	<b>Resposta</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	
<b>Defina o termo célula eletrolítica</b>	Armazena elétron	1	Errado
	Precisa de energia para ocorrer redox	2	Certo
	Onde um sofre oxidação e o outro redução	1	Parcial
	Composta por polo positivo e negativo	1	Errado
	Pilha	1	Errado
	Decomposição por corrente	3	Errado
	Não respondeu	8	

Como se pode observar no quadro 7 uma resposta foi considerada parcialmente correta, duas foram consideradas corretas, enquanto seis foram consideradas erradas. Em relação ao conceito de célula eletrolítica, há alguns pontos a se considerar:

- na célula eletrolítica ocorrem processos de oxidação e redução à custa de uma fonte externa de tensão;

- a ocorrência de reações de oxidação e de redução não se dá apenas em células eletrolíticas: ocorrem em células galvânicas, em processos de corrosão e em meio homogêneo.

- a decomposição por corrente é um processo e se chama eletrólise e não um sistema, ao qual se dá o nome de célula eletrolítica;

Os demais conceitos considerados errados foram analisados anteriormente.

Para a questão 1g foram obtidas seis diferentes respostas (quadro 8), sendo que cinco participantes não a responderam.

**Quadro 8. Sistematização das respostas da questão 1g - defina o termo ponte salina.**

	<b>Resposta</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	
<b>Defina o termo ponte salina</b>	Transforma ácido em sal	1	Errado
	Transmite corrente	1	Certo
	Permite o fluxo de cargas	1	Certo
	Água salgada em dois eletrodos	3	Errado
	Fluxo de elétrons	1	Errado
	Balanço iônico	5	Parcial
	Não respondeu	5	

Conforme observado no quadro 8 cinco respostas foram consideradas erradas, enquanto que apenas duas foram consideradas corretas. Por outro lado, cinco respostas foram consideradas parcialmente corretas. Analisando as respostas dadas pelos participantes, verifica-se o aparecimento de outra concepção alternativa relatada

na literatura, em que a ponte salina auxilia o fluxo de elétrons. Além disso, algumas das respostas foram consideradas erradas ou parcialmente corretas, pois:

- a ponte salina não é um reagente para transformar ácido em sal;
- a ponte salina contém um eletrólito, onde cátions e ânions, sob a ação de um campo elétrico aplicado entre os dois eletrodos, migram por ação desse campo, para o cátodo e para o ânodo, respectivamente, completando o circuito da corrente elétrica. Este circuito é fechado pelos elétrons, presentes nos condutores eletrônicos (terminais dos eletrodos e fiação).

É importante que fique bem claro que não há elétrons livres no circuito da ponte salina, apenas cátions e ânions contribuem para a corrente total. A corrente elétrica na ponte salina é igual à soma das correntes devida aos cátions e aos ânions, pois eles têm cargas e direções opostas. Esta corrente total iônica na ponte salina é igual à corrente elétrica transportada pelos elétrons no circuito eletrônico. Lembrar que os elétrons se movimentam no sentido contrário à corrente elétrica convencional (BURROWS et al., 2012).

O segundo bloco de questões (2a até 2d) correspondem a questões relacionadas à força eletromotriz (fem). Para a primeira questão, 2a foram obtidas sete diferentes respostas, descritas no quadro 9.

**Quadro 9. Sistematização das respostas da questão 2a - O que se entende por força eletromotriz (fem) de uma pilha?.**

	<b>Resposta</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	
<b>O que se entende por força eletromotriz (fem) de uma pilha?</b>	Força que movimenta elétron	2	Errado
	DDP	3	Parcial
	Maior DDP	1	Certo
	Energia gerada	3	Errado
	Espontaneidade	1	Errado
	Capacidade de transformar eletricidade	1	Errado
	Energia para reação	1	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com o quadro 9 apenas uma resposta foi considerada correta, três parcialmente corretas, oito foram consideradas erradas e cinco participantes não responderam.

O conceito de força eletromotriz causa muita dúvida entre os professores pela própria semântica (“força eletromotriz”). Trata-se da diferença de potencial máxima que uma célula galvânica apresentaria se no circuito não passasse corrente elétrica. Essa diferença de potencial máxima corresponde à diferença entre os potenciais de equilíbrio do cátodo e do ânodo. Na prática, a medida da diferença de potencial se aproxima da força eletromotriz quando se emprega um voltímetro de alta resistência interna, da ordem de  $M\Omega$ .

A questão 2b foi a questão com maior variedade de respostas obtidas, totalizando nove diferentes respostas (quadro 10).

