

II-554 - OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E OPERACIONAIS DE MÓDULOS DE MICROFILTRAÇÃO SUBMERSA UTILIZADOS COMO POLIMENTO FINAL DE ESGOTO SANITÁRIO TRATADO POR LODOS ATIVADOS

Bernardo Krause Figueiredo

Engenheiro de Bioprocessos pela UFRJ. Engenheiro de Campo da PAM-Membranas Seletivas Ltda

Walter Bom Braga Júnior⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre e Doutor em Engenharia Química pelo PEQ/COPPE/UFRJ. Coordenador de P&D da PAM Membranas Seletivas Ltda.

Gabriela Marques dos Ramos⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutora em Engenharia Química pelo PEQ/COPPE/UFRJ. Coordenadora de Vendas e MKT da PAM Membranas Seletivas Ltda.

Roberto Bentes de Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre e Doutor em Engenharia Química pelo Programa de Engenharia Química (PEQ) da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Diretor Executivo da PAM Membranas Seletivas Ltda.

Endereço⁽¹⁾: Parque Tecnológico do Rio de Janeiro – Quadra 6A – Edifício MP – Módulos 1 e 2, Rua Paulo Emídio Barbosa, 485, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ - CEP: 21.941-907. - Brasil - Tel: (21) 3733 - 1980 - E-mail: ped@pam-membranas.com.br

RESUMO

Em função da escassez de água potável, governos e entidades privadas vêm propondo uma série de ações visando minimizar o desperdício e preservar os seus mananciais. Além disso, a sociedade também tem buscado aprimorar as técnicas de tratamento dos efluentes aquosos, com o objetivo de diminuir os danos ambientais e possibilitando, em muitos casos, a reutilização da água tratada em usos urbanos não-potáveis ou uso potável indireto.

Atualmente, o processo de microfiltração (MF) apresenta-se como uma tecnologia bem estabelecida para a retenção de sólidos em suspensão, sendo uma barreira física segura para microrganismos e materiais na forma de micro-emulsão. Desta forma, a utilização da microfiltração como tratamento de efluentes aquosos possibilita o reuso da água tratada em algumas etapas do processo da própria indústria ou para água de irrigação, lavagem em geral, fechamento de circuitos em torres de refrigeração e sanitários, dentre outros usos. O presente trabalho tem por objetivo principal estudar as melhores características construtivas e operacionais de módulos de microfiltração submersa utilizados como polimento final de esgoto sanitário tratado por lodos ativados. Algumas variáveis estudadas foram: densidade de empacotamento dos módulos de microfiltração submersa; quantidade dos dispositivos aeradores dos módulos; pressão de operação e vazão de aeração dos módulos de microfiltração. A planta de microfiltração foi operada em uma estação experimental de tratamento de efluentes (CESA) localizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro. A qualidade do permeado produzido mostrou características que o enquadra como água de reuso Classe I. Os resultados experimentais mostraram que o monitoramento da operação da unidade de MF e as características construtivas dos módulos devem ser otimizados para alcançar resultados de vazão de permeado mais estáveis durante o tempo. Dessa forma, reduz-se o intervalo com limpezas químicas e, conseqüentemente, aumenta a produção de água de reuso, a economia com químicos e a vida útil das membranas.

PALAVRAS-CHAVE: Microfiltração, polimento, reuso, aeração.

INTRODUÇÃO

As previsões referentes à disponibilidade de água potável, para o presente milênio, são extremamente pessimistas. Em função disso, governos e entidades privadas vêm propondo uma série de ações visando minimizar o desperdício e preservar os seus mananciais. Além disso, a sociedade também tem buscado aprimorar as técnicas de tratamento dos efluentes aquosos, com o objetivo de diminuir os danos ambientais e

possibilitando, em muitos casos, a reutilização da água tratada em usos urbanos não potáveis ou uso potável indireto.

O reuso de água na indústria e nas empresas tem se tornado uma alternativa bastante viável economicamente, evitando consumo de água tratada pública, cujo custo aumenta regularmente sem, contudo, manter a qualidade desejável.

