

ANÁLISE DOS CONCEITOS QUÍMICOS E ELETROMAGNÉTICOS EM UM EXPERIMENTO ELETROQUÍMICO

Resumo: *O presente estudo aponta um caminho diferente para se estudar experimentalmente, fenômenos físicos e químicos tal como a condutividade elétrica em soluções e conceitos de eletromagnetismo, como efeito joule e transferência de energia; possibilita ainda uma excelente análise nos conceitos de eletrolise. A alternativa consiste em um experimento eletroquímico aplicado com auxílio de um aparato de fácil aquisição. A prática foi realizada com alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e civil, nas aulas de métodos experimentais, física II e Teoria Eletromagnética contando com a análise físico-química do experimento contextualizando com a disciplina Química Fundamental. Os resultados obtidos reforçam a ideia de que o sistema e o procedimento podem ser usados na realização de aulas experimentais nos laboratórios de ensino de Eletromagnetismo e Química criando um bom tema para interdisciplinaridade.*

Palavras-chave: Eletroquímica; Soldagem; Eletromagnetismo; Física; Química.

1 INTRODUÇÃO

Disciplinas como Física e Química, são fundamentalmente de caráter prático, pois, são fundamentais em observações da natureza. Quando as mesmas são apresentadas aos alunos sem uma boa contextualização com a atividade prática, o ensino ganha um caráter muito abstrato, dificultando a construção dos conceitos que envolvem estas disciplinas por parte dos alunos. Devido a esta cascata negativa no processo de ensino/aprendizagem as aulas práticas, com experimentos simples e observáveis no cotidiano, são necessárias para atrair o interesse dos alunos, através da contextualização dos conceitos estudados com o dia-a-dia. Partindo deste pressuposto, propõe-se aqui, uma adaptação de um equipamento da solda elétrica, a fim de proporcionar aos alunos um contato íntimo com uma técnica que é reconhecidamente utilizada em oficinas de mecânica e na construção civil.

Desde julho de 1921, quando o engenheiro e empreendedor Ernst Sachs registrou sua patente sobre o invento, iniciou-se a era da soldagem. Esta consiste em unir duas lâminas de metal sobrepostas através de sua fusão. A energia necessária para o processo de fusão é obtida quando a corrente elétrica passa por uma resistência elétrica¹, que nesse caso será o eletrodo de soldagem, provocando um aumento instantâneo de temperatura com grande quantidade de energia envolvida e suficiente para derreter o eletrodo e conseqüentemente unir as lâminas metálicas [1].

No método convencional de soldagem usa-se um transformador². O seu funcionamento é explicado através da lei de Faraday, da indução Eletromagnética [2]. Por

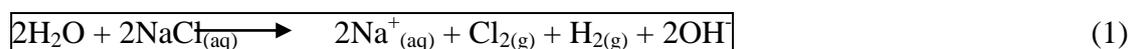
¹ Oposição à passagem de corrente elétrica.

² Dispositivo que controla a tensão e a corrente elétrica fornecida, compensando os valores de entrada e saída, se a tensão for aumentada no segundo estágio a corrente é diminuída, o mesmo se aplica para o caso de diminuir a tensão for diminuída no segundo estágio a corrente será aumentada em relação ao primeiro estágio.



meio desse fenômeno é gerada uma corrente elétrica no circuito cuja intensidade é responsável pelo desempenho do processo de soldagem. Como o transformador é um aparelho convencional, busca-se aqui uma forma alternativa para produzir um efeito similar de modo a estudar o fenômeno do processo de soldagem e afim de despertar o espírito científico dos alunos. Consiste basicamente na substituição do transformador por uma solução de cloreto de sódio NaCl (aq).

A reação de eletrólise aquosa do cloreto de sódio descrito abaixo, nos fornece conhecimentos básicos e concretos de um fenômeno físico-químico de grande importância. A utilização do aparato que será descrito além de se mostrar um modo economicamente viável de estudar o fenômeno, mostra ser uma ferramenta útil em abordagem didático-pedagógico no ensino de eletricidade e química.



