

## II-395 - ESTUDO DO TESTE DE FILTRABILIDADE COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE INCRUSTAÇÃO EM BRM

**Aline Ribeiro Alkmim<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela UFMG. Especialista e mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

**Paula Rocha da Costa**

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Graduanda em Biomedicina pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Míriam Cristina Santos Amaral**

Engenheira Química pela UFMG. Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Luzia Sergina de França Neta**

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestre e Doutora em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ. Prof<sup>a</sup> do Departamento de Química - CEFET-MG.

**Telma Fernanda Avelino Lara Eugênio**

Engenheira Química pela UFMG

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia, Bloco 2, sala 4544 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1714 - e-mail: [alinealkmim@gmail.com.br](mailto:alinealkmim@gmail.com.br)

### RESUMO

A tecnologia de Biorreatores com Membranas (BRM) vem sendo implementada em larga escala no processo de tratamento de efluentes industriais, porém a possibilidade de incrustações que reduzem o fluxo através da membrana vem limitando o uso desse processo. A filtrabilidade é um parâmetro importante para avaliação da qualidade do lodo e do potencial de formação de incrustação em BRM, no entanto, a falta de padronização do método de filtrabilidade dificulta a compreensão da interferência da filtrabilidade no desempenho de BRM e também a comparação de resultados. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo comparar os três principais métodos de medição de filtrabilidade relatados na literatura (*Time to Filter*, *Filter Test* e *Sludge Filtration Index*) e avaliar a aplicação deste parâmetro como ferramenta para o monitoramento e controle de incrustação de um Biorreator com Membrana de ultrafiltração submersa externa ao tanque biológico. Os resultados obtidos nesse trabalho mostraram que a qualidade do lodo está diretamente relacionada ao potencial de incrustação na membrana e que a filtrabilidade pode ser usada como uma ferramenta para monitorar e controlar a incrustação de membranas em BRM. O estudo também mostrou que o método *Time To Filter* é o mais eficiente para medição da filtrabilidade em lodos biológicos provenientes de BRM tratando efluente de refinaria de petróleo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filtrabilidade, BRM, controle de incrustação, métodos de filtrabilidade

### INTRODUÇÃO

Os biorreatores com membranas (BRM) vêm sendo amplamente empregados para o tratamento de efluente industrial para remoção de matéria orgânica e nutriente devido a sua maior eficiência de remoção de poluentes quando comparados aos processos convencionais. Entretanto, a incrustação da membrana ainda é um fator limitante ao uso dessa tecnologia.

A incrustação das membranas afeta diretamente o fluxo permeado e/ou o aumento do diferencial de pressão no sistema implicando em maiores requisitos energéticos, maior frequência de limpeza da membrana, menor vida útil da membrana e consequentemente maior custo operacional. A incrustação é influenciada por uma série de fatores relacionados à alimentação, à membrana e às condições de operação, e é determinada acúmulo de constituintes do líquido nas estruturas internas e externas da membrana.

O efeito das propriedades do lodo, muitas vezes, é abordado de forma controversa em diferentes estudos. LEE *et al.* (2001) mostrou que devido a formação de uma camada dinâmica na superfície da membrana, altas concentrações de sólidos suspensos melhoram a filtrabilidade do sistema, enquanto NAGAOKA *et al.* (1996) encontrou um impacto negativo da presença de sólidos suspensos, devido a alta viscosidade do lodo.

MIKKELSEN & KEIDING (2002) constataram que lodos com maiores frações de EPS possuem tendência de formar maiores flocos, o que melhoraria a filtrabilidade. Já KIM *et al.* (2001) e NAGAOKA *et al.* (1996) reportam o decaimento da filtrabilidade com o aumento de EPS. HOUGHTON *et al.* (2001), por sua vez, aponta uma faixa de EPS ótima para melhoria da filtrabilidade do lodo.

Estudos baseados na desintegração do lodo através da utilização de ultrassom mostram que a filtrabilidade diminui consideravelmente com a diminuição do tamanho das partículas em suspensão (YOON *et al.*, 2004). Entretanto, experimentos conduzidos por SUN *et al.* (2011) demonstram que a ozonização dos aglomerados biopoliméricos, reduzindo seu tamanho, provocaria a melhoria na filtrabilidade.

