

AVALIAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO DE MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR - REATOR BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE E PAPEL

EVALUATION OF A MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR) PILOT PLANT FOR THE TREATMENT OF PULP AND PAPER MILL EFFLUENT

Authors*: Daniel Vieira Minegatti de Oliveira¹
Alberto Carvalho de Oliveira Filho²
Marcio Dias Rabelo³
Yuri Nascimento Nariyoshi⁴

RESUMO

O processo MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor* - Reator Biológico com Leito Móvel) é uma tecnologia de desenvolvimento relativamente recente - em torno de 25 anos - para o tratamento de efluente; conceito que incorpora as características dos processos com crescimento de biomassa em suspensão e aderida (biofilme). Dessa forma, em um mesmo volume de reator biológico é possível manter uma maior quantidade de biomassa e assim aportar uma maior quantidade de substrato para biodegradação. É objetivo principal deste trabalho caracterizar a biomassa aderida ao meio suporte e avaliar os parâmetros operacionais e o desempenho de um reator MBBR em escala piloto para o tratamento do efluente de uma fábrica de celulose e papel após o tratamento preliminar: a decantação primária, o ajuste de pH, a adição de nutrientes, o resfriamento e em condições termofílicas. A planta piloto foi operada dentro dos limites recomendados pela literatura referida a cargas orgânicas volumétrica e superficial (COV e COS) de respectivamente 4,3 kg DBOsol/m³.dia e 43,8 g DBOsol/m².dia, igual ao limite inferior recomendado considerando a concentração de oxigênio dissolvido (OD) médio de 2 mg/L e volume de meios suporte igual a 10% do volume do reator. Pode-se destacar que as eficiências de remoção da Demanda Química de Oxigênio solúvel (DQO_{sol}) e da Demanda Bioquímica de Oxigênio solúvel (DBO_{sol}) obtidas foram de 56% e 35%, respectivamente, e que o sistema se manteve bastante estável sob essas condições de trabalho.

Palavras chave: Avaliação operacional e de desempenho, efluente de celulose e papel, processo MBBR

ABSTRACT

The MBBR process is a recent development technology that incorporates the best characteristics of processes with growth of biomass in suspension and attached biomass (biofilm). Therefore, in the same biological reactor volume it is possible to maintain a larger amount of biomass, thereby adding a larger amount of substrate to biodegradation. The main aim of this paper was to characterize attached biomass to carriers, and evaluate the operational parameters and performance of a MBBR pilot plant for treatment of pulp and paper mill effluent after the preliminary treatment: the primary decanting, the pH adjustment, the nutrients addition, the effluent cooling, and in thermophilic conditions. The pilot plant was operated within the limits recommended by literature in relation to the volumetric and surface organic loads of respectively 4.3 kg solubleBOD/m³.d and 43.8 g solubleBOD/m².d, alike to the recommended lower limit considering the concentration of dissolved oxygen average of 2 mg/L, and carriers volume equal to 10% of the reactor volume. Regarding the process performance, it was verified that the obtained removal efficiencies of soluble Biochemical Oxygen Demand (solubleBOD) and soluble Chemical Oxygen Demand (solubleCOD) were, respectively, 56% and 35%, and that the process remained rather stable under said conditions.

Keywords: Moving bed biofilm reactor, operational and performance evaluation, pulp and paper effluent

*Referências dos autores:

1. Engenheiro Ambiental pela UFV. Mestre em Tecnologia de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela COPPE/UFRJ. Doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP/SP. Gerente Técnico MMA Consultoria Ambiental.
2. Gerente de Qualidade e Meio Ambiente da Suzano Papel e Celulose S.A.
3. Mestre em Química pela Universidade Federal de Viçosa – UFV
4. Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Autor correspondente: Daniel Vieira Minegatti de Oliveira - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Av. Prof. Almeida Prado, 271 - CEP: 05508-900 - São Paulo - SP - Brasil. Telefone: +55(21)7933-1515. E-mail: daniel.minegatti@gmail.com

INTRODUÇÃO

As fabricas de celulose e papel aplicam em seus processos grandes quantidades de água e geram com isso grandes quantidades de efluentes. Aproximadamente 30 a 60 m³ por tonelada de celulose. Tais efluentes são ricos em matéria orgânica dissolvida (DBO e DQO solúvel), que lhes confere um enorme potencial poluidor se não forem tratados adequadamente.

