15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Avaliação do efeito da luminosidade em biocélulas combustíveis microbianas de cerâmica com musgos *Sphagnum*

MARIA ISABELA ALVES ANTUNES[1], GUSTAVO PIO MARCHESI KRALL CINICIATO[2]

[1] Graduando em Engenharia de Biossistemas, Bolsista FAPESP, IFSP, Campus Avaré, isabela.maria@aluno.ifsp.edu.br
[2] Docente, IFSP, Campus Avaré, gustavo.ciniciato@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.06.03.02-6 Eletroquímica.

RESUMO: As biocélulas a combustível microbiana de cerâmicas de musgos *Sphagnum* foram estudadas quanto ao efeito da iluminação. Para isso, células foram montadas em copos de cerâmica de 200 mL, utilizando tecido de fibra de carbono no cátodo e ânodo, com solo distribuído de maneira uniforme nos copos de cerâmica em seguida adicionados musgos *Sphagnum* hidratados na superfície. Após a montagem, foram adicionados 100 mL de solução de KCl 100 mM, e as biocélulas foram submetidas a diferentes condições de iluminação: luz parcial, luz total e escuridão. A hidratação dos musgos foi mantida com 50 mL de água destilada a cada dois dias, e experimentos eletroquímicos foram realizados diariamente. Os resultados mostraram que a BCM sob luz parcial teve um desempenho superior no potencial de circuito aberto, enquanto as outras duas condições resultaram em potenciais próximos de zero. Além disso, o desenvolvimento visual do musgo *Sphagnum* foi diretamente proporcional aos potenciais registados.

PALAVRAS-CHAVE: Eletroquímica; potencial elétrico; eletricidade; fotossíntese.

Evaluation of the effect of luminosity on microbial ceramic fuel cells with *Sphagnum.*

ABSTRACT: Microbial fuel cells made from *Sphagnum* moss ceramics were studied to assess the effect of lighting. Cells were assembled in 200 mL ceramic cups, using carbon fiber fabric for both the cathode and anode, with soil uniformly distributed in the cups, followed by the addition of hydrated Sphagnum moss on the surface. After assembly, 100 mL of 100 mM KCl solution was added, and the cells were subjected to different lighting conditions: partial light, full light, and darkness. The moss hydration was maintained by adding 50 mL of distilled water every two days, and electrochemical experiments were conducted daily. The results showed that the BCM under partial light had superior performance in open circuit potential, while the other two conditions resulted in potentials close to zero. Additionally, the visual development of the *Sphagnum* moss was directly proportional to the recorded potentials.

KEYWORDS: Electrochemistry; electric potential; electricity; photosynthesis.

INTRODUÇÃO

Embora as fontes de energia renovável, como a eólica, solar, geotérmica e maremotriz, desempenhem um papel crescente no fornecimento de energia sustentável para residências, elas apresentam limitações quando se trata de aplicações que exigem mobilidade ou operação fora da rede elétrica. Esses métodos, apesar de eficazes para grandes instalações, podem não ser ideais para dispositivos portáteis e sistemas isolados. Em contraste, as biocélulas a combustível oferecem uma solução inovadora e prática para essas situações, convertendo reações químicas em eletricidade de forma eficiente e sustentável.

Considerando os desafios enfrentados pelas células a combustível convencionais, o interesse nas células a combustível biológicas tem aumentado e recebido mais atenção. Diferente das células a combustível, as biocélulas a combustível são um dispositivo que pode empregar enzimas, célula de biocombustível enzimática (BCE) ou microrganismos, célula de combustível microbiana (BCM) como catalisador em vez dos tradicionais catalisadores de metais nobres (Neto e Andrade, 2013).

