



[BIOQUÍMICA]

Caldo de cana em biocélulas

Alternativa energética para produzir eletricidade

MARCOS DE OLIVEIRA

O caldo de cana, companheiro de pastéis em feiras livres, é um forte candidato a produzir energia elétrica em uma pequena caixa plástica para funcionar como baterias de celulares, tocadores de MP3 ou mesmo *notebooks*. O dispositivo onde os açúcares da garapa agem como combustível, chamado de biocélula, é uma das promessas mais recentes no campo das fontes energéticas alternativas. Em 2007 a Sony mostrou um desses protótipos – existem vários no mundo – para suprir um pequeno tocador de música alimentado com glicose. Além dos açúcares, outros combustíveis podem ser utilizados como etanol, metanol e água de esgoto. Em relação ao caldo de cana, a primeira demonstração foi de um grupo de pesquisa da Universidade Federal do ABC (UFABC), em Santo André, na Região metropolitana de São Paulo. A produção de eletricidade a partir do caldo foi possível com a síntese de uma enzima em laboratório que potencializa a reação química responsável por converter o açúcar em eletricidade.

As biocélulas a combustível têm apresentado uma crescente importância científica e



**Biocélula
com caldo
de cana passa
por medição
em laboratório
da UFABC**

tecnológica nos últimos anos. Os estudos que envolvem esses dispositivos, desde o início dos anos 1990, pularam de cinco artigos publicados em revistas científicas em 1989 para 240 em 2010, segundo levantamento da professora Adalgisa de Andrade, do Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP). São estudos normalmente feitos em parceria com várias instituições. Adalgisa, por exemplo, que desenvolve biocélulas que utilizam o etanol como combustível, mantém colaboração com a professora Chelley Minter, da Universidade de Utah, Estados Unidos, coordenadora de um grupo que já produziu vários trabalhos nessa área. Frank Nelson Crespilho, coordenador do Grupo de Materiais e Métodos Avançados da UFABC que utiliza o caldo de cana em suas biocélulas, possui parcerias com a Universidade da Coreia do Sul, a Universidade de Grenoble, na França, e, dentro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Eletrônica Orgânica (Ineo), a Universidade Federal do Piauí.

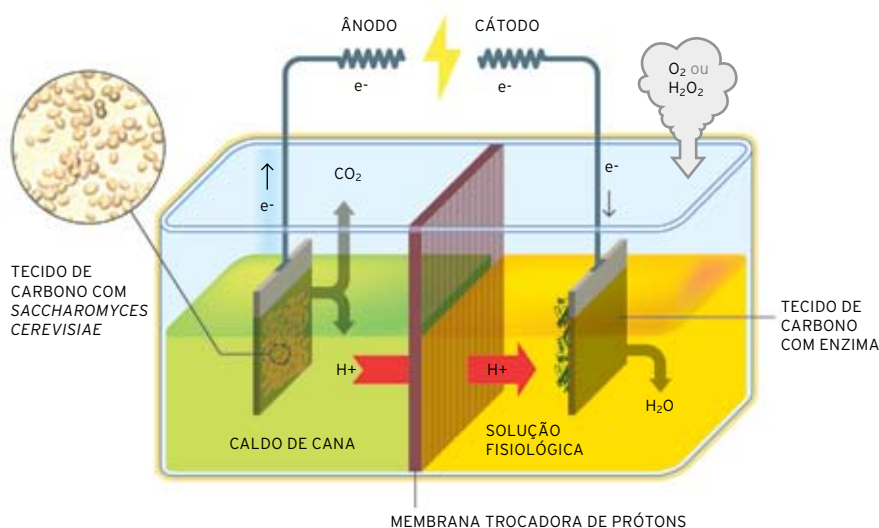
Um dos focos desses estudos relacionados com biocélulas a combustível é a potência que

ainda é muito baixa, o que se transforma num impedimento para a sua implementação comercial. A elaborada na UFABC, com caldo de cana e a nova enzima, gera 60 miliwatts (mW) por centímetro quadrado (cm²) operando a uma tensão de 0,39 volt (V), o que representa 26% da voltagem de uma pilha do tipo AAA, com 1,5 V. “A voltagem pode ser aumentada colocando-se várias células funcionando em série”, afirma o professor Frank Crespilho, coordenador do estudo. Foi essa a fórmula encontrada pela Sony em seu protótipo que gerou 1,5 miliwatt por cm² e 0,8 V no total. O experimento da empresa teve apoio científico do professor Kenji Kano da Universidade de Kyoto, do Japão.

A corrida tecnológica atual é justamente aumentar a potência e o tempo de funcionamento desses equipamentos que já atingem mais de 10 horas. Outras vertentes dos estudos são a geração de energia a partir de esgotos ao retirar elétrons da matéria orgânica e a miniaturização que permitiria a instalação dessas células no próprio organismo humano. O combustível, no caso, em vez do caldo de cana, poderia ser a própria glicose do sangue.

