

II-487 - ESTUDO PILOTO DE MBR PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL PETROQUÍMICA A PARTIR DE EFLUENTE FINAL DE ETE

Amanda Cavalhero⁽¹⁾

Engenheira Ambiental formada em 2007 pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Especializada na área de tratamento biológico de efluentes domésticos e industriais, atualmente exerce função de engenheira de processos da Construtora Norberto Odebrecht, trabalhando no Projeto Aquapolo.

Isadora A. Nagaoka

Engenheira Ambiental formada em 2009 pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – UNESP. Trabalha como engenheira de processos na empresa Koch Membrane Systems com a função de desenvolver os estudos pilotos e auxiliar em start-ups de plantas da América do Sul.

Sheila de Oliveira

Engenheira Química formada em 2001 pela Escola de Engenharia MAUÁ, Mestre em processos biotecnológicos pela UNICAMP. Trabalha como engenheira de processos na unidade de negócios de tratamento de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo da SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Almirante Delamare, 3000 – Heliópolis – São Paulo – SP – CEP: 04230-000 – Brasil – Teç: +55 (11) 5213-0800 – Fax +55 (11) 5213-0838 – email: amandacavalhero@odebrecht.com

RESUMO

Foi instalada na ETE ABC uma Planta Piloto com tecnologia “MBR” (Membrane BioReactor) para o tratamento terciário do efluente dos decantadores secundários da estação de tratamento de esgoto da SABESP-ABC, com o objetivo de avaliar a qualidade do efluente produzido e otimizar as condições operacionais.

O Piloto de MBR consistiu de um reator biológico composto por uma câmara anóxica seguida de aeróbia com recirculação interna, visando a nitrificação, desnitrificação e remoção de matéria orgânica. O fósforo foi removido quimicamente através da adição de cloreto férrico. Após o tratamento biológico, o efluente era encaminhado a um tanque de membranas onde era filtrado. O produto final, permeado, era encaminhado para um tanque de descarte e o lodo excedente retornava para o reator biológico. Foram utilizadas membranas de fibra-oca para ultrafiltração.

Durante o período do teste além da alimentação com o efluente do decantador secundário foram simuladas duas outras estratégias de alimentação para complementação de matéria carbonácea: etanol ou efluente do decantador primário da ETE.

Houve grande estabilidade dos resultados do produto final do piloto quanto à baixa concentração de matéria orgânica, amônia, turbidez, sólidos e fósforo. Com fluxo de tratamento aplicado às membranas de 25 L/m².h, foi possível estabilizar a permeabilidade num valor de 120 L/m².h.

PALAVRAS-CHAVE: MBR, tratamento biológico, sistema de membranas, ultrafiltração.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial pelo uso de recursos naturais e a capacidade limitada do meio ambiente em suprir tais demandas levou muitas áreas à extrapolação de sua capacidade de suporte natural e, em consequência, a limitações de prestação dos serviços ambientais ao meio antrópico.

A questão hídrica se insere neste contexto e tem recebido notável atenção nas últimas décadas. O Brasil consta hoje com um grande aparato legislativo para mediar conflitos de uso de recursos hídricos e direcionar um uso de acordo com a capacidade de suporte do meio.

Neste âmbito, tanto as demandas da sociedade quanto as demandas legislativas, indicam a necessidade de conciliação do uso do meio com novas tecnologias alternativas – redutoras, preventivas e restauradoras de possíveis impactos.

Em razão da, ainda, incipiente aplicação de recursos públicos no setor de tratamento de esgoto sanitário brasileiro, grande parte das estações de tratamento de esgoto hoje implantadas no Brasil contemplam apenas até

a fase de tratamento secundário, ou seja, com enfoque para remoção de matéria orgânica. Neste sentido, torna-se de demasiado interesse a conciliação da remoção de nutrientes (tratamento terciário) em módulos de tratamento biológico, tanto para minimização de espaço físico necessário, quanto para viabilização de um tratamento eficiente nas atuais condições do serviço público sanitário.

Sistemas combinados para remoção de nutrientes e de matéria orgânica com zonas anaeróbias, anóxicas e aeróbias têm sido intensivamente estudados para que o efluente lançado nos corpos hídricos atenda os padrões de qualidade e de emissão. Nos últimos anos, devido à disponibilidade cada vez mais escassa e custo cada vez mais elevado de áreas físicas para instalação de estações de tratamento, várias pesquisas têm sido efetuadas para desenvolvimento de estações mais compactas.

Neste sentido, segundo BEZERRA (2010) o Biorreator de Membranas (Membrane Bioreactor – MBR) é uma tecnologia de tratamento compacta que tem várias vantagens sobre os sistemas biológicos convencionais, principalmente o sistema de Lodos Ativados, como: menor área de implantação (ausência de decantadores secundários), alta concentração de biomassa ativa, capacidade de operar em uma ampla faixa de idade do lodo com baixos tempos de detenção hidráulico, alta remoção de sólidos, matéria orgânica e patógenos, e maior flexibilidade operacional.