A filtrabilidade é um parâmetro importante para avaliação da qualidade do lodo e do potencial de formação de incrustação em Biorreatores com Membrana. A sua medida pode inferir diretamente na produtividade da planta e na formação da incrustação. A filtrabilidade diz muito a respeito do lodo e não necessariamente do sistema, uma vez que os testes são geralmente realizados através de uma filtração simples. Nem sempre a geometria do sistema utilizada no teste é semelhante à do BRM, o que pode acarretar em conclusões aparentemente controversas. Dessa forma, propriedades do lodo, como concentração de sólidos suspensos, temperatura, viscosidade, distribuição do tamanho de partícula e a presença de cátions mono e bivalentes, são influências diretas à sua filtrabilidade (ROSEMBERGER & KRAUME, 2002).

Diversos estudos vêm mostrando a aplicação do teste de filtrabilidade no monitoramento e controle de incrustação em BRM (REMY *et al.*, 2011, KIM, *et al.*, 2010, IRITANI, *et al.*, 2007, VAN DEN BROEK, *et al.*, 2011). Entretanto diferentes métodos tem sido empregados, dentre os quais se destacam-se *Capillary Suction Time - CST* (THIEMIG, 2011a), *Time to Filter - TTF* (APHA, 2005), *Filter Test - FT* (THIEMIG, 2011a), *Sluge Filtration Index - SFI* (THIEMIG (2011b), *Delft Filtration Characterization Method - DFCm* (EVENBLIJ *et al.* 2005). A falta de padronização do método de filtrabilidade dificulta a compreensão da interferência da filtrabilidade no desempenho de BRM e também a comparação de resultados.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é comparar diferentes métodos de medição de filtrabilidade e avaliar o uso do teste de filtrabilidade como ferramenta para monitoramento e controle de incrustação em BRM.

## **METODOLOGIA**

### **Influência da filtrabilidade do lodo na incrustação de membranas**

Para a investigação da influência da filtrabilidade do lodo na incrustação de BRM, monitorou-se a mesma em um efluente de refinaria de petróleo, associada aos dados de monitoramento de permeabilidade e fluxo crítico. A filtrabilidade do lodo foi avaliada de acordo com método Filter test recomendado pela Kubota em que 50 ml de lodo são filtrados em papel de filtro (Whatman, 42, filter paper, 185 mm) dobrado de forma pregueada, com auxílio de um funil simples. O volume filtrado durante os primeiros 5 minutos de filtração foi registrado como valor da filtrabilidade do lodo (ml/5min). O BRM avaliado consistia de um biorreator com membrana de ultrafiltração submersa externa ao tanque biológico. A membrana, cujo polímero base era PVDF, apresentava configuração de fibra oca e possuía abertura média dos poros de 0,04  $\mu\text{m}$ , área de membrana de 70  $\text{m}^2$ . O BRM foi operado com TRH de 5,6 h, idade de lodo de 40 dias, volume de tanque biológico de 8  $\text{m}^3$ , volume do tanque de membrana de 0,72  $\text{m}^3$ , com retrolavagem por 15 s a cada 15 minutos. Tanto o tanque biológico quanto o tanque de membranas possuíam sistema de aeração. No tanque de membrana o sistema de aeração consistia em dois tubos com furos de 3 e 10 mm instalados na extremidade inferior do módulo e a vazão de ar era de 25  $\text{Nm}^3/\text{h}$ .

## Comparação dos diferentes métodos para determinação de filtrabilidade

Periodicamente, durante 184 dias, amostras do lodo do BRM tratando efluente de refinaria foram coletadas e a filtrabilidade foi determinada por três diferentes métodos com finalidade de comparação dos mesmos. Foram realizadas, no total, 32 amostragens de lodo.

Os métodos avaliados foram o TTF, FT e SFI.

