

## **Célula Combustível: uma Simulação para a Educação Básica**

### **Fuel Cell: a Simulation for Elementary and Middle School**

**Hiany Mehl**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Química

**Kelly Furlaneto Soares**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Química

**Everton Carlos Gomes**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Química

**Sandro Aparecido dos Santos**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Física

**Carlos Eduardo Bittencourt Stange**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Biologia

**Julio Murilo Trevas dos Santos**

Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Departamento de Química  
*jtrevas@projetoidec.pro.br*

**Resumo:** Neste trabalho apresenta-se um experimento alternativo e de baixo custo que simula uma célula combustível. É um experimento que apresenta um exemplo tecnológico de fonte de energia limpa e que permite a integração de conteúdos científicos da Química, da Física e da Ciência Ambiental. Destina-se a docentes dos Níveis Fundamental e Médio para explorar de forma mais que satisfatória os

conteúdos pertinentes as suas disciplinas e seriação. Esse experimento foi aprimorado no projeto de extensão IDEC, que é desenvolvido na UNICENTRO.

**Palavras-chave:** célula combustível; experimentação alternativa; educação básica.

**Abstract:** This paper considers an alternative and low cost experiment that simulates a fuel cell. It is an experiment that presents a technological example of clean source energy and that allows for the integration of Chemistry, Physics and Environmental Science contents. It's aimed at elementary and middle school level teachers who may satisfactorily explore the contents of their subjects and classes. This experiment was improved in the extension project IDEC, which is developed in UNICENTRO.

**Key words:** fuel cell; alternative experiments; basic education.

## Introdução

A maneira como as Ciências Básicas (Química, Física e Biologia) vêm sendo abordadas na escola, pode ter contribuído com o baixo interesse dos estudantes no aprendizado das mesmas<sup>1</sup>. Devido a esse baixo interesse, faz-se necessário o uso de metodologias e/ou ferramentas alternativas que despertem o interesse dos estudantes<sup>2</sup>.

Uma forma para despertar o interesse dos alunos pelas ciências básicas pode ser a aplicação de experimentos. Esses experimentos não precisam ser realizados em laboratórios ou em ambientes especiais, bem como não estão obrigatoriamente vinculados a materiais especiais. Eles podem ser realizados com materiais alternativos e de baixo custo em sala de aula. E, dessa forma, os experimentos serão simples e também atraentes.

Quando se utiliza a experimentação como ferramenta para suprir as necessidades pedagógicas, normalmente são apresentados os conceitos abordados teoricamente. Contudo podem-se utilizar esses experimentos para abordar outros temas, permitindo assim uma integração de conceitos e conteúdos. Um exemplo

é, a partir do conceito de eletrólise, discutir questões como: fontes de energia alternativas e renováveis, tecnologia e meio ambiente.

Neste trabalho apresenta-se um experimento alternativo e de baixo custo que simula uma célula combustível. É um experimento que apresenta um exemplo tecnológico de fonte de energia limpa e que permite a integração de conteúdos científicos da Química, da Física e da Ciência Ambiental. Destina-se a docentes dos níveis Fundamental e Médio para explorar de forma mais que satisfatória os conteúdos pertinentes às suas disciplinas e seriação.

A tecnologia das células combustíveis (CelCs) é considerada uma forma limpa de produzir eficientemente energia elétrica. Propõem-se para as CelCs diversas aplicações, que variam desde sistemas portáteis até mesmo a geração distribuída de energia<sup>3,4</sup>.

Indiscutivelmente são os benefícios ambientais que mais destacam a importância das CelCs. Pelo fato de serem não poluentes, esses dispositivos ajudarão na minimização de problemas ambientais. Podem ser citados, como exemplos: a redução da quantidade de baterias em aterros sanitários; a minimização de contaminação de solos e ambientes aquáticos por metais presentes em pilhas e baterias; a minimização de emissão de poluentes atmosféricos (por motores a combustão); redução da emissão de gases intensificadores de efeito estufa.

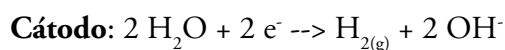
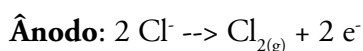
Embora exista alta tecnologia envolvida no funcionamento das CelCs, seu princípio e conceito são conhecidos há mais de 150 anos. No Brasil, desde o final da década de 70, vêm sendo realizadas algumas atividades na área de CelCs. Várias instituições, como a UFCE, a UFRJ, o IPT de São Paulo e o grupo de Eletroquímica da USP São Carlos, já se dedicaram ao estudo, direta ou indiretamente, desse tipo de tecnologia<sup>5</sup>.