Apesar do conceito atual de alta tecnologia envolvida no processo MBR, as raízes deste processo foram concebidas no final dos anos 1970, com um simples conceito de biomassa filtrante (anaeróbio ou aeróbio) utilizando técnicas de filtração disponíveis naquela época que, contudo, não se mostraram confiáveis, devido aos recorrentes problemas de incrustações e ruptura. Em 1980, o desenvolvimento de membranas progrediu em três frentes: América do Norte (Canadá), Europa e Japão utilizando-se da tecnologia desenvolvida em membranas de osmose reversa (espirais) para produção de membranas tubulares que requeriam alta velocidade de passagem nas membranas (alto consumo energético) para evitar o acúmulo de sólidos. Muitos tipos de membranas foram fabricados e vários tipos de materiais, tornando-se específicas para diversas aplicações na indústria alimentícia. Nesta fase, também, ocorreram muitos problemas na área de tecnologia de membranas relacionados à confiabilidade e quebra dos módulos de membrana, STOWA (2002).

No entanto, o conceito de fato do MBR, nasceu no final da década de 80 e início de 90, quando as membranas tubulares foram otimizadas em materiais mais robustos reduzindo os problemas mecânicos de quebra e incrustação e reduzindo o custo de produção, o que abriu as portas para novos mercados além das indústrias de alimento e fármacos, abrangendo, inclusive, o setor de tratamento de efluentes, STOWA (2002).

DECAROLIS (2007) diz que o custo dos sistemas de membrana caiu 33% entre 2000 e 2006. A tendência de queda no preço das membranas faz com que elas sejam mais competitivas se comparadas aos sistemas convencionais de tratamento, mesmo assim a quantidade de estações de tratamento utilizando essa tecnologia ainda é limitada. As principais razões para instalar um sistema MBR ao invés de um sistema de lodo ativado convencional são (Van HAANDEL, 2007):

- Limite de espaço;
- Limites rígidos para o descarte do efluente; e
- Dificuldade da separação sólido / líquido no decantador secundário.

Atualmente há mais de 1000 MBRs em operação no mundo, sendo que 66% estão no Japão e o restante distribuído na América do Norte e Europa (STOWA, 2002), porém há pouca literatura e dados técnicos disponíveis sobre a operação e dimensionamento desses sistemas no mundo e, sobretudo, na América Latina. Há um número limitado de MBR tratando esgoto sanitário e as instalações em operação são relativamente com baixa capacidade hidráulica, sobretudo quando comparada à instalação do projeto Aquapolo (Tabela1).

Tabela 1: Tipo de MBR, capacidade instalada e ano de partida em algumas plantas no mundo tratando esgoto sanitário.

PLANTA (INSTALAÇÃO)	TIPO	CAPACIDADE	ANO DE PARTIDA
Rödingen	Zenon	135 m³/h	1999
Markrânsstadt	Zenon	180 m³/h	2000
Porlock	Kubota	80 m³/h	1998
Swanage	Kubota	720 m³/h	2000
Santa Paula	Puron	536 m³/h	2010
Aquapolo	Puron	2340 m³/h	2012

No presente estudo, a idéia de se usar um TMBR (Tertiary Membrane Bio Reactor) surgiu da necessidade de se reduzir principalmente as concentrações de nitrogênio amoniacal, DQO (Demanda Química de Oxigênio) e turbidez para níveis menores do que 1 mg/l, 20 mg/l e 1 NTU respectivamente. Inicialmente pensou-se numa filtração terciária simples onde a membrana de ultrafiltração seria apenas uma barreira física. Porém, esta opção foi descartada porque não seria possível atingir o nível de qualidade requerido para nitrogênio amoniacal e DQO. A opção do TMBR trouxe uma solução ideal, combinando tratamento biológico com um sistema de barreira física de alta eficiência.

Foi implantada e operada durante 9 meses uma Planta Piloto de MBR tratando efluente secundário da ETE ABC, com o objetivo de se determinar parâmetros relativos ao fluxo ideal de operação, concentração de sólidos suspensos (MLSS), idade de lodo, ciclo ideal de limpeza e consumo de produtos químicos, além de se analisar a qualidade do produto fornecido considerando as variações climáticas e operacionais a que uma ETE normalmente está submetida.

OBJETIVO

Avaliar a qualidade do efluente produzido e otimizar as condições operacionais de uma Planta Piloto de MBR tratando efluente dos decantadores secundários da uma Estação de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo.

MATERIAIS E MÉTODOS

• PLANTA PILOTO

O Piloto de MBR consistiu de um reator biológico para remoção de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica do efluente secundário seguido de um sistema de ultrafiltração com membranas de fibra oca. Na Figura 1 é apresentada a instalação da Planta Piloto.



(a)



(b)

Figura 1: Instalação experimental da Planta Piloto de MBR – (a) Vista externa; (b) Vista interna.

