REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE SORO DE QUEIJO UTILIZANDO UMA CÉLULA DE COMBUSTÍVEL MICROBIANA¹

MARIA DE LOS ANGELES GARCIA MAYEN², ANA CAROLINA VIEIRA ARAÚJO²,
PIERRE FERREIRA DO PRADO⁴, CLEONI DOS SANTOS CARVALHO², IOLANDA
CRISTINA SILVEIRA DUARTE³

¹ Apresentado no Congresso de Energias Renováveis da UFSCar: 23 a 26 de maio de 2017 – Sorocaba-SP, Brasil

² Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, Brasil

³ Professor Dr. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, Brasil.

E-mail: iolanda@ufscar.br

⁴ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, SP, Brasil

RESUMO

Neste estudo foi investigada a possibilidade de geração de eletricidade a partir do soro de queijo diluído em uma célula combustível microbiana (CCM) de duas câmaras sem mediadores. A CCM 1 foram inoculadas com lodo anaeróbio de lagoa de estabilização usada no tratamento de efluentes de abatedouro de aves e CCM 2 inoculada com sedimento de um rio. As CCM foram operadas por 21 dias em temperatura ambiente e foram monitoradas quanto à geração de corrente elétrica. Durante a operação das CCM 1 e CCM 2 a corrente elétrica máxima foi de 0,285 mA e 0,256 mA, a densidade de potência de 0,60 mW.m⁻² e 0,50 mW.m⁻² e remoção de DQO de 88% e 85%, respectivamente.

Palavras-chave: Bioenergia, Água residuária, Inóculos.

ELECTRICITY GENERATION FROM CHEESE WHEY USING A MICROBIAL FUEL CELL

ABSTRACT

In this study it was investigated the possibility of generating electricity from the diluted cheese whey in a two-chamber Microbial Fuel Cell without mediators. MFC 1 and MFC 2 were inoculated with sludge of anaerobic stabilization pond used in the treatment of poultry slaughterhouse effluent and MFC 2 inoculated with river sediment. The MFC was operated for 21 days at room temperature and were monitored for electric current generation. During the operation of MFC 1 and MFC 2 the maximum electric current was 0.285 mA and 0.256 mA, the power density of 0.60 mW.m⁻² and 0.50 mW.m⁻² and COD removal of 88% And 85%, respectively.

Keywords: Bioenergy, Wastewater, Inoculum.

INTRODUÇÃO

As Células Combustíveis Microbianas (CCMs) são dispositivos que convertem a energia bioquímica presente em misturas orgânicas complexas diretamente em eletricidade por meio de microrganismos (YANG et al., 2016).

A CCM é considerada uma tecnologia promissora para atender à crescente necessidade de energia, especialmente pelo uso de águas residuárias como substratos, podendo gerar eletricidade e depurar a água simultaneamente. Portanto, pode minimizar custos operacionais comparativamente à estação de tratamento de águas residuárias normalmente utilizadas (LU et al., 2009).

O substrato serve como fonte de nutrientes e de energia para os microrganismos. A eficiência e a viabilidade econômica da conversão de resíduos orgânicos para bioenergia dependem das características do substrato bem como de sua composição e concentração (ANGENENT; WRENN, 2008).

Atualmente a CCM usando águas residuárias tem limitações de produção de corrente elétrica devido à complexidade molecular de alguns substratos (PANDEY et al., 2016).

De acordo com Pant et al. (2010) é difícil comparar o desempenho da CCM, devido às diferentes condições de funcionamento, área de superfície e tipos de eletrodos, contudo ela

apresenta uma série de possibilidades de uso de substratos como a glicose, acetato, águas residuárias artificiais, águas residuárias de indústrias de alimentos, agrícolas, domésticas entre outras.

O soro de queijo é a porção aquosa que é formada durante a coagulação de caseína de leite na fabricação de queijo ou na fabricação de caseína (GUIMARÃES et al., 2010). O soro de leite é produzido em grandes quantidades e tem uma elevada carga poluente. Essa indústria gera resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas e, assim como outras agroindústrias, gera efluentes com alto potencial poluente, caracterizada por uma elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), além de reter grande parte dos nutrientes do leite, incluindo carboidratos, proteínas, gorduras (DEMIREL et al., 2005), peptídeos funcionais, lipídios, lactose, minerais e vitaminas. O lançamento desses efluentes sem prévio tratamento pode gerar graves problemas ambientais, no entanto, o efluente possui um vasto potencial como fonte de compostos de alto valor agregado (GUIMARÃES et al., 2010).