Biocélula com membrana

Eletrodos com microrganismo e enzima mergulhados em caldo de cana e solução



Injeção de caldo de cana na biocélula

“Um dos desafios atuais em relação às biocélulas a combustível é trazê-las para *microchips*, fazer uma microbiocélula ou nanobiocélula implantável para funcionar como uma bateria de marca-passo, para liberar medicamentos no organismo ou para detectar níveis de glicose”, diz o professor Crespilho, que, aos 32 anos, é também chefe da Divisão de Propriedade Intelectual do Núcleo de Inovação Tecnológica da UFABC. Para medir correntes muito baixas das biocélulas extremamente pequenas, Crespilho e sua equipe desenvolveram um *software* e compraram com financiamento da FAPESP um equipamento para eliminar ruídos de cabos de aparelhos eletrônicos e tratar sinais do ambiente.

Alta eficiência - As biocélulas funcionam de forma semelhante a uma bateria, convertendo energia química em eletricidade e de forma muito parecida com as células a combustível que produzem energia elétrica – equipamentos já fabricados sob encomenda por algumas empresas, inclusive no Brasil – e têm o hidrogênio como principal combustível. São equipamentos que normalmente possuem mais de cinco quilowatts de potência, suficiente para suprir de eletricidade uma casa confortável para quatro pessoas. As biocélulas a combustível que estão no nível de pesquisa científica e tecnológica são uma

promessa de produção de energia elétrica alternativa porque, a exemplo de suas primas maiores, possuem alta eficiência energética ao gastar pouco combustível na conversão de energia em comparação com motores a gasolina ou a diesel, por exemplo. Tudo isso de forma silenciosa e sem deixar grande quantidade de gases ou resíduos poluentes.

OS PROJETOS

1. *Interação entre biomoléculas e sistemas celulares com nanoestruturas OD, 1D, 2D utilizando métodos eletroquímicos n. 2009/15558-1*
2. *Desenvolvimento de uma biocélula a combustível utilizando enzimas álcool desidrogenase imobilizadas por automontagem n. 2008/05124-1*

MODALIDADE

1 e 2 - Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADORES

1. Frank Nelson Crespilho - UFABC
2. Adalgisa Rodrigues de Andrade - USP

INVESTIMENTO

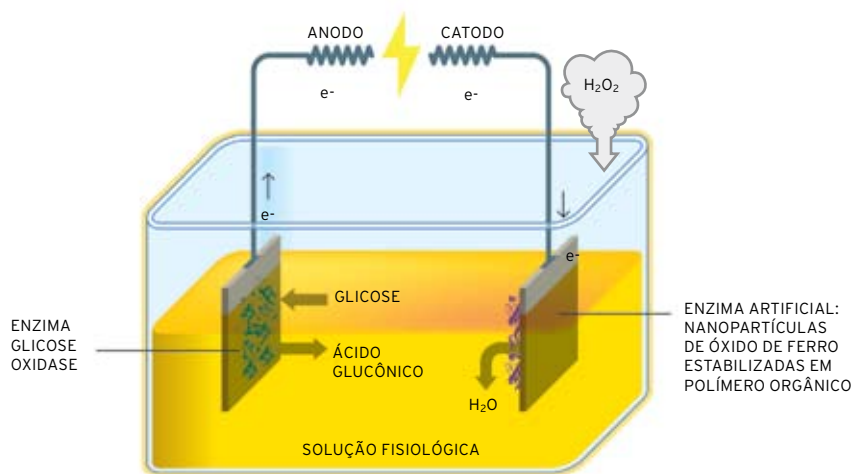
1. R\$ 92.262,80 e US\$ 50.821,57 (FAPESP)
2. R\$ 73.622,30 e US\$ 29.031,76 (FAPESP)

A vantagem que se vislumbra com esses pequenos aparelhos é o aspecto biológico presente nos catalisadores, de origem orgânica, produzidos com enzimas ou microrganismos. Eles promovem a reação química necessária para a produção de eletricidade, no lugar, por exemplo, da platina nas células a combustível que é muito cara. Assim, a equipe coordenada por Crespilho conseguiu desenvolver uma enzima sintetizada na forma de um composto formado por nanoestruturas de oxi-hidróxidos de ferro e um polímero orgânico chamado de polidialidimetilamônio (PDAC), que são aplicados no cátodo, um dos polos de um sistema eletrolítico, como uma bateria, que produz ou deixa fluir os elétrons, no caso extraídos dos açúcares do caldo de cana, no lado ânodo (*ver ilustração*). Outro ganho do grupo foi o uso de poliamida na estrutura da célula, um produto barato e escolhido quase por acaso na visita a uma fábrica de plásticos em Santo André.

