

Células Solares: Uma Abordagem Experimental no Ensino de Estrutura Atômica e Ligações Químicas.

Wesley F. Vaz¹ (PQ)*, Gildiberto M. de Oliveira¹ (PQ), Ricardo A. F. de Matos¹ (PQ), Elton F. de S. Lima¹ (IC), Marciel G. dos Santos¹ (IC). wesleyfvaz@gmail.com

¹Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí.

Palavras-Chave: efeito fotovoltaico, célula solar, estrutura atômica.

RESUMO: A realização de atividades experimentais contextualizadas no cotidiano do aluno pode ser uma ferramenta eficaz para despertar o interesse dos alunos e facilitar a aprendizagem de conteúdos de Química. Nesse sentido, este trabalho visou à montagem de uma célula solar caseira, utilizando-a como tema gerador para as discussões de fontes de energia renováveis, energia solar e seus impactos ambientais, como também proporcionar a compreensão dos conceitos de estrutura atômica e a sua relação com as teorias de ligação química e propriedades físicas e químicas dos materiais. A atividade foi realizada em uma Escola da Rede Estadual de Jataí-GO. O método envolveu diálogo com os alunos sobre fontes de energia; construção da célula solar; realização de testes e discussão dos conceitos químicos abordados. Os resultados mostram que a prática experimental realizada se mostrou uma ferramenta alternativa de auxílio para facilitar a compreensão dos conceitos de estrutura atômica e ligações químicas.

INTRODUÇÃO

Os problemas encontrados em situações reais do cotidiano geralmente não são passíveis de serem abordados a partir de uma visão unilateral, o estudo das mesmas deve proporcionar a articulação de várias áreas do conhecimento. Conforme propõem Chassot (2008), é necessário buscar uma abordagem mais ampla transgredindo, assim, as fronteiras das disciplinas que formam a ciência.

Nesse sentido, a Química deve ser ensinada a partir de uma temática que releve os aspectos sócio-culturais, ambientais e econômicos no qual a mesma se insere expondo-a como construção humana, instrumento de interpretação da realidade. Segundo Maldaner (1999),

Não se trata de negar a possibilidade de aprender o conteúdo específico de Química, o fazer químico, a capacidade técnica de fazer a ciência química avançar. Porém aprender Química é muito mais do que isto. É compreender a química como ciência que recria a natureza, modifica-a e, com isso, o próprio homem. (p. 290).

Para desenvolver essas capacidades nos alunos é necessário que os mesmos estejam interessados e se sintam motivados a aprender. O conteúdo deve fazer sentido para o aluno, e ele deve participar ativamente da aula, havendo espaço para que possa expor seus conhecimentos, dúvidas e interpretações, fugindo do tradicional modelo de ensino transmissão-recepção que ignora o conhecimento prévio dos alunos.

A experimentação funciona como uma ferramenta para despertar o interesse dos alunos nos mais variados níveis de escolarização devido ao seu caráter motivador e lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos (GIORDAN, 1999). É com esse ponto de vista que se compreende a prática experimental como parte importante do processo ensino-aprendizagem de ciências, pois se acredita que a experimentação contextualizada possa ser uma alternativa para atrair a atenção dos estudantes, por

tornar mais significativa a aprendizagem de conceitos abstratos existentes na química, por meio do estudo de uma problemática existente na vida dos mesmos.

Ao fazer um experimento, o aluno deve buscar no conhecimento em ciência as respostas aos resultados obtidos. Porém, cabe ao professor intervir para que os conceitos de química sejam utilizados corretamente, e de forma a não criar nos alunos uma perspectiva distorcida da ciência e do saber científico.

Contudo, a realização de uma prática experimental não necessariamente denota indicar uma teoria como verdadeira ou falsa, mas sim contribuir para a problematização de conceitos que se deseja ensinar. É fundamental levar esse posicionamento às aulas experimentais capacitando os estudantes a romperem com o paradigma da visão dogmática de ciência (HODSON, 1982).

Nesse ínterim, na busca pela redução dos impactos ambientais causados pelas tradicionais fontes de combustíveis fósseis, as energias renováveis aparecem não somente como solução para complementar as energias convencionais, mas para também responder de forma ecologicamente correta às demandas de populações mais distantes sem acesso à energia. A atual realidade do consumo de energia mundial apresenta uma necessidade cada vez maior de utilização de fontes renováveis de energia (BRASIL, 2008).