Os catalisadores biológicos para as biocélulas a combustível não apresentam as limitações econômicas e a disponibilidade dos materiais nobres como o caso da platina, uma vez que descoberto um microrganismo ou enzima capaz de oxidar os substratos e transferir elétron para os elétrodos com alta eficiência sua demanda é capaz de suprir toda necessidade (Gomes, 2011). Outra vantagem ao uso desses catalisadores é vasta gama de combustíveis que podem ser utilizados e baixa purificação exigida (Shukla, 2004).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito a iluminação em BCM de musgos *Sphagnum*

MATERIAL E MÉTODOS

Os musgos foram obtidos em forma desidratada por fornecedor local. Após abrir a embalagem contendo 50 g de musgos *Sphagnum*, estes foram submersos em água e deixados por vinte e quatro horas até que eles apresentassem início de coloração verde ou roxa, conforme procedimento já realizado neste grupo, logo após a etapa de reidratação, foi utilizado substrato da característica do produto comercial Carolina Soil (CSC) com as seguintes composições: Turfa de *Sphagnum*, conhecida como Turfa canadense ou europeia, Perlita expandida, Vermiculita expandida, para um possível auxílio no crescimento dos musgos, e em seguida uma parte foi colocado na casa de vegetação e outra parte foi colocado na câmara de iluminação parcial para observar se haveria diferença temporal visível na pigmentação dos musgos.

Para a preparar a camada difusora de gás foi utilizado tecido de fibra de carbono UC 225 IM (e-composities), cortado em formato de retângulo com uma área de aproximadamente 180 cm^2, com intuito de revestir as faces do copo de cerâmica de aproximadamente 200mL, do lado externo com a parte contendo a camada difusora de gás sendo colocada em contato com o ar atmosférico e a face não tratada virada para cerâmica em contato com o eletrólito. Para isso, foi seguido o procedimento de Santoro e colaboradores.

Nesse viés, foi preparado uma mistura de 0,7 g de partículas de carbono black (Vulcan XC-72R), 9,1 mL de água destilada e 21,5 mL de Triton X100 (Sigma -Aldrich), e misturado por 1 hora. Logo após, foi adicionado 1 g de PTFE (60% de emulsão, Sigma-Adrich), e misturado por mais 30 minutos, com isso foi adicionado no banho de ultrassom por 15 minutos, seguido de mistura por agitação por mais 5 minutos, repetindo 2 vezes tanto o banho de ultrassom quanto a agitação. Em seguida, mais 2,75g de carbono black foi adicionado e misturado por mais 1 hora.

Com isso, a mistura foi adicionada em uma das faces do tecido de fibra de carbono que foi aquecido entre duas placas por 30 minutos na temperatura de 280 C e depois 343 C por 2,5 horas.

Após o resfriamento, esses tecidos de carbono foram trançados com fio de níquel cromo AWG 26, a face tratada foi adicionada na cerâmica de modo que ficasse em contato com o ar atmosférico enquanto a face não tratada ficasse em contato com a cerâmica, esses fios de níquel foram trançados de modo que uma parte fosse exposta para realizar as medidas com o multímetro.

As biocélulas foram construídas utilizando copos de cerâmica de aproximadamente 200 mL, esses copos de cerâmica foi revestido com o tecido de carbono tanto internamente (ânodo) quanto externamente (cátodo), ambos foram recortados em formato de retângulo e trançados com níquel cromo AWG 26, sendo que o tecido utilizado para construção do cátodo , já o ânodo foi construído da mesma forma porém sem o tecido de carbono tratado, sendo assim foi depositado na parte interna do copo de cerâmica de modo que uma ponta do níquel cromo ficasse exposto para fechar o circuito e consequentemente realizar as medidas com o multímetro, com isso foi adicionado os musgos *Sphagnum* na superfície da biocélula que recebeu solo de maneira uniforme, em seguida as células receberam 100 mL de KCL 100 mM, logo após, foram levadas para o ambiente de iluminação controlada (camâra) feito com caixas de papelão e lâmpadas de led específicas para fotossíntese , sendo elas luz total, parcial e escuro, sendo assim foi feito a hidratação com água destilada a cada dois dias e realizado medidas eletroquímicos alterando 15 diferentes resistores e esperando 2 minutos para anotar os valores de potencial de circuito aberto, para posteriormente realizar as curvas de polarização para averiguar o funcionamento do sistema

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento dos musgos *Sphagnum* com auxílio do substrato demonstrou ser mais rápido que a ausência desse insumo, levando 30 dias para apresentar coloração desejada e voltar a turgescência, segundo Boas Filho (2022), foram necessários 47 dias para os musgos apresentarem coloração verde sem auxílio de nenhum insumo, logo o substrato pode ter auxiliado na diferença temporal do desenvolvimento dos musgos.

