Aprendizagem Ativo-Colaborativo-Interativa: Inter-Relações e Experimentação Investigativa no Ensino de Eletroquímica

Tâmara N. P. Santos, Carlos H. Batista, Ana P. C. de Oliveira e Maria C. P. Cruz

A Eletroquímica é um conteúdo desafiador para o ensino de Química. No contexto de uma era na qual predomina a Tecnologia da Informação e Comunicação, estudantes devem e podem desenvolver habilidades e competências voltadas a este desafio, de forma ativa. A presente pesquisa objetiva expor uma metodologia experimental investigativa, utilizando materiais de baixo custo e não tóxicos, a exemplo de limões e batatas do tipo inglesa, de tal maneira que os alunos se voltem à experimentação para a construção de pilhas bioquímicas. A experimentação abordada é bem fundamentada na literatura, o diferencial é a metodologia proposta envolver uma abordagem didática desafiadora para alunos nativos digitais. Os alunos do Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Sergipe puderam entender o porquê de acender um diodo de 1,5 V num conjunto de pilhas, sob mediação do professor. Os discursos escritos pelos educandos foram analisados utilizando a Análise Textual Discursiva (ATD). As inter-relações entre alunos ativos, colaborativos e interativos potencializam as aprendizagens por desenvolver um efeito sinergético na construção do conhecimento.

▶ eletroquímica, experimentação, pilhas caseiras ◀

Becebido em 23/06/2017, aceito em 28/01/2018

ode-se perceber, cotidianamente, a propagação do uso de aparelhos eletroeletrônicos portáteis, tais como: telefones sem fio, rádios portáteis, controles para

TV, notebooks, mouses, jogos eletrônicos, relógios, agendas eletrônicas, câmeras fotográficas, aparelhos de som, entre outros. Nestes dispositivos são utilizadas pilhas ou baterias. As primeiras fornecem energia através de dois eletrodos e um eletrólito onde ocorrem reações de oxirredução espontâneas que geram corrente elétrica, também denominadas células galvânicas; as segundas são as baterias, um conjunto de pilhas voltaicas (Brown et al., 2005). Em decorrência desse fato, aumentou muito a demanda pelos dois tipos, de diversos tamanhos, a fim de atender às inúmeras exigências do mercado. O ramo da Química que estuda estas reações

é a Eletroquímica, a qual discute o desenvolvimento e funcionamento das pilhas e baterias.

Segundo Silva et al. (2016), Caramel e Pacca (2011),

[...] os conteúdos envolvendo Eletroquímica são frequentemente mencionados por docentes e estudantes como um assunto que representa grande dificuldade no processo ensinoaprendizagem. Os estudantes confundem elementos presentes nas pilhas como cátodo, ânodo, eletrodo positivo e eletrodo negativo, possivelmente, pelos detalhes muito semelhantes dessa ciência. Diante destas e outras dificuldades sentidas por alunos, pela relevância desta ciência para a humanidade, é necessário buscar métodos alternativos para facilitar o ensino e a compreensão da Eletroquímica, relacionando os fenômenos químicos com o cotidiano do aluno, associando a teoria com a prática de uma maneira contextualizada.

Sanjuan et al. (2009) e Ogude e Bradley (1996), os conteúdos envolvendo Eletroquímica são frequentemente mencionados por docentes e estudantes como um assunto que representa grande dificuldade no processo ensinoaprendizagem. Os estudantes confundem elementos presentes nas pilhas como cátodo, ânodo, eletrodo positivo e eletrodo negativo, possivelmente, pelos detalhes muito semelhantes dessa ciência. Diante destas e outras dificuldades sentidas por alunos, pela relevância desta ciência para a humanidade, é necessário buscar métodos alternativos para facilitar o ensino e a compreensão da Eletroquímica, relacionando os

fenômenos químicos com o cotidiano do aluno, associando a teoria com a prática de uma maneira contextualizada.

A utilização de experiências investigativas nas aulas de Química cria oportunidade de maior entendimento de Eletroquímica por parte dos alunos, pois instiga o aprendizado, tornando a ação do educando mais ativa. No entender de Pozo (1998), no ensino por investigação os alunos são colocados em situação de realizar pequenas pesquisas, combinando simultaneamente conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. Alguns artigos mostram experimentações investigativas que podem ser feitas em sala de aula; cita-se dois deles, o artigo de Ferreira *et al.* (2010)

e o de Suart e Marcondes (2009). No primeiro artigo, os discentes dividiram-se em dois grupos para estudar líquidos miscíveis e imiscíveis, e volumes em provetas. No último artigo, os alunos investigaram o conceito de temperatura de ebulição. Santana e Silva (2014) enfatizam que o que deve ser abordado não precisa ser de difícil resolução, de modo que o estudante desista de investigá-lo e ainda, que o processo de busca do

conhecimento é mais importante que o produto a ser exposto.