O crescente interesse da sociedade por questões ligadas à proteção do meio ambiente, da preservação dos recursos energéticos e da procura de fontes menos poluentes, tem levado a uma crescente utilização da energia solar como fonte alternativa de energia. A energia solar pode ser convertida em energia elétrica, tão vital para o funcionamento de equipamentos essenciais na vida contemporânea, por meio de um equipamento denominado célula fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos são cada vez mais comuns em nosso cotidiano e são empregados como fonte de energia para equipamentos eletroeletrônicos, tais como as calculadoras eletrônicas, relógios de pulso, satélites de comunicações, sistemas de telecomunicações, sistemas de bombeamento de água, sistemas de iluminação, dispositivos sensores, sistemas de segurança e vigilância remota etc. (FALCÃO, 2005; GOMES, 2009; NIEDHARDT, 2009; PINHEIRO, 2010).

As células fotovoltaicas são construídas a partir de substâncias semicondutoras. Os semicondutores são sólidos cristalinos de condutividade intermediária entre condutores e isolantes. Em escala comercial, a maioria destes é fabricada de silício, devido a três fatores principais: baixa toxicidade, elevada abundância, possuir uma tecnologia consolidada devida sua ampla utilização na indústria da microeletrônica (LEE, 1999; PEIXOTO, 2001; BRASIL, 2008).

Uma célula solar à base do semicondutor silício pode ser montada a partir da utilização de transistores de potência 2N3055 (dispositivo utilizado em alto-falantes), uma vez que estes possuem uma pequena placa de silício dopado em seu interior com dimensões razoáveis para este fim (SILVA *et. al*, 2004). O entendimento do funcionamento de uma célula solar envolve fundamentalmente conhecimentos em química e física, além disso, este tema permite inter-relacionar questões econômicas e sócio-ambientais, viabilidade geográfica e sua importância como fonte de energia renovável no Brasil e no Mundo.

Portanto as células solares, como fonte alternativa de energia são uma temática que pode ser utilizada como tema gerador interdisciplinar para o ensino de Química. A importância de se trabalhar os conteúdos estruturas atômicas e ligações químicas reside no fato de que a natureza da ligação química é revelada a partir da estrutura eletrônica dos átomos, ela determina muitas das propriedades macroscópicas das substâncias.

Assim, o propósito deste trabalho foi utilizar a montagem de uma célula solar caseira como tema gerador, facilitador no processo de ensino-aprendizagem, na explicação de estrutura atômica e a sua relação com as teorias de ligação química, estando estas relacionadas às propriedades físicas e químicas dos materiais.

MÉTODO

A proposta de experimentação foi aplicada numa turma de Ensino Médio de uma escola da Rede Estadual de Ensino, na cidade de Jataí-GO. Os executores da pesquisa optaram por assumir o papel de observadores participantes e as atividades foram realizadas durante três aulas de 50 min cada. Para a coleta de dados foi realizada por meio de questionário; gravações de áudio e vídeos e anotações no diário de campo durante as atividades realizadas pelos autores.

Para compreensão dos elementos coletados, responder as questões estabelecidas e ampliar o conhecimento sobre o assunto pesquisado, é que utilizaremos uma abordagem qualitativo-quantitativa conforme a análise de conteúdo, de Bardin. A análise de conteúdo, segundo a definição de Bardin (1977), é “um conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais sutis em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a discursos”. Esse método se aplica ao discurso, ou seja, a tudo que transmite uma mensagem. Assim, pode ser aplicado em aulas dialogadas, debates, imagens, enfim, qualquer forma de comunicação, seja verbal ou não-verbal.

Foi proposta na primeira aula a fabricação de uma célula solar caseira. Para isto, os alunos foram divididos em grupos de quatro pessoas, de forma que cada grupo montasse uma célula solar. As células solares foram expostas ao Sol para se verificar seu funcionamento por meio de um multímetro (medida da diferença de potencial gerada). Também, utilizou-se a corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica para reduzir íons prata (I) de uma solução previamente preparada, formado assim uma camada de prata sobre um eletrodo de carbono em uma célula eletrolítica.

O transistor de potência 2N3055 utilizado é constituído por uma carcaça metálica externa e internamente contém dois terminais de semicondutor de silício (pastilha de silício). Para a montagem da célula fotovoltaica, primeiramente é necessária a retirada da superfície do invólucro de metal, que nada mais é que uma blindagem externa usada para dissipar calor, expondo a pastilha de silício e os contatos eletrônicos (Figuras 1 e 2).