A parcela colocada na câmara de luz parcial não demonstrou diferença temporal no desenvolvimento dos musgos em comparação a parcela posta na casa de vegetação como mostra a figura 1.

FIGURA 1- Musgos após 30 dias sendo hidratados, da esquerda para direita casa de vegetação, câmara com luz parcial.

As curvas de polarização são de extrema importância no que tange a avaliação do desempenho eletroquímico de uma BCM, essas curvas representam a relação entre a densidade de corrente e o potencial de saída da célula, oferecendo *insights* sobre a eficiência, as perdas internas, e o comportamento da célula sob diferentes condições de operação.

A seguir, apresenta-se a evolução temporal das curvas de polarização. A figura abaixo ilustra essas variações ao longo do tempo comparando os tratamentos de iluminação.

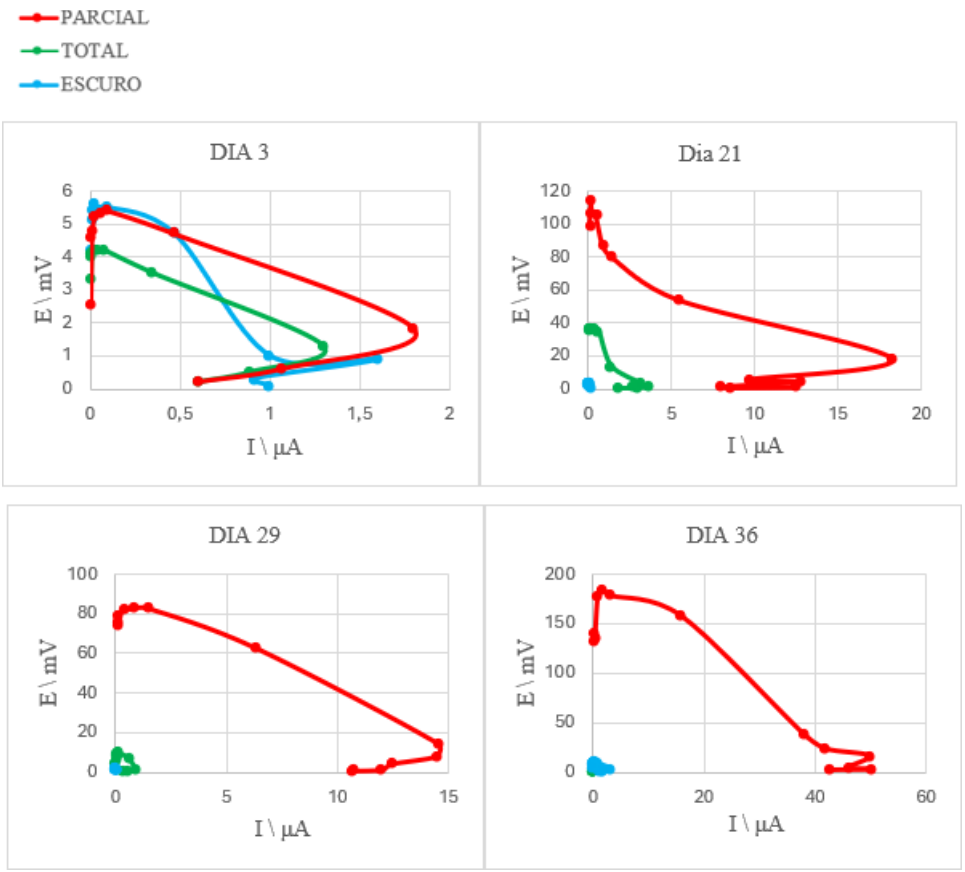

FIGURA 2 - Curvas de polarização das BCMs de musgos *Sphagnum* ao longo do experimento.