Para entender esse estudo bioeletroquímico, que com a adoção de compostos nanotecnológicos está sendo chamado de nanobioeletroquímica, é preciso lembrar que as células a combustível – e mesmo as bio – precisam de elementos oxidantes e redutores, para perder e ganhar elétrons. Nas células é instalada uma membrana polimérica chamada de membrana de troca de

Sem membrana

Solução com eletrodos e enzimas produz eletricidade



prótons ensanduichada entre os lados anodo e catodo da biocélula. Como a corrente é contínua, os elétrons fluem para o outro lado sendo recebidos no outro polo. Na membrana passam apenas os átomos sem elétrons, os prótons. Crespilho também estuda biocélulas sem membranas entre os dois polos. “Nesse caso, produzimos uma em que os eletrodos são mergulhados numa solução com glicose, água, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), mais conhecido como água oxigenada, e dois tipos de enzima, uma glicose oxidase e a outra foi a nossa enzima com nanopartículas de óxido de ferro. A biocélula se mostrou eficaz com uma maior velocidade da reação eletroquímica que algumas mostradas na literatura”, diz Crespilho.

“A enzima sintética que desenvolvemos mimetiza um mecanismo natural de enzimas da classe das peroxidases. Assim, enquanto os elétrons são extraídos dos açúcares para o anodo, outros elétrons são injetados no catodo e a enzima sintética acelera a quebra das moléculas de peróxido de hidrogênio.” Uma enzima biomimética é mais barata, estável e eficiente que as naturais, segundo os pesquisadores. O trabalho desenvolvido pelo aluno de doutorado Marcus Victor Martins consistiu em envolver o óxido de ferro com uma camada do polímero orgânico sintetizados na forma de agulhas. A enzima

imobilizada sobre um eletrodo contendo fibras de tecido de carbono é mergulhada em meio salino, com o caldo de cana e outros aditivos que formam o ambiente natural da enzima. “O problema maior é manter a estabilidade dela por mais de 10 horas. Se a enzima degrada, a corrente cai”, diz Crespilho, que lidera o grupo há três anos na universidade inaugurada há cinco anos.

Sem perturbar - Os experimentos do grupo de Crespilho também recaem sobre outra possibilidade no mundo das biocélulas, o uso de microrganismos como a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a mesma presente na fermentação do etanol, do pão e da cerveja. “Eles digerem o açúcar”, diz Crespilho. “A maior dificuldade é extrair elétrons sem perturbar ou matar a *Saccharomyces*.” Por meio de uma série de estratégias químicas, os pesquisadores conseguiram tanto manter o microrganismo como produzir eletricidade com ele imobilizado em um eletrodo de carbono. Mais de 20 microrganismos, principalmente bactérias, já foram utilizados com sucesso em experimentos com biocélulas, segundo a literatura científica.

O uso de eletrodos com microrganismos não está no campo de estudos da professora Adalgisa de Andrade, da USP de Ribeirão Preto, que escreveu

um artigo em que faz um resumo das atividades relacionadas às biocélulas enzimáticas em todo o mundo em 2010. Ela desenvolve biocélulas, que usam o etanol como combustível, compostas por enzimas que quebram esse álcool como as desidrogenases encontradas inclusive no fígado para digestão de bebidas alcoólicas. O mais recente resultado do grupo que ela lidera é o desenvolvimento de anodos com nanoestruturas imobilizadas, contendo polímeros orgânicos e desidrogenases mais estáveis que apresentam maior densidade de corrente elétrica e que funcionam até por 90 dias.

“Fizemos um trabalho de misturar enzimas e polímeros e colocá-los em cima da superfície de carbono preparado para receber elétrons, além de orientar essas camadas para que o eletrodo se torne mais estável e com potência maior”, diz Adalgisa, que contou nos estudos com a pós-doutoranda Juliane Forti. Com esses novos arranjos, o grupo dela conseguiu que uma biocélula com potência de 0,28 miliwatts por cm^2 funcionasse com etanol. Adalgisa e Frank Crespilho fazem parte de um seleto grupo de pesquisadores que herdaram o desenvolvimento das biocélulas do professor Michael Potter, da Universidade de Durham, no Reino Unido, que em 1912 demonstrou a produção de eletricidade por bactérias *Escherichia coli* em um substrato orgânico. A primeira biocélula apenas com enzimas foi apresentada mais de 50 anos depois, em 1964, por um grupo de pesquisadores da empresa Space-General Corporation, da Califórnia, nos Estados Unidos. Um longo caminho que poderá resultar em alguns anos numa nova alternativa energética. ■

Artigos científicos

1. MARTINS, M.V.A.; BONFIM, C.; SILVA, W.C.; CRESPILO, F.N. Iron (III) nanocomposites for enzyme-less biomimetic cathode: A promising material for use in biofuel cells. **Electrochemistry Communications**. v.12, n.11, p. 1.509-12. 2010.
2. AQUINO NETO, S.; FORTI, J.C.; ZUCOLOTO, V.; CIANCAGLINI, P.; DE ANDRADE, A. R. Development of nanostructured bioanodes containing dendrimers and dehydrogenases enzymes for application in ethanol biofuel cells. **Biosensors and Bioelectronics**. v. 26, p. 2.922-26. 2011.