Figura 1: Transistor com invólucro metálico

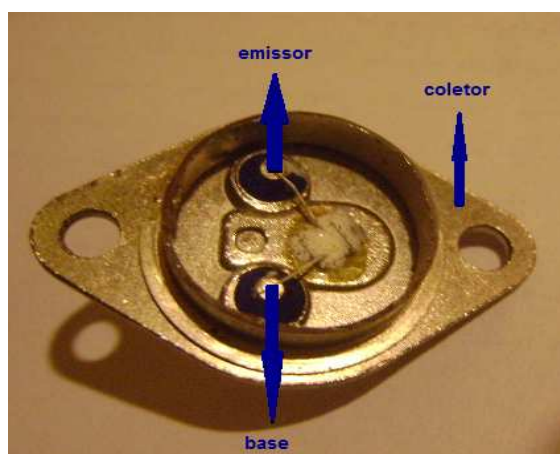


Figura 2: Visão interna do transistor

Após a retirada do invólucro, é necessário testar, através de um voltímetro, todos os componentes a serem utilizados para encontrar onde acontece a condução de energia.

Os transistores foram então fixados em uma capa de caderno através de furos realizados com uma tesoura de ponta fina (Figura 3). A fixação tem finalidade de facilitar a exposição simultânea de todas as superfícies semicondutora de silício ao sol, no melhor ângulo possível. Deve-se utilizar um conjunto de oito transistores para obter uma maior corrente elétrica e diferença de potencial.



Figura 3: Transistores fixados em uma capa de caderno.

O próximo passo foi efetuar as ligações elétricas. Para isto montou-se um circuito elétrico simples, dividindo os oito transistores em dois grupos de quatro. Cada grupo de quatro foi ligado em série (para aumentar a voltagem), como pode ser visualizado na Figura 4.

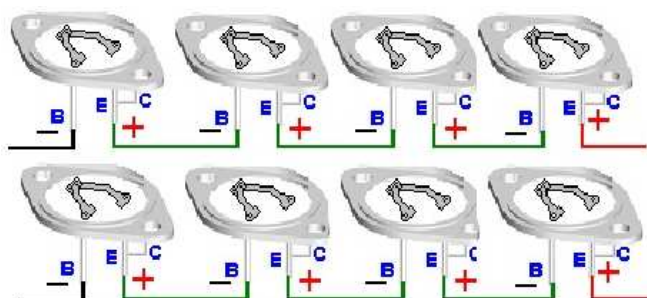


Figura 4: Transistores ligados em série

Posteriormente, os dois circuitos contendo cada um quatro transistores ligados em série, foram ligados em paralelo, para aumentar a corrente, formando o circuito demonstrado na Figura 5.

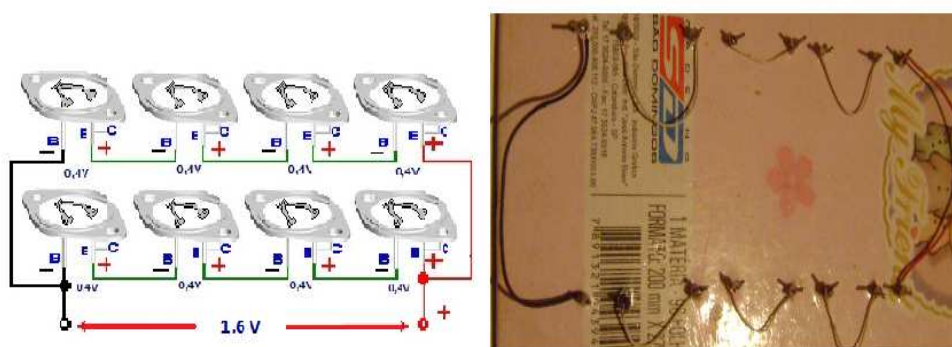


Figura 5: Ligação em paralelo entre dois grupos contendo cada um quatro transistores em série

Para testar a célula fotovoltaica foi conectado um multímetro aos terminais do circuito e medida a diferença de potencial (V) e corrente elétrica (i).