Neste contexto, uma experimentação investigativa quando aplicada sobre pilhas biodegradáveis, aquelas que são feitas de verduras e frutas, torna-se uma metodologia possível de ser desenvolvida, pois os alunos são dotados de concepções alternativas que, de alguma forma, foram construídas durante as suas vidas. Neste caso, essas concepções podem ser aprimoradas após uma intervenção didática que desenvolva a descoberta autônoma e mediada de concepções científicas. Esta metodologia ativa se baseia em solucionar desafios advindos das atividades essenciais da prática social, em diferentes contextos (Berbel, 2011). Desta forma, estas concepções científicas construídas podem ser identificadas pela análise textual discursiva (ATD), que consiste em encontrar unidades de significados que gerem categorizações, como descrito em Moraes e Galiazzi (2011). Partindo deste contexto, o ambiente da aprendizagem não está restrito apenas à sala de aula, uma vez que o cotidiano dos alunos é constantemente afetado pelas novas tecnologias. Este ensino híbrido é um forte aliado para o desenvolvimento de competências e habilidades numa metodologia ativa.

A construção de pilhas de limão e batata, nesta perspectiva, tem papel relevante no desenvolvimento social crítico do aluno, por desafiá-lo a construir seu próprio conhecimento na área de Eletroquímica, com princípios de Química Verde. Assim, na experimentação investigativa, o aluno pode desenvolver todo o seu potencial e aperfeiçoar três características significativas.

A primeira delas é responsabilizar-se pelo processo de aprendizagem. Ele é o sujeito ativo deste processo que permite a análise, a decisão e a atuação nas mais diversas circunstâncias. Assim, desenvolve habilidades para a vida por comprometer-se com a busca de ferramentas necessárias para seu desenvolvimento cognitivo.

Na segunda característica, a investigação estimula o aluno a assumir uma atitude colaborativa. O aluno levanta hipóteses, questionamentos e discute os fenômenos apresentados no decorrer da aula (Perrenoud, 1999). Para tanto, pode ocorrer o estudo individual para, em seguida, compartilhar o novo conhecimento a todos os integrantes da equipe ou vice-versa.

Por fim, o aspecto da interatividade. Nesta característica o aluno passa a interagir no próprio processo de aprendiza-

gem, dividindo-se em momentos offline (com o professor) e online (utilizando as mídias de que dispõe). No momento offline o docente interage com o educando por um processo dialógico sobre as instruções/orientações da pesquisa. No momento online o aluno desenvolve seu aprendizado individual, colaborativo e interativo, utilizando-se das mídias e, inclusive, com o professor.

Portanto, o presente trabalho

tem como finalidade expor uma metodologia de experimentação investigativa da construção de pilhas caseiras a partir do uso de limões e batata inglesa, pautada na formação de um aluno ativo, colaborativo e interativo agindo ora em espaço *offline* e ora *online*. As inter-relações entre estes atributos foram observadas na ATD, descrita em Moraes e Galiazzi (2011).

Desenvolvimento da Pesquisa

O Contexto Metodológico

[...] o presente trabalho tem como

finalidade expor uma metodologia de

experimentação investigativa da construção

de pilhas caseiras a partir do uso de limões

e batata inglesa, pautada na formação de

um aluno ativo, colaborativo e interativo

agindo ora em espaço offline e ora online.

As inter-relações entre estes atributos

foram observadas na ATD, descrita em

Moraes e Galiazzi (2011).

A principal motivação desta pesquisa foi disponibilizar uma metodologia em Eletroquímica que viabilizasse aos professores reproduzi-la facilmente em sala de aula através da leitura deste artigo e de outros como o de Hioka *et al.* (2000). Para tal, o foco foi uma experimentação mais ligada aos princípios da Química Verde e de metodologia diferenciável. Assim, a experimentação investigativa é discutida na literatura de acordo com Ferreira *et al.* (2010), Suart e Marcondes (2009), Taha *et al.* (2016), dentre outros.

Os Sujeitos da Pesquisa

A intervenção didática foi aplicada ao 3º ano do Ensino Médio do Curso Técnico Integrado de Química, no Instituto Federal de Sergipe (IFS), numa turma composta por 22 alunos, situada na faixa etária entre 16 e 18 anos.

Procedimentos Para a Coleta de Dados

A pesquisa foi dividida em etapas. A primeira foi a análise investigativa elaborada por meio de um diagnóstico da sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes envolvidos, composto por duas questões. A questão inicial versava sobre a enquete: "A Eletroquímica é muito utilizada no seu dia a dia, por exemplo, nas pilhas, baterias, e no recobrimento de joias com ouro. O entendimento da proposta pode ser algo significativo para a compreensão de como ocorre cada processo. Você acha o seu entendimento complexo? Por quê?". Enquanto isto, a segunda questão foi apresentada, a partir da utilização de uma figura de dois pares de meias batatas ligadas em série por fios de cobre, nos quais o cobre era o cátodo e o zinco era o ânodo. As seguintes perguntas foram feitas: "a) De que forma a batata contribui na célula Eletroquímica? b) Em qual metal ocorre na superfície a reação de redução? Esta reação se comporta como cátodo ou ânodo? c) Qual metal tende à oxidação? Ele se comporta como cátodo ou ânodo? d) Os elétrons migram do cobre para o zinco? Justifique a resposta. e) Por que são ligados os eletrodos em mais de dois pares de meia batata?".

Para responder ao questionário, os alunos se identificaram usando pseudônimos. O intuito do questionário foi o de verificar a concepção dos estudantes em relação ao entendimento de uma reação de oxirredução e os polos numa pilha. Assim, os conhecimentos prévios sobre conceitos presentes numa pilha foram investigados. O momento da aplicação do questionário teve a duração de uma aula de 50 min. Os discentes já tinham conhecimento sobre pilhas e nenhuma aula teórica foi ministrada. Esta foi a primeira coleta de dados.

