

II-468 - ANÁLISE DA PARTIDA DE UM BIORREATOR ELETROQUÍMICO COM MEMBRANAS – TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E POSSÍVEL GERAÇÃO DE ENERGIA

Eduardo Lucas Subtil⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professor Adjunto credenciado aos cursos de Engenharia Ambiental e Urbana e da pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Rodrigo Almeria Raggio⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Urbano pela Universidade Federal do ABC. Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental, também na Universidade Federal do ABC.

Priscila Sanches Rodrigues⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Urbana pela Universidade Federal do ABC.

Endereço⁽¹⁾: Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André – SP – CEP: 09210-580 - Brasil - e-mail: eduardo.subtil@ufabc.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos, têm-se estudado combinações de diferentes tecnologias de tratamento de efluentes, como os biorreatores eletroquímicos com membranas, que consistem na combinação de uma célula de combustível microbiana com o biorreator com membranas. Esta tecnologia apresenta grande potencial para o tratamento de efluentes com remoção de nutrientes, em especial o nitrogênio, ao mesmo tempo em que se pode haver a geração de energia na célula combustível, que aproveita a liberação de elétrons nas reações bioquímicas realizadas pelos microrganismos para degradação de poluentes. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a geração de energia e a remoção de poluentes (matéria orgânica e nitrogênio) durante a partida de um biorreator eletroquímico com membranas (EMBR) em escala piloto, com cátodo na zona anóxica e ânodo na zona anaeróbia. O EMBR avaliado contou com três câmaras, uma anaeróbia, uma anóxica e uma aeróbia. A primeira câmara (~8 L) era anódica e anaeróbia. A segunda câmara (~20 L) era catódica e anóxica, com um misturador para mistura da biomassa. A separação entre estas câmaras foi feita por uma placa perfurada e uma camada de brita de 5 cm de espessura. A terceira câmara (~25 L), aeróbia, tinha uma cassete de membranas com difusores de ar que, além de transferir oxigênio e promover a mistura da biomassa, também agiam para o controle físico do *fouling*. As membranas, ambas de ultrafiltração, possuíam porosidade de aproximadamente 0,1 µm. Os resultados obtidos indicam que houve remoção média de cerca de 97±3% e 97±1% de DBO₅ e DQO, respectivamente. Além disso, foi observado também uma redução significativa de nitrogênio total (remoção de 80±17%) e elevada capacidade de nitrificação, indicado pela remoção de 88±19% de nitrogênio amoniacal. Mesmo durante o período de partida foi observada uma geração de energia do sistema, com tensão máxima obtida foi 482 mV. O sistema EMBR, mesmo durante seu período de partida, confirmou que é possível atingir uma qualidade do efluente tratado equiparável a outras tecnologias que utilizam membranas, ao mesmo tempo em que houve geração de corrente entre os eletrodos

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluente, geração de energia, membranas, eletrodos.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e busca por novas técnicas para tratamento dos volumes cada vez maiores de águas residuárias domésticas e industriais das cidades têm sido constantes. Diversos métodos com diferentes princípios de operação foram desenvolvidos e aplicados considerando-se custos de operação e implantação, eficiência no tratamento, geração de resíduos, adaptação ao clima local, possibilidade de geração de energia, entre outros, visando solucionar a problemática do tratamento de águas residuárias e aproveitamento de recursos nas estações de tratamento (SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

Nas últimas décadas, um dos mais promissores métodos estudados foi o uso de membranas, as quais atuam pela imposição de uma barreira física à passagem de sólidos suspensos no esgoto (como matéria orgânica,

nutrientes, biomassa, entre outros). A partir destas é desenvolvido o sistema de biorreatores com membrana, uma combinação de um tanque em que ocorre digestão aeróbia (ou anaeróbia) seguido pela passagem pela membrana (LAPOLLI, 1998 apud MAESTRI, 2007). Este sistema faz com que a biomassa retida no reator fique mais tempo sob tratamento biológico, o que colabora para a degradação de poluentes e aumenta a eficiência de remoção e qualidade do permeado. Por outro lado, a formação de biomassa no reator colabora para o efeito de *fouling*, sendo necessária agitação próxima a entrada da membrana ou mesmo retro lavagem periódica, elevando os custos de operação, inclusive pelo gasto energético e ainda ocorrendo redução de eficiência do tratamento (MAESTRI, 2007).