Como se observa no quadro 10, duas respostas foram consideradas corretas, seis respostas foram consideradas erradas, quatro consideradas parcialmente corretas e cinco participantes não responderam.



**Quadro 10. Sistematização das respostas da questão 2b - Como se mede a força eletromotriz (fem)?.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
Como se mede a força eletromotriz (fem)?	$i = \Delta Q / \Delta t$	1	Errado
	Entre a diferença entre duas células	1	Errado
	Voltímetro	2	Certo
	Cátodo - ânodo	1	Errado
	Em V	1	Errado
	Amperímetro	1	Errado
	$E_{red} - E_{oxi}$	2	Parcial
	$V = E - r \cdot i$	2	Parcial
	Fluxo de elétrons	1	Errado
Não respondeu	5		

Continuando a discussão feita sobre o quadro 9 tem-se a acrescentar:

- a resposta voltímetro foi considerada correta, pois este é um instrumento de medida da força eletromotriz;

- a força eletromotriz sendo igual a  $E_{red} - E_{oxi}$  pode ser considerada uma resposta correta se  $E_{red}$  e  $E_{oxi}$  corresponderem, respectivamente, aos potenciais de equilíbrio, no sentido da redução, do cátodo (onde ocorre redução) e do ânodo (onde ocorre oxidação), o que não foi explicado pelos participantes que assim responderam;

- a equação  $V = E - r \cdot i$  é apresentada em disciplinas de física e corresponde a uma resposta correta se  $V$  for a fem,  $E$  for a diferença de potencial medida nos terminais da célula galvânica quando o circuito é atravessado por uma corrente diferente de zero,  $i$  for a corrente e  $r$  a resistência elétrica total do circuito (PURCELL, 1973). Como os participantes não esclareceram, a questão foi considerada parcialmente correta.

Para a questão 2c foram obtidas cinco diferentes respostas (quadro 11). Para essa questão, também se obteve um alto índice de respostas em branco, totalizando oito participantes.

**Quadro 11. Sistematização das respostas da questão 2c - De que grandeza depende a força eletromotriz (fem) de uma pilha?.**

	Resposta	Quantidade de respostas	
De que grandeza depende a força eletromotriz (fem) de uma pilha?	Força	1	Errado
	Fluxo de elétrons	2	Errado
	DDP	1	Errado
	Potencial de redução	1	Certo
	V	4	Errado
	Não respondeu	8	

Ao analisar o quadro 11 observa-se que apenas uma resposta foi considerada correta, enquanto oito foram consideradas erradas.

Nota-se que o conceito termodinâmico de força eletromotriz, ligado à variação da energia livre de Gibbs da reação não faz parte do conhecimento dos professores. O potencial de eletrodo e a energia livre de Gibbs dependem da temperatura e da atividade das espécies envolvidas no processo de oxirredução (ATKINS, 1997).

E, para a última questão, 2d foram obtidas cinco diferentes respostas (quadro 12) e cinco respostas em branco.

**Quadro 12. Sistematização das respostas da questão 2d - Como se calcula a força eletromotriz (fem) de uma pilha?.**

	<b>Resposta</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	
<b>Como se calcula a força eletromotriz (fem)</b>	Corrente elétrica e DDP	1	Errado
	Voltímetro	1	Errado
	$U = E - r \cdot i$	2	Parcial
	$E_{red} - E_{oxi}$	6	Parcial
	DDP	2	Errado
	Não respondeu	5	

Observam-se quatro respostas erradas e oito parcialmente corretas. Para o quadro 12, são válidas as mesmas considerações feitas para o quadro 10.

## CONCLUSÕES

A partir das respostas dadas pelos professores, pode-se observar que os participantes apresentaram dificuldades em relação aos conceitos envolvendo o conteúdo de eletroquímica. Eletrodo, célula galvânica, célula eletrolítica e força eletromotriz são conceitos fundamentais em que os professores apresentaram maiores dificuldades, sendo que, a maior dificuldade apresentada pelos professores se refere aos conceitos de eletrodo e de força eletromotriz.

Muitas das respostas dos professores se dão através de algoritmos, onde não existe a preocupação em dar significado às grandezas e aos termos envolvidos.

Com os resultados obtidos, aponta-se a necessidade de oferecimento de cursos de extensão sobre eletroquímica para professores de química do ensino médio.

Além disso, uma interação mais forte envolvendo professores de química e professores de física do ensino médio poderá contribuir para melhor entendimento dos conceitos abordados neste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à FAPESP pelo financiamento deste projeto, processos nº 2013/07937-8 e 2014/14356-4.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, P. W. **Físico-Química, volume 3**. Tradução de Horácio Macedo. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.