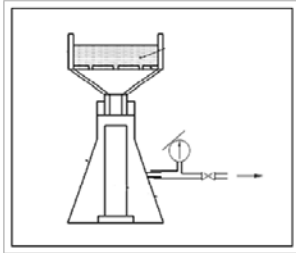
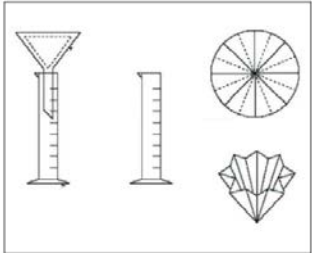
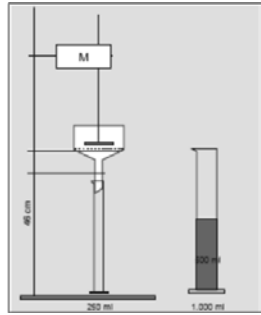
Os testes de filtrabilidade pelo método do Time to Filter foram realizados utilizando a montagem semelhantes à representada na Figura 1(a), com diferentes capacidades de volume. Para a montagem maior foi utilizada uma proveta graduada de 100 mL, kitassato de 1000 mL, funil de Buchner de 9 cm de diâmetro e papel de filtro (Whatman glass microfibre 934-AH,  $\phi$  90 mm). Na montagem menor foi utilizada uma proveta graduada de 10 mL, kitassato de 250 mL, funil de Buchner de 2,5 cm de diâmetro e papel de filtro (Whatman glass microfibre GF/C,  $\phi$  47 mm cortado para 23 mm). As filtrações foram realizadas com uma bomba de vácuo que forneceu uma pressão de aproximadamente 51 kPa. Para a realização do ensaio, verteu-se 200 mL de lodo na montagem maior e 10 mL na menor. Registrou-se o tempo necessário para que 100 mL – ou 5 mL (montagem pequena) – de filtrado fosse coletado na proveta. Esses ensaios foram realizados em triplicata para cada amostra.

Nos testes de filtrabilidade pelo método Filter Test, utilizou-se uma montagem como mostrada na Figura 1(b). Nesses ensaios utilizou-se o papel de filtro número 5C com diâmetro de 185 mm dobrado em 8 gomos de forma a se encaixar no funil (conforme mostrado na Figura 1(b)). Coletou-se 50 mL de amostra (lodo biológico), filtrou-se no papel de filtro e iniciou-se a contagem do tempo logo no início da filtração, registrando-se o volume após 5 minutos. São estabelecidos alguns critérios de avaliação como: volume igual ou maior que 10 mL é associado a uma boa filtrabilidade e volume menor que 5 mL indica que o lodo não apresenta boa filtrabilidade.

Nos testes de filtrabilidade empregando o método *Sludge Filtration Index*, utilizou-se uma montagem como a demonstrada na Figura 1(c). Foram recolhidos 500 mL de amostra do lodo do biorreator estudado. A temperatura da amostra foi ajustada a 20°C através de banho de gelo. Em seguida foi homogeneizada e vertida no funil. Ativou-se o cronômetro quando o volume de permeado recolhido na proveta atingiu 100 mL e parou-se o mesmo quando o volume de 150 mL foi alcançado. O valor do SFI foi calculado através da medida de tempo, em segundos, em relação à concentração de sólidos suspensos (SS):

$$SFI = \frac{\Delta t \left[ \frac{s}{\%SS} \right]}{SS}$$

As montagens utilizadas nos testes estão apresentadas na Figura 1.

Time To Filter	Filter Test	Sludge Filtration Index
 <p>(a)</p> <p>Fonte: THIEMIG, 2011a – adaptado</p>	 <p>(b)</p> <p>Fonte: THIEMIG, 2011a – adaptado</p>	 <p>(c)</p> <p>Fonte: THIEMIG, 2011b</p>

**Figura 1 - Montagens utilizadas para os testes de filtrabilidade do lodo.**

## RESULTADOS

### Influência da filtrabilidade do lodo na incrustação de membranas

A Figura 2 apresenta os resultados de filtrabilidade em comparação com os dados da permeabilidade da membrana para o BRM.

