

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

COMPORTAMENTO E DESEMPENHO DO PROCESSO REATOR BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL (MBBR) PARA A REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E COMPOSTOS NITROGENADOS

Daniel Vieira Minegatti de Oliveira¹

Isaac Volschan Junior²

Eduardo Pacheco Jordão³

*BEHAVIOR AND PERFORMANCE OF THE MOVING BED BIOFILM
REACTOR (MBBR) PROCESS FOR ORGANIC MATTER AND
NITROGEN REMOVAL*

Abstract

The MBBR process is a recent development technology that incorporates the best characteristic of processes with growth of biomass in suspension and attached biomass (biofilm). The technology was initially developed in Norway, to improve the performance the acting and/or to increase the capacity of plants of already existing wastewater treatment plants, mainly composed by activated sludge, with the minimum of physical expansion of the biological reactor and, consequently, accomplishment of engineering civil works. Inside the biological reactor of the MBBR process, carries with high Specific Superficial Area are kept in suspension. The mixing promoted by the aeration system exposes the carries to the liquid mass in suspension and, consequently, the microorganisms are kept attached and also in suspension. Therefore, in a same volume of the biological reactor volume it is possible to maintain a larger amount of biomass, thereby adding a larger amount of substratum to biodegradation. The control parameters are the same applied to the activated sludge process. This technology is under investigation at the Experimental Center of Environmental Sanitation of the Federal University of Rio de Janeiro (CESA-UFRJ) in an experimental unit, with a population equivalent to 500 inhabitants. Thus, this paper... presents and discusses some concepts related to technology and also exposes the results achieved after investigate the MBBR under variations in its operating conditions. The carries used, containing 600 m²/ m³ Specific Surface Area, were introduced into the biological reactor in 20% of volume.

Key words: Attached Biomass, Domestic Wastewater Treatment, Moving Bed Biofilm Reactor, Organic Matter and Nitrogen Removal.

¹ Universidade de São Paulo – USP.

² Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.*

*Corresponding autor: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Av. Prof. Almeida Prado, 271 – Butantã – São Paulo – SP – Brasil, CEP: 05508-900. Tel: +55(11)8618-4528. Email: daniel.minegatti@gmail.com

Resumo

O processo MBBR é uma tecnologia de desenvolvimento recente que incorpora as melhores características de processos com crescimento de biomassa em suspensão e de biomassa aderida (biofilme). A tecnologia foi desenvolvida inicialmente na Noruega, para a necessidade de aperfeiçoar o desempenho e/ou aumentar a capacidade de tratamento de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) já existentes, principalmente compostas por lodos ativados, com o mínimo de ampliação física do reator biológico e, conseqüentemente, realização de obras civis. No interior do reator biológico do processo MBBR mantêm-se em suspensão meios suporte (*carries*) com elevada Área Superficial Específica, que quando sujeitos à agitação promovida pelo sistema de aeração são expostos à massa líquida em suspensão e, portanto os microorganismos decompositores são mantidos aderidos e também em suspensão. Desta forma, em um mesmo volume de reator biológico é possível manter maior quantidade de biomassa e assim aportar maior quantidade de substrato para biodegradação. Seus parâmetros de controle são os mesmos aplicados ao processo de lodos ativados, observadas algumas especificidades. Esta tecnologia encontra-se em investigação nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CESA-UFRJ) em unidade experimental com capacidade para população equivalente de 500 habitantes. O trabalho apresenta e discute alguns conceitos inerentes à tecnologia e expõe também os resultados alcançados após investigação do desempenho de um MBBR submetido à variação de suas condições operacionais. O meio suporte utilizado, contendo $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de Área Superficial Específica, foi introduzido no reator biológico de acordo com volume relativo de 20% do mesmo.

Palavras Chave: Biomassa aderida, MBBR, Remoção de Matéria Orgânica e Nitrogenada, Tratamento de Esgotos Domésticos.