2 METODOLOGIA E ABORDAGEM DIDÁTICA

2.1 Materiais e montagem do Equipamento

Observa-se a seguir a lista de materiais utilizados na tabela 1:

Tabela 1: Materiais gastos e suas especificações.

Quantidade	Material	Especificação
1 unidade	Disjuntor	25 A
7 metros	Fio de Cobre	10 mm ² de área de seção reta transversal
1 unidade	Alicate	Tipo Universal
1 unidade	Alicate de Soldagem	Ferramenta apropriada para soldagem
1 unidade	Recipiente	Recipiente que irá conter a solução aquosa
1 unidade	Chapa de Cobre	3,0 cm X 3,0 cm
1 unidade	Eletrodo do Aço Carbono	2,5 mm ² de área de seção reta transversal
1 unidade	Voltímetro	Marca MINIPA
1 unidade	Amperímetro	Marca MINIPA
100 ml	Indicador de pH	Obtido com o Repolho Roxo
2,5 litros	Água	Potável com pH neutro
500 gramas	Sal de Cozinha (NaCl)	Sal de cozinha Iodado
100 gramas	Repolho Roxo	Obter o indicador natural de pH
1	Funil simples	Para filtração simples
1	Filtro de papel	Para filtração simples
1	Garrafa PET	Para armazenar o filtrado



Fonte: Dados dos pesquisadores.

O experimento foi dividido em duas etapas de montagem, uma etapa para montagem da parte experimental com os conceitos mais próximos com a Física chamada de etapa Física e uma outra etapa relacionada aos conceitos químicos chamada de etapa Química.

A montagem experimental da parte Física pode ser vista na figura 1.

Procedimento:

- I. Pegou-se 2 metros de fio e ligou-se uma extremidade desse fio diretamente na tomada (127 VAC ou 220 VAC), essa ligação foi feita ao terminal da tomada correspondente ao fio neutro, a outra extremidade do mesmo fio ligou-se na peça metálica a ser soldada.
- II. Pegou-se 2 metros do fio de 10 mm^2 e ligou uma extremidade do mesmo à peça metálica a ser soldada, a outra extremidade do mesmo fio ligou-se no aterramento da tomada.
- III. Pegou-se 1 metro do fio de 10 mm^2 e ligou-se uma extremidade do mesmo no terminal da tomada correspondente a fase a outra extremidade desse mesmo fio foi conectada ao disjuntos de 25A.
- IV. Pegou-se 1 metro do fio de 10 mm^2 e ligou-se uma extremidade do mesmo ao outro terminal do disjuntor e a outra extremidade do mesmo fio foi conectada a uma placa de cobre de 3 cm de comprimento por 3 cm de largura.
- V. Pegou-se a extremidade do fio que está conectado à chapa de cobre e a colocou dentro do recipiente que irá conter a solução aquosa.
- VI. Pegou-se 1 metro do fio de 10 mm^2 e conectou uma extremidade a uma chapa de cobre idêntica à chapa do item VI, a outra extremidade do mesmo fio foi conectada ao alicate de soldagem.
- VII. Pegou-se um eletrodo de $2,5 \text{ mm}^2$ para soldagem em aço carbono e o conectou ao alicate de soldagem.

Terminando a montagem da parte Física do experimento passou para a montagem da parte Química.

Procedimento da parte Química:

- I. Pegou-se 2,5 litros de água potável da torneira e adicionou-se 300 gramas de Cloreto de Sódio e misturou bem até dissolver o soluto formando uma solução aparentemente homogênea.
- II. Armazenou-se a solução aquosa de cloreto de sódio em um recipiente para posterior uso.
- III. Pegou-se 100 gramas de repolho roxo cortado em pedaços e o triturou em um liquidificador.
- IV. Usou-se um funil e um filtro de papel na parte superior de uma garrafa pet vazia e fez-se a filtração simples do líquido obtido na trituração do repolho roxo.
- V. O filtrado obtido no processo descrito no item anterior foi adicionado em um frasco de conta gotas para posterior teste.