AYDIN, S.; BOZ, Y. The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 4, p. 615-24, 2013.

BARRAL, F. L.; FERNÁNDEZ, E. G. R.; OTERO, J. R. G. Secondary students' interpretation of the process occurring in an electrochemical cell. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 8, 655-7, 1992.

BARKE, H. D., HAZARI, A., YITBAREK, S. **Misconceptions in Chemistry**. Berlim: Springer, 2009.

BURROWS, A.; HOLMAN, J.; PARSONS, A.; PILLING, G.; PRICE, G. **Química<sup>3</sup>: introdução à química inorgânica, orgânica e físico-química**. Tradução e revisão Edilson Clemente da Silva et. al. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CAMEL, N.J.C.; PACCA, J.L.A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.1, p.7-26, 2011.

DE JONG, O., ACAMPO, J., VERDONK, A. Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. in J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust and J. H. van Driel, eds., **Chemical Education: towards research-based practice**, Dordrecht: Kluwer, p. 317-337, 2002.

DE JONG, O., TREAGUST, D. The teaching and learning of electrochemistry, in J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust and J. H. van Driel, eds., **Chemical Education: towards research-based practice**, Dordrecht: Kluwer, p. 317-337, 2002.

GOES, L.F., VAIOLETTE, L., ALBUQUERQUE, G.Z.C.; GEORGIA D. BLOISI, G.D.; FERNANDEZ, C.; AGOSTINHO, S.M.L. Reflexos de um curso de formação contínua em Eletroquímica em um grupo de professores do Ensino Médio. Trabalho aceito para apresentação na 39ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2016.

FREIRE, L. I. F.; FERNANDEZ, C. Professores novatos de química e o desenvolvimento do PCK de oxidorredução: influências da formação inicial. **Educación Química**, v. XXV, p. 312-324, 2014.

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. 121-42, 1992a.

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. 1079-99, 1992b.

HUDDLE, P. A.; WHITE, M. D.; ROGERS, F. Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, v.77, n.1, p.104-10, 2000.

HUME, A. Investigating Content Representations (CoRes) as Pedagogical Tools for Science Teacher Education. **TDU Talk**, n.5, p.28-40, 2010.

LEE, S. J. Exploring students' understanding concerning batteries – Theories and practices. **International Journal of Science Education**, v.29, n.4, p.497-516, 2007.

MENDONÇA, R. J.; CAMPOS, A. F.; JÓFILI, Z. M. S. O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de química orgânica do ensino médio. **Química nova na escola**, v.20, p.45-46, 2004.

MOHRIG, J. R.; HAMMOND, C. N.; MORRILL, T. C.; NECKERS, D. C. **Experimental Organic Chemistry**. New York: W. H. Freeman and Company, 1998

NIAZ, M. Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. **International Journal of Science Education**, v.24, n.4, p.425-39, 2002.

OGUDE, A. N., BRADLEY, J. D. Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**. v.71, n.1, p. 29-34, 1994.

ÖSTERLUND, L. L., BERG, A., EKBORG, M. Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? **Chemical Education Research and Practice**. v.11, p. 182-192, 2010.

ÖZKAYA, A. L. Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. **Journal of Chemical Education**, v.79, n.6, p.735-738, 2002.

PURCELL, E. M. **Curso de Física de Berkeley: eletricidade e magnetismo**. Tradução de Wiktor Wajntal et. al. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1973.

RINGNES, V. Oxidation-reduction: Learning difficulties and choice of redox models. **School Science Review**, v.77, p.74-78, 1995.

ROLLNICK, M., MAVHUNGA. E. PCK of teaching electrochemistry in chemistry teachers: A case in Johannesburg, Gauteng Province, South Africa. **Educación Química**, v.25, n.3, p.354-362, 2014.

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, 1997a.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Students' Misconceptions in Electrochemistry Regarding Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. **Journal Chemical Education**, v.74, n.7, p.819-823, 1997b.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. **Journal Chemical Education**, p.853-860, 1999.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. **International Journal of Science Education**, v.22, n.5, p.521-37, 2000.

SCHMIDT, H. J.; MAROHN, A.; HARRISON, A. G. Factors that prevent learning in electrochemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, v.44, n.2, p.258-83, 2007.

SESEN, B. A.; TARHAN, L. Inquiry-based laboratory activities in electrochemistry: High school students' achievements and attitudes. **Research in Science Education**, v.43, p.413-35, 2013.

SILVA, M. R. E.; CINTRA, E. P. Experimentação e simulações: contribuições para o ensino e aprendizagem das reações redox. In Congresso internacional sobre investigación en didactica de las ciencias, IX, 2013, Girona, p.1153-1159.