Introdução

“Moving Bed Biofilm Reactor” (MBBR) e “Integrated Fixed Film Activated Sludge” (IFAS) constituem uma tecnologia recente que vem ganhando mercado e aplicação para o tratamento de efluentes, podendo ser traduzidos como Reator Biológico com Leito Móvel, que consiste em uma tecnologia adaptada ou não do processo de lodos ativados, baseada na combinação entre sistemas dos tipos massa líquida em suspensão e massa aderida (biofilme). Esta tecnologia foi introduzida pelas autoridades responsáveis pelo controle de poluição da Noruega. A empresa norueguesa *Kaldnes Miljøteknologi AS*, em parceria com a Universidade da Noruega, iniciou o desenvolvimento do processo MBBR/IFAS, objetivando principalmente a ampliação da capacidade de tratamento de grande quantidade das ETEs de pequeno porte existentes no país, proporcionando ETE que ao mesmo tempo possuíam dimensões compactas e elevada capacidade de tratamento (Ødegaard *et al.*, 1994).

A diferença entre os processos MBBR e IFAS, sucintamente, é a recirculação de lodo que acontece no processo IFAS da mesma forma em que se aplica no processo de lodos ativados. Por isso, estes dois processos (lodos ativados e IFAS) possuem elevada semelhança para seu dimensionamento e operação.

No interior do tanque de aeração do processo MBBR, as peças que constituem o meio suporte são mantidas em suspensão, e sujeitas à agitação promovida pelo sistema de aeração, apresentam elevada mobilidade, e conseqüentemente maior exposição e contato com a massa líquida. Trata-se assim de um reator biológico híbrido, no qual os microorganismos são mantidos em suspensão no meio como também aderidos aos meios suporte.

O conceito para o emprego de meios 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 no reator permite o aumento da decomposição da matéria orgânica carbonácea e da conversão de compostos nitrogenados, quando comparadas às que ocorrem no processo de lodos ativados. Nesse sentido o processo pode depender de menores volumes para o reator biológico reduzindo assim o custo de implantação, e sendo uma excelente alternativa para *upgrade* em uma ETE.

Seus parâmetros de controle são os mesmos aplicados ao processo de lodos ativados, guardada a especificidade de que a concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração é também devida à biomassa aderida aos meios suporte e, por conseqüência, existe uma relação entre os volumes de meio suporte e do tanque de aeração. Assim, a relação entre a carga orgânica aplicada ao reator biológico e a área superficial total devida ao meio suporte surge como um parâmetro de controle particular do processo MBBR— aqui denominado Carga Orgânica Superficial (COS), expressa em gDBO/m².d. Sendo este o parâmetro que melhor pode ser associado a este processo.

O material utilizado para a fabricação dos meios suporte é usualmente polietileno ou polipropileno, cuja densidade varia entre 0,95 a 0,99 g/cm³; diâmetro entre 10 e 45 mm e largura entre 7 e 30 mm tem sido utilizadas nas peças. A adição máxima de meios suporte ao tanque de aeração corresponde a 70% do seu volume. Apresentam-se na Figura 1 alguns tipos de meio suporte utilizados, atualmente, no processo MBBR.

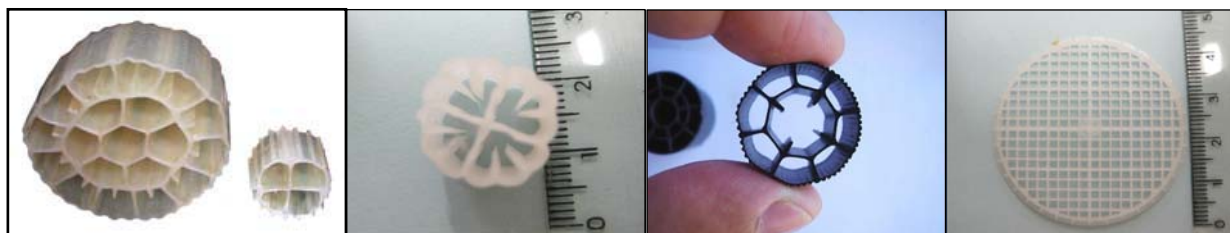


Figura 1: Meios suporte aplicados no processo MBBR (Kaldnes, Aqwise, Degremont e Veolia)

As diferentes configurações dos meios suporte resultam em diferentes áreas de contato, as quais podem ainda apresentar maior ou menor potencial para aderência de biomassa em função do arranjo e desenho geométrico da peça. Neste sentido, os meios suporte podem ser caracterizados tanto em função da superfície total disponível, assim como em função de uma parcela desta, a qual corresponderia à área em que realmente possibilita a efetiva aderência de biomassa. A área superficial específica destes meios suporte existentes no mercado variam desde 350 até 900 m²/m³.