Terminando a montagem da parte Física e da parte Química inicia-se o experimento.



- I. Adiciona-se a solução aquosa de Cloreto de Sódio no recipiente onde estão as duas chapas de Cobre conectadas aos fios do circuito descrito anteriormente.
- II. Liga-se o disjuntor de 25 A.
- III. Encosta-se a peça que será soldada na peça que já está conectada ao circuito, pois, quando acontecer o derretimento do eletrodo, as duas peças metálicas a serem soldadas estejam bem encostadas garantindo a perfeita união das chapas.
- IV. Com todo o circuito montado e o disjuntor ligado, aproxima-se a extremidade do eletrodo de soldagem do ponto onde acontecerá a união das chapas e instantaneamente uma luz de grande intensidade surge, junto com esta surgem ruídos caracterizando o derretimento do eletrodo.

Recomenda-se que durante a soldagem não deixe o eletrodo sendo continuamente consumido pelo arco elétrico para evitar possíveis danos ao experimento.

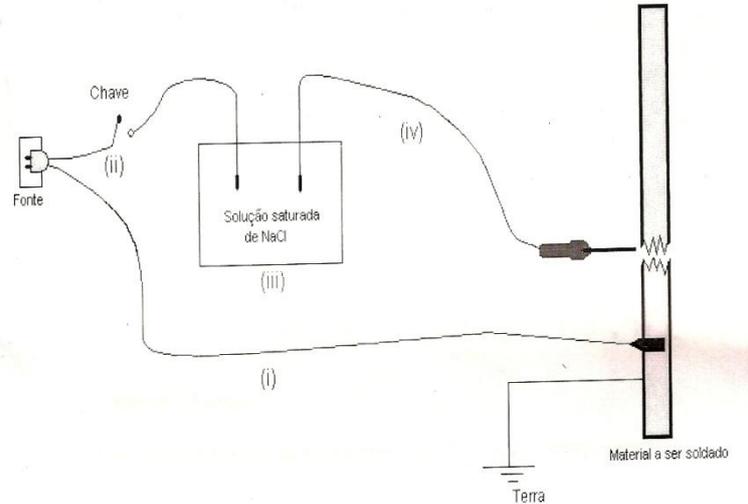
2.2 Abordagem Didática

Em Shoroender [10] citando Vygotsky, evidencia que um conceito não é simplesmente um conjunto de conexões associativas que se assimila com a ajuda da memória, nem um hábito mental automático, mas um autêntico e completo ato de pensamento, neste contexto o experimento foi realizado de forma a buscar o aluno para uma reflexão quanto aos fenômenos eletromagnéticos da experimentação. O indicador de pH utilizado foi um líquido extraído do repolho roxo, uma planta amplamente consumida pela população nos dias atuais. Durante o processo de soldagem das chapas metálicas com o experimento montado, ocorre a formação de Hidróxidos na solução, pois, o NaCl presente no sal de cozinha quando adicionado em água se dissocia por ser um composto iônico em Na^+ e Cl^- , desta forma, o íon Cl^- , por ser mais eletronegativo, se liga a outro íon Cl^- formando Cl_2 que é um gás, o gás Cloro, durante o processo a solução vai perdendo o gás Cloro para o ambiente, então deve-se tomar o cuidado de capturar esse gás, pois, se trata de um gás tóxico. Durante a execução do experimento, deve-se tomar o cuidado de usar um local aberto, pois, caso aconteça a dispersão de gás no ambiente, a grande concentração do gás pode provocar resultados indesejáveis. Com a saída do gás Cloro da solução, uma quantidade considerável do íon Na^+ pode ser encontrada em solução, este íon se liga à Hidroxila (OH^-) formando NaOH, Hidróxido de Sódio, dando à solução final, um caráter básico, assim, com a presença do indicador de repolho roxo, que é rico em CIANIDINA³, que em meio básico, ou alcalino, apresenta uma coloração esverdeada, como no experimento. A presença do íon Hidroxila (OH^-) na solução se deve ao fato da liberação deste pela molécula de água que foi hidrolisada pela passagem de corrente elétrica, logo forma-se quantidades consideráveis de Hidróxido de Sódio pela presença da Hidroxila (OH^-) proveniente da água e do íon Na^+ proveniente do Cloreto de Sódio. A acidez da solução aquosa depois de 30 segundos de soldagem, pode ser comprovada de forma visual adicionando o indicador de pH obtido através do repolho roxo, imediatamente a solução adquire uma coloração específica de soluções ácidas. A utilização do indicador de pH é auxiliada pela tabela de cores para pH, cabe ao aluno interpretar a cor e prever de forma bem próxima o pH da solução. Depois de comprovada a acidez da solução com o método do indicador de pH pode-se propor aos alunos que façam o teste com o pHmetro para consolidar o resultado interpretado, desta forma o aluno verifica na prática o fenômeno, podendo construir de forma correta seus próprios conceitos. A aplicação em sala com abordagem aos conceitos Físicos se deu