Como é possível verificar na imagem 1 as curvas de polarização dos diferentes ambientes apresentaram diferença, sendo a luz parcial a que mais se destacou, visto que a única variável foi a iluminação pode se dizer que a fotossíntese é a principal força motriz do sistema.

A literatura científica oferece suporte para entender o comportamento observado. De acordo com Taiz et al. (2017), a energia da luz solar é absorvida pelos primeiros pigmentos das plantas, todos os pigmentos ativos são encontrados nos cloroplastos, a energia da luz transferida á clorofila é absorvida por carotenoides que são encontrados em todos os organismos fotossintetizantes naturais e são ligados a proteínas que formam o aparelho fotossintetizante, uma porção da luz absorvida pelas clorofilas e pelos carotenoides, e ao final do processo armazenado em energia química.

A fotossíntese pode ser dividida em duas fases, a primeira produz ATP e transportador de elétrons reduzidos ($NADPH + H^+$), também conhecida como fase fotoquímica, ou seja, depende da luz para que ocorra a reação química, e a segunda usa o ATP, $NADPH^+$, H^+ e CO_2 para produzir açúcar, também conhecida como fase química não depende diretamente da luz, e nessa fase química que os produtos da fosforilação não cíclica são usados para produzir glicose, no ciclo de Calvin-Benson (Moreira, 2013).

Nessa ótica, o equilíbrio entre a presença e a ausência de luz se faz necessário para que a fotossíntese ocorra de forma regulada. Com isto, pode-se afirmar que a BCM colocada em condições de

luz parcial foi a que se saiu melhor em termos de tensão e corrente, fato explicado pela ocorrência da fotossíntese, já que essa condição é favorável para que ocorra esse processo, consequentemente a produção de exultados radicular, por fim mais nutrientes para os microrganismos doadores de elétron, que além de estar em ambiente propício para viver pode se multiplicar ja que o meio está favorável. Segundo Taiz et al. (2017), a clorofila parece verde ao olho humano porque ela absorve a luz principalmente nas porções vermelhas e azul do espectro, desse modo apenas uma parte da luz enriquecida nos comprimentos de onda verde é refletida ao olho humano, evidenciando assim que nessa BCM ocorreu a fotossíntese como mostra a figura 3 (C).

Nessas duas fases reações complexas ocorrem. Os sistemas fotossintéticos referentes a fase que depende de luz, são construídos para absorver grandes quantidades de energia luminosa e transformá-la em energia química. Em nível molecular a energia produzida em um fóton pode ser danosa , a energia luminosa em excesso pode levar a produção de substancias tóxicas, sendo danosa quando o mecanismos de fotoproteção apresenta falhas na dissipação desse excesso de energia, levando ao estado excitado do oxigênio molecular conhecido como singleto, que é extremamente reativo, reagindo com muitos componentes celulares especialmente lipídeos, além disso danifica várias proteínas importantes do centro de reação da fotossíntese (Taiz et al., 2017). Nesse viés, a BCM posta em iluminação total pode ter sofrido danos devido ao excesso de excitação na clorofila, levando ao mecanismo de falha da proteção contra os danos da luz, levando a uma fotoinibição, logo, o excesso de luz presente na BCM de musgos *Sphagnum* levou a uma inibição da fotossíntese que é a principal força que rege o sistema, já que promove a formação de exultados no rizoide dos musgos que é o principal combustível utilizado pelos microrganismos exoeletrogênicos presente na rizosfera, no qual o elétrodo foi inserido, evidencia disso é o decaimento significativo da curva de polarização dessa biocélula posta em câmara de iluminação total , fotos mostrando o processo da ausência da fotossíntese pode ser visualizado na figura 3 sendo a luz total no meio das BCMs.

Os fatores ambientais limitantes à fotossíntese são o CO_2, a luminosidade e a temperatura (Kluge et al., 2015). Logo, se um desses fatores está em falta, a fotossíntese não ocorre, isso pode ser visualizado na figura 3 (A), como por exemplo a BCM posta em ambiente escuro com o passar dos dias decaiu significativamente a curva de polarização, isso decorre, que uma vez que a diminuição dos exultados radicular dos musgos *Sphagnum* produto da fotossíntese decai os microrganismos exoeletrogênicos que oxidam esses exultados tendem a ficar sem energia para manter seu metabolismo, consequentemente os elétrons expelidos para o meio inserido o elétrodo também decaem.