Dentre as principais vantagens desta tecnologia tem-se a obtenção de sistemas compactos e robustos aos picos de cargas orgânicas e hidráulicas e às variações de pH e temperatura; a possibilidade de supressão da operação de recirculação do lodo; menor custo de investimento devido ao menor volume do reator aeróbio; e a possibilidade de aplicação como solução para *upgrade* de ETEs existentes.

Em relação ao sistema de aeração empregado no sistema MBBR, deve-se levar em conta para o projeto o fornecimento de oxigênio para satisfazer a demanda adicional da biomassa, da DBO e/ou dos compostos nitrogenados a serem oxidados, e da manutenção dos meios suporte em suspensão no meio líquido. Para isso, utiliza-se em geral, sistema de bolhas grossas ou médias, pois os choques entre os meios suporte em suspensão forçam a quebra destas bolhas em bolhas finas e aumentam o tempo de contato das mesmas no meio (Jordão & Pessôa, 2009). Ressalta-se que em casos de *upgrade*, o excesso de oxigênio necessário é satisfeito com pouca ou nenhuma modificação no sistema de aeração, embora se recomende manter no reator uma concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) de 3,0 mg/l.

Portanto, teoricamente, a utilização da tecnologia MBBR apresentaria grande vantagem econômica em relação ao processo de lodos ativados, pelo fato de permitir, para a mesma carga orgânica aplicada, a implantação de unidades de menor dimensão. Ou ainda, considerando unidades de mesma dimensão, a maior capacidade de tratamento.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Edital Nº 5 do PROSAB (FINEP/CNPq/CAIXA) nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde encontram-se em investigação pesquisas aplicadas ao processo MBBR que visam caracterizar o seu comportamento e desempenho em relação à remoção de matéria orgânica e compostos nitrogenados.

Dito isso, o presente trabalho tem como principal objetivo apresentar e discutir alguns conceitos inerentes ao processo MBBR e avaliar o desempenho do mesmo quando submetido à variação de suas condições operacionais.

Metodologia

Aparato Experimental

O aparato experimental objeto do presente trabalho é principalmente constituído pela adaptação da unidade de lodos ativados do CESA-UFRJ. Em escala real, para a população equivalente da ordem de 500 habitantes, esta unidade é uma das 18 tecnologias de tratamento de esgotos que compõem este centro experimental, cuja missão é a de atender aos objetivos acadêmicos de ensino e pesquisa dos cursos de graduação e pós-graduação da UFRJ.

O tratamento preliminar é constituído por grade de barras e desarenador e precede a unidade MBBR, cujo tanque de aeração possui volume de 20,25 m³. Os dois decantadores secundários são de seção superficial quadrada e base tronco-piramidal, estruturados em fibra de vidro, e apresentam cada um, área superficial de 2,56 m² e profundidade total de 2,20 m, como ilustra a Figura 2. O sistema de aeração é constituído por um compressor de ar com potência de 2,2 HP e uma malha difusora de bolhas finas com 20 discos de membranas porosas, instalada junto ao fundo da unidade.

O meio suporte plástico utilizado (AMBIO Engenharia) apresenta as seguintes características: forma cilíndrica, 25 mm de diâmetro e de altura, densidade em torno de 1 g/cm³, índice de vazios de 82,3%, área superficial total da peça de 0,011605 m² e a Área Superficial Específica de 600 m²/m³. A Figura 3 ilustra o meio suporte empregado.

Os dados a serem utilizados no presente trabalho correspondem àqueles obtidos em projeto de pesquisa durante o período de maio de 2005 a agosto de 2008, no qual o processo foi submetido a uma COS média de 6,4 a 7,7 gDBO/m².d, tempo de detenção hidráulica (TDH) de 9,5 a 5,5 horas, e mantendo a concentração média de oxigênio dissolvido (OD) no reator acima de 3 mg/l em 90% do período monitorado.