Para proteção das membranas de ultrafiltração e retenção de possíveis partículas grosseiras, antes de adentrar o sistema biológico, o efluente passava por um pré-tratamento em uma peneira de 3 mm de abertura com limpeza automática.

O sistema biológico era composto por dois reatores em série – um anóxico de 1.5 m³ e um aeróbio de 2.3 m³ (no presente teste, foi utilizado cerca de 70% do volume útil disponível) – com recirculação interna de nitrato para desnitrificação. Um sistema de aeração foi instalado no fundo do reator aeróbio, composto por 6 difusores tubulares de membrana de bolha fina modelo IFU Typ RS.

O fósforo foi removido quimicamente através da adição de cloreto férrico no reator biológico.

Após o tratamento biológico, o efluente era encaminhado a um tanque de membranas onde era filtrado. O produto final, permeado, era encaminhado para um tanque de armazenamento e o lodo retornava para o reator biológico.

O tanque de membranas possuía 0.6 m³ e era composto por um módulo de membranas Puron® com área de 31 m² e porosidade de 0.05 µm (Figura 2). Uma bomba de fluxo reversível aplicava vácuo nas membranas, permitindo a extração do permeado e direcionando-o para um tanque de estocagem (CIP). Esta mesma bomba era responsável pelo processo de retro-lavagem, utilizando o permeado do tanque de estocagem e direcionando no sentido inverso ao de filtração retornando ao tanque de membranas para limpeza e possível desobstrução dos poros.



Figura 2: Membranas de ultrafiltração de fibra oca utilizadas no Piloto de MBR terciário.

Na parte inferior das membranas havia insuflação intermitente de ar comprimido com o objetivo de reduzir a camada limite na superfície das membranas, minimizando a incrustação indesejável de sólidos.

Para limpeza química das membranas, uma bomba utilizava o permeado do tanque de CIP e direcionava o efluente no mesmo sentido da retro-lavagem ao tanque de membranas. Em linha, era feita dosagem de solução de hipoclorito de sódio ou ácido cítrico para mistura junto ao permeado que era encaminhado às membranas.

Esta solução de químicos, em função da baixa concentração, era coletada via transbordo do tanque de membranas e encaminhada ao reator biológico para depuração.

O fluxograma básico de processos da Planta Piloto está apresentado na Figura 3.

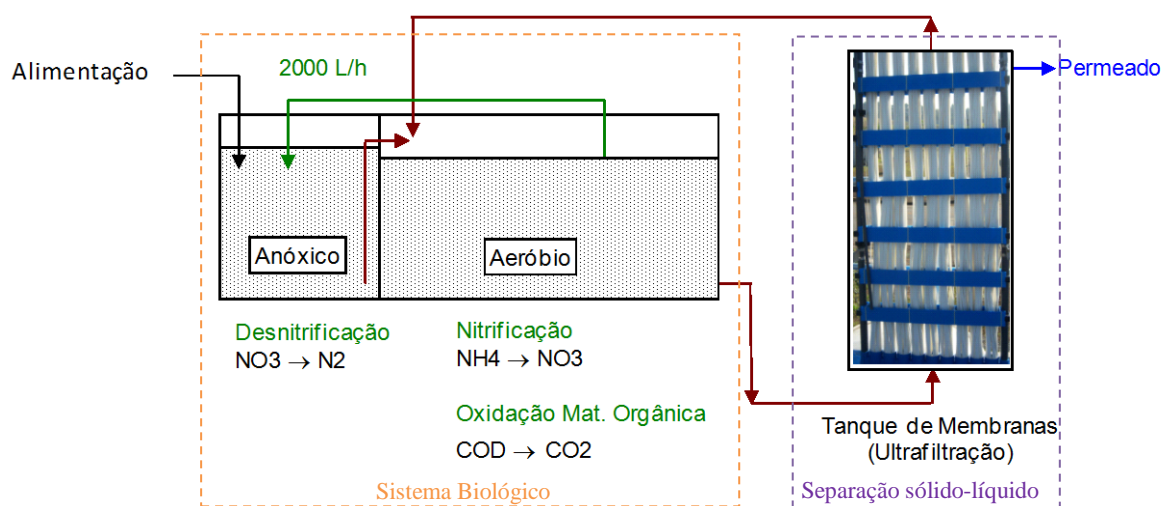


Figura 3: Fluxograma básico da Planta Piloto MBR na ETE ABC.