As CelCs mais comuns baseiam-se na combinação química entre oxigênio e hidrogênio para a geração de energia (elétrica e térmica). A combinação ocorre em uma célula composta por eletrodos porosos, um catalisador e um eletrólito ou membrana porosa. Nessa célula o oxigênio e o hidrogênio, em suas formas moleculares gasosas, são forçados a atravessar o catalisador, que promove a reação de formação de água e energia.

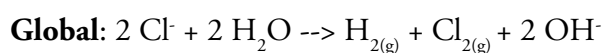
As células combustíveis constituem um exemplo de fonte de energia limpa. As fontes de energia alternativas, limpas e renováveis cada vez mais desempenharão um papel importante no nosso abastecimento energético. Isso se deve ao fato de a fonte energética principal, o petróleo, ser finita, poluente e não renovável. Pela importância econômica, política e social, o tema deve ser bastante discutido no âmbito escolar.

Diante da necessidade dessa discussão é que se vislumbrou a possibilidade de modificar um experimento bastante conhecido da eletroquímica para simular uma CelC<sup>6</sup>. A partir da eletrólise de uma solução aquosa diluída de cloreto de sódio, sal de cozinha, explora-se a reversibilidade do processo para simular a célula combustível. Quando são discutidos os princípios básicos de eletrólise, o processo sobre a solução de cloreto de sódio é o exemplo mais comum apresentado em livros didáticos da área de Química.

Na solução aquosa de cloreto de sódio estão presentes as espécies  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$  e  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ . No processo de eletrólise dessa solução ocorre oxidação e redução de algumas das espécies presentes<sup>7</sup>:



desse modo a reação global para a eletrólise é:



Por se tratar de uma eletrólise, a reação global apresentada para o processo é “não espontânea” segundo a termodinâmica. Consequentemente a reação reversa, de combinação do  $\text{H}_{2(\text{g})}$  e do  $\text{Cl}_{2(\text{g})}$  deve ser espontânea. Se a reação direta consome energia, a reação reversa fornecerá energia. E esse é o princípio utilizado na simulação de célula combustível (CelC).

Princípio simples, equipamento simples. Buscando explorar o fenômeno de interesse com a experimentação alternativa, os autores construíram uma célula eletrolítica, com materiais muito simples e totalmente acessíveis, capaz

de comprovar a reação de regeneração de energia e assim simular uma CelC. E essa célula eletrolítica foi batizada de “célula combustível”. O objetivo da célula é permitir e estimular a discussão integrada de conceitos de eletroquímica, de termodinâmica, de eletricidade, de inovação tecnológica, de história da ciência, de fontes de energia, de problemas ambientais, de relações ciência e economia (e política), entre outros que possam ser identificados.

O aparato foi apresentado e utilizado em dois eventos: (a) no minicurso “Conceitos Físicos e Químicos no Ensino Fundamental” durante o evento “O Ensino de Ciências Frente aos Desafios da Contemporaneidade” organizado pela SEED/PR realizado em Faxinal do Céu no período de 20 a 22 de junho de 2005. O minicurso foi ofertado a um público de docentes de Ciências do Ensino Fundamental, oriundos de diferentes regiões do Estado do Paraná; (b) na oficina “Projeto IDEC: a Química, a Física e a Biologia em uma abordagem conceitual-experimental integrada” durante o evento “I Educação ComCiência” organizado pela SEED/PR. A oficina foi realizada ao longo de cinco etapas, em diferentes cidades do Estado do Paraná, e atendeu docentes e discentes da 5ª a 8ª séries e do Ensino Médio da rede pública do estado do Paraná.

O desenvolvimento da célula combustível segundo a experimentação alternativa e de baixo custo aliada à integração de conteúdos e conceitos compõe o conjunto de resultados do projeto “Instrumentação, Demonstração e Experimentação em Ciências”, IDEC, desenvolvido na Universidade Estadual do Centro-Oeste.

## **Resultados e Discussão**

Apresentam-se a seguir instruções para a construção da CelC e respectivo funcionamento.