Figura 2: Unidade experimental MBBR (UFRJ)



Figura 3: Meio suporte empregado

Delineamento Experimental

O delineamento experimental tem como referência estudos anteriormente desenvolvidos, que indicam a estabilidade e a manutenção da qualidade do efluente final quando submetido ao incremento da Carga Orgânica Volumétrica (COV) desde 0,58 kgDBO/m³.d, correspondente a uma COS de 6,43 gDBO/m².d.

A Tabela 1 apresenta as fases que caracterizam as condições operacionais aplicadas, nas quais o volume de peças inserido foi equivalente a somente 20% do volume do tanque de aeração, isto é, igual a 4m³. Ressalta-se que o presente trabalho reporta principalmente os resultados obtidos na Fase V do delineamento experimental.

O sistema foi monitorado por três anos e meio ao longo de todas as 5 fases experimentais, segundo frequência semanal de monitoramento. As análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos seguiram as prescrições do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

TABELA 1. Fases operacionais impostas no processo MBBR

Fases	N° dados	COV média (kg/m ³ .d)	Desvio Padrão (COV)	COS média (g/m ² .d)	Desvio Padrão (COS)
I	9	0,58	0,19	6,43	2,19
II	28	0,72	0,27	8,44	3,02
III	8	0,60	0,17	6,88	1,94
IV	8	0,96	0,32	9,56	3,67
V	9	1,0	0,36	7,74	3,52

Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos resultados alcançados nas fases operacionais impostas ao processo.

TABELA 2. Resultados do monitoramento das Fases Operacionais

Fases	Parâmetro	N°	Média	Desvio Padrão	Coeficiente Variação	Percentis						
						10	25	50	75	90		
Fase I	DQO	Afl	9	491	271	0,55	284	346	449	615	715	
		Efl	9	26	2	0,04	25	26	27	27	27	
		Ef %	9	93	4	0,04	90	92	94	95	96	
	DBO	Afl	9	227	93	0,41	151	199	278	281	282	
		Efl	9	11	3	0,29	8	9	10	12	13	
		Ef %	9	95	5	0,06	92	93	95	96	97	
	SST	Afl	9	443	217	0,49	274	331	426	547	620	
		Efl	9	28	8	0,27	22	24	27	32	34	
		Ef %	9	93	6	0,07	90	92	95	95	95	
		Afl	28	527	224	0,43	335	381	477	608	776	
		Efl	28	55	20	0,36	35	40	50	66	84	
		Ef %	28	88	7	0,08	78	85	90	92	95	
		Afl	28	215	84	0,39	125	148	203	259	345	
		Efl	28	23	12	0,53	11	14	18	29	43	
		Ef %	28	89	5	0,06	81	86	90	92	95	
	Fase II	DQO	Afl	28	386	175	0,45	228	267	352	483	582
			Efl	28	35	11	0,32	23	31	38	43	46
			Ef %	28	89	6	0,07	80	85	89	93	96
DQO		Afl	28	527	224	0,43	335	381	477	608	776	
		Efl	28	55	20	0,36	35	40	50	66	84	
		Ef %	28	88	7	0,08	78	85	90	92	95	
DBO		Afl	28	215	84	0,39	125	148	203	259	345	
		Efl	28	23	12	0,53	11	14	18	29	43	
		Ef %	28	89	5	0,06	81	86	90	92	95	
SST		Afl	28	386	175	0,45	228	267	352	483	582	
		Efl	28	35	11	0,32	23	31	38	43	46	
		Ef %	28	89	6	0,07	80	85	89	93	96	
Fase III		DQO	Afl	8	434	173	0,40	260	292	419	502	640
			Efl	8	48	24	0,50	19	33	50	59	72
			Ef %	8	88	7	0,07	80	83	87	93	96
		DBO	Afl	8	155	54	0,35	108	126	144	174	227
			Efl	8	20	8	0,39	11	15	18	27	28
			Ef %	8	87	5	0,05	80	87	88	89	91
	SST	Afl	8	349	134	0,38	216	225	346	411	525	
		Efl	8	35	11	0,32	25	31	33	37	47	
		Ef %	8	88	5	0,06	84	84	87	92	95	

TABELA 2. Continuação...