Em seguida, a segunda etapa foi o processo formativo,

por aplicação da temática, que se prolongou por mais uma aula de 50 min e com divisão da turma em quatro grupos. Foi, então, explicado como os alunos deveriam estudar o conteúdo de construção de pilhas utilizando-se de batata inglesa e limão. Os discentes teriam que pesquisar online (http:// www.cienciamao.usp.br), em vídeo aulas no Youtube, como as pilhas eram feitas e quais seriam os materiais necessários para acender um diodo emissor de luz (light emitting diode, LED) de 1,5 V, ou medir a fem (força eletromotriz) em um voltímetro. Os metais utilizados foram prego

zincado e moeda de cinco centavos (aço revestido com cobre). Através do aplicativo *WhatsApp* o professor mediou em tempo real a aprendizagem durante uma semana. Desta forma, obteve-se um envolvimento mais interativo dos alunos e ocorreu a montagem, exposição e explicação sobre pilhas, sua constituição e funcionamento. Sucedeu a colaboração entre as equipes, as dúvidas foram sanadas com a assistência do professor e ocorreu o funcionamento das pilhas. Esta etapa durou uma aula de cinquenta minutos.

Por fim, foi feita uma última etapa, a análise avaliativa dos discursos escritos dos alunos sobre a temática, utilizando a ATD, descrita em Moraes e Galiazzi (2011). Os alunos realizaram uma produção textual, objetivando verificar a aprendizagem dos conteúdos e conceitos identificados na construção das pilhas caseiras. Nesta etapa foram recolhidas as produções textuais como material a ser analisado.

ATD Como Técnica de Análise de Dados

Uma vez que os dados coletados se encontravam no formato de produções textuais, possibilitou-se uma fragmentação desses textos, na busca de criar categorias emergentes por meio dos fragmentos obtidos. Moraes e Galiazzi (2011) defendem que a ATD pode ser compreendida como um processo auto-organizado de construção de novos significados, em relação à produção textual. Partindo desta perspectiva, a partir das leituras teóricas das concepções dos alunos na produção textual, é possível admitir a concretização ou compreensão de uma teoria.

Discussão dos Resultados

A análise do questionário investigativo está apresentada nos Quadros 1 a 6. Com os dados coletados pode-se ter uma visão dos conceitos em construção ou de outros consolidados pelos alunos. No Quadro 1 é apresentado o primeiro questionamento. Pode-se inferir que os discentes, em sua maioria (72%), compreendem a Eletroquímica e não a considera complexa, visto que muitos dos alunos já mantiveram contato

com o assunto nas disciplinas de corrosão, de Ouímica Analítica e de Físico-Química. No entanto, é preciso verificar se esta posição dos alunos tem fundamento. O restante da turma, por outro lado, como observado nos depoimentos dos alunos, achou o entendimento complexo e confuso, com muitos detalhes, bastante denso, com diversas definições, equações e cálculos. Assim, acabaram se confundindo para identificar cátodo e ânodo, ou qual destes está sofrendo oxidação ou reduzindo, entre outros.

Nos Quadros 2 a 6 estão apresentados os itens integrantes da

segunda questão do questionário. Para análise das respostas foram utilizados os termos *incorpora*, *tangencia* e *distancia*, referentes aos percentuais das respostas dos alunos. O termo *incorpora* significa que a resposta está correta; o termo *tangencia* se aproxima da resposta correta e o termo *distancia* quer dizer que a resposta se afasta do conceito correto.

Analisando o Quadro 2, referente ao item "a", percebe-se que o depoimento de Dani incorpora o conceito correto e que 50,0% da turma formulam conceitos similares. Outro depoimento diz que a batata funciona como uma ponte salina. Golberg *et al.* (2010) sugerem que os tecidos da batata entre

Uma vez que os dados coletados se encontravam no formato de produções textuais, possibilitou-se uma fragmentação desses textos, na busca de criar categorias emergentes por meio dos fragmentos obtidos. Moraes e Galiazzi (2011) defendem que a ATD pode ser compreendida como um processo autoorganizado de construção de novos significados, em relação à produção textual. Partindo desta perspectiva, a partir das leituras teóricas das concepções dos alunos na produção textual, é possível admitir a concretização ou compreensão de uma teoria.

Quadro 1: A Eletroquímica é muito utilizada no seu dia a dia, por exemplo, nas pilhas, baterias, e no recobrimento de joias com ouro. O entendimento da proposta pode ser algo significativo para a compreensão de como ocorre cada processo. Você acha o seu entendimento complexo? Por quê?