A produção mundial deste efluente é superior a 160 milhões de toneladas por ano, mostrando uma taxa de crescimento anual de 1-2% segundo dados da OECD-FAO (2008). Segundo dados do IBGE, a produção de queijos no Brasil com Inspeção Federal foi de 896 mil toneladas no ano de 2010 (IBGE, 2010).

Os principais destinos do soro de queijo são o uso como alimento para ruminantes e tratamento em lagoas (KOSIKOWSKI, 1979). Siso (1996) relatou que cerca de 50% da produção mundial total de soro de queijo é tratada e transformada em vários produtos alimentares, ou vão diretamente ao sistema de esgoto municipal ou descartado nos corpos d'água.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de soro de queijo na produção de energia elétrica em célula combustível microbiana.

MATERIAIS E MÉTODOS

Duas CCM tipo H foram confeccionadas com canos de PVC com capacidade de 200 mL para cada câmara. Na posição central encaixou-se o tubo que contém a membrana que permite a troca de prótons (H^+) (MTP) confeccionadas com ágar bacteriológico (LOGAN et al., 2006; SHARMA; BULCHANDANI, 2012) de 2,5 cm de altura.

A câmara do cátodo foi colocada sob aeração por meio de bomba de aquário durante toda a operação (SHARMA; KUNDU, 2010).

Os eletrodos de todos os experimentos foram feitos com tecido de carbono sendo o ânodo composto por duas partes de 4,5 x 10 cm e 6,0 x 15 cm totalizando uma área projetada de 135 cm² e o catodo por uma parte de 6 x 15 cm, totalizando uma área projetada de 90 cm².

O resistor externo que conecta anodo e catodo usado foi de 100 Ω ligado em série ao multímetro (digital ET-2517A Minipa) e os dados coletados por meio do programa Universal Data-Logging Systems, as medidas foram coletadas a cada 10 minutos gerando gráficos de corrente elétrica x tempo durante 21 dias. As CCM foram mantidas em temperatura ambiente.

Dois inóculos foram usados nos experimentos com as CCM, o primeiro foi lodo de abatedouro de frango, localizado no município de Itapetininga (SP), coletado 1 L do fundo da quarta lagoa de estabilização. As lagoas de estabilização recebem o efluente do abatedouro após pré-tratamento em um tanque de aeração, remoção de gordura em um flotor, e finalmente a água vai para quatro lagoas em série.

O segundo inóculo utilizado foi sedimento de um tributário do Rio Cabreúva no município de Cabreúva, SP, Brasil, com as coordenadas 23°18'23.4"S 47°05'50.5"W. Foi coletado 1 L do sedimento.

Os inóculos foram mantidos sob refrigeração (4 °C) e depois enriquecidos com solução de acetato. Os eletrodos foram colocados em frascos com 50 mL do inóculo (sem diluir), acrescentado 15 mL de solução de acetato de sódio e o eletrodo foi submerso no lodo. Os frascos foram deixados em repouso em temperatura ambiente em condições anaeróbicas por sete dias antes de serem usados nas CCM.

O soro de queijo usado neste trabalho foi obtido de um laticínio próximo ao município de Salto de Pirapora. Essa água residuária foi caracterizada quanto a concentração de matéria orgânica medida pela DQO, pH e sólidos (APHA, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os inóculos que foram utilizados antes do enriquecimento apresentaram pH próximos: lodo 7,3 e para o sedimento do rio 6,9, porém a concentração de ST e STV foram maiores no sedimento do rio, 926,04 g. L⁻¹ e 34,56 g. L⁻¹, respectivamente.

O pH do soro de queijo foi de 5,67 e sólido totais de 52,48 g.L⁻¹. Devido a elevada concentração de DQO (64,53 g.L⁻¹), o soro de queijo foi diluído até DQO de 1665 mg.L⁻¹. A concentração de DQO foi baseada em pesquisas anteriores que demonstraram que concentrações de DQO entre 1000 e 2000 mg.L⁻¹ são mais eficientes. Behera et al. (2010) com uma CCM de duas câmaras usando como substrato efluente moinho de arroz, membrana Nafion 117 e capacidade de 560 mL, usando uma concentração de DQO de 1100-1125 mg.L⁻¹ atingiu uma densidade de potência máxima de 158 mW.m⁻².

Houve incremento da corrente elétrica na CCM1 (soro de queijo + lodo de abatedouro de frango) a partir de 97 horas (0,009 mA), mas foi após 282 horas que começou a gerar uma quantidade de energia mais notável (0,11 mA). A CCM1 atingiu um valor máximo de 0,285 mA a partir de 310 horas, o que corresponde a uma potência de 0,008 mW e densidade de corrente de 21,11 mA.m⁻², densidade de potência de 0,60 mW.m⁻² (Tabela 1).