Fases	Parâmetro	N°	Média	Desvio Padrão	Coeficiente Variação	Percentis					
						10	25	50	75	90	
Fase IV	DQO	Afl	8	559	192	0,34	448	460	489	550	724
		Efl	8	63	19	0,30	51	53	55	63	91
		Ef %	8	88	3	0,04	86	88	88	91	91
	DBO	Afl	8	246	85	0,35	152	200	238	283	333
		Efl	8	28	13	0,46	17	20	25	33	40
		Ef %	8	88	6	0,07	79	86	90	91	93
	SST	Afl	8	500	343	0,69	264	278	419	518	787
		Efl	8	29	11	0,40	18	20	28	34	44
		Ef %	8	92	5	0,06	86	91	94	96	97
Fase V	DQO	Afl	9	533	214	0,40	295	407	475	699	760
		Efl	9	98	52	0,53	45	47	94	123	146
		Ef %	9	81	8	0,10	70	80	84	87	89
	DBO	Afl	7	215	91	0,42	146	170	181	235	307
		Efl	7	31	11	0,36	21	25	30	37	44
		Ef %	7	84	7	0,08	75	81	86	87	89
	DBOfilt	Afl	5	59	19	0,32	43	53	57	58	76
		Efl	4	16	4	0,28	12	15	17	18	19
		Ef %	4	93	4	0,04	89	90	93	96	96
	SST	Afl	9	429	179	0,42	235	272	497	530	603
		Efl	9	48	17	0,36	26	44	46	60	69
		Ef %	9	86	9	0,10	77	82	88	92	93
	N-NH ₄	Afl	9	45	23	0,51	26	27	36	68	72
		Efl	9	26	16	0,62	12	14	17	31	49
		Ef %	9	44	18	0,42	21	30	47	56	64
	N-NO ₂	Afl	9	0,29	0,53	1,81	0,02	0,08	0,10	0,24	0,55
		Efl	9	0,43	0,29	0,68	0,15	0,23	0,39	0,63	0,75
	N-NO ₃	Afl	5	0,48	0,16	0,43	0,32	0,48	0,56	0,57	0,59
Efl		5	10,67	3,18	0,30	8,46	8,47	8,65	12,2	14,2	

Em geral, considerando o período que o processo esteve submetido às condições operacionais das Fases I, II, III e IV, pode ser observado que 75% das concentrações efluentes de DBO foram inferiores a 30 mg/l, segundo eficiências de remoção de DQO e DBO sempre superiores a 90%. Já na Fase V, quando o processo foi submetido à maior aplicação de COS média de 7,74 g/m².d e COV média de 1,0 kg/m³.d, as eficiências de remoção de DQO e DBO mantiveram-se limitadas em 90% segundo 90% dos resultados. O gráfico da Figura 4 ilustra a série histórica das concentrações de DBO efluente relativas a cada uma das 5 fases experimentais, enquanto a Figura 5 ilustra, independente das respectivas fases, os resultados da eficiência de remoção da DBO em função da COS aplicada ao longo do experimento.

Esta observação em relação à Fase V pode ser demonstrada a partir da Figura 6, no qual apresenta os resultados obtidos da eficiência de DBO versus a COS aplicada, corroborando para observar o limitado desempenho alcançado.

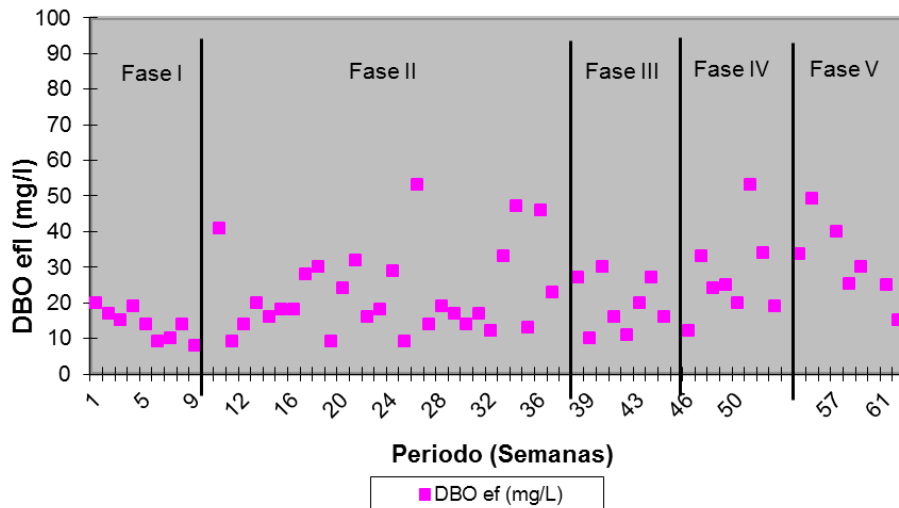


Figura 4. Série histórica da concentração da DBO efluente (todas as Fases)