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Sim	17	Sim, porque é algo com- plicado, de difícil compre- ensão, cheio de "vírgulas", tanto que acabo confundin- do o que sei sobre Eletro- química (Natasha).
Não	72	Não. Tivemos matérias como corrosão, físico-quí- mica e química analítica que nos introduziram a Eletroquímica (Joets).
Mais ou menos	11	Mais ou menos oxidação e redução é confuso (Lilo).

os eletrodos de Zn e Cu funcionam como uma típica ponte salina de KCl, equilibrando as cargas iônicas. Por outro lado, Hannah erra o conceito, porque o eletrólito não transmite os elétrons aos eletrodos. Outros 27,8% da turma tiveram respostas similares. Percebe-se, ainda, que os demais (22,2%) tangenciam o conceito, pois acertam que a batata funciona como eletrólito, porém, concordam com o conceito daqueles alunos que se distanciam na resposta. Esta deficiência também foi percebida por Caramel e Pacca (2011).

Quadro 2: De que forma a batata contribui na célula Eletroquímica?

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Incorpora	50	Entendi que ela está funcionando como a solução que fornece os íons (Dani). A batata funciona como ponte salina (Lilo).
Tangencia	22	Como eletrólito, perdendo e doando elétrons ao cobre e ao zinco (Joets).
Distancia	28	Ela vai permitir a transmis- são dos elétrons entre os eletrodos (Hannah).

Analisando o Quadro 3, relativo ao item "b", percebe-se que o depoimento de Neto incorpora o conceito correto e que 83% dos alunos têm conceito similar: que os metais atuam como eletrodos e o cobre na pilha de batata tem maior facilidade para receber elétrons, sendo assim o polo positivo (cátodo). Por outro lado, Lilo tangencia o conceito, ele acertou o metal, mas errou quanto a ser ânodo. Outros 11% da turma tiveram respostas análogas. Em torno de 6% dos alunos da turma se distanciaram quanto ao conceito correto e erraram ao tentar entender como o metal se comporta no

funcionamento de uma pilha, segundo o depoimento de Gogman. Este resultado não é uma tendência nos conteúdos de Eletroquímica, segundo Ogude e Bradley (1996).

Quadro 3: Em qual metal ocorre na superfície a reação de redução? Esta reação se comporta como cátodo ou ânodo?

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Incorpora	83	Cobre, funciona como cátodo (Neto).
Tangencia	11	Cobre, funciona como ânodo (Lilo).
Distancia	6	O ouro se comporta como ânodo (Gogman).

Como podemos destacar no Quadro 4, relativo à questão letra "c", cerca de 83% dos estudantes obtiveram sucesso na resposta. Porém, existe um percentual que se distancia, correspondente a 6%, e outros que tangenciam com 11%. Pode-se perceber com o depoimento de Ribeiro que o metal a oxidar é o zinco, comportando-se como ânodo. Este resultado não é uma tendência nos conteúdos de Eletroquímica segundo Sanjuan *et al.* (2009).

Quadro 4: Qual metal tende à oxidação? Ele se comporta como cátodo ou ânodo?

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Incorpora	83	Zinco, ânodo (Ribeiro).
Tangencia	11	Zinco, cátodo (Lilo).
Distancia	6	Cobre, ele se comporta como cátodo (Gogman).

No depoimento de Lilo, ele acerta o tipo de metal, mas erra ao interpretar que o metal é o ânodo da pilha, o que tem maior tendência a doar elétrons. No depoimento de Gogman, ele se distancia da resposta correta.

No Quadro 5 encontra-se o resultado da questão 2, letra "d". Observa-se neste quadro que 72% das respostas incorporam e 28% se distanciam o conceito. Diante dessas porcentagens, conclui-se que a maioria dos alunos consegue perceber o sentido de migração dos elétrons, quando eles migram do polo negativo (ânodo) para o positivo (cátodo), como observamos no depoimento de Panda.

Quadro 5: Os elétrons migram do cobre para o zinco? Justifique sua resposta

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Incorpora	72	Não, do zinco para o cobre, pois o cobre reduz e o zin- co oxida (Panda).
Distancia	28	Sim, pois o cobre tende a ter maior potencial para doar elétrons (Jessy).

Nota-se que a maioria dos alunos tem entendimento dos fenômenos de oxidação e redução para, então, compreender o sentido de migração dos elétrons. Processos estes que ocorrem simultaneamente, chamados de oxirredução. Por outro lado, uma boa parte da turma (28%) demonstrou dificuldade para identificar o cátodo e o ânodo na célula eletroquímica, como descrito no depoimento equivocado de Jessy.

No Quadro 6 encontra-se o resultado da questão 2, letra "e", na qual se quis saber dos alunos porque são ligados os eletrodos em mais de dois pares de meia batata. Diante dos percentuais podemos perceber que a turma ficou dividida quanto à resposta. Cerca de 30% dos alunos acertaram a resposta, afirmando que, quanto mais batatas forem usadas intercaladamente, maior será a corrente elétrica produzida, como afirmado nos depoimentos.

Quadro 6: Por que são ligados os eletrodos em mais de dois pares de meia batata?

Respostas	Percentuais (%)	Depoimentos
Incorpora	33	Para aumentar a voltagem da pilha (Ana).
Tangencia	39	Para aumentar a durabilida- de da pilha (Beraca).
Distancia	28	Deve ser o tamanho ideal para equilibrar (Jessy).