• AUTOMAÇÃO

Na Planta Piloto, simulando a condição ideal de operação de uma futura estação de tratamento, foi dotada de automação dos processos rotineiros, visando a minimização da mão de obra operacional, bem como de possíveis falhas humanas que poderiam impactar na qualidade do produto final. Dentre as opções de automação, cabe ressaltar:

- Controle automático de pH: em função da exigência de tratamento em determinados limites de pH no sistema biológico, havia um medidor on line do pH com atuação “liga-desliga” nas bombas dosadoras de soda cáustica e ácido. O set point de controle foi de 6.8 a 7.0 (atuação na bomba de soda cáustica) e de 8.0 a 8.4 (atuação na bomba de ácido). Em função das características do processo, durante toda a operação do piloto, não foi necessário o ajuste do pH com ácido.
- Controle automático de OD: para o controle de oxigênio dissolvido no reator biológico, havia um medidor on line do OD com atuação no inversor de frequência do soprador. O set point de controle foi de 0.8 a 1.2 mg/L.
- Descarte automatizado de lodo: para controle da idade e concentração do lodo biológico havia descarte automatizado através de uma válvula “on-off” que descartava cerca de 6 L/h do lodo biológico (atuação a cada 30 minutos).
- Operação automatizada dos ciclos de filtração: através de válvulas automáticas e bombas com inversores de frequência, todas as operações no módulo de ultrafiltração (filtração, retro-lavagem e aeração intermitente) foram feitas de modo automático.
- Limpeza química das membranas: como parte essencial da operação da ultrafiltração, era possível programar o tempo desejado entre as limpezas químicas de manutenção nas membranas e o tempo de duração em cada uma das etapas da limpeza (oxidante, ácida ou ambas simultaneamente), de forma que através de válvulas automáticas e bombas dosadoras “liga-desliga” todo o processo de limpeza era feito automaticamente.

Além das especificadas funções de automatização, era possível acesso remoto ao sistema supervisor do piloto de MBR, permitindo atuação e alteração de qualquer set point, se necessário, em qualquer horário ou dia da semana.

• ÁGUA RESIDUÁRIA

Foi utilizado como água residuária afluente à planta piloto, o esgoto tratado em nível secundário coletado individualmente em cada um dos seis decantadores secundários da ETE ABC localizada em São Paulo – Heliópolis.

• INOCULAÇÃO

Foi utilizado como inóculo para início da operação da planta piloto, o lodo ativado proveniente dos tanques de aeração da ETE ABC, com concentração média de sólidos de 3 gSST/L.

• MONITORAMENTO

Diariamente foram monitorados os seguintes parâmetros: DQO, amônia, pH, fósforo total, nitrato, SST (sólidos em suspensão totais) e turbidez na alimentação (efluente secundário) e no produto final do sistema segundo o “Standard Methods for Examination of Waste and Wastewater” (1998).

Além do monitoramento da qualidade do efluente produzido, foram monitorados parâmetros físicos da filtração, sobretudo o fluxo, a pressão trans-membrânica e a permeabilidade das membranas.

• PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As principais etapas envolvidas no teste com a Planta Piloto de MBR (Membrane Bio-Reactor) são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Etapas experimentais do teste piloto de MBR durante o ano de 2010.

FASE	PERÍODO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Adaptação	01/jan–28/fev	◆	◆	◆						
Avaliação da desnitrificação										
Complementação com Etanol 98%	22/mar–13/mai			◆	◆	◆				
Complementação com Efluente Primário	31/mai–21/jun					◆	◆			
Fluxo de aplicação nas membranas										
25 LMH (ótimo)	01/jan–31/ago	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
30 LMH (máximo)	11/mar–24/mar			◆	◆					
Desativação	01/set–30/set									◆

- Adaptação: compreendeu o período desde a partida do sistema até a estabilização do lodo biológico garantindo o efluente tratado com baixa concentração de amônia e matéria orgânica e a estabilização dos parâmetros operacionais das membranas de ultrafiltração (aeração intermitente, backwash a cada 6 minutos de filtração, limpeza de manutenção diária com solução de 125 ppm de hipoclorito de sódio e semanal combinada com limpeza oxidante com hipoclorito seguida de limpeza ácida com solução de ácido cítrico de 1000 ppm). A utilização de esgoto sanitário (o “afluente” do decantador primário da ETE) foi utilizada praticamente em toda fase de adaptação

- Avaliação da desnitrificação: foram testadas duas fontes adicionais de carbono para efetivação da desnitrificação no sistema, o efluente do decantador primário da ETE ABC e o etanol. Ambas as fontes de carbono têm a função de maximizar a remoção de nitrato do meio, gerando alcalinidade que será utilizada no processo de nitrificação, minimizando o uso de soda cáustica no reator aeróbio e, assim, reduzindo o custo operacional com este insumo químico.

- Avaliação do fluxo aplicado nas membranas: um parâmetro muito importante que impacta diretamente no custo de implantação da tecnologia é o fluxo aplicado nas membranas, pois esta unidade define a quantidade de membranas que serão necessárias para o tratamento de dada vazão de projeto. Na Planta Piloto foram testadas duas condições – o fluxo de 25 LMH e de 30 LMH.

- Desativação: no último mês de operação, a planta piloto foi desativada. Análises microbiológicas foram feitas no lodo ativado estabilizado e análises visuais nas membranas de ultrafiltração.

• RESULTADOS

Houve grande estabilidade dos resultados do produto final do piloto quanto à baixa concentração de matéria orgânica, amônia, turbidez, sólidos suspensos e fósforo.