Em uma última etapa do procedimento efetuou-se a conexão da célula fotovoltaica a um sistema para eletrólise de uma solução de nitrato de prata. A célula eletrolítica (Figura 6a) foi montada utilizando-se um tubo de ensaio e uma borracha de látex (tipo escolar) como tampa, contendo dois furos para inserção dos eletrodos de grafite (grafite de lapiseira 1.6). Os furos na tampa de borracha foram feitos com uma agulha. Uma alternativa a utilização do tubo é usar um pequeno pote com tampa. Nesse caso é necessário apenas esquentar a agulha para abrir dois furos na tampa do frasco com dimensões suficientes para que se possam inserir os eletrodos de grafite. A Figura 6b representa a conexão da célula solar ao sistema para eletrólise da solução de nitrato de prata.

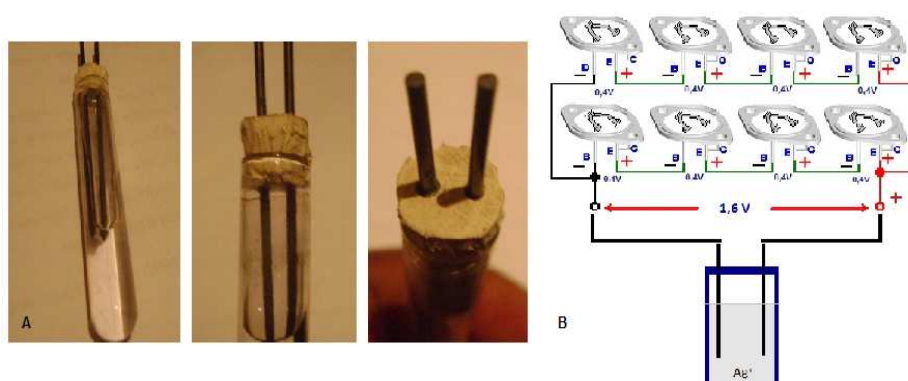


Figura 6: (a) Sistema para eletrólise de uma solução de nitrato de prata e (b) célula solar conectada ao sistema de eletrólise

Vale ressaltar, que o conteúdo em nível fenomenológico, que representa os fenômenos de interesse da química sejam eles diretamente concretos e visíveis ou não, foi abordado através da verificação da voltagem da célula fotovoltaica com o multímetro e por meio da reação de redução de íons prata (I) sobre carbono. O nível teórico, que representa as informações de natureza atômico-molecular, foi abordado a partir da explicação de como se forma a corrente elétrica e a diferença de potencial por meio do modelo de Rutherford-Bohr e por meio da explicação das teorias de ligação química.

A visão representacional, que compreende informações referentes a linguagem química como fórmulas, equações e representação de modelos, foi realizada seguindo a ordem de discussão: estrutura atômica do silício; estabilidade dos elementos quando atingem configuração de gases nobres; formação de ligações químicas (covalente, iônica e metálica); tipos de ligações químicas presentes nos componentes da célula fotovoltaica e suas características; semicondutores e suas propriedades; efeito fotovoltaico; voltagem e geração de corrente elétrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado através de breve questionamento que os alunos tinham conhecimento da aplicabilidade das células solares, porém não sabiam como é o funcionamento das mesmas. Com isso, propôs-se a montagem de uma célula solar, utilizando-se transistores de potencia de alto-falantes. Os alunos mostraram-se

entusiasmados com relação à realização do experimento, o que contribui para discussão dos tópicos de física e química relacionados ao tema.

Durante a montagem da célula solar os alunos fizeram questionamentos, tais como sobre a necessidade de se usar mais de um transistor. Este foi explicado, expondo-se que um transistor isolado gera corrente elétrica e diferença de potencial elétrico baixos, sendo necessária a conexão dos transistores em série e paralelo, para aumentar a diferença de potencial e corrente elétrica, respectivamente. Duas células foram montadas conforme proposto no procedimento experimental e ambas geraram uma tensão média de aproximadamente 1,5 V, valor condizente com o esperado uma vez que cada transistor utilizado gera aproximadamente 0,4 V.

Durante a determinação da voltagem gerada pela célula, foi questionado aos alunos se eles tinham ideia de como uma célula solar gera energia elétrica. Nenhum aluno se manifestou para explicar completamente o fenômeno, porém sabiam que este dispositivo utilizava a luz solar para gerar energia, evidenciando o quanto o tema é atual na vida deles. Dentre as respostas obtidas, podemos citar:

“Célula solar converte energia solar em elétrica.”