Os resultados do questionário investigativo mostraram que os estudantes, em sua maioria, conseguem identificar o ânodo e o cátodo. Estes resultados confirmam, em parte, a solução da questão investigativa. Por outro lado, poucos entendem o funcionamento de uma bateria de batata e a migração de elétrons. Desta forma, torna-se relevante a realização de uma abordagem experimental em baterias de pilhas de batata e limão (Silva *et al.*, 2014). Para tal, os estudantes foram divididos em grupos e utilizaram materiais de baixo custo como pregos zincados, batata, limão, fios de cobre, moedas de cinco centavos de liga de cobre, garras, LED de 1,5 V, entre outros.

O mecanismo de geração de eletricidade na pilha de batata (Zn/Cu) é semelhante ao da pilha de limão, sendo o polo negativo, o eletrodo de zinco, onde ocorre a sua oxidação conforme a semi-reação 1 e o polo positivo, o eletrodo de cobre, onde em sua superfície ocorre a semi-reação 2. Golberg *et al.* (2010) descrevem a reação que ocorre no prego zincado como a oxidação do zinco, conforme equação 1:

$$\mathrm{Zn}_{\mathrm{(s)}}$$
 $ightarrow$ $\mathrm{Zn^{2+}}_{\mathrm{(aq)}}$ + 2e $^{-}$ E 0 = +0,76 V (polo negativo) (1)

Segundo Ting e Attaway (1971), a acidez do limão é devida à ionização do ácido cítrico em meio aquoso, dos três hidrogênios de cada grupo carboxílico (–COOH) presentes na substância. Por outro lado, na batata o ácido ascórbico (vitamina C) está presente entre 10 a 30 mg para 100 g do tubérculo, segundo Quadros *et al.* (2009). Os íons H⁺_(aq) na

pilha, oriundos da dissociação de cada um destes ácidos orgânicos fracos, sofrerá redução na superfície da moeda de cobre, com geração de gás hidrogênio, conforme Figura 1.

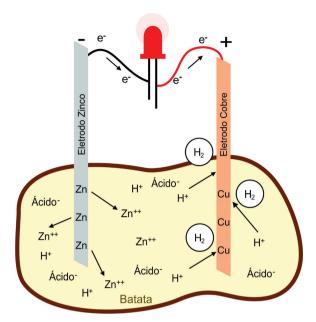


Figura 1: Esquema da pilha de batata de Zn/Cu. Fonte: Sciencebuddies.org

A reação 2 será tanto mais intensa quanto menor for o valor do pH do meio por uma maior dissociação, através da seguinte reação, conforme descrito em Golberg *et al.* (2010):

$$2H^{\scriptscriptstyle +}_{\;\; (aq)} + 2e^{\scriptscriptstyle -} \rightarrow H_{2(g)} \quad E^{\scriptscriptstyle 0} = 0 \; V \quad \text{(polo positivo)} \eqno(2)$$

A força eletromotriz desta pilha é a diferença entre os valores das tensões de redução das semi-reações de eletrodos do catodo e do ânodo, conforme descrito em Golberg *et al.* (2010). A reação global será

$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} \quad E^{0} = 0.76 \text{ V}$$
 (3)

A fem da pilha investigada dependeu do formato da célula eletroquímica. No primeiro formato, os eletrodos estavam mais próximos e foram colocados em meia batata e apresentaram diferença de potencial em torno de 0,88 V. No segundo formato, os eletrodos estavam mais distantes, foram colocados em uma batata inteira e apresentaram diferença de potencial em torno de 0,65 V. Porém, Silva *et al.* (2014) encontraram valores de 0,94 ± 0,01 V para uma pilha de batata inteira. A existência de resistência interna entre os eletrodos limita a corrente elétrica causando a queda de potencial conforme a lei de Ohm. Além disso, a limpeza da superfície dos eletrodos e reações paralelas influenciam na quantidade de sítios eletroativos e, portanto, no potencial e na eficiência da pilha.

A concentração dos íons H⁺_(aq) nos limões e nas batatas não corresponde à concentração de 1 M. Desta forma, estão fora das condições padrão (25 °C, 1 atm e 1 M). Porém, servem para mostrar que a reação acontece espontaneamente,

porque o valor de E⁰ da reação global é positivo. Infelizmente, o balanço de cargas oferecido pela ponte salina, eletroneutralidade, tende a ter um período de tempo para uso. Quando a eletroneutralidade é perdida, ocorre a tendência na superfície do cobre de excesso de elétrons e, na superfície do zinco, de excesso de íons Zn²⁺. Assim, a pilha para de funcionar. Nestas condições, não acenderá sequer um único diodo de 1,5 V.

Se associarmos 3 pilhas em série será fornecido ao diodo um potencial que o acenderá. A associação em série, por outro lado, pode ser construída de forma que o polo positivo de uma se ligue ao polo negativo da outra e os polos da extremidade estejam livres para se conectarem ao circuito em associação em série, conforme Figura 2, descrito em Bocchi *et al.* (2000). Assim, quando se associam pilhas podemos prolongar o tempo de utilização.

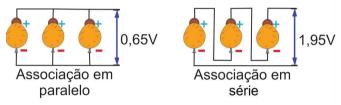


Figura 2: Bateria de batata com pilhas em série e em paralelo.

Portanto, a abordagem pode ser cogitada em sala de aula com a análise de um circuito em associações de pilhas de batatas em série em comparação ao circuito em associações de pilhas de batata dispostas paralelamente. Estas associações formam o que denominamos de baterias. Elas possuem características distintas. Na associação em série temos uma ligação entre as baterias que gera uma soma de potenciais, e na associação em paralelo as pilhas conectadas produzem potencial constante. Nesta última, duas pilhas são conectadas de forma que o polo positivo de uma se ligue ao polo positivo da outra, e o mesmo acontece com os polos negativos.