Na CCM 2 (soro de queijo + sedimento de rio) a geração de corrente começou a ser observada logo nas primeiras horas de operação e após 405 horas atingiu o valor máximo de 0,26 mA, o que corresponde a uma potência de 0,007 mW, uma densidade de corrente de 19,24 mA.m⁻² e uma densidade de potência de 0,50 mW.m⁻² (Figura 1).

Figura 1: Densidade de potência das CCMs ao longo do tempo. As operações não foram simultâneas.

Observa-se que apesar dos dados de corrente elétrica serem melhores na CCM 1 esta demorou mais para produzir corrente e teve essa corrente reduzida após 350 horas de

operação. No entanto a CCM 2 produziu menos corrente, mas conseguiu gerar logo no início da operação e de forma mais estável que a CCM 1 e manteve essa corrente até o final da operação.

Tabela 1: Comparação do desempenho da CCM 1 e a CCM 2, alimentadas com soro de queijo.

	CCM1 (lodo + soro)	CCM2 (sedimento + soro)
Tempo (h)	310	405
Corrente (mA)	0,285	0,260
Potência (mW)	0,008	0,007
Densidade de corrente (mA. m ⁻²)	21,11	19,24
Densidade de potência (mW.m ⁻²)	0,60	0,50

Tremouli et al. (2013) com uma CCM de duas câmaras com uma capacidade de 310 mL usando como eletrodo do anodo papel de carbono e para o eletrodo do catodo tecido de carbono, inoculando com lodo anaeróbico e soro de queijo pré-tratado como substrato conseguiu uma densidade de potência máxima de 46 mW.m⁻².

Estudos com CCM que obtiveram valores de densidade de potência maiores que o desta pesquisa foram os de Kaewkannetra et al. (2011), que conseguiu densidades de potência máxima de 1800 mW.m⁻², usando uma CCM de duas câmaras com eletrodos de placa de grafite e uma folha acrílica perfurada separando os compartimentos como MTP, água residuária de processos de extração de farinha de mandioca e, como inóculo, o lodo ativado de um moinho de mandioca.

A degradação da DQO na CCM 1 foi de 88% enquanto que na CCM 2 foi de 85%, demonstrando que as duas CCM foram eficientes na remoção da matéria orgânica.

Eficiências de remoção menores que os obtidos no presente estudo foram obtidas por Ali et al. (2015) com águas residuárias domésticas e uma DQO de 350 mg.L⁻¹ conseguiram uma remoção de DQO de 71,8 % e 72,85 % mesmo com correntes elétricas maiores do que o presente trabalho (0,784 mA e 0,645 mA). Muthukumar e Sangeetha (2014) utilizaram uma CCM de duas câmaras com uma MTP de ponte salina, capacidade de 1,8 L em batelada com eletrodo de folhas de grafite não revestidos de 0,027 m² para cada câmara, inoculada com 10 g.L⁻¹ de lama de processamento de sago (um amido de palmeira) e operada com águas

residuárias de processamento de sago, que gerou uma densidade de potência máxima de 3,6 mW.m⁻² e remoção de DQO de 79,7%.

Antonopoulou et al. (2010), com uma CCM de duas câmaras usando soro de queijo como substrato e concentração inicial de DQO de 730 mg.L⁻¹, obtiveram 100% de remoção de DQO e esta foi concluída em apenas 50 h.

A geração de energia a partir de águas residuárias da indústria láctea foi investigada por Elakkya e Matheswaran (2013) usando CCM de duas câmaras que, operando com concentração inicial de DQO de 1600 mg.L⁻¹ e o pH analítico de 7, produziu uma densidade de potência máxima de 192,161 mW.m⁻² e com eficiência de remoção de DQO de 91 %.