A partir disso, nos últimos anos, têm-se estudado outras combinações de tratamentos envolvendo membranas, como os biorreatores eletroquímicos com membranas, que consistem na combinação de uma célula de combustível microbiana com o biorreator com membranas. A célula consiste em um reator com ânodo e cátodo que aproveita a liberação de elétrons nas reações bioquímicas realizadas pelos microrganismos para degradação de poluentes com geração de corrente elétrica, uma vantagem em relação ao biorreator com membrana (LOGAN et al., 2006).

Muitas configurações de biorreatores eletroquímicos estão sendo estudadas em diferentes condições (MA et al., 2015a), no entanto, ainda existem possibilidades não exploradas. Uma das principais questões para o sistema é a presença ou não da membrana de troca de prótons, considerando que sua ausência permite maior troca de íons entre câmaras e maior geração de corrente, apesar da interferência de contaminação por substâncias indesejadas entre os ambientes. A influência da carga orgânica na entrada também é um fator determinante, admitindo-se que quanto maior a relação alimento/microrganismo maior será a corrente gerada, para determinados tempos de retenção hidráulica. Uma das possíveis configurações desta tecnologia utiliza o cátodo em um ambiente anóxico, com o nitrato sendo utilizado como aceptor de elétrons para gerar energia. Esta configuração apresenta grande potencial para o tratamento de efluente doméstico, pois pode possibilitar a remoção mais efetiva de nitrogênio no efluente tratado. É importante considerar também que, além da carga orgânica, há uma relação diretamente proporcional entre a disponibilidade de nitrogênio e a corrente gerada, pois será o principal aceptor de elétrons na câmara catódica. Para que a viabilidade do sistema seja atestada e este seja adotado como um método reconhecido para tratamento de águas residuárias com possibilidade de geração de energia, a análise destes parâmetros se faz necessária, através do teste de configurações e de parâmetros de operação.

Levando estas questões em consideração, o objetivo deste trabalho foi avaliar a geração de energia e a remoção de poluentes (matéria orgânica e nitrogênio) durante a partida de um biorreator eletroquímico com membranas em escala piloto, com cátodo na zona anóxica e ânodo na zona anaeróbia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema proposto (Figura 1) é um biorreator eletroquímico com três câmaras, uma anaeróbia, uma anóxica e uma aeróbia. A primeira câmara (~8 L) era anódica e anaeróbia. A segunda câmara (~20 L) era catódica e anóxica, com um misturador para mistura da biomassa. A separação entre estas câmaras foi feita por uma placa perfurada e uma camada de brita de 5 cm de espessura. A terceira câmara (~25 L), aeróbia, tinha uma cassete com duas membranas e os aeradores (fundo), que também agiam para mitigação do *fouling*. As membranas (Figura 2), ambas de ultrafiltração, possuíam porosidade de aproximadamente 0,1 μm (220x320x6 mm, SINAP 10, Shangai SINAP Membrane Tech Co., Ltd, Shangai, China).

Os eletrodos para o experimento foram de feltro de carbono (oi-Tecnologia Carbon Co., Limited, Feltro De Carbono PAN), escolhidos devido à grande área superficial e à elevada condutividade, além de serem atóxicos para os microrganismos presentes no reator. Para otimizar o crescimento de biofilme em sua superfície, o feltro de carbono foi cortado em tiras de 1 x 1 x 30 cm. Cada eletrodo (um no ânodo e dois no cátodo) foi feito de 15 tiras paralelas, unidas através de fio de aço inoxidável (Figura 2). Foi deixado aproximadamente 0,5 cm de espaçamento entre cada tira. Os eletrodos foram conectados pela extensão dos fios de aço inoxidável usados para unir as faixas de feltro de carbono, presos à resistência externa (1000 Ω).