No processo de MF, o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana. Por outro lado, o processo retém todos os materiais em suspensão e na forma de micro emulsão, bem como 99,99% dos microrganismos presentes no efluente, fornecendo um microfiltrado sanitizado e isento de sólidos. Assim, a utilização da microfiltração como tratamento de efluentes aquosos possibilita o reuso da água tratada em algumas etapas do processo da própria indústria ou para água de irrigação e sanitários.

O mercado da MF gira em torno de 1 bilhão de dólares, sendo o maior mercado dos PSM depois da hemodiálise (rim artificial). Os maiores mercados da MF são: esterilização de líquidos e gases; aplicações na medicina; aplicações na biotecnologia e na purificação de fluidos.

No presente trabalho foram estudadas as melhores características construtivas e operacionais de módulos de microfiltração submersa utilizados como polimento final de esgoto sanitário tratado por lodos ativados. Algumas variáveis estudadas foram: densidade de empacotamento dos módulos de microfiltração submersa; quantidade dos dispositivos aeradores dos módulos; pressão de operação e vazão de aeração dos módulos de microfiltração.

O efluente é proveniente de uma estação experimental de tratamento de efluentes localizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Análises físico-químicas de cor, turbidez, e Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram utilizadas para analisar a qualidade do permeado obtido pela Microfiltração.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta fotografias do sistema de tratamento biológico (a), do equipamento de MF (b) e do módulo submerso de MF (c) utilizados para o tratamento do efluente e produção de água de reuso. O sistema é composto por uma etapa anaeróbia, que não foi utilizada nesses experimentos, um reator aeróbio, um sedimentador e um tanque com o produto clarificado. O módulo de MF foi imerso na região marcada na fotografia (b), após o sedimentador, no tanque de produto clarificado.

O equipamento de MF opera em ciclos de filtração e limpeza, semi-automatizados por relé lógico programável e solenoides. O equipamento é composto por tanque de permeado, módulo de MF submerso, quadro elétrico, manômetro, rotâmetro, válvulas agulha, bomba centrífuga e compressor.

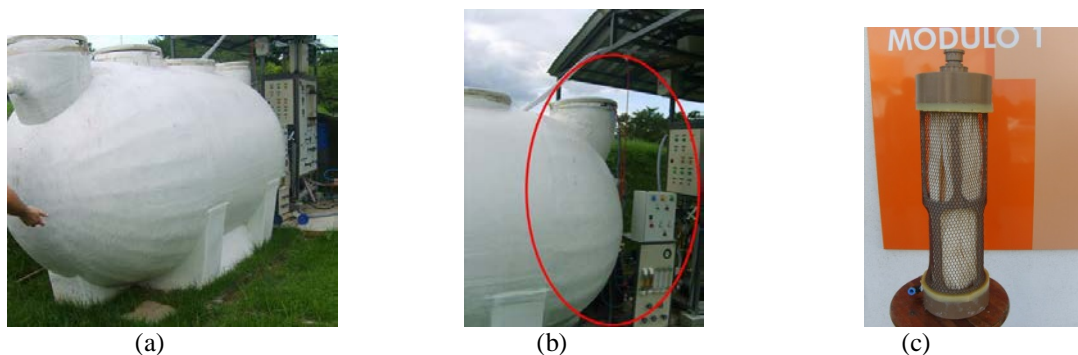


Figura 1: (a) Sistema de Tratamento de Efluente, (b) Unidade de MF submersa, (c) Módulo de MF submersa.

As membranas utilizadas na construção dos módulos de MF são produzidas pela PAM MEMBRANAS SELETIVAS na forma de fibra oca (Figura 2). Essas fibras possuem 1,0 mm de diâmetro externo (a), com poros em sua camada seletiva externa em torno de 0,4 μm (b). A filtração é realizada de fora para dentro das fibras.