O pH das CCM apresentou alteração no decorrer da operação das CCM. Na CCM 1 o pH inicial foi de 6,12 e o pH final foi 7,27. Na CCM 2 o pH inicial foi 6,12 e o final 6,63. (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de pH e DQO no final da operação das CCM.

	pH	DQO (mg.L ⁻¹)
CCM 1	7,27	140
CCM 2	6,63	250

CONCLUSÕES

A CCM do tipo H foi capaz de gerar energia utilizando soro de queijo. Ambos os inóculos avaliados (lodo de lagoa de abatedouro de aves e sedimento de rio) foram capazes de gerar energia elétrica. O melhor inóculo na remoção de DQO foi o lodo de lagoa de estabilização tratando efluente de abatedouro de aves. O presente estudo apresentou, nas diferentes CCM, remoção de DQO maiores quando comparada com a literatura, entretanto, a geração de energia foi menor. Dessa forma acredita-se que as CCM operadas neste trabalho podem ser usadas no tratamento das águas, e modificações em relação a captação dos elétrons e a parte elétrica das CCM precisa ser modificada para melhorar o desempenho das CCM. Não foi observado relação entre de remoção de DQO e geração de energia elétrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida e ao programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental - UFSCar Sorocaba e a Organizacion de los Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

ALI, A. E.-H.; GOMAA, O. M.; FATHEY, R.; KAREEM, H. A. E.; ZAID, M. A. Optimization of double chamber microbial fuel cell for domestic wastewater treatment and electricity production. **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, v.43, n.9, p.1092 – 1099, 2015.

ANGENENT, L. T.; WRENN, B. A. Optimizing Mixed-Culture Bioprocessing To Convert Wastes into Bioenergy. **Bioenergy**. p.179–194, 2008.

ANTONOPOULOU, G.; STAMATELATOU, K.; BEBELIS, S.; LYBERATOS, G. Electricity generation from synthetic substrates and cheese whey using a two chamber microbial fuel cell. **Biochemical Engineering Journal**, v.50, n.1–2, p.10 -15, 2010.

BEHERA, M.; JANA P. S.; MORE, T. T.; GHANGREAKER, M. M. Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. **Bioelectrochemistry**, v.79, n.2, p.228–233, 2010

DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, v.40, n.8, p.2583–2595, 2005.

ELAKKIYA, E.; MATHESWARAN, M. Comparison of anodic metabolisms in bioelectricity production during treatment of dairy wastewater in Microbial Fuel Cell. **Bioresource Technology**, v.136, p.407 – 412, 2013.

GUIMARÃES, P. M. R.; TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorization of cheese whey. **Biotechnology Advances**, v.28, n.3, p.375 – 384, 2010.

KAEWKANNETRA, P.; CHIWES, W.; CHIU, T. Y. Treatment of cassava mill wastewater and production of electricity through microbial fuel cell technology. **Fuel**, v.90, n.8, p.2746 – 2750, 2011.

KOSIKOWSKI, F. V. Whey Utilization and Whey Products1. **Journal of Dairy Science**, v.62, n.7, p.1149 – 1160, 1979.

LOGAN, B. E.; REGAN, J. M. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. **Trends in Microbiology**, v.14, n.12, p.512 – 518, 2006.

LU, N.; ZHOU, S.; ZHUANG, L.; ZHANG, J.; NI, J. Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. **Biochemical Engineering Journal**, v.43, n.3, p.246 – 251, 2009.

MUTHUKUMAR, M.; SANGEETHA, T. The Harnessing Of Bioenergy From A Dual Chambered Microbial Fuel Cell (MFC) Employing Sago-Processing Wastewater As Catholyte. **International Journal of Green Energy**, v.11, n.2, p.161–172, 2014

OECD-FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2008–2017**. 2008.

PANDEY, P.; SHINDE, V.N.; DEOPURKAR, R. J.; KALE, S. P.; PATIL, S.A.; PANT, D. Recent advances in the use of different substrates in microbial fuel cells toward wastewater treatment and simultaneous energy recovery. **Applied Energy**, v.168, p.706 – 723, 2016.

PANT, D.; BOGAERT, G. V.; DIELS, L.; VANBROEKHOVEN, K. A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. **Bioresource Technology**, v.101, n.6, p.1533 – 1543, 2010.

SHARMA, V.; KUNDU, P. P. Biocatalysts in microbial fuel cells. **Enzyme and Microbial Technology**, v.47, n.5, p.179 – 188, 2010.

TREMOULI, A.; ANTONOPOULOU, G.; BEBELIS, S.; LYBERATOS, G. Operation and characterization of a microbial fuel cell fed with pretreated cheese whey at different organic loads. **Bioresource Technology**, v.131, p.380 – 389, 2013.

SISO, M. I. G. The biotechnological utilization of cheese whey: A review. **Bioresource Technology**, v.57, n.1, p.1 – 11, 1996.

YANG, Y.; YE, D.; LI, J.; ZHU, X.; LIAO, Q.; ZHANG, B. Microfluidic microbial fuel cells: from membrane to membrane free. **Journal of Power Sources**, v.324, p.113 – 125, 2016.