### **A Construção**

#### **Materiais utilizados:**

- a) garrafa plástica de 500mL de água, transparente e com tampa;
- b) um cabo elétrico de 2mm, com 1 m de comprimento;

- c) 4 pilhas de tamanho C ou D de 1,5 V;
- d) 2 suportes para 2 pilhas, cada;
- e) 1 lápis do tipo HB;
- f) 3 parafusos médios;
- g) 1 led (light emitting diode) de 1,5 V;
- h) 2 pinças tipo jacaré, pequenas;
- i) sal de cozinha (cloreto de sódio);
- j) bastão e pistola para colagem quente;
- k) filme de PVC utilizado em cozinha doméstica;
- l) um copo graduado de 500mL;
- m) uma colher de sopa;
- n) 4 parafusos pequenos para fixação dos suportes para pilha;
- o) placa de madeira, ou compensado ou MDF ou PVC branca (usada em forro), de dimensão 25 cm x 20 cm x 2 cm;
- p) água;
- q) adesivo epóxi transparente a base de resina epóxi e polimercaptana (constituído de dois tubos contendo os componentes que depois de misturados fornecem o adesivo);
- r) multímetro (opcional);
- s) algumas ferramentas também serão necessárias para a construção da CelC, como por exemplo: chave de fenda e/ou philips, ferro de solda elétrico, estilete, serrote, furadeira.

### **Montagem**

No passo 1 prepara-se a célula propriamente dita. Pega-se a garrafa plástica de 500 mL vazia, limpa, seca e sem rotulo. Marcam-se dois pontos, uns 6 cm de distância de cada extremidade da garrafa, em direção ao eixo central da garrafa. Sobre os pontos são feitos dois orifícios (em cada orifício será colocado um pedaço de lápis). Cada orifício deverá ser um pouco menor que a espessura de um lápis, de modo que o lápis fique bem justo evitando possíveis vazamentos.

Feitos os orifícios, corta-se o lápis HB ao meio obtendo-se dois pedaços iguais. Com o auxílio de um estilete apontam-se todas as extremidades do lápis, tomando o cuidado para não quebrar a grafite. Deixa-se em cada extremidade cerca de 1,5 cm de grafite exposto. Em apenas uma das pontas de cada metade do lápis, cobre-se a madeira com cola quente (não se deve cobrir a grafite). Introduzem-se então os pedaços de lápis em cada um dos orifícios na garrafa, até suas respectivas metades. Em torno dos pedaços de lápis, no contato dos mesmos com a garrafa, é passada a cola epóxi para fixação e vedação.

Corta-se o cabo elétrico ao meio, reservando 50 cm para montagem do circuito com as pilhas. Corta-se novamente o cabo ao meio, obtendo 25 cm cada parte. Em cada ponta de grafite que está do lado de fora da garrafa enrolam-se os cabos que já estão descascados, colando-os à grafite utilizando-se a cola quente. Fixam-se as pontas livres dos cabos às pinças “jacaré” com o auxílio do ferro de solda elétrico.

No copo graduado dissolve-se o conteúdo de uma colher de sopa do sal de cozinha (aproximadamente 13g) em água suficiente para 500mL de solução. A solução é colocada na garrafa, que, em seguida, é fechada com a tampa (Figura 1). Pode-se, opcionalmente, colocar um pedaço de filme PVC entre a tampa e a boca da garrafa para melhorar a vedação.

Figura 1. Célula eletrolítica/combustível



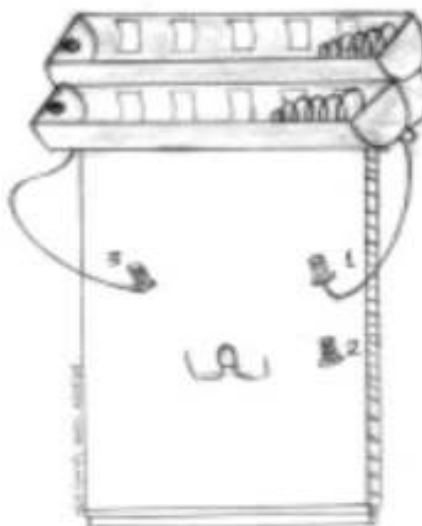
Fonte: Autores

No passo 2 constrói-se uma base para os suportes das pilhas. Sobre a placa de madeira/PVC fixam-se os suportes para pilha com parafusos, deixando o polo positivo das pilhas à esquerda e o pólo negativo à direita. O cabo elétrico previamente reservado é cortado ao meio e cada metade é fixada com ferro de solda nas extremidades dos suportes para pilhas (circuito em paralelo).