A Tabela 3 ilustra o resultado médio de janeiro a agosto de 2010 dos principais parâmetros monitorados na alimentação (efluente secundário) e no efluente tratado (permeado) no Piloto de MBR

Tabela 3: Resultados dos principais parâmetros qualitativos monitorados durante a operação da planta piloto de MBR.

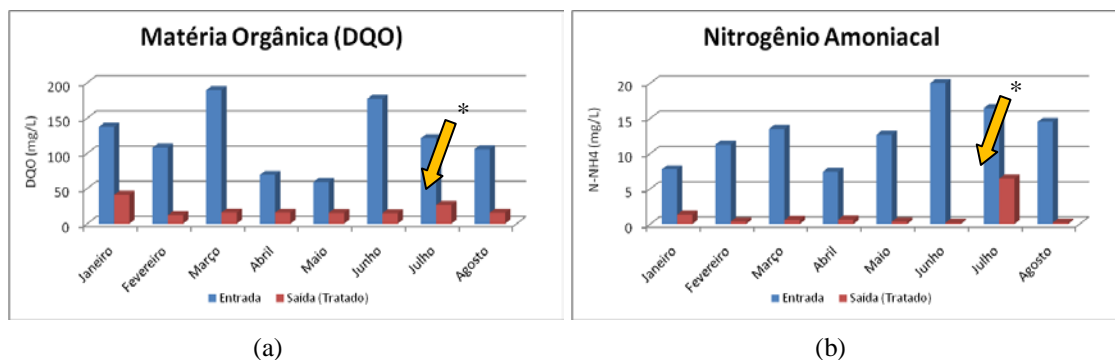
PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	EFLUENTE TRATADO
DQO (mg/L)	114	16
Fósforo (mg/L)	1,0	0,6
Amônia (mgN/L)	13	0,5
Nitrato (mgNO ₃ /L)	1,5	6,4
pH	7,2	7,5
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	102	< 1,1
Turbidez (UNT)	-	0,4

A eficiência de tratamento da Planta Piloto, medida em termos de remoção de matéria orgânica (DQO), de nitrogênio Kjeldahl (NTK) como indicativo da eficiência de nitrificação e de nitrogênio total (NT) está expressa na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados médios e máximos de eficiência de tratamento de matéria orgânica (DQO), de nitrificação (NTK) e de remoção de nitrogênio total (NT: nitrificação+desnitrificação) atingidos pela Planta Piloto de MBR de janeiro a agosto de 2010.

PARÂMETRO	Eficiência máxima de Remoção no Piloto	Eficiência média de Remoção no Piloto
DQO (%)	99	75
NTK (%)	99	83
NT (%)	96	48

A Figura 4 e as Tabela 5 e 6 ilustram as tendências médias mensais de variação da matéria orgânica (DQO) e nitrogênio amoniacal na entrada/alimentação (colunas azuis) e no efluente tratado (colunas vermelhas) da Piloto MBR.



* “Morte” do sistema biológico devido à superdosagem de hipoclorito (mudança no procedimento de limpeza das membranas)

Figura 4: Concentração de matéria orgânica (a) e nitrogênio amoniacal (b) na entrada e saída da Planta Piloto de Janeiro a Agosto de 2010.

Tabela 5: Resultados médios de DQO, fósforo, amônia, pH, SST e turbidez atingidos na alimentação da Planta Piloto de MBR de janeiro a agosto de 2010.

PARÂMETRO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
DQO (mg/L)	137 ± 295	108 ± 216	189 ± 154	69 ± 56	59 ± 46,6	177 ± 149	121 ± 87	106 ± 81
Fósforo (mg/L)	1,4 ± 0,8	1,3 ± 1,2	0,7 ± 0,4	0,8 ± 0,4	0,8 ± 0,5	1,2 ± 0,9	2,0 ± 1,2	1,3 ± 1,0
Amônia (mgN/L)	8,0 ± 4,8	11,3 ± 8,1	13,5 ± 5,0	7,4 ± 5,5	12,7 ± 3,8	20,1 ± 6,3	16,4 ± 10,6	14,5 ± 5,9
Nitrato (mgNO ₃ /L)		2,0 ± 2,4	0,9 ± 0,9	2,5 ± 1,9	1,4 ± 1,3	1,1 ± 1,6	1,5 ± 1,7	1,0 ± 0,8
pH	7,0 ± 0,2	7,2 ± 0,2	7,4 ± 0,2	7,1 ± 0,2	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,2	7,3 ± 0,3	7,2 ± 0,3
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)		74 ± 79	188 ± 174	64 ± 79	59 ± 91	147 ± 141	102 ± 115	105 ± 126

Tabela 6: Resultados médios de DQO, fósforo, amônia, pH, SST e turbidez atingidos no efluente tratado pela Planta Piloto de MBR de janeiro a agosto de 2010.