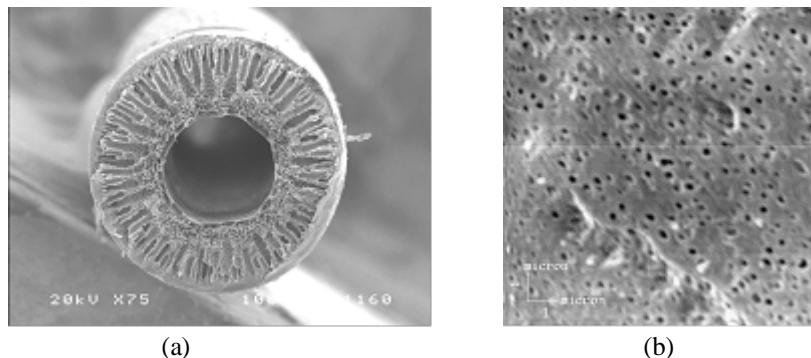


Figura 2: Fotomicrografias da fibra oca utilizada: (a) seção transversal e (b) superfície externa seletiva.

As principais variáveis de processo, tais como vazão de alimentação, vazão de permeado, pressões de alimentação, concentrado, permeado e retrolavagem, são monitoradas pelo menos 3 vezes por semana.

Neste trabalho foram estudadas diferentes áreas de membrana por volume de módulo (500 e 910 m^2/m^3), vazões de aeração (1, 2 e 3 $\text{N m}^3/\text{h}$) e número de dispositivos aeradores (99 e 157).

A Tabela 1 apresenta as características dos módulos testados.

Para evitar a deposição de material na superfície da membrana e, consequentemente, a queda acentuada do fluxo de permeado, foram determinados o fluxo e pressão críticos do sistema.

Outros parâmetros como: cor, turbidez, e demanda química de oxigênio foram acompanhados ao longo da operação da unidade de MF semanalmente.

Tabela 1: Características dos três módulos utilizados: densidade de empacotamento, área de filtração, e número de dispositivos aeradores.

Características	Módulo 171	Módulo 189	Módulo 277
Densidade de Empacotamento (m^3/m^2)	910	500	500
Número de dispositivos aeradores	157	99	157
Área de permeação (m^2)	6,4	3,5	3,5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Previamente ao início da operação, foram determinados o fluxo crítico e a pressão crítica de operação do efluente em questão, conforme apresentado na Figura 3. Esse procedimento é realizado a fim de se determinar a pressão máxima de operação sem que haja depósito intenso de partículas na superfície da membrana, reduzindo o fluxo de permeado.

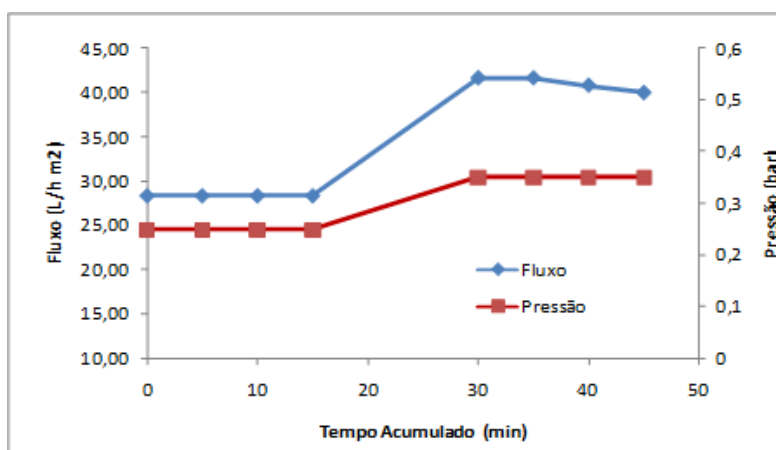


Figura 3: Determinação do fluxo crítico e da pressão crítica de operação do efluente base.

Através da Figura 3, observa-se a que partir da pressão de 0,3 bar há uma diminuição do fluxo de permeado com o tempo de teste. Portanto, é indicada a operação com pressão abaixo da pressão crítica. Como as características deste efluente flutuam bastante, inclusive com passagem de lodo através do decantador, optou-se por trabalhar com pressão de 0,1 bar a fim de se evitar incrustações severas na membrana.

A Figura 4 apresenta os resultados de fluxo de permeado obtidos para os três módulos testados, nas três vazões de aeração. Os fluxos foram medidos no início do teste e ao final de sete dias.