“A luz solar transforma em energia elétrica na célula.”

Segundo Hodson, permitir que os alunos exponham suas ideias a respeito dos fenômenos estudados no trabalho experimental incita a ampliação de suas capacidades conceituais, levando os estudantes a explorar, elaborar e supervisionar suas ideias, confrontando-as com a ideia científica, somente desta forma as aulas práticas de ciências terão papel importante no desenvolvimento cognitivo (HODSON, 1994). Portanto, permitir que os estudantes pudessem manifestar seu conhecimento prévio sobre assunto, para depois confrontar com a teoria, é uma maneira de possibilitar que os alunos desenvolvam a capacidade de relacionar dados empíricos com referencial teórico.

Para mostrar que realmente a célula fotovoltaica funcionava, ela foi utilizada para gerar corrente elétrica para reduzir íons prata (I) de uma solução aquosa, formando prata metálica sobre um eletrodo de carbono (grafite de lapiseira). Ademais, foi observada a dimensão psicológica da experimentação no contexto social, ao induzir os alunos a formarem grupos para montarem a célula, proporcionando a oportunidade dos mesmos aprenderem a cooperar entre si para atingir determinado objetivo. Para Giordan (1999), experimentos que são estruturados em uma problemática socialmente relevante, levam os alunos a aprenderem a trabalhar em equipe e a conviver em sociedade, cria o espírito cooperativo, aprendem a argumentar e contestar e a respeitar as diferenças. Os conteúdos científicos abordados dessa forma ganham uma dimensão social fundamental para formação da cidadania.

A prática realizada se mostrou produtiva no sentido de despertar o interesse dos alunos para entenderem os conceitos em química envolvidos na interpretação do funcionamento de uma célula fotovoltaica. Pois, os alunos demonstraram interesse pela investigação do funcionamento da célula solar e manifestaram habilidades cognitivas. Essas habilidades foram observadas na elaboração de hipóteses para explicação dos fenômenos envolvidos na transformação de energia que ocorre na célula.

Abaixo estão transcritas algumas falas dos alunos que evidência o interesse e a aprendizagem dos mesmos com relação a aprendizagem dos conceitos de condução elétrica.

“A luz solar arranca elétrons deixando uma região com carga positiva isso provoca o movimento de elétrons na célula para região de carga positiva gerando corrente elétrica”

“a capacidade do material permitir o deslocamento de elétrons em um material é o que permite a passagem de corrente elétrica”

Além disso, teve aluno que associou a experiência aplicada com outros fatos ocorridos no seu cotidiano:

“Ah! Então e assim que funcionam aquelas placas que a gente vê em cima das casas, que usam para carregar baterias.”

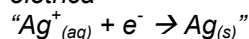
Ao final foi aplicado o questionário para analisar a aprendizagem dos alunos. As respostas às questões foram comparadas às respostas esperadas e analisou-se se estas respostas atingiram os objetivos, classificando-as de acordo aos critérios: de forma significativa; de forma parcial e não atingiu. A análise dos resultados das questões encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Percentual de alunos que atingiram os objetivos das questões propostas

Questões	Alunos que atingiram o objetivo (%)	
1	De forma significativa	50
	De forma parcial	25
	Não atingiu	25
2	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0
3	De forma significativa	75
	De forma parcial	12,5
	Não atingiu	12,5
4	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0
5	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0

A primeira questão, “*como as células solares transformam a energia luminosa em energia elétrica? Explique como ocorre a deposição da prata quando uma solução de seu sal é submetida a uma fonte de energia elétrica?*” Temos que 50 % dos estudantes aproximaram significativamente das respostas esperadas. Eles conseguiram compreender como o efeito fotovoltaico remove os elétrons da placa de silício promovendo a formação de voltagem e corrente elétrica, como se acompanha nas respostas observadas a seguir:

“A luz solar atinge a placa e retira elétrons da camada de valência, como o negativo foi retirado forma regiões com excesso de carga positiva, que atrai outras cargas negativas formando um movimento de elétrons que é a corrente elétrica”



25% dos alunos que acertaram parcialmente não responderam como ocorre a formação de energia elétrica na célula. Apesar de 25% dos alunos não terem respondido completamente a primeira questão, eles demonstraram uma evolução, tornando suas ideias mais complexas do que as iniciais, pois quando questionados anteriormente sobre o funcionamento da célula, responderam apenas:

*“a luz solar forma energia elétrica na célula”
“o calor do sol faz formar energia elétrica”*

“a luz solar transforma em energia elétrica na célula”

Eles posteriormente ampliaram suas respostas incluindo a ideia de elétrons, percebendo que o papel da luz solar e de deslocar os elétrons da superfície da placa célula, como se observa nas respostas a seguir:

“a luz solar incide na placa remove elétrons e forma a corrente”

“quando a luz retira os elétrons forma-se energia elétrica”

“a luz do sol remove os elétrons do semicondutor e forma eletricidade”

Para amenizar essa situação, acreditamos que deve se dar ênfase no diálogo professor-aluno em sala de aula. Para Hodson (1988) é importante não tentar impor significados aos alunos, para que o aluno se aproprie de um conceito e necessário explicar sempre a partir do que o mesmo já sabe. Aprender é um processo contínuo, no qual os aprendizes constroem e reconstróem os significados ativamente.

A segunda questão, *“o efeito fotovoltaico remove elétrons dos átomos proporcionando a formação de uma voltagem na célula. De qual região do átomo esses elétrons são removidos e por quê?”* foi respondido com 100% de êxito por todos os alunos, descrito nas respostas a seguir:

“os elétrons são retirados pela luz da camada de Valência porque ela é mais energética”

“da última camada de valência, porque ela é a mais energética”

Na terceira questão, *“de acordo a teoria de ligação metálica como ocorre à condução de corrente elétrica? Quais tipos de materiais podem ser empregados como isolantes de corrente elétrica, qual tipo de ligações eles fazem?”* 75% dos estudantes aproximaram-se da resposta esperada, identificando como ocorre a condução de energia nos metais. E ainda citaram corretamente materiais que podem ser utilizados como isolantes, conforme se observa as repostas dadas por eles a seguir:

“como da última camada dos metais não estão muito presos eles se movimentam por toda estrutura do material como uma nuvem, o plástico e a borracha são isolantes, fazem ligações covalentes”

“A borracha, plástico eles possuem seus elétrons firmemente presos por isso não conduzem corrente elétrica”

A quarta questão, *“de acordo com o tipo de ligação química que os componentes da célula (Transistores, Fios, Chapa Metálica, Suporte de borracha) fazem, classifique- os em isolantes, condutores, ou semicondutores?”* foi respondida com pleno êxito pelos alunos, sendo que todos identificaram quais os componentes da célula que podem ser classificados como condutores, semicondutores e isolantes.

“Capa de caderno → isolante → suporte”;

“Capa de caderno é isolante e também funciona como suporte para os transistores; já os fios são os que conduzem eletricidade e sua função é ligar os transistores; a placa de Silício é um semicondutor e converter energia solar em elétrica”

A última questão, *“qual a importância da energia solar como fonte de energia alternativa?”* também foi plenamente respondida, pois os alunos correlacionaram à necessidade da utilização de energia solar como alternativa energética, por ser menos

prejudicial ao meio ambiente que as fontes tradicionais fósseis, tal como se verifica nas repostas a seguir:

“Para ajudar na redução da poluição meio ambiente, pela redução da emissão de gases estufa.”

“polui bem menos a natureza do que outras fontes ajudam a preservar o meio ambiente e ainda é uma fonte renovável”

Ao final da aula alguns alunos realizaram comentários sobre o experimento:

“olha professor eu jamais imaginava que isso funcionava assim, a gente não sabe para o que serve a maioria das coisas que estudamos, seria mais legal se tivéssemos mais experiências assim”

“eu quero montar uma célula dessas lá em casa para mostrar para minha mãe, ela não vai acreditar”

A fala dos alunos acima mostra como eles acharam a aula interessante por tornar tangível a teoria, esta que muitas vezes parece tão distante de suas vidas. Para Hodson (1988) e Giordan (1999), esse é um ponto que deve nos levar a refletir sobre a necessidade da contextualização nas aulas de ciências e como a experimentação pode ser uma maneira de aproximar o aluno do conhecimento, desde que conduzida de forma coerente, sem tropeçar nos antiquados paradigmas do positivismo.

Vale ressaltar que durante o desenvolvimento da proposta, a principal dificuldade encontrada foi o tempo necessário para que houvesse deposição de prata no grafite, em quantidade apreciável para ser observada. Além disso, outra dificuldade encontrada é grande dependência do experimento a luz solar.