PARÂMETRO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
DQO (mg/L)	41 ± 123	12 ± 7	16 ± 4	16 ± 6	15 ± 11	15 ± 4	27 ± 17	15 ± 3
Fósforo (mg/L)	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,3	0,6 ± 0,7	1,1 ± 1,1	0,7 ± 0,3	0,5 ± 0,4	0,8 ± 0,5	0,4 ± 0,2
Amônia (mgN/L)	1,3 ± 1,1	0,4 ± 0,4	0,6 ± 0,5	0,6 ± 0,9	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,1	6,4 ± 10,0	0,2 ± 0,1
Nitrato (mgNO ₃ /L)		7,7 ± 1,9	7,3 ± 2,1	2,8 ± 1,6	4,9 ± 2,2	6,8 ± 5,4	8,0 ± 8,4	7,2 ± 3,6
pH	7,5 ± 1,1	7,4 ± 0,2	7,5 ± 0,2	7,6 ± 0,2	7,5 ± 0,2	7,5 ± 0,2	7,6 ± 0,5	7,4 ± 0,4
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)		1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0
Turbidez (UNT)		0,4 ± 0	0,4 ± 0	0,4 ± 0	0,4 ± 0	0,4 ± 0	0,4 ± 0	0,4 ± 0

Para remoção do fósforo foi dosado 1 ppm de cloreto férrico na alimentação do sistema.

Observa-se que no mês de janeiro, período de adaptação da biomassa após a partida do sistema, os valores de DQO e de nitrogênio amoniacal estavam superiores à média observada para o período já estabilizado.

Durante o mês julho, observa-se, excepcionalmente, o maior valor de DQO e nitrogênio amoniacal para o efluente tratado devido a uma superdosagem de hipoclorito de sódio que ocorreu no sistema biológico no final do mês devido à mudança do procedimento de limpeza química das membranas, causando a inibição das bactérias responsáveis pelo tratamento pelo excesso de agente oxidante dosado na biomassa ativa. Foi necessário descartar todo o lodo biológico e proceder a uma nova inoculação com lodo da ETE. Após uma semana, o tratamento biológico foi re-estabilizado.

No mês de março e abril os valores de fósforo no permeado estão mais elevados porque houve complementação de ácido fosfórico na alimentação da planta piloto com o objetivo de complementar a relação C:N:P.

Nas duas condições em que houve complementação de fonte externa de carbono (efluente primário e etanol) visando a desnitrificação (remoção de nitrogênio total), observou-se que à medida que se aumentou a complementação com fonte externa de carbono, houve acréscimo da eficiência de desnitrificação (remoção de nitrogênio total) e redução de cerca de 6 L/d do consumo de soda, conforme a Figura 5.

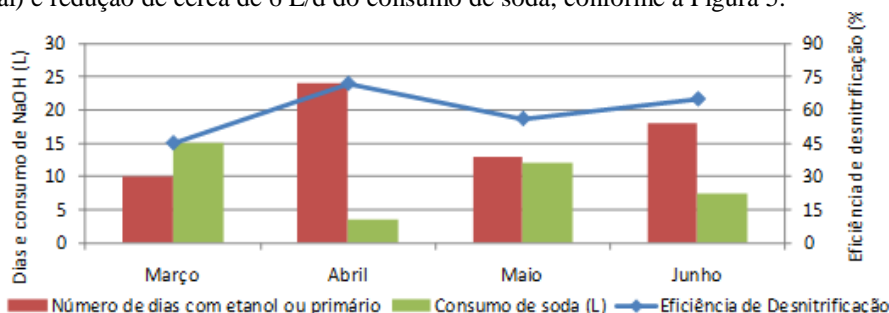


Figura 5: Influência da adição da fonte de carbono na alimentação da Planta Piloto na eficiência de desnitrificação e no consumo de soda no reator biológico.

Durante todo o período do teste foi mantida idade de lodo de 20 dias. A concentração média do lodo foi de 3900 mgSST/L e 2200 mgSSV/L.

Os parâmetros de produtividade da membrana durante o teste com a planta piloto estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7: Fluxo, Pressão Trans-membrânica e Permeabilidade atingidos no Piloto de MBR.

PARÂMETRO	Unidade	Valor máximo atingido no Piloto	Valor mínimo atingido no Piloto
Fluxo	L/m ² .h	30	15
TMP	mbar	298	100
Permeabilidade	L/m ² .h.bar	530	120

A Figura 6 ilustra as tendências médias mensais de variação da permeabilidade e da pressão transmembrana nas membranas de ultrafiltração da Planta Piloto. O valor de pressão transmembrana foi comparado à especificação de máxima pressão recomendada no catálogo do fabricante da membrana (0,6 bar).