Em seguida fixam-se os três parafusos médios sobre a placa. Deixam-se dois parafusos à direita e uma à esquerda (distância entre os parafusos de 5cm). Deixa-se metade dos parafusos acima da placa. Numera-se o parafuso à direita, mais próximo dos suportes, com o número 1; o segundo parafuso à direita (abaixo do primeiro) com o número 2; o parafuso à esquerda recebe o número 3. Enrola-se a ponta descascada do cabo que está conectado ao polo negativo das pilhas no parafuso com indicação 1 e a ponta do cabo que está conectado ao polo positivo das pilhas no parafuso com indicação 3.

O led é colado na placa, com cola quente, com suas pontas voltadas para cima. Deve-se tomar cuidado com a polarização do led<sup>8</sup>. Uma das pontas (terminais) é mais longa que a outra. Posiciona-se o led de tal forma que a ponta mais longa fica voltada para o lado esquerdo, e a ponta mais curta para o lado direito (Figura 2). A montagem da base é encerrada com a colocação das pilhas nos suportes.

*Figura 2. Base para pilhas, contatos e led*



*Fonte: Autores*



Se um docente determinar a construção da CelC para um grupo de alunos, é importante que ele faça questionamentos e estimule discussões nessa fase. Isso visa incentivar os alunos a correlacionar em materiais e procedimentos com conceitos científicos. O docente pode questionar por exemplo o porquê do uso de lápis HB, assim como pode estimular uma discussão sobre led's e suas aplicações cotidianas.

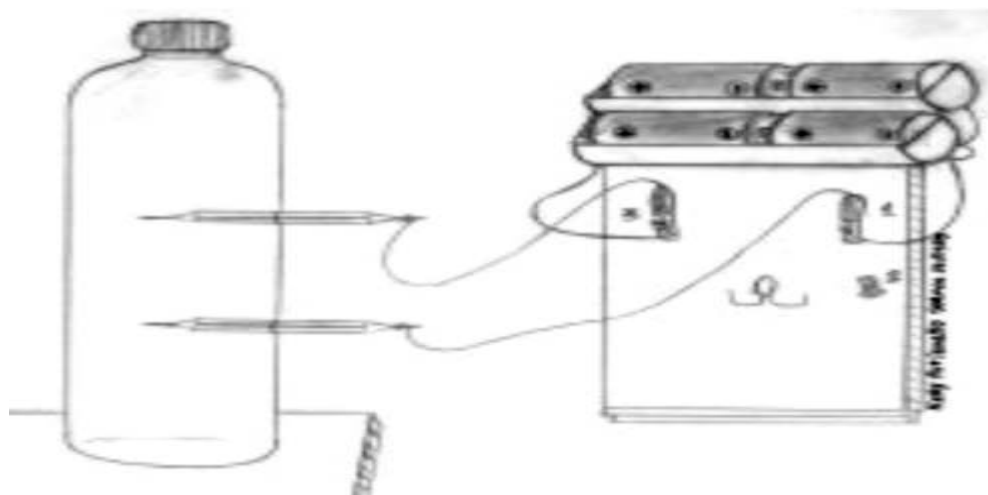
### Funcionamento

O funcionamento é dividido em duas etapas. Na primeira etapa promove-se a eletrólise da solução aquosa salina. Na segunda etapa verifica-se a reversibilidade da reação através da emissão de luz por um led.

Antes de iniciar a eletrólise, aproxima-se a garrafa com a solução salina do conjunto das pilhas. Conecta-se uma das pinças “jacaré” ao parafuso de número 1 (polo negativo) e a outra pinça ao parafuso de número 3 (polo positivo) (Fig 3). No intervalo de 6 a 10 segundos observa-se a formação de bolhas de gás nas pontas de grafite no interior da solução. Deve-se evitar a prolongação do tempo de reação para que as bolhas de gás não se desprendam das pontas de grafite.

Nesse momento o docente pode discutir o processo eletroquímico e quais são as espécies envolvidas. O conhecimento prévio sobre a eletrólise da água pura faz o discente pensar que os gases formados são o oxigênio,  $O_2(g)$ , e o hidrogênio,  $H_2(g)$ .