Para vazões de aeração de 3 N m³/h, observa-se fluxos de permeado superiores. Porém, a queda do fluxo após sete dias, foi semelhante quando foi utilizada vazão de aeração de 2 N m³/h.

Comparando os resultados de fluxo de permeado dos módulos, observa-se que os módulos com densidade de empacotamento menor (500 m²/m³), que são os módulos 189 e 277, possuem fluxos de permeados maiores do que o módulo 171, com densidade de empacotamento de 910 m²/m³. Este fato é esperado uma vez que módulos com densidades maiores, possuem maior número de fibras, facilitando a incrustação, reduzindo o fluxo de permeado.

Em relação aos dispositivos aeradores, observa-se que os módulos que possuem maior quantidade (171 e 277) apresentaram maior queda do fluxo após os 7 dias. Este fato pode indicar que como no módulo com menor número de dispositivos, a velocidade de aeração (na mesma vazão de aeração) é maior, o potencial de incrustação é reduzido. Em outras palavras, maior velocidade de aeração é mais eficaz que o número de aeradores.

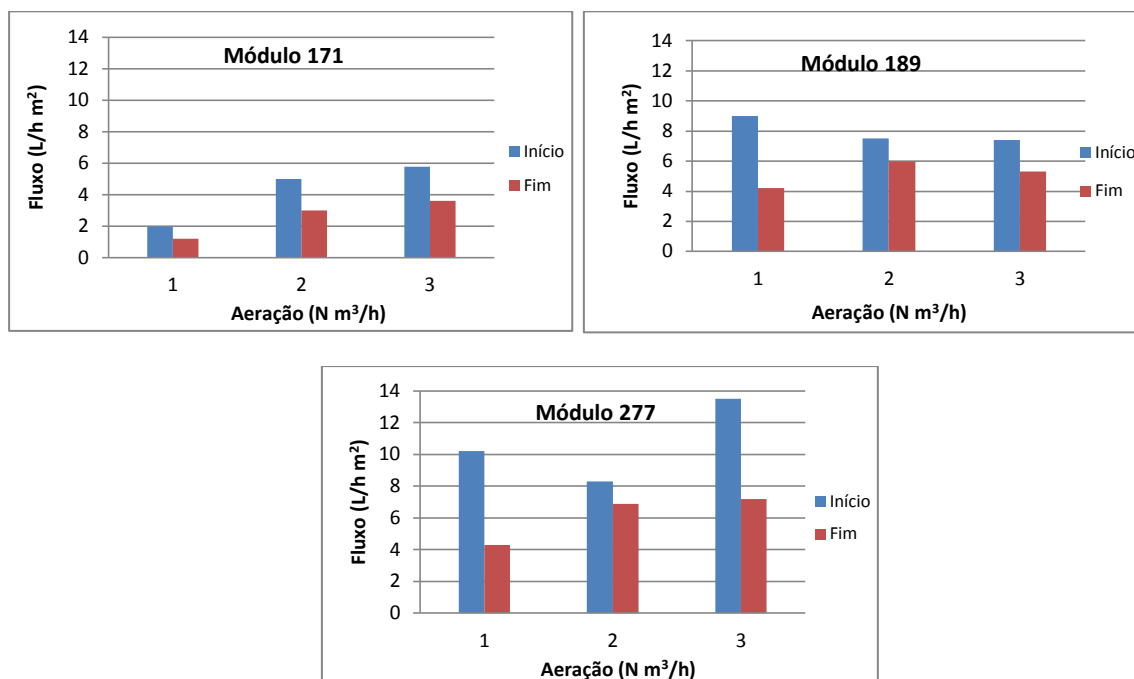


Figura 4: Resultados dos testes com os módulos 171, 189 e 277 em termos de fluxo de permeado, utilizando 3 vazões de aeração.

A Tabela 2 apresenta os resultados médios das análises físico-químicas da alimentação e do permeado da MF dos diferentes módulos testados.

Tabela 2: Análises Químicas do lodo ativado e permeado da MF.