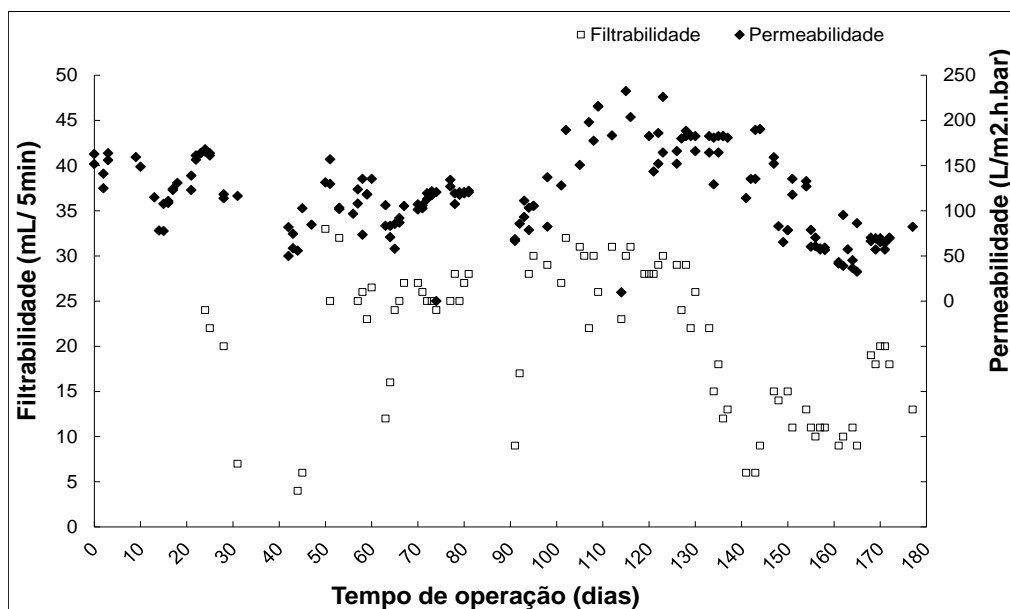


Figura 2 - Perfil de permeabilidade e filtrabilidade em função do tempo de operação.

De acordo com os resultados observa-se que quanto maior a filtrabilidade, maior a permeabilidade da membrana, confirmando, dessa forma, que a qualidade do líquido reacional influencia diretamente a incrustação na superfície da membrana. Na Figura 3 os valores de filtrabilidade são relacionados aos valores de fluxo crítico.

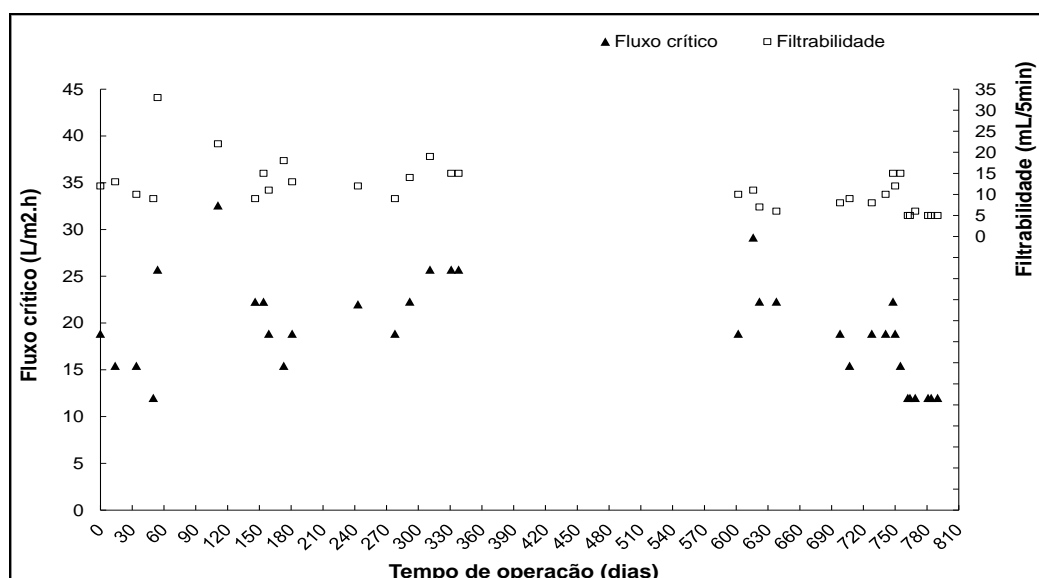


Figura 3 - Perfil de fluxo crítico e filtrabilidade.

Como pode ser observado, quanto maior a filtrabilidade maior o valor do fluxo crítico, confirmando novamente a influência da qualidade do líquido reacional na incrustação da membrana.

### Comparação dos diferentes métodos para determinação de filtrabilidade

A fim de determinar o método com melhor aplicabilidade ao lodo de refinaria de petróleo, comparou-se os valores de coeficiente de variação apresentado pelos métodos testados. O coeficiente de variação compara a dispersão em conjuntos de dados com unidades de medidas diferentes, expressando uma porcentagem da média. Para calculá-lo usa-se a equação(1).