Figura 3. Promovendo a eletrólise na célula

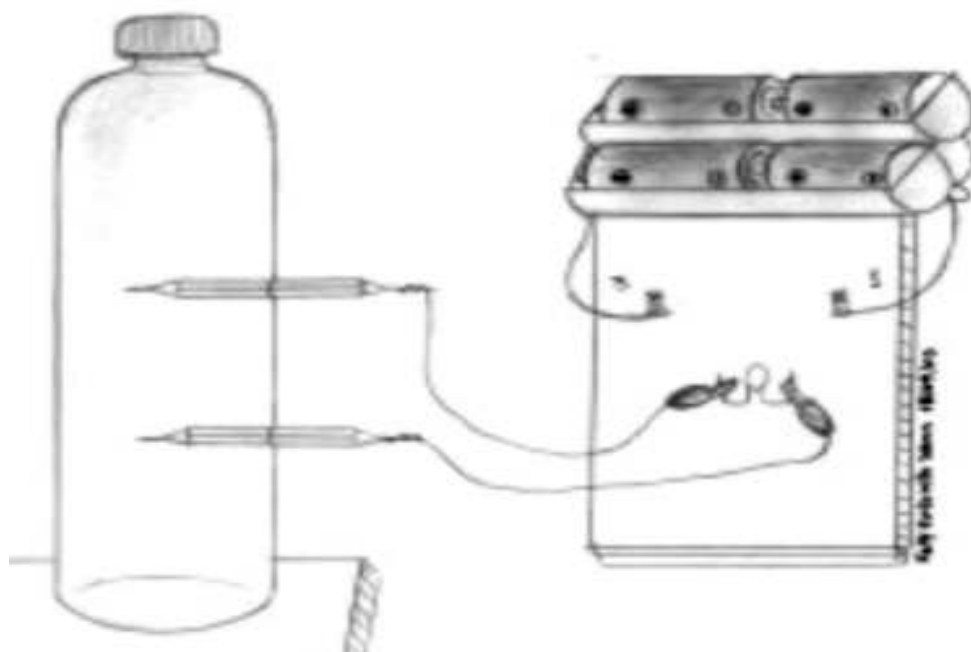


Fonte: Autores

Opcionalmente pode-se verificar, com um multímetro, a voltagem e a corrente que passam pelo sistema. Nesse caso, ao invés de conectar uma pinça no parafuso 1, conecta-se ao parafuso 2. O multímetro fecha o circuito conectando-se suas pontas de prova nos parafusos 1 e 2. Os resultados obtidos podem ser comparados e discutidos com aqueles obtidos para as pilhas.

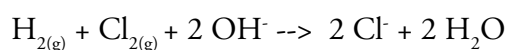
Após o período determinado para a eletrólise, e sem perturbar a garrafa (agitação, deslocamento, vibração), removem-se as pinças dos parafusos 1 e 3. Qualquer perturbação pode provocar o desprendimento das bolhas dos gases das pontas de grafite. A pinça que estava conectada ao parafuso 1 é colocada na ponta do led localizada à direita. A pinça que estava conectada ao parafuso 3 é conectada à ponta do led localizada à esquerda.

Figura 4. Simulação de célula combustível



Fonte: Autores

O led, então, passa a emitir luz. Isso ocorre por causa da energia fornecida pelo processo inverso à eletrólise, cuja reação global é:



Essa etapa é a simulação de célula combustível, onde  $H_{2(g)}$  é consumido e energia elétrica é gerada.

Enquanto as pinças permanecem conectadas ao led, percebe-se que a intensidade luminosa decai com o tempo. Isso está diretamente relacionado à cinética da reação. O registro quantitativo desse decréscimo de luminosidade pode ser obtido com uso do multímetro. Após a promoção da eletrólise deve-se conectar as pinças às pontas de prova do multímetro (ao invés das pontas do led). O registro numérico pode ser transformado, posteriormente, em um registro gráfico.

Nesse momento o docente pode efetuar discussões sobre: a reversibilidade de processos químicos; a reversibilidade de processos bioquímicos em organismos; conceitos de eletricidade; conversão de energia; fontes e tipos de energia e suas características; problemas ambientais; tecnologia e pesquisa científica; células combustíveis e suas aplicações, suas vantagens e suas desvantagens; entre outros temas e conceitos.

O docente pode iniciar as discussões propondo a seguinte questão aos discentes: “como é possível uma solução de água e sal acender um led?”. Também é possível a esse mesmo docente solicitar sugestões de modificações no equipamento de modo a permitir a observação e discussão de outros fenômenos. Um exemplo é substituição da grafite de lápis por grafite oriundo de pilhas usadas. Esse tipo de grafite é mais poroso e pode prolongar o tempo de emissão de luz no led. O inconveniente é a abertura de pilhas para extração da grafite, pois as pilhas contêm substâncias que podem ser tóxicas.