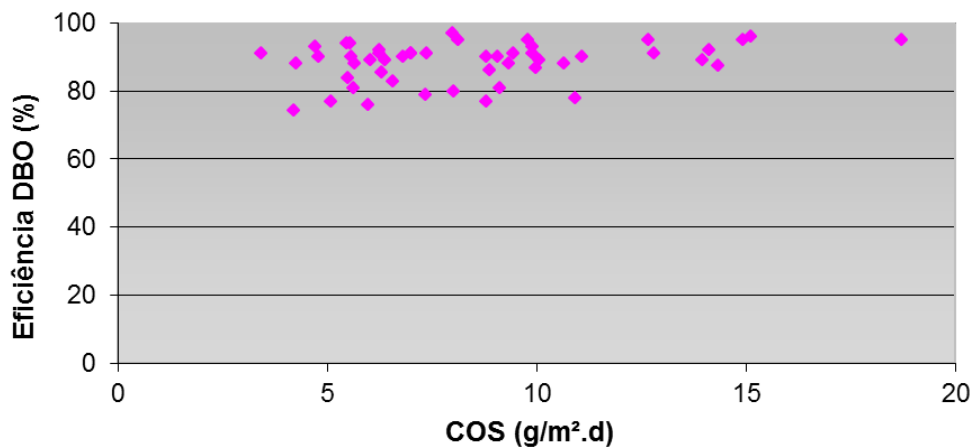


Figura 5. Eficiência de remoção de DBO versus a COS aplicada (todas as fases)

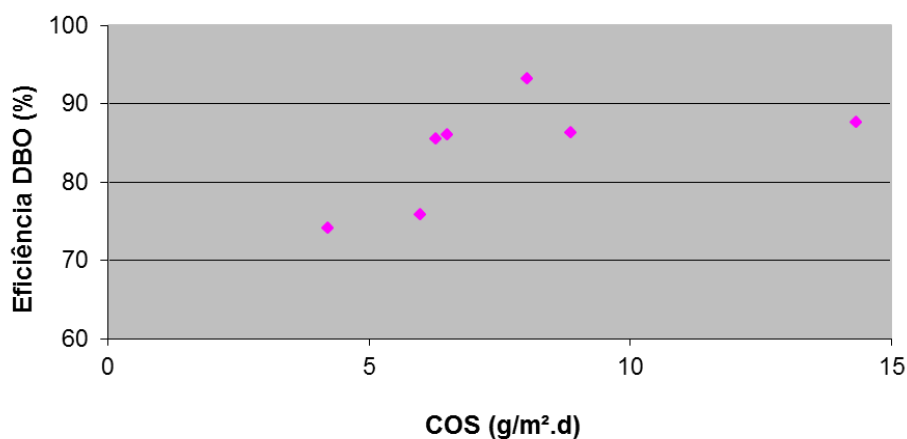


Figura 6. Eficiêcia de remoção de DBO em relação à COS aplicada na Fase V

Para uma análise mais criteriosa, foi produzido o gráfico da Figura 7 com os resultados obtidos durante a Fase V, onde se verifica existir uma correspondência entre a taxa de aplicação de DQO filtrada (g DQOfil/m².d) e a taxa de remoção de DQO filtrada (g DQOfil/m².d), tal como observado anteriormente por Ødegaard *et al.*, (1999).