O processo Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) constitui uma tecnologia que vem ganhando mercado e aplicação para o tratamento de efluentes. Em português, a tradução pode ser entendida como Reator Biológico com Leito Móvel, que consiste na combinação entre sistemas dos tipos massa líquida em suspensão e massa aderida (biofilme) (RUSTEN *et al.*, 1994).

No interior do reator MBBR são introduzidos meios suporte (*carriers*) para a adesão de microrganismos decompositores, formando assim o biofilme. Esse meio suporte é mantido em suspensão através de agitação realizada pelo sistema de aeração de bolhas grossas ou médias, que favorecem a absorção de oxigênio por meio da quebra dessas bolhas em bolhas finas, ação que proporciona elevada mobilidade aos meios suporte, e, conseqüentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão (MINEGATTI, 2008).

A razão para o emprego de meio suporte no reator biológico consiste na criação de área superficial para o crescimento de biomassa e elevação do tempo de retenção celular. A maior concentração de sólidos mantida aderida e em suspensão permite o aumento da capacidade de decomposição da matéria orgânica e da conversão de compostos nitrogenados, se for o caso.

As variáveis de controle são as mesmas aplicadas ao processo de lodo ativado, guardada a especificidade de que a concentração de sólidos biológicos no reator é também devida à biomassa aderida aos meios suporte e, por consequência, existe uma relação entre os volumes de meio suporte e do tanque de aeração. No controle de reatores com biomassa aderida costuma-se relacionar a carga orgânica aplicada ao reator biológico com a área superficial total do meio suporte, aqui denominado Carga Orgânica Superficial (COS), expressa em gDBO/m².d, sendo este parâmetro o que melhor pode ser associado ao processo.

Dentre as principais vantagens desta tecnologia tem-se a obtenção de sistemas compactos e resistentes aos picos de cargas orgânicas e hidráulicas e às variações de pH e temperatura; e a

não ocorrência de entupimento (colmatção) dos meios suporte (ØDEGAARD *et al.*, 1994). Contudo, tais vantagens foram sempre observadas quando o reator esteve trabalhando como a primeira unidade do tratamento biológico. Isto se deve ao fato de que, neste processo, emprega-se usualmente baixo Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), da ordem de 3 horas, implicando em baixos períodos para que os microrganismos possam degradar o substrato, sendo assim capazes de somente consumir a matéria orgânica facilmente biodegradável (DBO_{sol} ou DQO_{sol}).

O material utilizado para a fabricação do meio suporte é usualmente polietileno ou polipropileno, com densidade variando entre 0,95 e 0,99 g/cm³; diâmetro entre 10 e 45 mm e largura entre 7 e 30 mm. A **Figura 1** apresenta alguns tipos de meio suporte empregados atualmente no processo MBBR.

As diferentes configurações de meio suporte resultam em diferentes áreas de contato, que podem apresentar maior ou menor potencial para aderência de biomassa em função do arranjo e desenho geométrico da peça. A área superficial específica de meios suporte encontrados no mercado varia entre 350 a 1000 m²/m³ (MINEGATTI, 2008).

O volume de meio suporte normalmente inserido no reator é de 20% a 70% do seu volume. Para densidades inferiores a 20% há alguma perda na eficiência de transferência de oxigênio pela falta de material para efetivar a redução dos tamanhos das bolhas de ar introduzidas pelo equipamento de aeração. Para densidades superiores a 70% a condição torna-se economicamente inviável, visto que uma elevada quantidade de biomassa requer um alto gasto energético tanto na mistura dos meios suporte quanto no fornecimento de oxigênio (RUSTEN *et al.*, 1998). A Norma Técnica NBR 12.209 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda manter no reator uma concentração de OD de 3,0 mg/L, visando atender a esses requisitos.

No âmbito da indústria de celulose e papel podem-se destacar algumas fábricas que utilizam este processo para o tratamento de seu efluente, como a Klabin e a Suzano no Brasil, e as Stora Papyrus Grycksbo AB, Stora Cell Industri AB, Stora Billerud Fors AB e Norske Skog Sande Paper Mill A/S na Suécia (RUSTEN *et al.*, 1994). A literatura especializada reporta alguns resultados do processo MBBR no que se refere ao tratamento de efluentes de fabricas de celulose e papel.