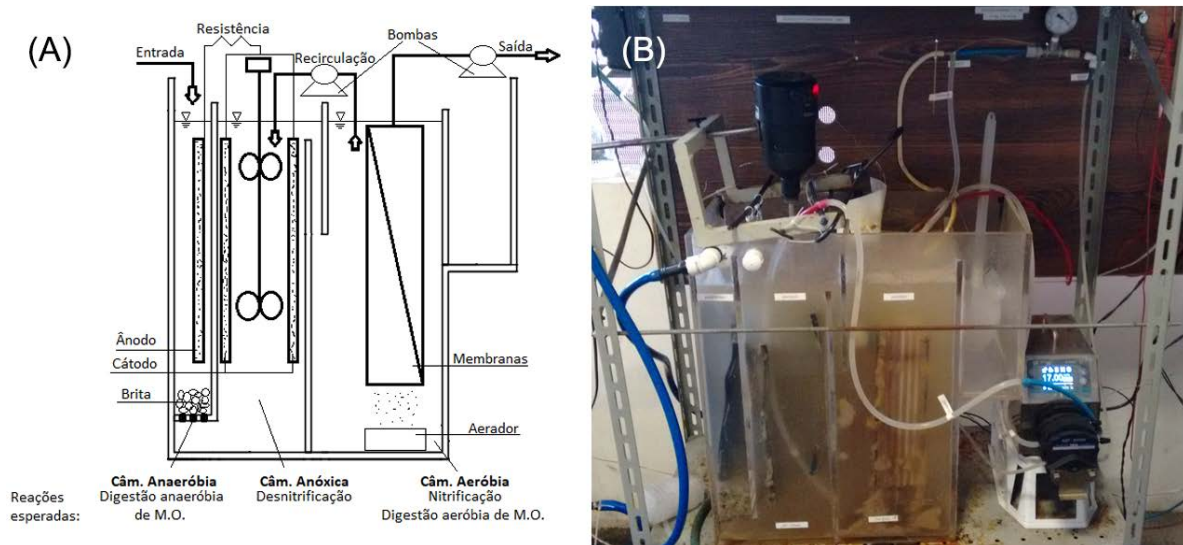


Figura 1: Desenho esquemático (A) e foto (B) do biorreator usado no experimento

Durante todo período de operação, a concentração de oxigênio na câmara aeróbia foi mantida entre 4 e 5 $L \cdot min^{-1}$ de O_2 . A aeração foi feita por um compressor de ar (Rotterman CSR 10, SCHULZ) continuamente. O sistema de membranas foi operado de com ciclo de 20 minutos de filtração e 2 minutos de relaxamento para o controle físico de *fouling*. Em caso de aumento da pressão transmembrana para além do limite de operação (75 mmHg ou 0,1 bar) as membranas eram retiradas e colocadas de molho em uma solução de hipoclorito de sódio (200 mg/L de cloro ativo) e hidróxido de sódio (até pH 12) durante 2 a 4 h, depois enxaguadas e colocadas de volta no reator.