Parâmetro	Módulo	Efluente após ETE	Efluente Microfiltrado	Remoção
Cor (Pt/Co)	171	151	11	93
DQO (mg/L)		97	14	85
Turbidez (NTU)		22	0,02	99,9
Cor (Pt/Co)	189	764	13	98
DQO (mg/L)		411	21	94,8
Turbidez (NTU)		113	0,02	99,9
Cor (Pt/Co)	277	374	18	95
DQO (mg/L)		387	25	93
Turbidez (NTU)		82	0,02	99,9

Como pode ser observado, a remoção de turbidez em todos os módulos de MF testados foi próxima a 100%, indicando um permeado isento de sólidos em suspensão. Em relação à cor, a remoção ficou superior a 90%. A remoção de DQO ficou em torno de 90%. Esses resultados mostram que a membrana de MF apresenta eficiência máxima em remoção de material em suspensão. A parcela solúvel do efluente, que não foi totalmente degradada na etapa biológica, passa através da membrana. Dessa forma, mesmo com remoção elevada, o permeado ainda apresenta algum nível de cor e DQO.

A Figura 5 apresenta uma fotografia da alimentação e permeado da MF para comparação visual.

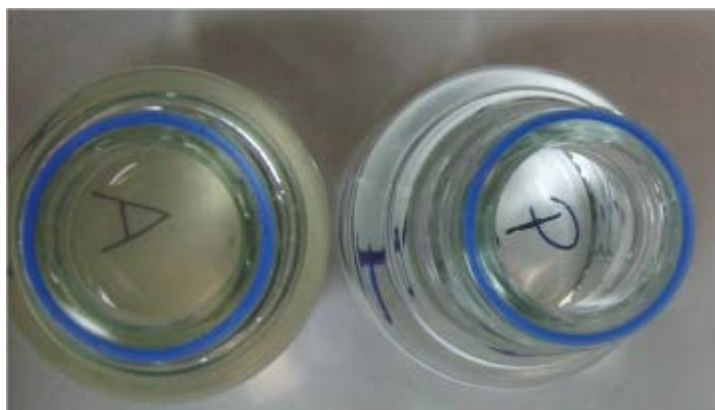


Figura 4: Comparação visual entre o efluente da ETE (A) e o efluente microfiltrado (P).

CONCLUSÕES

A densidade de empacotamento influencia diretamente o fluxo, indicando que fluxos maiores são alcançados para densidades menores de empacotamento (módulo 189 e 277). Mantendo mesma vazão de aeração, o módulo com menor densidade de empacotamento, ou seja menor quantidade de fibras, permite operação com maior fluxo, reduzindo a incrustação e aumentando a vida útil, já que necessita de menor frequência de limpeza química.

Os resultados da utilização das vazões de aeração investigadas no estudo, 1,2 e 3 N m³/h, concluem que à vazão de 3 N m³/h o fluxo de permeado é superior comparado com as vazões de 1 e 2 N m³/h. Porém, na vazão de aeração de 2 N m³/h, a queda do fluxo após 7 dias de operação foi semelhante à observada nos testes com vazão de 3 N m³/h. Dessa forma, é indicado o uso de vazão de aeração de 2 N m³/h, diminuindo os gastos com energia

Os testes com módulos com diferentes dispositivos aeradores mostraram que quanto menor a quantidade de dispositivos, maior a velocidade de escoamento do ar entre as fibras e, também, o fluxo de permeado.

A utilização da microfiltração como polimento final produz água de excelente qualidade, isenta de sólidos em suspensão, podendo ser reusada para irrigação e descarga de sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. HABERT, C.; BORGES, C.; R., NOBREGA, Processos de Separação por Membranas, Série Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Editora E-papers, 2006.
2. AMARAL, M. C. S. Tratamento de efluente do branqueamento de pasta celulósica empregando Bioreator a Membrana, Tese de Doutorado, UFMG, Brasil, 2009.
3. BAKER, R. W., Membrane Technology and Applications - Ed. John Wiley & Sons, 2000.
4. BEEKMAN, G.B., 1998. Water conservation, recycling and reuse. Water Resour. Dev. 14 (3), 353–364.
5. PAGELLA, C., GALLI, R., DE FAVERI, D.M., 2000. Water reuse in industrial food processing. J. Food Technol. Africa 5 (1), 25–29.