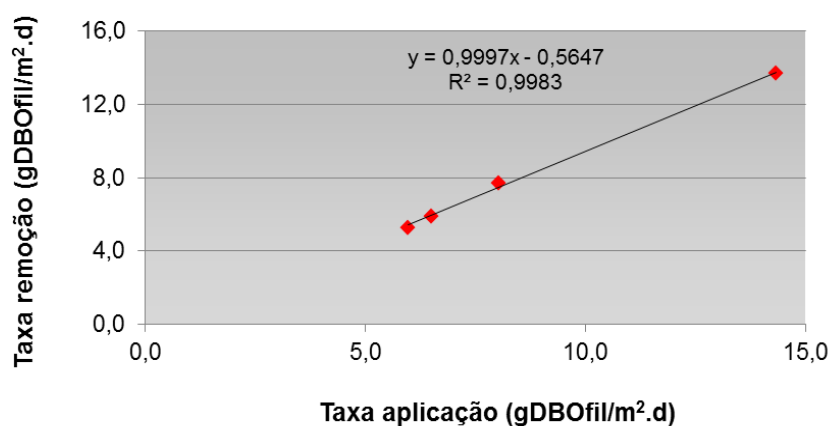


Figura 7. Taxa de remoção de DBOfiltrada em relação a Taxa de aplicação de DBOfiltrada durante a Fase V

Ressalta-se que a concentração de OD e a temperatura no reator biológico variaram durante esta fase, respectivamente, entre 2,5 e 6,0 mg/l e entre 24,5 e 29,8 °C. E o índice volumétrico do lodo (IVL) durante todas as fases operacionais sempre se manteve inferior a 100, o que indica um ótimo comportamento do processo.

Ao longo da Fase V procedeu-se também à quantificação da concentração de sólidos aderidos (biomassa) ao meio suporte. Neste sentido foram empregadas duas diferentes metodologias. A primeira metodologia, metodologia desenvolvida ao longo do experimento, promoveu a quantificação dos sólidos aderidos após a remoção dos mesmos do meio suporte por meio do emprego de Hidróxido de Sódio conforme reportado por Minegatti (2008), permitindo a sua quantificação na forma de Sólidos em Suspensão (SS), assim como ocorre com a biomassa em suspensão no processo de lodos ativados. A segunda metodologia empregada, de acordo com o que é reportado por Luostarinen *et al.*, (2006), não promoveu a remoção dos sólidos aderidos ao meio suporte, o que além de somente permitir a caracterização da biomassa com base na concentração de Sólidos Totais (ST), não possibilita a caracterização de toda a massa de sólidos. Na Tabela 3, com base em ambas metodologias, são apresentados os valores médios das densidades específicas de biomassa (g/m^2) obtidas, assim como aquelas reportadas pela literatura.

TABELA 3. Densidade específica de biomassa (g/m^2)

Parâmetro	Metodologia ST		Metodologia SS		Luostarinen <i>et al.</i> , (2006)	Andreottola <i>et al.</i> , (2003)	Hong-Bin <i>et al.</i> , (2007)
	(g/m^2)	Desvio Padrão	(g/m^2)	Desvio Padrão	(g/m^2)	(g/m^2)	(g/m^2)
ST	40,3	33,0	-	-	26 a 44	-	-
SST	-	-	23,8	8,3	-	4,0	-
SSV	-	-	15,6	9,2	-	-	5,0

Observa-se que os valores obtidos com base na metodologia SS devem ser enaltecidos, pelo fato de serem muito maior que os reportados por Andreottola *et al.*, (2003) e Hong-Bin *et al.*, (2007). Já em relação à metodologia ST, o valor encontrado de $40,3 \text{ gST}/\text{m}^2$ é equivalente ao citado por Luostarinen *et al.*, (2006).

A recente Norma Brasileira para Projeto Hidráulico-Sanitário de Estações de Tratamento de Esgotos (ABNT, 2010) indica para projetos de sistemas com MBBR, que se considere a massa de SSV aderida às peças no máximo igual a $12 \text{ gSSV}/\text{m}^2$ de área superficial específica.

Independente da concentração de SST aderidos, ressalta-se que a parcela volátil (SSV) média obtida, da ordem de 0,76, condiz com o valor de 0,86 reportado por Andreottola *et al.*, (2003) e de 0,91 reportado por Jahren *et al.*, (2002), e que indicam o potencial de formação aderida de biomassa ativa.