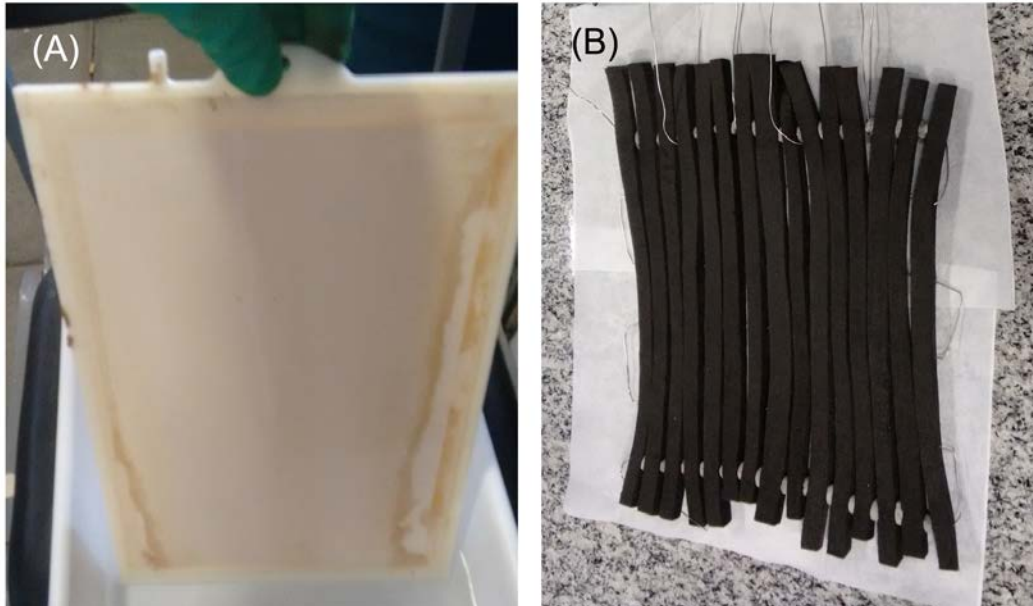


Figura 2: Foto das membranas (A) e eletrodos (B) usados.

Foi preparado para uso no experimento um efluente sintético que simulasse características presentes em esgotos domésticos (MATSUBARA, 2018). Para este fim, foram usadas fontes variadas de matéria orgânica, com presença de proteínas, gorduras e carboidratos, fontes de nitrogênio, fósforo e elementos traço (como alguns metais), apresentados na Tabela 1. O reator foi operado durante 47 dias em duas fases distintas. A primeira fase para estabilização e aclimação do lodo no reator, ocorrendo nos primeiros 22 dias, com TDH de 55 h e vazão de $1 L \cdot h^{-1}$, até que, numa condição mais estável, foi iniciada a fase de análises, que ocorreu durante os últimos 25 dias de operação, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 36 h e vazão de $1,5 L \cdot h^{-1}$.

Tabela 1: Componentes do efluente sintético.

REAGENTE	CONCENTRAÇÃO TEÓRICA
Ácido Bórico – H_3BO_3	0,45 mg/L
Bicarbonato de Sódio – $NaHCO_3$	320 mg/L (416 mg/L, nas últimas três semanas)
Cloreto de Amônio – NH_4Cl	153 mg/L
Cloreto de Cálcio – $CaCl_2 \cdot 2H_2O$	4,5 mg/L
Cloreto de Cobalto – $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0,45 mg/L
Cloreto de Magnésio – $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	7 mg/L
Cloreto de Manganês II* – $MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0,36 mg/L
Cloreto de Sódio – $NaCl$	250 mg/L
Cloreto Férrico – $FeCl_3$	4,5 mg/L
Detergente neutro	1,2 mL/L
EDTA Sal Dissódico	30 mg/L
Extrato de Carne (Whey Protein)	332,8 mg/L
Fosfato de Potássio Monobásico – KH_2PO_4	36 mg/L
Iodeto de Potássio – KI	0,54 mg/L
Molibdato de Sódio – $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0,18 mg/L
Óleo de Soja	81,6 mg/L
Sacarose	56 mg/L
Sulfato de Cobre – $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,09 mg/L
Sulfato de Zinco – $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,36 mg/L

Os parâmetros avaliados durante a operação (Tabela 2) visavam averiguar o funcionamento do reator e a qualidade de tratamento do efluente. Para cumprir esses dois objetivos, as análises foram divididas em “Condição operacional” e “Qualidade do efluente”. A qualidade do efluente tratado foi verificada comparando-se resultados de análises do efluente na entrada do reator, cujas amostras foram coletadas da torneira na saída do tanque de alimentação, e na saída do reator, cujas amostras foram coletadas de vidrarias que recebiam o permeado das membranas. As análises para verificar a condição operacional foram feitas para verificar o funcionamento adequado do reator, guiando ações corretivas para se garantir a adequada ação microbiana, integridade das membranas e geração de energia no sistema. A tensão foi medida junto a resistência, pressão após as membranas e antes da bomba de sucção, as outras medidas de controle operacional foram nas câmaras (pH também na entrada e saída).

Tabela 2: Cronograma semanal de análises. Notas: *tensão foi medida 3 x ao dia e feita uma média.