JAHREN *et al.* (2002) trabalharam com um MBBR em escala la-

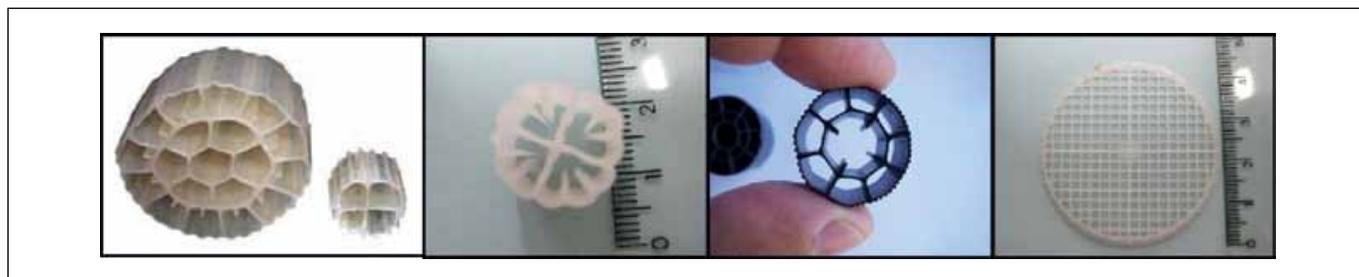


Figura 1. Modelos de meios suporte empregados no processo MBBR

boratorial com 58% de volume de meios suporte que possuía área superficial específica de $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$. A concentração de OD foi mantida entre 2 e 3 mg/L , o pH entre 8,0 – 8,5 e o TDH gradualmente diminuído de 30 para até 14 horas. A COV média foi elevada de $1,5 \text{ kgDQO}_{\text{sol}}/\text{m}^3.\text{d}$ até um valor máximo de $3,8 \text{ kgDQO}_{\text{sol}}/\text{m}^3.\text{d}$. Vale ressaltar que o aparato experimental não continha o decantador secundário. Todavia, o principal objetivo do trabalho foi o de avaliar a influência da temperatura na remoção da DQO_{sol} , isto é, mantiveram a temperatura em torno de 55°C (condições termofílicas). Desse modo, alcançaram eficiência de remoção de DQO_{sol} e $\text{DBO}_{5\text{sol}}$ de, respectivamente, 60% a 65% e 70% a 75%. Citam ainda que, em condições mesofílicas (temperatura $\approx 30^\circ\text{C}$), a eficiência de remoção média de DQO_{sol} foi de 80%, demonstrando a influência da temperatura na remoção da matéria orgânica.

BROCH-DUE *et al.* (1997) realizaram ensaios em escala piloto tratando três diferentes efluentes de uma fábrica de celulose e papel com COVs compreendidas entre 2,5 e $26,9 \text{ kgDQO}/\text{m}^3.\text{d}$. Em todos os ensaios o aparato experimental era constituído de dois MBBR em série, seguido por um decantador secundário em que não havia reciclo de lodo. Os MBBRs possuíam 70% de enchimento de meios suporte com área superficial específica de $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Em todos os ensaios o pH foi mantido em torno de 7, a temperatura variou entre 23 e 35°C , a concentração de OD mantida entre 2,5 e $5,7 \text{ mg/L}$ e o TDH variou desde 2,5 até 30 horas. A eficiência de remoção de DQO_{sol} e $\text{DBO}_{7\text{sol}}$ obtida foi de 54% a 82% e de 62% a 80%, respectivamente. Ademais, observaram também que quanto maior fosse o TDH e a temperatura maior a eficiência do processo.