Foi escolhido, no processo formativo, uma das produções textuais (Figura 3) porque o aluno percebeu o cerne da proposta pedagógica.

No último parágrafo da produção textual o aluno diz que a bateria de batata pode ser uma fonte econômica e sustentável de energia. Golberg et al. (2010) desenvolveram uma fonte de energia de baterias de batata de Zn/Cu para melhorar a qualidade de vida de pessoas sem rede elétrica. Eles descobriram que se romperem as membranas que existem em volta dos tecidos presentes na batata a capacidade de ela produzir eletricidade aumenta dez vezes. Esse resultado é conseguido simplesmente cozinhando as batatas. Os autores argumentam que pode ser uma solução imediata, ambientalmente amigável e barata para muitas das baixas necessidades de energia em áreas do mundo que não têm acesso à eletricidade e infraestrutura. Desta forma, há uma possibilidade de experimentação sustentável e investigativa nas aulas de Eletroquímica com aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos.

As categorizações e as subcategorias da ATD estão apresentadas no Quadro 7.

A ATD indicou 3 categorizações convergentes de visão de ciência, a saber, conceitos em Eletroquímica, princípios de metodologia ativa e experimentação investigativa. Estas categorias são interdependentes. Nota-se na primeira categoria várias subcategorias, todas elas estão apontando conhecimentos básicos de Eletroquímica. A segunda categoria, princípios de metodologia ativa, evidencia como subcategorias a investigação e o trabalho colaborativo, vitais para uma aprendizagem diferenciada no aluno. Por fim, na última categoria, experimentação investigativa, os alunos exploram o processo de aprendizagem por interação, destacando-o como algo inovador.

A aprendizagem do aluno nesta investigação, portanto, acontece de forma ativa descrita em Berbel (2011), colaborativa, descrita em Torres e Irala (2014), e interativa, descrita em Mello e Teixeira (2012), segundo exposto na Figura 4.

O aluno torna-se o sujeito ativo no processo de aprendizagem pelo desenvolvimento/aprimoramento de sua autonomia, segundo Berbel (2011). Sendo um ser social, ele também tem a oportunidade de aprender pela discussão

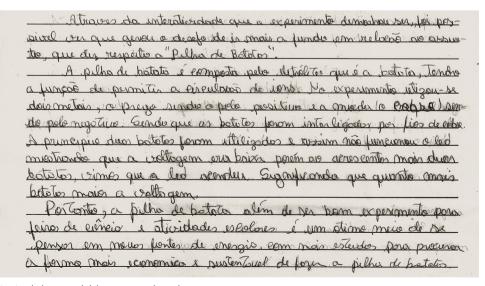


Figura 3: Produção textual desenvolvida por um dos alunos.

Quadro 7: Categorização das produções textuais

Categoria	Subcategoria	Exemplos de unidade
Conceitos em Eletroquímica	Pilha	"o fluxo de elétrons gera energia" "transforma energia química em energia elétrica"
	Cátodo	"cobre age como agente oxidante" "o cobre seria o cátodo"
	Ânodo	"o zinco é o polo negativo" "zinco age como agente redutor" "o clipe sofre oxidação"
	Migração de elétrons	"elétrons migram do anodo para o cátodo" "elétrons saem do polo negativo para o positivo"
	Eletrólito	"a batata é o meio líquido condutor" "solução eletrolítica"
	Pilhas ligadas em série	"usar 3 pilhas de batata para aumentar a voltagem" "a voltagem obtida foi de 1,90 v"
Princípios de Metodologia Ativa	Investigação	"descobrimos as propriedades que antes apenas víamos na teoria, como por exemplo, a diferença de potencial (ddp) de um polo para outro"
	Trabalho colaborativo	"esta atividade fez que os alunos aprendessem a trabalhar em grupo"
Experimentação Investigativa	Interatividade	"Através da interatividade que o experimento demonstrou ser, foi possível ver que gerou o desejo de ir mais a fundo em relação ao assunto" "existem formas inovadoras para o aprendizado, podendo assim auxiliar para aqueles que possuem maiores dificuldades"



Figura 4: Inter-relação entre as características ativa, colaborativa e interativa na aprendizagem. Fonte: imagem adaptada de Van Krevelen (1990).

em grupo os aspectos colaborativos de uma aprendizagem. No que diz respeito à interatividade, a aprendizagem se estabelece com pessoas e não precisa de tecnologia para acontecer. Porém, não podemos negar que as tecnologias de rede fazem parte do cotidiano das pessoas. A Internet é um espaço que virtualiza o encontro com o "outro" social, o que antes só era possível presencialmente, de acordo com Mello e Teixeira (2012).

As inter-relações entre estas características também devem ser consideradas. Elas promovem um processo sinérgico de aprendizagem por unir o melhor entre um estudo

apenas individual, apenas colaborativo e, por fim, somente interativo. Destacam-se, neste artigo, quatro possibilidades de o ser humano transformar informação em conhecimento, a partir de inter-relações dos tipos: 1) interativo-ativo; 2) ativo-colaborativo; 3) colaborativo-interativo; e, finalmente, 4) ativo-colaborativo-interativo.