PARÂMETRO	TIPO	MÉTODO	FREQUÊNCIA
Oxigênio dissolvido (OD)	Condição Operacional	4500-O G., RICE et al. (2012)	Diária
pH		4500-H ⁺ B., RICE et al. (2012)	Diária
Pressão transmembrana		Medição analógica	Diária
SST		2540 D., RICE et al. (2012)	2x por semana
SSV		2540 E., RICE et al. (2012)	2x por semana
Temperatura		Sensor de temperatura (aço inox)	Diária
Tensão		Multímetro digital	Diária*
Vazão (permeado, recirculação)		Volumétrico	Diária
Alcalinidade		2310 B.4c e 2320 B.4b, RICE et al. (2012)	3x por semana
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5,20 °C})	Qualidade Efluente	5210 B., RICE et al. (2012)	2x por semana
Demanda química de oxigênio (DQO)		5220 D., RICE et al. (2012)	3x por semana
Nitrogênio amoniacal		4500-NH ₃ C., RICE et al. (2012)	3x por semana
Nitrito e nitrato		4110 B., RICE et al. (2012)	3x por semana
Nitrogênio total (NT)		Combustão à alta temperatura (SHIMADZU, 2010)	3x por semana

A partir do valor conhecido da resistência externa (1000 Ω) e das medidas de tensão (média diária), foram calculados os valores de corrente (pela primeira lei de ohm: $I = U/R_{ex}$, em que I é a corrente, R_{ex} é a resistência externa e U a tensão) e de potência (pela fórmula de potência elétrica: $P = UxI$, em que P é a potência). Os valores foram normalizados para se obter densidades de potência e corrente ao se dividir seu valor pela área de contato entre as câmaras com eletrodos ($I_d = I/A$; $P_d = P/A$; com $A = 0,00181 \text{ m}^2$), permitindo melhor comparação com outros sistemas (MA et al., 2015a).

Fluxo através da membrana foi calculado a partir da vazão de permeado e da área de passagem pelas membranas ($J_p = Q_p/A_{efetiva}$, área efetiva de acordo com o fabricante: $0,1 \text{ m}^2$). Permeabilidade foi calculada através do fluxo e da pressão transmembrana ($L_p = J_p/\Delta P$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 contém os valores médios dos principais parâmetros de qualidade do efluente sintético bruto, observados na entrada do reator durante todo o período de análises. O efluente possuía elevada carga orgânica e uma relação DQO/DBO₅ de $1,9 \pm 0,9$, dentro do limite em que se recomenda o tratamento biológico do efluente bruto (menor ou igual a 2). Uma elevada carga de nitrogênio foi usada para melhor avaliação da capacidade do reator de promover os processos de nitrificação/desnitrificação. A alcalinidade elevada colabora para manutenção do pH, o qual deve permanecer próximo ao neutro para favorecer o crescimento microbiano (LI; LUO; HE, 2016). Os valores elevados de desvio padrão encontrados se devem a problemas operacionais no sistema de alimentação do efluente sintético, os quais foram sanados durante a operação.

Tabela 3: Parâmetros de qualidade do efluente sintético bruto.

PARÂMETRO	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO (mg/L)
Alcalinidade	207,0 ± 76,9
DBO ₅ , 20°C	394,9 ± 98,2
DQO	936,0 ± 279,2
Nitrogênio total	117,0 ± 38,5
Nitrogênio amoniacal	43,1 ± 20,6
pH	6,4 ± 0,4

A Figura 3 exibe as médias de eficiência na remoção de material orgânico e nitrogênio. Atingiu-se elevada remoção principalmente para DQO e DBO₅, resultado esperado para biorreatores com membranas (PARK; CHANG; LEE, 2015). Também houve remoção de cerca de 80% do nitrogênio total. As formas de nitrogênio encontradas no efluente tratado encontram-se exibidas na Figura 4. A remoção de nitrogênio, principalmente amoniacal, e a presença de nitritos e nitratos na saída do reator indicam a ocorrência do processo de nitrificação na zona aeróbia, e de remoção de nitrogênio total indicam que a desnitrificação chegou a uma taxa elevada e semelhante a biorreatores com membrana em que há recirculação entre câmaras aeróbia e anóxica (PARK; CHANG; LEE, 2015). Não é possível inferir, com os dados obtidos, o quanto a desnitrificação por via eletroquímica influenciou o processo, mas a ausência de oxigênio na câmara anóxica e a geração de uma tensão entre os eletrodos indicam que uma parte do nitrogênio total removido pode ter sido via desnitrificação bioeletroquímica. Para comparação, remoção de nitrogênio total de 78,2 ± 5,3% e elevada remoção de nitrogênio amoniacal foram alcançados em reator com características e escala similares, porém deve-se considerar que operou com esgoto real (MA et al., 2015b).