RUSTEN *et al.* (1994) desenvolveram quatro experimentos distintos - em escala piloto -tratando efluente de papel e celulose de indústrias localizadas na Suécia, com valores de COV compreendidos entre 2,7 e $70 \text{ kg DBO}_{\text{filtrada}}/\text{m}^3.\text{d}$, e que apresentaram eficiência de remoção de $\text{DBO}_{\text{filtrada}}$ sempre superior a 85%. Ressalta-se que em todos os experimentos foi necessária a correção de pH para em torno de 7, da temperatura para aproximadamente 30°C e de nutrientes, e que foi mantida concentração de OD acima de $3,0 \text{ mg/L}$. Além disso, sempre utilizaram volumes de meios suportes superiores a 38% chegando até 67% do volume do reator, variando o TDH desde 0,8 até 25 horas, e os sistemas foram compostos de dois ou mais reatores em série. Esses autores também reportaram que a COS aplicada no tratamento de efluentes de celulose e papel deve ser inferior a $50 \text{ gDBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$ para obtenção de eficiência global de DBO - MBBR seguido por outro tratamento secundário – superior a 70%.

O presente trabalho foi desenvolvido na empresa Suzano Papel e Celulose – Unidade Mucuri, onde o sistema de tratamento de efluentes é constituído por uma lagoa aerada seguida de três reatores MBBR em série, com tempo total de detenção hidráulica (TDH) respectivamente igual a 5,5 dias e 3,0 horas, e com volume de meios suporte igual a 10% do volume do reator. O efluente segue posteriormente para uma lagoa de sedimentação. No entan-

to, o processo MBBR vem passando - praticamente desde a sua implantação em 2007 -, por instabilidade em relação à remoção de matéria orgânica e à ocorrência de colmatação do meio suporte. Esses fatos podem ser desde logo explicados pela posição do MBBR, isto é, por ser unidade final do tratamento biológico (pós-tratamento do sistema de lagoa aerada).

Assim, visando investigar tais fatos, a planta piloto MBBR foi instalada antes da lagoa aerada e após a adição de nutrientes, trabalhando com TDH médio de 3,3 horas e volume de meio suporte igual a 10% do volume do reator, de forma similar ao processo original.

O presente trabalho objetiva, portanto, caracterizar a biomassa aderida ao meio suporte e avaliar os parâmetros operacionais e o desempenho de um MBBR piloto no tratamento do efluente de uma fábrica de celulose e papel em condições termofílicas (temperatura média igual a 44°C).

METODOLOGIA

A unidade experimental utilizada se compõe de um MBBR em escala piloto instalado em paralelo à ETE da Suzano Papel e Celulose–Unidade Mucuri. O efluente a ser tratado no reator passa inicialmente por um tratamento primário, que consiste das seguintes etapas: gradeamento, decantação primária convencional, ajuste de pH, adição de nutrientes e resfriamento. Após o tratamento primário o efluente encaminhado para o tratamento biológico é bombeado para o MBBR piloto.

Na **Figura 2** é apresentado desenho esquemático da unidade experimental, com as seguintes características:

- Diâmetro: 2,65 m
- Altura útil: 3,62 m
- Volume útil: 20 m^3
- Vazão de ar (mínima): $3,0 \text{ m}^3/\text{min}$
- OD: 2 a 3 mg/L