Na primeira inter-relação, interativo-ativo, o aluno aprende a ter autonomia na atividade investigativa, utilizando os meios possíveis para aprendizagem, como por exemplo, as mídias e livro didático digital. Estas ferramentas podem facilitar o processo de construção do conhecimento porque o aluno desenvolve um perfil investigativo, aprende a estudar sozinho e ele começa a demonstrar o senso crítico para tornar-se hiper-interativo. Para tal, o professor deve estabelecer normas claras desta hiper-interatividade dentro de um padrão de normalidade que cause estruturação e não a desorganização do ambiente de aprendizagem e no próprio aluno.

O segundo deles é a inter-relação que forma no educando um perfil ativo-colaborativo. O aluno estuda o conteúdo, tanto individual quanto coletivamente. É da particularidade intrínseca de um estudante a natureza ativa no processo de construção de seu aprendizado e, como ser social, desenvolve o processo educativo por meio das interações interpessoais, o que está muito ligado às ideias de Vygotsky acerca do homem como ser essencialmente social. O trabalho colaborativo permite a troca de conhecimento entre os alunos nos grupos, desenvolvendo assim pela vivência coletiva, sua identidade.

O terceiro e não menos importante é a interação colaborativa e interativa. De acordo com Mello e Teixeira (2012), o encontro virtual pode propiciar uma aprendizagem colaborativa pela possibilidade de ampliar o tempo de troca de informações, experiências e discussões, haja vista que possa acontecer a qualquer hora e lugar. Não só entre os componentes do grupo, como também entre outras pessoas interessadas que estejam em qualquer lugar do planeta, sem que haja qualquer tipo de diferenciação por raça, gênero ou classe sociocultural.

Por fim, a quarta característica surge na inter-relação entre os perfis de aluno ativo-colaborativo-interativo. Ela resulta no desenvolvimento de hiper-interatividade, ou seja, não se limita somente a uma interação. Em todos estes momentos o professor media o conhecimento, mostrando também as regras e os caminhos para a aprendizagem nos alunos, motivando a amizade nos grupos e entre os grupos, e não a competição. Estas características são essenciais à formação de um cidadão crítico, frente a questões relacionadas ao tema, capaz de tomar decisões e mudar conceitos e comportamentos. Segundo Silva (2000), a sala de aula tradicionalista pode se transformar em comunicacionalista, no que se refere ao novo modelo de interação educacional.

Segundo Azevedo (2006), uma atividade de investigação, para que assim possa ser considerada, deve levar o aluno a refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas se limitar a favorecer a manipulação de objetos e a observação dos fenômenos. A experimentação investigativa, portanto, associada ao uso das tecnologias, configura-se como um método útil para que os alunos consolidem conceitos e reflitam sobre suas concepções numa característica ativa, colaborativa e interativa. Nesta perspectiva, a Educação precisa ampliar a sua competência no processo de aprendizagem na era digital, ensinando aos alunos como transformar informação em conhecimento num processo pedagógico hibrido, pois os mesmos não diferenciam sites confiáveis de outros com informações dúbias. Quando se fala no termo Educação retrata-se a todas as áreas do conhecimento. Caso contrário,

os alunos reproduzirão conceitos errados e o pior, não refletirão sobre a verdade nas mídias.

Considerações Finais

Os resultados desta pesquisa comprovaram que os educandos, sendo desafiados, motivam-se a buscar respostas nas mídias. Por outro lado, é o comprometimento do professor em ser um mediador na aprendizagem que mostrará os caminhos em transformar informação em conhecimento, na cultura digital. Pode-se afirmar que os estudantes, ao realizarem a experimentação investigativa de baterias biodegradáveis de Zn/Cu, com aspectos colaborativos e de hiper-interatividade, desenvolveram habilidades e competências para a compreensão de conceitos envolvidos na Eletroquímica. Os alunos desenvolveram, ainda, características de estudantes ativos, colaborativos e interativos, com uma visão ampla do todo através de conceitos mediados e consolidados num ambiente hibrido. As inter-relações entre estas características formam um efeito sinergético que potencializa a aprendizagem do alunado. Isto ficou evidenciado nas categorizações descritas na ATD.

Tâmara Natasha Prudente Santos (tamaraa.natashaa.tn@gmail.com) é licenciada em Química pela Faculdade Pio Décimo. Aracaju, SE - BR. Carlos Henrique Batista (chenriqueb@ig.com.br), licenciado em Química pela Universidade Federal de Sergipe (2001), possui especialização em Química pela Universidade Federal de Lavras (2003) e mestrado em Engenharia de Processos pela Universidade Tiradentes (2008). Atualmente é professor do Governo do Estado de Sergipe em Nossa Senhora da Glória. Aracaju, SE - BR. Ana Paula Cavalcante de Oliveira (ap72cavalcante@yahoo.com.br) possui graduação em Química Industrial (1995), licenciatura em Química (2000) e mestrado em Química (2007) pela Universidade Federal de Sergipe. Atualmente é professora de Química do Instituto Federal de Sergipe – Campus Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora da Glória, SE – BR. Maria Clara Pinto Cruz (clara_aju@yahoo.com.br) é graduada em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe (1995), licenciada em Química pela Faculdade Pio Décimo (2010), mestra em Química (1999) e doutora em Engenharia Química, ambos pela Unicamp (2004). Atualmente é professora no curso de Licenciatura em Química da Faculdade Pio Décimo e pesquisadora no Instituto de Pesquisa Interinstitucional de Sergipe (IPISE). Aracaju, SE – BR.