Outra questão importante que merece a atenção do docente é o uso de pilhas no experimento. E um dos benefícios apontados no uso das CelCs é a redução da quantidade de baterias nos aterros sanitários. Esse fato aparentemente contraditório é justificado pelo fato de o experimento apresentar um equipamento, construído com materiais alternativos e de baixo custo, que **simula** uma CelC.

A fim de auxiliar o trabalho e planejamento do docente do Ensino Básico, sugere-se como leitura inicial sobre células combustíveis o material que se encontra no “Portal Célula a Combustível” disponível em <<http://www.brasilh2.com.br/>>.

## Considerações finais

Este experimento, que simula uma célula combustível, contém uma série de conceitos e conteúdos científicos e tecnológicos, os quais são facilmente correlacionados e relacionados entre si. Essas correlações e relações compõem a chamada integração de conceitos e conteúdos.

Procurou-se destacar também que a discussão dos conceitos e conteúdos ocorre não somente na execução do experimento, mas também em sua montagem. Isso mostra a flexibilidade e versatilidade que a experimentação alternativa pode apresentar, desde que bem planejada e conduzida.

Também é importante ressaltar que não se propõe, nesse trabalho, o abandono da experimentação em ambientes especiais com materiais especiais (por exemplo a experimentação em um laboratório com seus equipamentos tradicionais). O que se ratifica é a ampliação das ferramentas disponíveis para o ensino de Química e Ciências de um modo geral (e integrado). Nada impede uma conjugação da experimentação alternativa<sup>9</sup> com a experimentação tradicional.

Nos minicursos e oficinas em que o experimento foi apresentado, foi possível comprovar sua capacidade de despertar, no participante da atividade, o interesse, a curiosidade, e o questionamento sobre os fenômenos envolvidos. Em função dessa resposta positiva, pretende-se, nos próximos cursos e oficinas, realizar uma avaliação da abordagem integradora no desenvolvimento do experimento e seu impacto na relação ensino-aprendizagem.

Os autores agradecem à Pró-reitoria de Extensão e Assuntos Culturais da UNICENTRO, PROEX, à Secretaria de Estado de Educação do Paraná, SEED/PR e à Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério de Ciência e Tecnologia, FINEP/MCT, pelo apoio ao trabalho.

## Referências

1. ARROIO, A.; HONÓRIO, K. M.; WEBER, K. C.; MELLO, P. H.; GAMBARDILLA, M. T. P.; SILVA, A. B. F. O Show da Química: motivando o interesse científico. *Química Nova*, v. 29, p. 173-178, 2006.

2. SANTOS, S. A.; SANTOS, J. M. T.; STANGE, C. E. B. Projeto IDEC: uma experiência com professores do ensino fundamental - 5a a 8a séries. In: SOUZA, O. A. (Coordenador) *XVII Seminário de Pesquisa e XII Semana de Iniciação Científica da UNICENTRO*. Guarapuava: UNICENTRO, 2006. no prelo
3. GOMES NETO, E. H. Brasil H2 Fuel Cell Energy. In: *Ambiente Brasil*. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/celulacombustivel.html>>. Acesso em 18 abr. 2006.
4. BLANKS P. D. *Células combustíveis, aplicações poderosas*. Disponível em <<http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/3tri04/blanks.html>>. Acesso em 18 abr. 2006.
5. WENDT, H.; GOTZ, M.; LINARDI, M. *Química Nova*. v. 23, n. 4, p. 441-574, jul. 2000.
6. SILVA, V. Célula de Combustível Salina. In: *Ciência em Casa*. Disponível em <<http://cienciaemcasa.cienciaviva.pt/celcombsalina.html>>. Acesso em 10 abr. 2006.
7. RUSSELL, J. B. *Química Geral*; v. 2; 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.
8. ARAÚJO, L. P. *LED – Diodo Emissor de Luz*. Recursos Educativos. Centro de Competência Nónio –ESEV. Disponível em <<http://www.esv.ipv.pt/tear/Recursos/recursos.ASP>>. Acesso em 20 abr. 2006.
9. SANTOS, J. M. T.; ROSA, E. A.; SCHIPANSKI, M.; GOMES, Everton C.; BARABACH, M. Condensador de liebig para experimentação alternativa e de baixo custo. *Revista Ciências Exatas e Naturais*. v. 7, n. 2, p.221-228, jul/dez 2005.