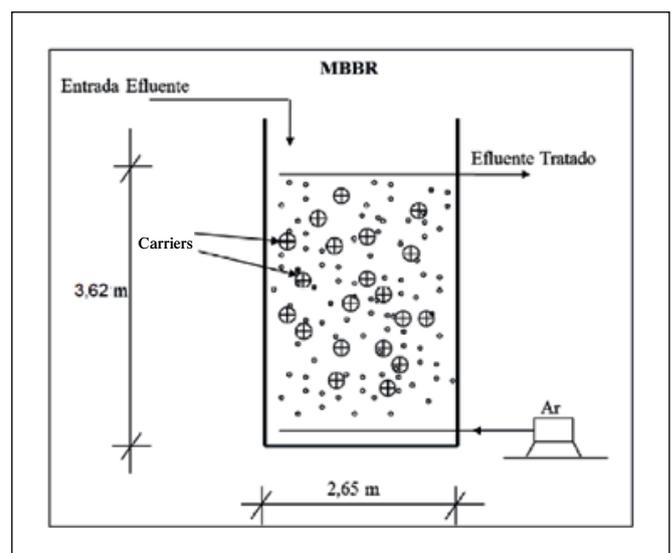


Figura 2. Desenho esquemático do aparato em escala piloto

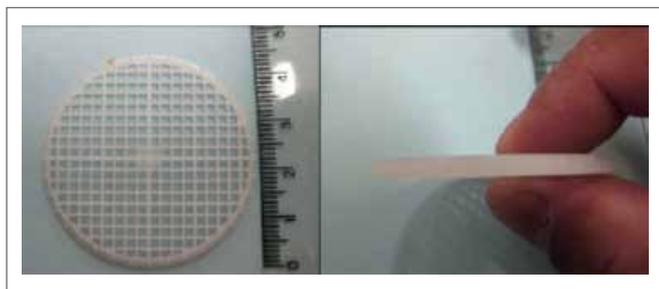


Figura 3. Fotografia do Biofilm Chip-P da empresa AnoxKaldnes™

A planta piloto foi posta em operação com vazão média de 6,2 m³/h – consequentemente com TDH médio de 3,3 horas –, além de um volume de meio suporte (Biofilm Chip™-P – Figura 3) de 10% do volume do reator – igual a 2 m³ –, de maneira similar ao sistema original, em condições termofílicas (temperatura média de 44°C) e com pH variando entre 6,5 e 8,5.

Entretanto, a planta piloto trabalhou com menor relação DQO/DBO (maior biodegradabilidade), igual a 2,3, devido ao fato de ter sido a primeira unidade do tratamento biológico, diferentemente do sistema original de tratamento de efluentes instalado na empresa Suzano.

A planta piloto foi monitorada durante 3 meses de acordo com os parâmetros principais: DQO_{sol}, DBO_{sol}, COT, pH, temperatura, etc. -, conforme preconiza o *Standard Methods of Water and Wastewater Examination* (APHA, 2005), visando analisar principalmente o posicionamento do sistema MBBR, a influência da temperatura do efluente na eficiência do processo e o comportamento dos meios suporte em relação à colmatação.

A avaliação da biomassa aderida, como em qualquer processo biológico para tratamento de efluentes, se dá por meio da quantificação de sólidos voláteis, usualmente expressa em função dos sólidos suspensos voláteis (SSV). Assim, aplicou-se a metodologia denominada “Limpeza/Lavagem + Massa Líquida” (MINEGATTI, 2008), que pode ser descrita da seguinte forma:

- Retirar aleatoriamente 25 peças do interior do reator e colocá-las conjuntamente em recipiente contendo 250 mL de água destilada, com a preocupação de preservar a massa líquida presente no interior do meio suporte;
- Vedar e agitar o recipiente de forma a causar o desprendimento dos sólidos aderidos;
- Transferir toda a massa líquida para outro recipiente;
- Reintroduzir novo volume de 250 mL de água destilada no

recipiente contendo os meios suporte e repetir os procedimentos anteriores, deixando-os em repouso por período de aproximadamente 1 hora, isso para a remoção da massa de sólidos eventualmente ainda aderida;

- Reunir em um só volume de 500 mL a totalidade da massa líquida e, a partir desta, promover a marcha total de sólidos da forma como preconizada (APHA, 2006).

Os parâmetros operacionais e de controle observados durante todo o experimento foram determinados mediante análise das concentrações da DBO, da DQO e dos valores de OD, pH e temperatura.

Entende-se que a COV é a razão entre a carga orgânica aplicada ao reator biológico e seu volume, dada por kgDBO ou DQO/m³.d; e a COS é a relação entre a carga orgânica aplicada e a área superficial total devida ao meio suporte, na qual surge como um parâmetro de controle particular do processo MBBR expressa em gDBO ou gDQO/m².d.

Desse modo, obtiveram-se valores compreendidos entre 5,7 e 13,0 kgDQO_{sol}/m³.d (2,1 a 5,4 kgDBO_{sol}/m³.d), resultando em uma COV média de 10,0 kgDQO_{sol}/m³.d e 4,3 kgDBO_{sol}/m³.d. Já para a COS os valores encontrados variaram entre 20,7 e 54,5 gDBO_{sol}/m².d, originando um valor médio de 43,8 gDBO_{sol}/m².d.