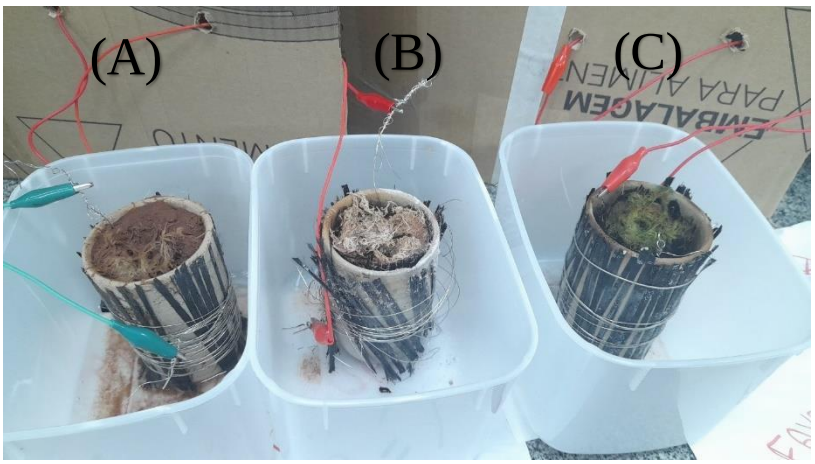

FIGURA 3- BCMs de musgos *Sphagnum* no trigésimo sexto dia: (A) sem iluminação, (B) iluminação total (C) iluminação parcial.

CONCLUSÕES

Os musgos se desenvolveram bem, se tornaram turgidos, quando inseridos nas biocélulas reagiram bem nos primeiros dias, porém ao final do experimento, apenas a BCM posta em ambiente de meia luz se desenvolveu-se multiplicou-se.

As câmaras de iluminação funcionaram perfeitamente, uma vez que foi capaz de controlar

eficientemente a iluminação no ambiente.

As montagens da BCMs concluem-se que foram bem construídas, uma vez que as curvas de polarização são características das BCMs encontradas na literatura, com as regiões característica.

A BCM-Musgo exposta a iluminação parcial apresentou bom desempenho chegando a valores máximos na ordem de 184 mV e 50 µA, enquanto a submetida a luz total e escuro apresentam desempenho muito inferior chegando ao final com valores próximo a 0. É confirmado, portanto, que o tempo de intensidade luminosa afeta diretamente o metabolismo do musgo e, consequentemente, afeta diretamente a capacidade de geração de eletricidade da biocélula a combustível microbiana desenvolvida.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

M.I.A.A. e GPMKC procederam com todas as etapas do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão da submissão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPESP (processo número 2024/01187-1) por me conceder bolsa da modalidade de iniciação cientifica ao meu orientador por todo suporte. E a todos que participaram indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

REFERÊNCIAS

Boas Filho, M.V. **Desempenho bioeletroquímico de microorganismos eficientes e musgos *Sphagnum* em bioânodos de biocélulas combustíveis microbianos para geração de energia limpa**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Biossistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, campus Avaré, Avaré, 2023.

Gomes, A.S.O. **Desenvolvimento de uma célula a combustível microbiana com culturas puras de Pseudomonas aeruginosa em meio de cultura de glicerol**. 2011. Dissertação (Mestrado em Físico-química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Kluge, R.A.; Tezotto-uliana, J.V.; Silva, P.P.M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

Moreira, C. Fotossíntese. **Revista de Ciência Elementar**, v. 1, n. 1, 2013.

Neto, S. A.; Andrade, A. R. New energy sources: the enzymatic biofuel cell. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, p. 1891-1912, 2013.

Shukla, A.K.; Suresh, P.; Berchmans, S.; Rajendran, A. Biological fuel cells and their applications. **Current science**, v. 87, n. 4, p. 455-468, 2004.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal 6ª ed**. São Paulo: Artmed, 2017.