³ Cianidina é um composto orgânico. É um pigmento de coloração vermelha da categoria das antocianinas presente em vegetais

mediante a questionamentos quanto a condutividade da água, para tal foram feitas os seguintes questionamentos:

Figura 1: Diagrama do aparato experimental



1- Uma pessoa com o corpo molhado ao tocar um material energizado, a descarga elétrica na mesma será maior ou menor do que se ela estiver com o corpo seco?

2- Diante da resposta (molhada). Faz-se a segunda pergunta:

A água é boa condutora de energia elétrica?

Diante a análise do item 1 a maior parte da resposta foi sim.

Parte-se então para a análise do experimento, o qual é realizado com água pura, ou seja, sem adicionar Cloreto de Sódio. Percebe-se que o mesmo não funciona; ou seja, a água não conduz eletricidade. Na segunda análise mistura-se água e sal e aciona-se o aparato, o mesmo possibilitou o fechamento do circuito elétrico, levando ao processo de soldagem. As análises físico-químicas serão discutidas nos capítulos a seguir.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo experimental observou-se que a resistividade da solução aquosa de NaCl decai com o aumento de temperatura. Assim a “potência” da solda será regulada de acordo com as condições de solução. No entanto, parte da corrente que não é utilizada na soldagem é responsável pela hidrólise aquosa do NaCl (RUSSEL, 1994), observa-se também o aumento da temperatura que se deve ao efeito Joule⁴.

A prática foi realizada com alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e civil das Faculdades Integradas de Caratinga, nas aulas de métodos experimentais, a título de amostragem para alunos da rede pública e particular da cidade de Caratinga - MG como

⁴ Fenômeno pelo qual a resistência elétrica dissipa energia elétrica em energia térmica.



parte de um projeto de divulgação científica, intitulado "o laboratório do 'professor Bugiganga'".

Após a realização do experimento iniciou-se a etapa de discussões em sala de aula sobre os fenômenos envolvidos no processo. Foram utilizadas algumas abordagens físicas e químicas sobre o assunto como segue no próximo item.

3.1 Abordagens dos conceitos de eletromagnetismo

Professores e pesquisadores da área de ensino de ciências geralmente imputam grande importância ao espaço de aprendizado de física nas disciplinas experimentais... existe um consenso entre os docentes e estudantes que deve haver mudanças na maneira tradicional de se focar estas disciplinas [11].

1º Temperatura (T):

A interação entre fase e neutro na solução tem como consequência o efeito Joule [3], que leva a um aumento da temperatura (T). Uma considerada elevação de temperatura no fechamento do circuito, eletrodo e placa a ser soldada, levam a uma formação de plasma⁵, considerado o quarto estado da matéria [9]. Aqui é possível ponderar sobre a relação temperatura e fusão das substâncias e seu estado físico.

Campo criado pelo arco elétrico: O campo elétrico gerado a partir do curto circuito pode ser analisado. Pela lei de Gauss, tem-se que:

$$\phi = \int E \cdot ds = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0} \quad (2)$$

onde:

ϕ é o fluxo de campo elétrico (E) através de uma superfície fechada (S),

\mathbf{n} é o unitário vetor normal a esta superfície,

Σq é a carga total limitada por esta superfície,

ϵ_0 é a permeabilidade do ar ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m).