Os conceitos químicos de estrutura atômica e ligações são de alto grau de abstração e complexidade, foi preciso especial cuidado na sua apresentação para evitar uma representação meramente formal, sem uma preocupação mais conceitual, o que levaria à simples memorização de ideias mal compreendidas.

Além disso, como a proposta foi executada em uma turma de EJA, aonde havia alguns estudantes de idade bastante avançada que tiveram bastante dificuldade em acompanhar o conteúdo químico devido seu alto nível de abstração. Entretanto mesmo esses estudantes apresentaram uma evolução quanto as suas ideias iniciais após o final da aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática experimental realizada mostrou-se uma ferramenta alternativa de auxílio, para facilitar a contextualização de conceitos abstratos na química contribuindo para a aprendizagem.

Verificou-se que a montagem de uma célula solar para explicação de modelo atômico relacionando-o com a formação das ligações químicas mostrou-se uma prática produtiva para desenvolver as capacidades cognitivas dos estudantes. E assim, consequentemente capacitar os mesmo a analisar o mundo não apenas a partir do censo comum mais também com olhar científico.

Foi observado durante a aula e a partir dos dados obtidos no questionário que os alguns alunos tiveram dificuldade em assimilar os conceitos ministrados. Esses, mesmo após o final da aula não compreenderam completamente os princípios envolvidos nas ligações covalentes iônicas e metálicas. Entretanto apresentaram evolução de suas ideias iniciais, tornando as mesmas mais ricas e complexas e associadas a conceitos químicos e não mais apenas ao senso comum de início.

O importante para que aula atinja sua finalidade é que ao fim desta, os alunos enriqueçam suas ideias, se apropriando do discurso da ciência. Os conceitos envolvidos nas ligações químicas e estrutura atômica são abstratos e de difícil compreensão. E a prática realizada mostrou-se uma alternativa para facilitar a compreensão destes conteúdos.

Além disso, o estudo das fontes energéticas proporcionou aos estudantes a compreensão da importância da química no desenvolvimento de novas fontes de energia sustentáveis, favorecendo a consciência sobre a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BRASIL. Tecnologias de Energias Renováveis. Soluções energéticas para a Amazônia, Brasília, MME: SEMTEC, 2008.
- CHASSOT, A. I. Da Química Às Ciências Um caminho ao avesso. In: *Educação Química no Brasil Memórias, Políticas e Tendências*, Campinas: Editora Átomo, 2008
- CRUZ, D. Ciências e Educação Ambiental: Química e Física. 27 ed. São Paulo: Ática, 2000.
- DUARTE, H. A. Ligações Químicas: Ligação Iônica, Covalente e Metálica. *Química Nova na Escola*. nº 4; 2001, p. 14-23.
- FALCÃO, V. D. Fabricação de Células Solares de CdTe. 2005, 120 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar e Engenharia, Rio de Janeiro.
- GIORDAN, M. O papel da Experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*. nº 10; 1999, p. 43-49.
- GOMES, L. I. P. Células solares Semi-transparentes de Silício Amorfo/ Nanocristalino. 2009, 131 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova Lisboa, Lisboa.
- HODSON, D. Experimentos na Ciência e no Ensino de Ciências. Trad. de Paulo A. Porto. *Educational Philosophy and Theory*, n. 20, p. 53-66, 1988.
- HODSON, D. Hacia um Enfoque más critico Del Trabajo de laboratorio. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(3), p.299-313, 1994. 2004, p. 379 – 384.
- HODSON, D. Is there a scientific method? *Education in Chemistry*: 112- 121, jul. 1982.
- LEE, J. D. *Química Inorgânica não tão concisa*. 2ª Ed. V. único, Trad. H.E Toma, K. Araki, e R.C. Rocha. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1999.
- MALDANER, O. A. *A Formação Inicial e Continuada de Professores de Química Professores/Pesquisadores*. 3ª Ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2006, 419p.
- NIEDHARDT, J. T. Novas Perspectivas Para a Energia Solar no Brasil. 2009, 54 p. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PEIXOTO, E. M. A. Silício. *Química Nova na Escola*. Nº 14, 2001
- PINHEIRO, W. A. Construção de Um Sistema CSS para Deposição de Células de CdS/CdTe Sem Quebra de Vácuo. 2010, 180p. Tese de Doutorado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- SILVA, R. et. al. Células solares “caseiras” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26(4), 379 - 384, 2004.