As temperaturas no reator biológico variaram entre 37,5 e 48,0°C, as concentrações de OD ficaram compreendidas entre 0,7 e 4,3 mg/L, o pH médio afluente ao reator foi de 7,4 e o pH efluente igual a 7,9.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, e a consequente discussão, encontram-se organizados de forma a primeiro caracterizar a biomassa aderida ao meio suporte e, posteriormente, avaliar o desempenho do processo nas condições operacionais estabelecidas.

Características da biomassa aderida

A Tabela 1 apresenta os valores das massas de sólidos aderidos (denominadas Formação de Biomassa Aderida – FBA) em relação aos sólidos suspensos totais (SST) e SSV, expressa em g/m², obtidos com o emprego da metodologia citada.

Observa-se que, apesar de somente três análises realizadas, os valores obtidos indicam elevada concentração de biomassa aderida aos meios suporte, pois a NBR 12.209 da ABNT recomenda valores de até 12 gSSV/m², e encontram-se na literatura valores de 4 gSST/m² (ANDREOTTOLA *et al.*, 2003) e 5 gSSV/m² (HONG-BIN *et al.*, 2007).

Tabela 1. Formação de biomassa aderida ao meio suporte (g/m²)

Sólidos	Nº dados	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Percentis				
					10	25	50	75	90
SST	3	21,2	6,9	0,33	17,1	17,2	17,5	23,3	26,9
SSV	3	14,6	5,0	0,34	11,4	11,7	12,2	16,2	18,7

Obs.: Entende-se por percentis um enésimo valor correspondente à frequência acumulativa, isto é, o 25º percentil é o primeiro quartil; o 50º percentil é a mediana.

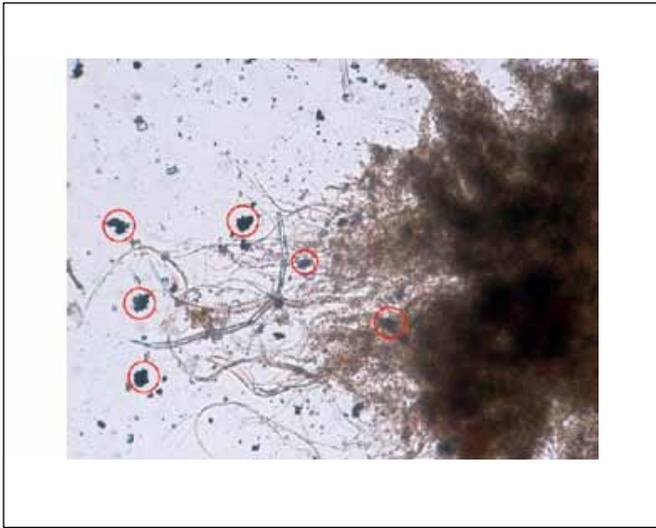


Figura 4. Vista microscópica do floco biológico aderido ao meio suporte

O que ainda pode ser analisado em função dos resultados da Tabela 1 é a relação SSV/SST obtida com base nos valores médios, alcançando valor médio de 0,69, o que indica que grande parte da massa de sólidos aderidos é biomassa ativa, ou seja, microrganismos decompositores. Contudo, em comparação ao resultado reportado por JAHREN *et al.* (2002) de 0,91, os dados obtidos são bastante inferiores. Isto pode ser justificado pela elevada quantidade de fibras presente na biomassa aderida ao meio suporte, conforme observado na análise microscópica realizada e ilustrada na Figura 4, reduzindo, assim, a área para aderência de biomassa ativa. Salienta-se que essas fibras poderiam ser removidas caso fosse otimizado o sistema primário de tratamento.

É importante destacar que em nenhum momento do período monitorado foi observado entupimento (colmatação) dos meios suporte.

Avaliação de desempenho

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos resultados alcançados em função dos seguintes parâmetros: DQO_{sol} , DBO_{5sol} , COT e relação DQO/DBO .