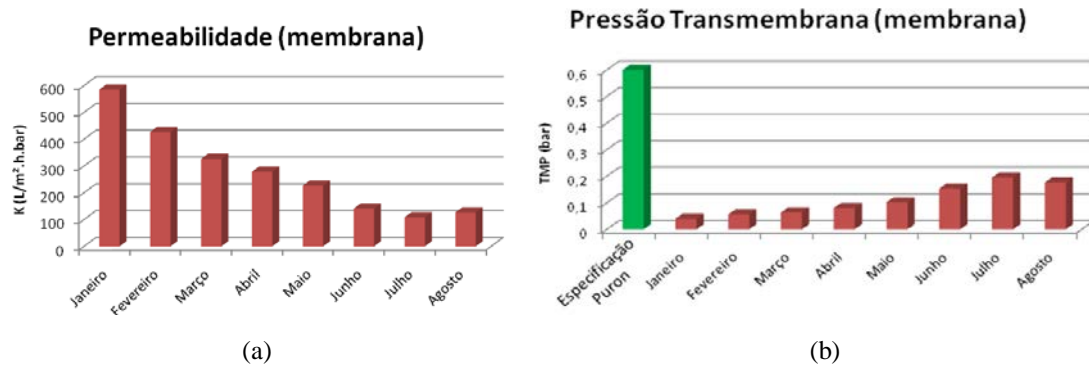


Figura 6: Permeabilidade (L/m².h.bar) resultante nas membranas de ultrafiltração (a) e Pressão transmembrana (bar) aplicada nas membranas de ultrafiltração (b).

De acordo com a Figura 6 é possível observar que nos primeiros 6 meses de operação houve uma queda linear da permeabilidade (a) e consequentemente um aumento da pressão transmembrana (b) até que a partir do mês de junho, houve tendência de estabilização destes valores, indicando que as membranas adaptaram-se às condições operacionais e permanecerão neste comportamento ao longo dos próximos anos de operação.

Durante os dias 11 e 24 março, o piloto foi operado com fluxo de 30 L/m².h. Embora se tenha aplicado uma vazão de tratamento 20% maior, o sistema biológico absorveu a carga aplicada, não sendo observada significativa mudança na qualidade do produto final. Entretanto, a Figura 7 que ilustra o comportamento das membranas de ultrafiltração alguns dias antes do aumento de fluxo e durante o período de operação com o fluxo máximo, indica que houve redução instantânea em cerca de 15% do valor de permeabilidade com o aumento do fluxo de 25 para 30 L/m².h, sendo que o valor de 340 L/m².h.bar foi mantido durante as 2 semanas de operação com este fluxo.

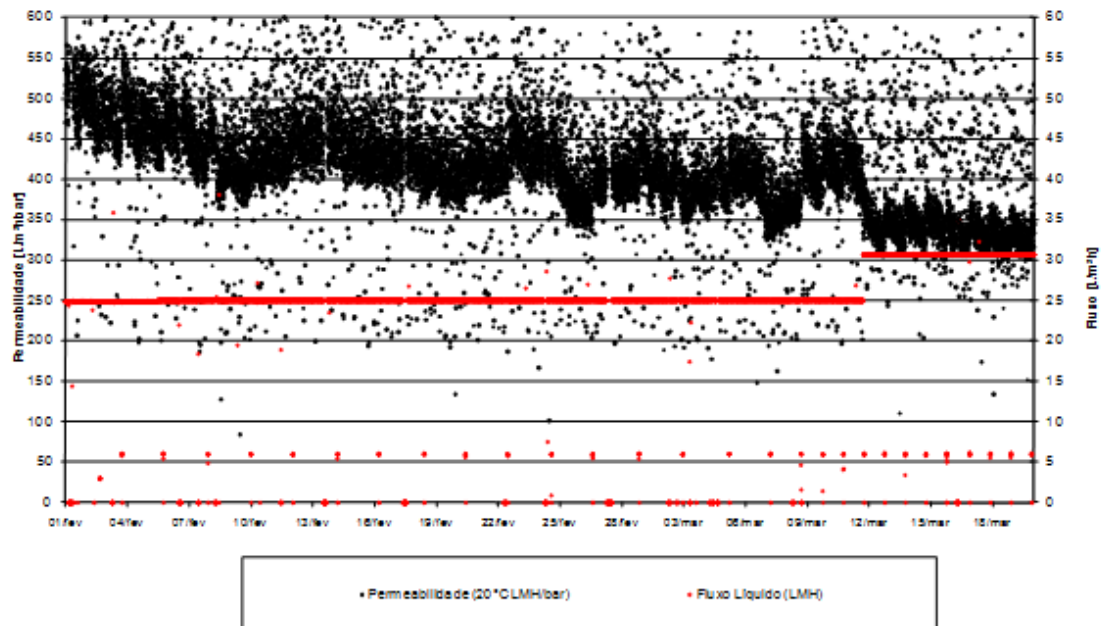


Figura 7: Permeabilidade (L/m².h.bar) e fluxo (L/m².h) aplicados ao sistema piloto de MBR durante os meses de fevereiro e março de 2010.

Para manutenção da permeabilidade nas membranas foi realizada:

- Aeração intermitente com vazão média de 16 Nm³/h;
- Backwash com vazão de 930 L/h em intervalos de 6 min;

- Limpeza de manutenção diária com hipoclorito de sódio (125 ppm) e limpeza combinada semanal com hipoclorito de sódio seguida de ácido cítrico (1000 ppm).