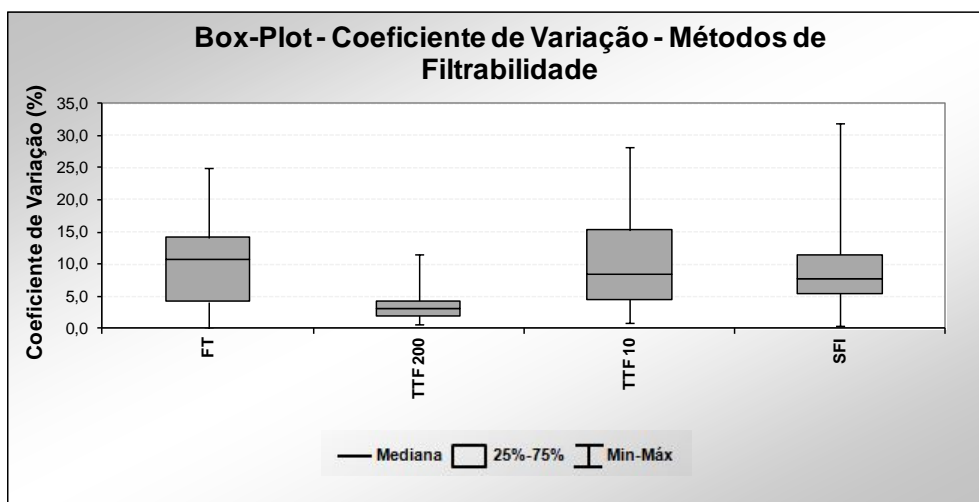
$$CV = 100 \times \frac{s}{\bar{x}}$$

equação (1)

Onde:

- s: desvio padrão dos valores em triplicata obtida para cada teste
- $\bar{x}$ : média dos valores em triplicata obtida para cada teste

A partir dos dados de coeficiente de variação obtidos, construiu-se um gráfico box-plot, como mostrado na Figura 4.



**Figura 4 - Gráfico Box-Plot dos métodos analisados.**

Através da análise do gráfico, observa-se que os valores de coeficientes de variação dos testes que utilizaram o método TTF200 apresentaram uma menor dispersão e uma menor mediana, ou seja, esse teste, para o lodo estudado, apresenta um melhor resultado no tocante a reprodutibilidade.

O método TTF10, além de não ter obtido bons resultados, uma vez que houve grande dispersão de seus dados, apresentou difícil execução. Dessa forma, esses resultados não foram usados na avaliação temporal de monitoramento dos dados.

Comparando-se os resultados obtidos pelos três métodos no período de monitoramento, observa-se pela Figura 5 que, quando ocorre uma alteração significativa da filtrabilidade, os três métodos conseguem evidenciar isso nos seus resultados. No entanto, quando a variação não é muito grande o método "Filter Test" não apresenta sensibilidade suficiente á essa alteração.