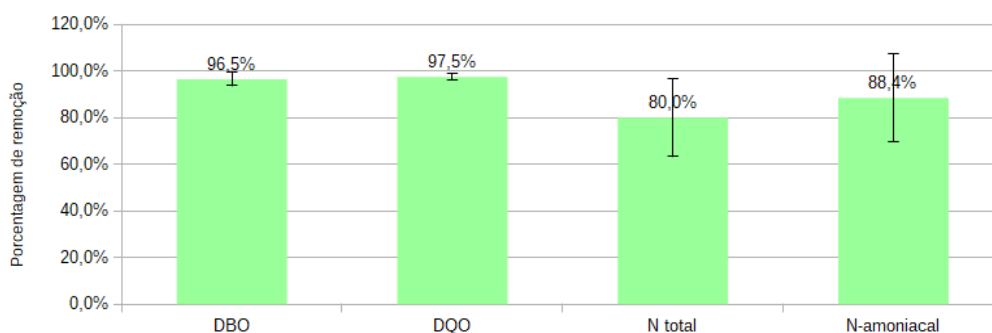


Figura 3: Eficiência na remoção de parâmetros de qualidade durante período de análises.

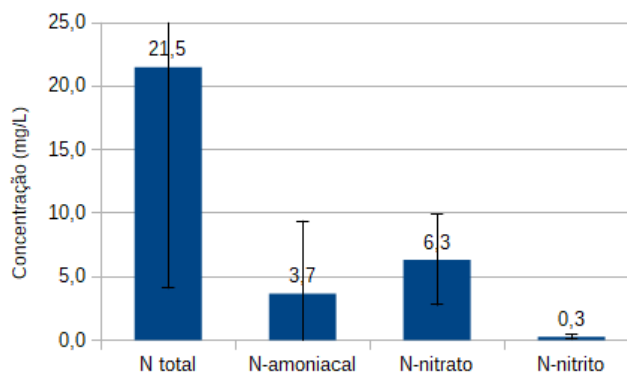


Figura 4: Formas do nitrogênio na saída do reator

A pressão transmembrana teve variações durante a operação (conforme Figura 5), sendo feita a limpeza das membranas duas vezes. A primeira foi feita pelo aumento da pressão após aumento da vazão de 1 L/h para 1,5 L/h, e a segunda se deu pelo aumento contínuo da pressão ao se operar com vazão de 1,5 L/h. O primeiro

aumento na pressão ocorre por um aumento brusco no fluxo em uma membrana que já estava em operação por 22 dias sem limpeza e que já estava sujeita ao fenômeno de *fouling*, com indícios de acréscimo na pressão mesmo operando a um fluxo menor. O segundo aumento acima de pressão acima do limite de operação indica que o fluxo de operação da fase de análises estava mais próximo ao “fluxo crítico” e, conforme ocorreu o fenômeno de *fouling* nas membranas, a pressão continuou a subir até o crescimento abrupto que caracteriza uma membrana já com intensa formação de depósito (PARK; CHANG; LEE, 2015). A permeabilidade variou conforme a pressão, mostrando-se mais estável para o período de aclimatação, operando a um fluxo mais baixo e que pode ser considerado subcrítico (JUDD; JUDD, 2006), mas, após o aumento de vazão e fluxo, apresentou instabilidade e contínuo decréscimo (exceto logo após as limpezas), mas ainda dentro da faixa esperada para operação de membranas de ultrafiltração em MBR, entre 100 e 500 L.m⁻².h⁻¹.bar⁻¹ (PARK; CHANG; LEE, 2015).