Foi possível atingir o parâmetro de fluxo esperado para o sistema (25 L/m².h), com perda de carga nas membranas (TMP) máxima de 50% do valor especificado pelo fornecedor.

Dos principais resultados descritos acima, cabe ressaltar que a Planta Piloto além de atingir parâmetros de qualidade muito bons do produto final, mostrou, inclusive, notável estabilidade em condições de qualidade variável do efluente secundário da ETE (alimentação).

Na Tabela 8 são indicados os principais parâmetros aplicados e atingidos durante a operação do Piloto de MBR testado tratando efluente secundário de Estação de Tratamento de Esgoto da região metropolitana da cidade de São Paulo.

Tabela 8: Parâmetros aplicados e atingidos durante a operação do Piloto de MBR terciário.

PARÂMETRO	Unidade	Resultado Piloto
Carga Volumétrica de Tratamento	kgDQO/m ³ .d	2,06
Idade do Lodo	d	20
Concentração do Lodo	mgSST/L	3900
Fluxo de Filtração	L/m ² .h	25
Área de Membrana	m ²	31

• DESATIVAÇÃO

No mês de setembro o Piloto de MBR terciário foi desativado.

Foi coletada amostra do lodo microbiológico e feita microscopia óptica para análise das características morfo-biológicas do lodo ativado de uma estação de MBR para tratamento terciário com 20 dias de idade do lodo, concluiu-se que o floco era pequeno (diâmetro < 150 µm), composto dos organismos a seguir:

- Filamentosos: quantidade ideal capaz de atuar na remoção de carga orgânica e não atrapalhar na formação dos flocos biológicos. Presença das espécies *Haliscomenobacter hydrossis* e *Thiothrix* I indicando baixa relação F/M e/ou efluente que abasteceu o reator é do tipo rapidamente metabolizado pelas bactérias. Situação esperada por se tratar de um sistema de tratamento terciário.

- Bactérias Nitrificantes: quantidade elevada indicando sistema com boa nitrificação.

- Protozoários e metazoários: os grupos mais abundantes foram dos andarilhos e dos flagelados. Os andarilhos normalmente surgem quando o sistema possui uma boa nitrificação e os flagelados podem indicar um lodo mais jovem. Observou-se também presença de tecameba e rotíferos, em menor quantidade.

Antes da desativação completa foi feita uma limpeza de recuperação utilizando solução de 1000 ppm de hipoclorito de sódio (molho de 12 horas) seguido de solução de 1000 ppm de ácido cítrico (molho de 12 horas). A Figura 8 ilustra o módulo de membrana piloto antes e depois da limpeza de recuperação.



Figura 8: Módulo Piloto de membranas de fibra oca de ultrafiltração no momento de desativação do teste, após 9 meses de operação, antes (a) e após (b) a limpeza de recuperação.

Após os 9 meses de teste piloto, as membranas de ultrafiltração de fibra oca apresentaram visualmente as mesmas características iniciais, sem ocorrência de rupturas ou substâncias orgânicas (biofilme) incrustadas na superfície, indicando que as características físicas visuais das mesmas não sofreram alterações durante o teste.

CONCLUSÃO

O sistema Piloto de MBR aplicado ao tratamento terciário de esgoto tratado em ETE da região metropolitana de São Paulo produziu efluente tratado com baixa concentração de matéria orgânica, amônia, turbidez, sólidos e fósforo, além de apresentar notável estabilidade sob variações da carga de tratamento em curto intervalo de tempo.

Foi possível observar que inserindo uma fonte externa de carbono (etanol ou efluente dos decantadores primário), houve redução do consumo de soda, o que impacta no custo operacional de uma aplicação em escala real.

Aplicando fluxo de 25 L/m².h, foi possível estabilizar a permeabilidade num valor de 120 L/m².h.bar com TMP menor que 300 mbar (metade da pressão máxima especificada pelo fornecedor da membrana) após 6 meses de operação.

A tecnologia de MBR aplicada ao tratamento terciário de efluente de estação de tratamento mostrou-se viável, produzindo água de reuso com ótimas características e com possível aplicação em diversos seguimentos industriais, agrícolas e municipais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEZERRA, L. F. Avaliação da remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada de águas residuárias utilizando biorreator de membranas. Ilha Solteira, 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2010.
2. DECAROLIS, J., ADHAM, S., PEARCE, W.R. Cost trends of MBR systems for municipal wastewater treatment. Water Environment Federation, p. 3407-3418, 2007.
3. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 20th edition. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation. Washington D, 1998.
4. STOWA, Pilot plant researt, Beverwijk WWTP Final Report – MBR for municipal wastewater treatment: challenging the traditional technologies. STOWA publications and publications overview, Holanda, 2002.
5. HAANDEL, V., LUBBE, V.D., Handbook Biological Waste Water Treatment - Design and optimisation of activated sludge systems. Quist Publishing. Leidschendam, Holanda, 2007.