Tabela 2. Resultados do monitoramento do processo (mg/L)

Parâmetro	Nº	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Percentis					
					10	25	50	75	90	
DQO_{sol}	Afl.	41	1384	243	0,18	1045	1257	1436	1530	1625
	Efl.	41	898	214	0,24	740	805	913	1060	1133
	Efl. (%)	41	35	13	0,37	22	24	37	43	47
DBO_{5sol}	Afl.	11	603	144	0,24	375	604	642	682	717
	Efl.	11	270	106	0,39	152	211	277	325	400
	Efl. (%)	11	56	13	0,23	38	52	59	64	66
COT	Afl.	13	556	89	0,16	422	558	590	595	616
	Efl.	13	315	129	0,41	197	235	264	355	516
	Efl. (%)	13	44	19	0,43	16	42	51	57	58
DQO/DBO Afl.	14	2,3	0,3	0,13	1,9	2,1	2,2	2,4	2,7	

Os gráficos Box-Wiskers das Figuras 5 e 6 demonstram, respectivamente, o comportamento do processo em relação à remoção de DQO_{sol} , DBO_{5sol} e COT por meio das concentrações afluente e efluente e da eficiência de remoção.

Para as condições operacionais impostas à unidade - COV média equivalente a 4,3 $kgDBO_{sol}/m^3.d$ e COS média de 43,8 $gDBO_{sol}/m^2.d$ e principalmente temperatura média de 44°C - observou-se que o processo MBBR proporcionou concentração média de DBO_{5sol} efluente de 270 mg/L, correspondendo a uma boa eficiência média de remoção de 56%.

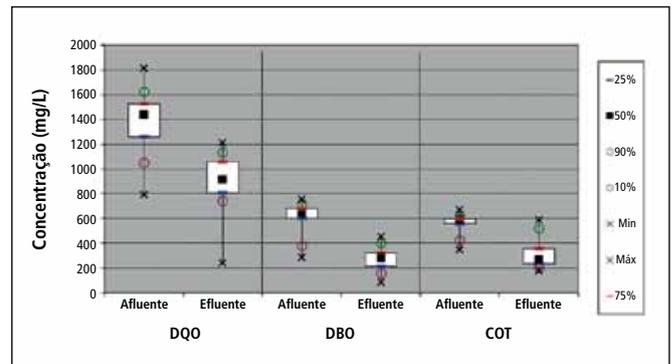


Figura 5. Gráfico Box-Wiskers das concentrações afluente e efluente de DQO_{sol} , DBO_{5sol} e COT

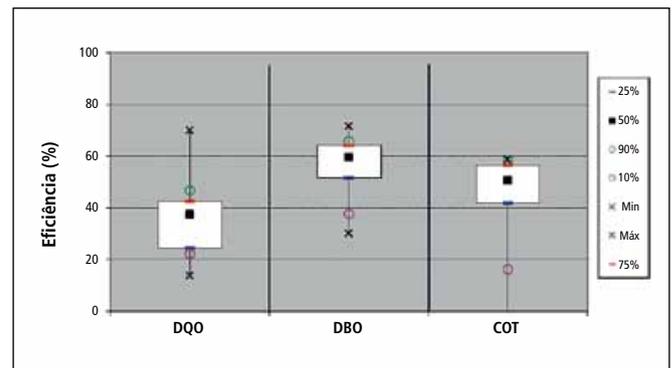


Figura 6. Gráfico Box-Wiskers da eficiência de remoção de DQO_{sol} , DBO_{5sol} e COT

Assumindo como referência o experimento realizado por JAHREN *et al.* (2002) em que trabalharam em condições termofílicas e obtiveram eficiências de remoção de DBO_{sol} de 70% a 75%, tais valores podem ser justificados devido a maior porcentagem de meios suporte e TDH, 58% e 14 a 30 horas, respectivamente, sendo que esses valores são muito mais elevados que os valores praticados neste experimento (adotados a fim de simular o sistema original da fábrica).

Pode-se observar também, conforme Tabela 2, que a relação DQO/DBO média dos afluentes de alimentação foi de 2,3 - indicando boa biodegradabilidade - e bem menor quando comparada ao sistema MBBR em escala real instalado na empresa, que foi igual a 6,0.

É também importante ressaltar que durante um período de 10 dias houve dificuldades na bomba de recalque do efluente, ocasionando choque hidráulico e de carga no reator piloto. Todavia, depois de solucionado o problema e retomado o monitoramento pode-se perceber não ter havido perda de eficiência do processo, demonstrando excelente estabilidade do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos parâmetros operacionais e de controle, pode-se destacar:

- Os parâmetros COV e COS se mantiveram dentro das faixas indicadas pela literatura;
- O valor OD médio encontra-se, a princípio, no limite inferior recomendado, igual a 2 mg/L;
- O pH se manteve constante ao longo de todo o período de monitoramento, indicando boa estabilidade do processo.