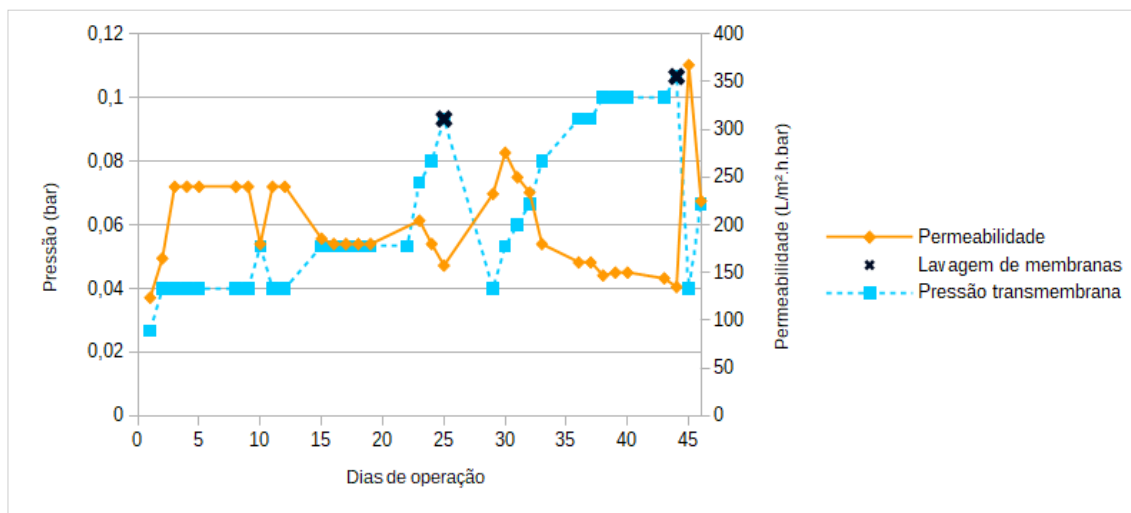


Figura 5: Relação entre pressão transmembrana e permeabilidade

Os dados de tensão, exibidos na Figura 6, foram coletados entre os dias 18 e 33 de operação, não cobrindo todo o período de análises por problemas que afetaram sua medição. É possível observar que houve um crescimento expressivo da tensão no sistema, de 268 mV até um pico de 482 mV. Tais valores indicam um período de partida satisfatório, pois a tensão de pico está na faixa esperada neste tipo de reator, de 450 a 800 mV (MA et al 2015a). O crescimento da biomassa no reator (SST de ~1000 mg/L no dia 25 a ~4300 mg/L no dia 30) e a aderência aos eletrodos, pode ser relacionado ao aumento de tensão, porém isto também pode resultar em competição dos microrganismos no meio com os responsáveis pela geração de energia, um detalhe a se atentar neste tipo de reator (LI, GE, HE, 2014). Variações nos dias 30 a 32 ocorreram por problema operacional, mas houve boa capacidade de recuperação do sistema (de 287 a 422 mV).

Outros dados relativos a geração de energia são expressos na Tabela 4, contendo os cálculos feitos a partir da tensão, da resistência externa e da área de contato entre câmaras com eletrodos. Há dificuldade em se comparar os dados de outros experimentos com EMBRs, pois muitos não trazem os dados de tensão, e não há uma padronização quanto à área que deve ser usada nos cálculos de densidade de corrente e potência, sendo a escolha guiada pelo fator limitante à geração de energia, como área de eletrodo, volume de câmara anódica ou catódica, área entre câmaras, etc. (MA et al., 2015a). Porém, os resultados obtidos apontam para uma geração de energia comparável à de outro reator de escala similar, cujos valores de densidade de corrente e de potência máximos foram 1200 mA/m² e 98,2 mV/m², respectivamente (MA et al., 2015b), enquanto para este reator foram de 266,50 mA/m² e 128,45 mW/m², respectivamente (considerando os valores diferentes de resistência externa entre os estudos e as áreas entre câmaras).