O teorema da divergência permite transformar a integral de superfície acima em uma integral de volume [4].

$$\int E \cdot nds = \int \nabla \cdot E dV \quad (3)$$

Logo:

⁵ O plasma é o quarto estado da matéria, sendo um conjunto quente e denso de átomos livres, elétrons e íons, com distribuição quase neutra e comportamento coletivo.



$$\Sigma q = \int \epsilon_0 \nabla \cdot E dV \quad (4)$$

De acordo com a equação (4), o integrando representa a densidade de carga por unidade de volume:

$$\rho \epsilon_i = \nabla \cdot E_0 \quad (5)$$

Por sua vez, o campo elétrico é dado por:

$$E = \nabla V = \text{GRAD}(V) \quad (6)$$

Substituindo (6) na equação (5):

$$\nabla^2 V = \rho_i / \epsilon_0 \quad (7)$$

Esta parte da análise experimental possibilita abordar de forma qualitativa os conceitos estudados na teoria eletromagnética, tal como o laplaciano, divergente do campo elétrico e de posse de um amperímetro pode-se aplicar o rotacional a partir do valor de corrente e sua relação com o campo magnético criado no cabo elétrico e fusão na soldagem.

2º Resistência (R):

O aumento da temperatura ocasiona um aumento na velocidade de dissociação do Sal, o que leva ao aumento da condutividade [3].

Tendo:

$$i = v/R \quad (8)$$

$$P = V^2 / R \quad (9)$$

Podemos observar a potência inversamente proporcional à resistência.

A abordagem aqui proposta utiliza a soldagem por fusão, assim, para ser efetiva na soldagem, a fonte deve fornecer energia a uma taxa suficientemente elevada e em uma área suficientemente pequena para garantir a fusão ocasionando uma queda na resistência [8].

3º Intensidade (i):

Pode-se ainda, observar um aumento na intensidade da corrente elétrica (i), fluxo de cargas na solução, como consequência da diminuição da resistência elétrica, o que pode ser expresso como:

$$dq/dt = v/R \quad (10)$$



tendo

$$i = v/R \quad (11)$$

4º Potencial (P): Devido à "queda" da resistividade, observa-se melhora no rendimento do aparato criado em função do aumento da potência (melhora no desempenho da soldagem) o qual pode-se perceber matematicamente pela expressão.

$$P = V \cdot i \quad (12)$$

Para caracterizar este processo, define-se a **potência específica**

$$P_{\text{esp}} = \frac{E \cdot \eta}{t \cdot A} \quad (W/m^2) \quad (13)$$

Em que:

E é a quantidade de energia gerada pela fonte;

η é o rendimento térmico da fonte, isto é, a fração da energia que é transferida para a peça;

t é o tempo de operação.

A energia gerada pela fonte depende fundamentalmente de sua natureza [8].

No caso de fontes elétricas como o arco elétrico, a energia gerada por unidade de tempo é dada pelo produto da tensão **V** e a corrente **I** [9]. Desta forma, para processos de soldagem a arco elétrico, para a equação de potência específica basta relacionar $E = I \cdot V$ na equação de potência. É interessante salientar quanto à velocidade do processo de soldagem, esta, depende diretamente da potência mencionada. Assim, para ser efetiva na soldagem por fusão, a fonte deve fornecer energia a uma taxa suficientemente elevada e em uma área suficientemente pequena para garantir a fusão [9].

3.2 Alguns aspectos químicos observados

A possibilidade da contextualização interdisciplinar é inerente ao experimento, tão logo não pode-se deixar de evidenciar as características químicas do mesmo.

1º) Coloração: Observa-se que há mudança na coloração da solução de lípido para verde turvo, esta cor esverdeada é devido à formação de gás cloro, que mesmo sendo apolar, permanece dissolvido na solução durante algum tempo em decorrência de forças dipolo-dipolo induzido [3].