Tais resultados nos levam a refletir como, de modo geral, a questão ambiental é tratada em termos gerenciais pelas organizações. É de suma importância que os efluentes gerados sejam considerados produtos do próprio processo produtivo. Assim sendo, a questão deve estar presente no próprio desenho do processo, para que o tratamento dos efluentes ocorra com eficiência e de maneira sustentável.

Ainda que a decisão de tratamento de efluentes venha a ser tardia, quando o processo produtivo já estiver desenhado, observa-se que as empresas tendem a escolher a tecnologia antes de uma criteriosa análise de viabilidade técnico-econômica, o que ocasiona decisões de projetos pouco adequados à realidade da empresa e/ou investimentos financeiros demasiadamente custosos.

Vale ressaltar que este projeto piloto está sendo retomado com o propósito de também avaliar o volume de *carriers*, o aumento do TDH e, possivelmente, a utilização de outros modelos de *carriers*.

CONCLUSÕES

O trabalho promoveu a quantificação de biomassa aderida, ainda que mediante análise bastante simples, alcançando elevada FBA, igual a 14,6 gSSV/m², o que caracteriza um meio suporte com elevada quantidade de microrganismos aderidos.

Em relação ao desempenho da planta piloto, de se notar a estabilidade de remoção da matéria orgânica (DBO, COT e DQO), isto utilizando apenas um reator - pois é recomendado o emprego de três reatores em série - e, considerando que o reator operou sob condições termofílicas (melhor desempenho é esperado em condições mesofílicas), demonstra-se que a temperatura não foi um fator limitante.

Ademais, analisando os resultados obtidos, pode-se inferir que o sistema MBBR contido no tratamento de efluentes da empresa sob análise, seria mais eficiente e estável no que diz respeito ao projeto, se estivesse instalado como primeira unidade do tratamento biológico, requisito básico para o emprego do MBBR, alcançando também, dessa forma, a não ocorrência de colmatação dos *carriers*.

Agradecimentos

Desejamos agradecer às empresas Suzano Papel e Celulose e MMA Consultoria Ambiental. ■

REFERENCES

1. ANDREOTTOLA, G.; FOLADORI, P.; GATTI, G.; NARDELLI, P.; PETTENA, M.; RAGAZZI, M. (2003): *Upgrading of a small overloaded activated sludge plant using a MBBR system*. Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances Environmental Engineering, 38 (10) 2317-2328.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR-12.209. (2012): *Elaboração de Projetos Hidráulico-sanitários de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários*.
3. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th ed. Washington: Public Health Association. 2005.
4. BROCH-DUE, A.; ANDERSEN, R.; OPHEIM, B. (1997): *Treatment of integrated newsprint mill wastewater in moving bed biofilm reactors*. Water Science and Technology. 35 (2-3) 173-180.
5. HONG-BIN, Y.; XIE, Q.; YUN-ZHENG, D. (2007): *Medium-Strength Ammonium Removal Using a Two-Stage Moving Bed Biofilm Reactor System*. Environmental Engineering Science. Vol 24 (05) 295-601.
6. JAHREN, S. J.; RINTALA, J. A.; ODEGAARD, H. (2002): *Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions*. Water Research. 36, 1067-1075.
7. MINEGATTI, D. V. O. (2008): *Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR)*. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
8. MORAIS, A. A.; MOUTEER, A. H.; SILVEIRA, D. S. A. (2007): *Melhoria na eficiência de tratamento de efluentes de celulose Kraft de eucalipto pela combinação de ozonização e tratamento biológico*. O Papel. 67 (12) 83-95.
9. PASTORELLI, G.; ANDREOTTOLA, G. (1997): *Pilot-plant experimental with moving-bed biofilm reactors*. Waste Science and Technology. Vol. 36 (1) 43-50.
10. RUSTEN, B.; MATSSON, E.; BROCH-DUE, A.; WESTRUM, T. (1994): *Treatment of pulp and paper industry wastewater in novel moving bed biofilm reactors*. Water Science and Technology. 30 (3) 161-171.