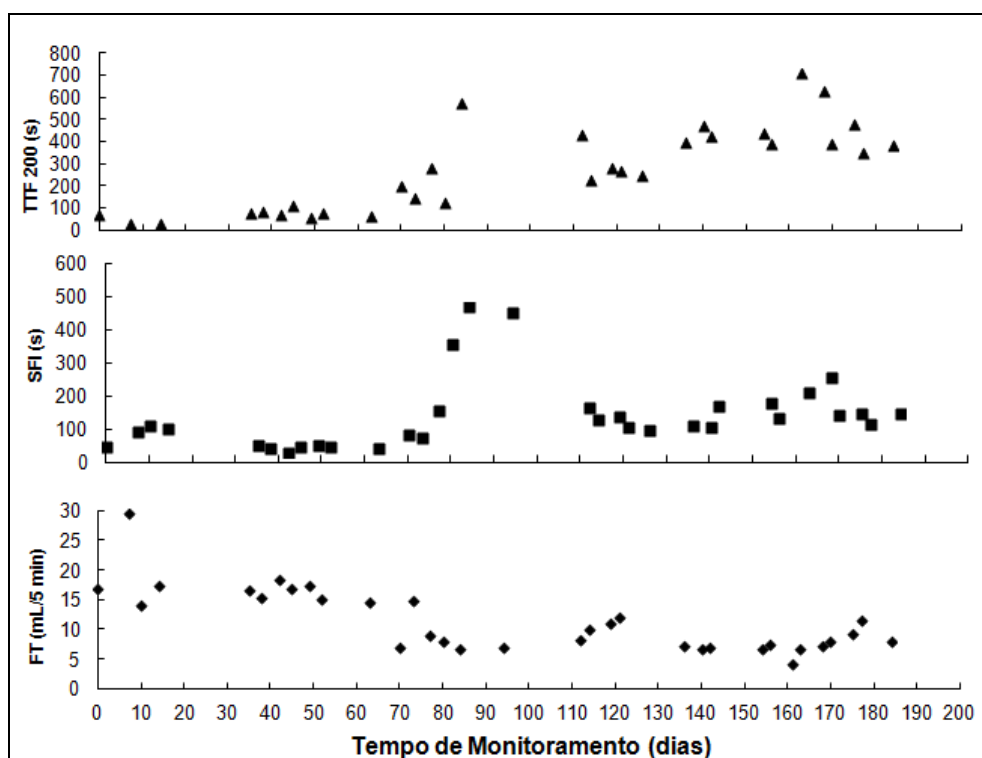


Figura 5 - Comparação dos três métodos de filtrabilidade analisados.

## CONCLUSÕES

Através dos resultados de monitoramento da permeabilidade e fluxo crítico atrelado a testes de filtrabilidade, conclui-se que a filtrabilidade pode ser usada como uma ferramenta para monitorar e subsidiar o controle da incrustação de membranas em BRM. Conclui-se também que dentre os métodos avaliados o método *Time to Filter*, mostrou-se como mais eficaz para a análise de filtrabilidade em lodos biológicos de BRM tratando efluente de refinaria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed., American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Pollution Control Federation, Washington DC, 2005.
2. EVENBLIJ, H. et al. Filtration characterization for assessing MBR performance: three cases compared. *Desalination*, 2005.
3. HOUGHTON, J.I.; QUARMBY, J.; STEPHENSON, T.; Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer, *Water Sci. Tech.*, 44(2-3), 373-379, 2001.
4. IRITANI, E.; KATAGIRI, N.; SENGOKU, T.; YOO, K.M.; KAWASAKI, K. and MATSUDA, A., Flux decline behaviors in dead-end microfiltration of activated sludge and its supernatant, *J. Membr. Sci.*, 300, 36-44, 2007.
5. KIM, J-S.; LEE, C-H.; CHANG, I-S. Effect of pump shear on the performance of a cross flow membrane bioreactor, *Water Res.* 35(9), 2137-2144, 2001.
6. LEE, J.; AHN, W.-Y.; LEE, C.-A. Comparison of the filtration characteristics between attached and suspended growth microorganisms in submerged membrane bioreactor, *Water Res.*, 10(35), 2435-2445, 2001.
7. MIKKELSEN, L.H.; KEIDING, K. Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering, *Water Research*, 36, 2451-2462, 2002.
8. NAGAOKA, H.; UEDA S.; MIYA A., Influence of bacterial extracellular polymers on the membrane separation activated sludge process, *Water Sci. Tech.*, 34(9), 165-172, 1996.

9. REMY, M.; TEMMINK, H.; VAN DEN BRINK, P. e RULKENS W. Low powdered activated carbon concentrations to improve MBR sludge filterability at high salinity and low temperature. *Desalination*, Volume 276, Issues 1-3, 2, Pages 403-407, August 2011
10. ROSENBERGER, S., & KRAUME, M. Filterability of activated sludge in membrane bioreactors. *Desalination*, 2002.
11. SUN, F.-Y.; WANG, X.-M.; LI, X.-Y. Effect of biopolymer clusters on the fouling property of sludge from a membrane bioreactor (MBR) and its control by ozonation. *Process Biochemistry*, 46, p. 162-167, 2011.
12. THIEMIG, C. Die Bedeutung der Filtrationseigenschaften von belebten Schlämmen beim Betrieb von Membranbioreaktoren. Aachen. 2011a.
13. THIEMIG, C.. The importance of measuring the sludge filterability at MBR – introduction of a new method. *6th IWA Specialist Conference on Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment*. 2011b.
14. VAN DEN BROECK, R. et al. Activated sludge characteristics affecting sludge filterability in municipal and industrial MBRs: Unraveling correlations using multi-component regression analysis. *Journal of Membrane Science*, 2011.
15. YOON, S.-H.; KIM, H.-S.; LEE, S. Incorporation of ultrasonic cell disintegration into a membrane bioreactor for zero sludge production. *Process Biochemistry*, 39, p. 1923-1929, 2004.