2º) Potencial hidrogeniônico (pH): Como visto na equação de eletrólise aquosa do NaCl, além da formação de gás cloro, nota-se que há formação de hidróxido (OH⁻). A presença deste íon pode ser confirmada utilizando o teste ácido-base com indicador de repolho roxo. Depois que todo gás cloro for eliminado, faz-se o teste e observa-se que ocorre o aparecimento de uma coloração verde, indicando a presença de hidroxila [5].

3º) Presença de um precipitado: Ao deixar a solução em repouso, nota-se que a parte turva decanta na coloração azul claro, como o fio imerso na solução é de cobre, a passagem do fluxo de elétrons faz com que este metal, que não é inerte, oxide (pilha de Daniel invertida), como é produzido OH⁻ o íon cobre precipita na forma de hidróxido de cobre II. Um teste para confirmação foi realizado adicionando ao precipitado amônia e após alguns segundos há o surgimento de uma coloração azul intensa (complexo entre Cobre-Amônia) [6].

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos com esta prática foram alcançados, isto pode ser verificado com as análises dos aspectos observados durante a experimentação, possibilitando uma ligação entre prática e teoria, além da abordagem interdisciplinar de Física e Química. Questionamentos simples e objetivos podem ser aplicados após a experimentação envolvendo os assuntos da Física, Química e Eletromagnetismo.

O interesse dos alunos é evidente, uma vez que é possível visualizar e entender o funcionamento do processo de soldagem que pode ser visto no dia-a-dia em algumas oficinas mecânica e construção civil.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. WAINER, E; MELLO, F. D.H. **Soldagem. Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1992.
- [2]. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 4 Ed., v. 3. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.
- [3]. ATKINS, P.; JONES L. **Chemistry, moléculas, matter and change**. New York, W. F. Fredman and Company, 1997.
- [4]. GIANCOLI, D. C. **Physics**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [5]. BRADY, J. E. E HUMISTON, G. E. **Química Geral**. 2 Ed., v. 2. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A, 1986.
- [6]. MAHAN, B. M., E MYERS, R. **Química - Um Curso Universitário**. Trad. 4a Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, S. P.
- [7]. RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2 Ed., v. 2. Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1994.



[8]. WAINER, E. & MELLO, F. D.H. **Soldagem. Processos e Metalurgia**. 1992. Edgar Blucher, SP. Disponível em: <<http://www.kurtz.info/de/data/kurtz-gesagt/kg16e.pdf>>. Acesso em: Fev. de 2006.

[9]. HALMOY, E. **Wire Melting Rate, Droplet Temperature, and Effective Anode Melting Potential**. Arc Physics and Weld Pool Behaviour [Proc. Conf.], The Welding Institute, p. 49-57. 1979.

[10]. SCHOROEDER, E. **Conceitos Espontâneos e Conceitos Científicos: o Processo da Construção Conceitual em Vygotsky**. Rev. Atos de Pesq. Em Educ. v.2, no2, maio/agosto, 2007.

[11]. SILVA, J. H. **Algumas Considerações Sobre Ensino e Aprendizagem na Disciplina Laboratório de Eletromagnetismo**. Rev. Bras.Ensino Fís. Vol.24 no.4 São Paulo, 2002.

Abstract: *This study suggests a different way to study experimentally, physical and chemical phenomena such as electrical conductivity in solutions and concepts of electromagnetism, as joule effect and energy transfer; also allows for an excellent analysis of the concepts of electrolysis. The alternative consists of an electrochemical experiment evaluated with an apparatus of easy acquisition. The practice was carried out with students of electrical engineering and civil, in the classes of experimental methods, physical and Electromagnetic Theory II relying on physical-chemical analysis of the experiment contextualizing with the Fundamental Chemistry discipline. The results support the idea that the system and the procedure can be used in conducting experimental classes in teaching electromagnetism and chemistry laboratories creating a good topic for interdisciplinarity.*

Keywords: Electrochemistry; welding; electromagnetism; physics; Chemistry.