Referências

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de ciências:* unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira, 2006.

BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, v. 32, p. 25-40, 2011.

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

BROWN, T.; LEMAY, H. E. e BURSTEN, B. E. *Química:* a ciência central. 9ª ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

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

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. e OLIVEIRA, R. C. Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. *Química Nova na Escola*, v. 32, p. 101-106, 2010.

GOLBERG, A.; RABINOWITCH, H. D. e RUBINSKY, B. Zn/Cu-vegetative batteries, bioelectrical characterizations, and primary cost analyses. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2, v. 2, 033103, 2010.

HIOKA, N.; SANTIN FILHO, O.; MENEZES, A. J.; YONEHARA, F. S.; BERGAMASKI, K. e PEREIRA, R. V. Pilhas de Cu/Mg construídas com materiais de fácil obtenção. *Química Nova na Escola*, n. 11, p. 40-44, 2000.

MELLO, E. F. F. e TEIXEIRA, A. C. A interação social descrita por Vygotsky e a sua possível ligação com a aprendizagem colaborativa através das tecnologias de rede. In: Anais da IX ANPED SUL. Caxias do Sul, RS, p.1362-1365, 2012.

MORAES, R. e GALIAZZI, M. C. *Análise textual discursiva*. 2ª ed. Ijuí: Unijuí, 2011.

OGUDE, N. A. e BRADLEY J. D. Electrode processes and aspects relating to cell EMF, current, and cell components in operating electrochemical cells. *Journal of Chemical Education*, v. 73, p. 1145-1149, 1996.

PERRENOUD, P. Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens: entre duas lógicas. Porto Alegre: Artmed, 1999. POZO, J. I. (Org.). A solução de problemas. Porto Alegre: Artmed, 1998.

QUADROS, D. A.; JUNG, M. C.; FERREIRA, S. M. R. e FREITAS, R. J. S. Composição química de tubérculos de batata para processamento, cultivados sob diferentes doses e fontes de potássio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 29, p. 316-323, 2009.

SANJUAN, M. E. C.; SANTOS, C. V.; MAIA, J. O.; SILVA, A. F. A. e WARTHA, E. J. Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola*, n. 31, p. 190-197, 2009.

SANTANA, E. e SILVA, E. (Orgs.). *Tópicos em ensino de química*. São Carlos: Pedro & João Editores, 2014.

SILVA, M. Sala de aula interativa. Rio de Janeiro: Quartet, 2000.

SILVA, R. M.; SILVA, R. C.; ALMEIDA, M. G. O. e AQUINO, K. A. S. Conexões entre cinética e eletroquímica: a experimentação na perspectiva de uma aprendizagem significativa. *Química Nova na Escola*, n. 36, p. 237-243, 2016.

_____; ______ e _____. Estudo da eletroquímica a partir de pilhas naturais: uma análise de mapas conceituais. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review, v. 4, n. 2, p. 45-56, 2014.

SUART, R. C. e MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de Química. *Ciências & Cognição*, v. 14, p. 50-74, 2009.

TAHA, M. S., LOPES, C. S. C.; SOARES, E. L. e FOLMER, V. Experimentação como ferramenta pedagógica para o ensino de ciências. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 11, p. 138-154, 2016.

TING, S. V. e ATTAWAY, J. A. Citrus fruits. In: HULME, A. C. (Ed.). *The biochemistry of fruit and their products*. London: Academic Press, v. 2, cap. 3, p. 107-169, 1971.

TORRES, P. L. e IRALA, E. A. F. Aprendizagem colaborativa: teoria e prática. In: TORRES, P. L. (Org.). *Complexidade*: redes e conexões na produção do conhecimento. Curitiba: Senar, p.61-93, 2014.

VAN KREVELEN, D. W. *Properties of polymers:* their correlation with chemical structure; their numeral estimation and prediction from additive group contributions. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990.

Abstract: Active-Collaborative-Interactive Learning: Interrelations and Investigative Experimentation in Teaching Electrochemistry. Electrochemistry is a challenging content for teaching chemistry. In the context of a world in which Information and Communication Technology predominates, students should and can actively develop skills and competences to face this challenge. The present research aims at exposing an investigative experimental methodology, using low cost materials and non-toxic materials, such as lemons and potatoes, in such a way that students experiment with the construction of biochemical cells. The experimentation addressed is well grounded in the literature; the differential is that the methodology proposed involves a challenging didactic approach for native digital students. The students of the Technical Course in Chemistry of the Federal Institute of Sergipe could understand why a set of cells lights a 1.5 V diode, under the supervision of the teacher. The discourses written by the students were analyzed using the Discursive Textual Analysis (DTA). The interrelationships between active, collaborative and interactive student characteristics potentialize student learning by developing a synergistic effect on knowledge construction. **Keywords:** electrochemistry, experimentation, homemade cells