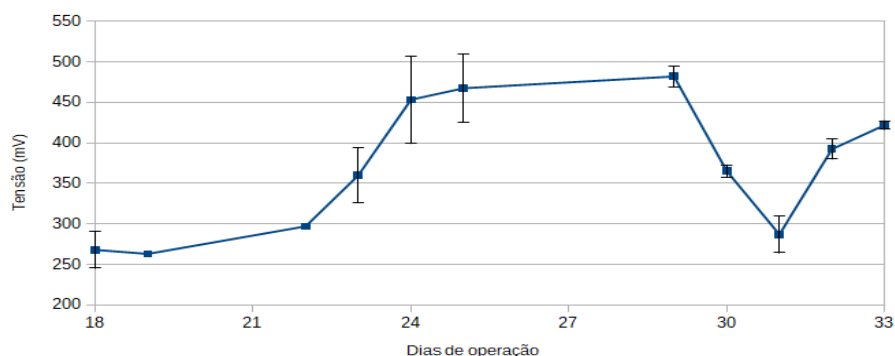


Figura 6: Variação de tensão durante operação do reator

Tabela 4: Parâmetros de geração de energia.

PARÂMETRO	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	MÁXIMA	MÍNIMA
Tensão (mV)	368,83 ± 81,46	482,00	263,00
Corrente (mA)	0,37 ± 0,08	0,48	0,26
Potência (mW)	0,14 ± 0,06	0,23	0,07
Densidade de corrente (mA/m ²)	203,93 ± 45,04	266,50	145,41
Densidade de potência (mW/m ²)	78,55 ± 33,36	128,45	38,24

CONCLUSÕES

A tecnologia de biorreatores eletroquímicos apresenta grande potencial para o tratamento de efluentes com remoção de nutrientes, em especial o nitrogênio. O biorreator do estudo, mesmo durante seu período de partida, confirmou que é possível atingir uma qualidade do efluente tratado equiparável a outras tecnologias que utilizam membranas, ao mesmo tempo em que há geração de corrente entre os eletrodos. Os resultados obtidos indicam que houve remoção média de cerca de 97±3% de DBO₅, e 97±1% de DQO. Houve remoção de 80±17% nitrogênio total e de 88±19% de nitrogênio amoniacal, e o valor médio de nitrato no efluente tratado foi de 6,3±3,6 mg/L. A tensão máxima obtida foi 482 mV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JUDD, S.; JUDD, C. The MBR Book. 1. ed. London: Elsevier, 2006.
- LAPOLLI, F. R.; CAMPOS, J. R.. Biofiltração e Microfiltração Tangencial para Tratamento de Esgotos. São Carlos, 1998. Tese de doutorado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade São Paulo, 1998.
- LI, J.; GE, Z.; HE, Z. Advancing membrane bioelectrochemical reactor (MBER) with hollow-fiber membranes installed in the cathode compartment. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 89, n. 9, p. 1330–1336, 2014.
- LI, J.; LUO, S.; HE, Z. Cathodic fluidized granular activated carbon assisted-membrane bioelectrochemical reactor for wastewater treatment. Separation and Purification Technology, v. 169, s. n., p. 241-246, jun. 2016.
- LOGAN, B. E. et al. Microbial fuel cells: methodology and technology. Environmental Science & Technology, v. 40, n. 17, p. 5181-5192, 2006.
- MA, J. et al. Eletrochemical membrane bioreactors for sustainable wastewater treatment: principles and challenges. Current Environmental Engineering, v. 2, s. n., p. 38-49, ago. 2015a.
- MA, J. et al. Long-term investigation of a novel eletrochemical membrane biorreator for low-strength municipal wastewater treatment. Water Research, v. 78, s. n., p. 98-110, abr. 2015b.
- MAESTRI, R. S. Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso da água. Florianópolis, 2007. Dissertação de mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental-Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.



9. MATSUBARA, M. E. Remoção do antibiótico amoxicilina por biorreator com membrana operado em regime de pré-desnitrificação: avaliação do desempenho, identificação de subprodutos e análises ecotoxicológicas. Santo André, 2018. Dissertação de mestrado-Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental-Universidade Federal do ABC, 2018.
10. PARK, Hee-Deung; CHANG, In-Soung; LEE, Kwang-Jin. Principles for membrane bioreactors for wastewater treatment. 1ed. Editora CRC, 2015. 436 p.
11. RICE, E. W. et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, USA: American Public Health Association, 2012. várias paginações.
12. SHIMADZU CORPORATION. Total organic carbon analyzer TOC-LCPH/CPN user's manual. Kyoto, Japão, 2010, 428p.
13. SPERLING, Marcus Von; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. 1 ed. IWA, 2005. 835p.