Para a caracterização da relação A/M do processo MBBR entende-se que devam ser consideradas as biomassas em suspensão e aderida, sendo assim requerida a quantificação da totalidade de biomassa presente no reator biológico, aqui denominada “Biomassa Equivalente” ou “Sólidos em Suspensão Voláteis Equivalentes no Tanque de Aeração (SSVETA)”. Na verdade, para efeito de analogia ao processo de lodos ativados, a relação A/M do processo MBBR é aqui denominada “A/M equivalente – A/Meq”.

Em função da quantificação de SSVETA realizada ao longo da Fase V, obteve-se a relação A/Meq média de $0,27 \text{ d}^{-1}$. O gráfico da Figura 8 ilustra a correlação entre a COS aplicada e os valores de A/Meq obtidos.

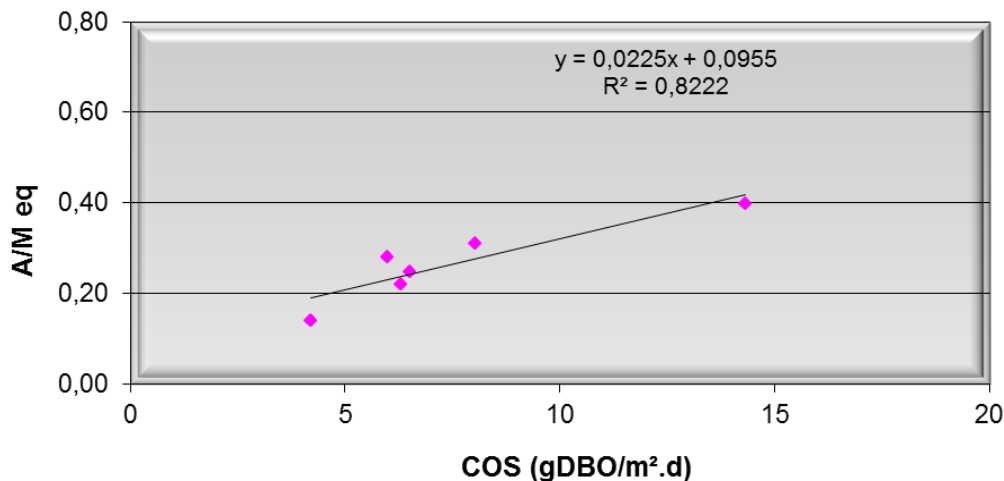


Figura 8. A/Meq versus COS aplicada

Entende-se que ao longo da Fase V, a baixa razão média obtida entre SSV aderido e SSV em suspensão, da ordem de 0,25, seja devida a quantidade limitada de meio suporte disponível – igual a 20% do volume do reator – valor inferior àqueles relatados na literatura e compreendidos entre 40 e 70% (Ødegaard *et al.*, 1993 e 1994; Hem *et al.*, 1994; Rusten *et al.*, 1994 e 1998; Jahren *et al.*, 2002; Luostarinen *et al.*, 2006). Estima-se que o aumento da

quantidade de meio suporte e, conseqüentemente, área superficial disponível, não somente elevaria a quantidade relativa de biomassa aderida como também a concentração de SSVETA.

Ademais, a maior disponibilidade de biomassa reduziria a razão A/Meq para valores inferiores aos observados nesta fase, compreendidos entre 0,14 e 0,40 kg DBO/kg SSVETA.d, e que em princípio justificam a instável e limitada performance do processo quando comparada às fases anteriores.

Pode-se então concluir que para o enchimento de 20% do volume do tanque de aeração, o experimento não admite a aplicação de COV de 1,0 kgDBO/m³.d e que a COS aplicada no período, igual a 7,74 gDBO/m².d, foi também elevada. De fato, Helness (2007) recomenda que, para reatores com volume de meio suporte de 40 a 70%, a COS aplicada seja menor que 4 gDQO/m².d, valor bem inferior ao empregado durante toda a Fase V.

Conforme apresentado na Tabela 2, pode-se também verificar a restrita nitrificação alcançada pelo processo ao longo da Fase V. A remoção média de NTK e N-NH₄ foi de respectivamente 42 e 44% e o consumo médio da alcalinidade foi de 70 mgCaCO₃/l, valor relativamente baixo. A Figura 9 apresenta a série histórica das concentrações afluente e efluente de N-NH₄⁺ e N-NO₃ para a Fase V.

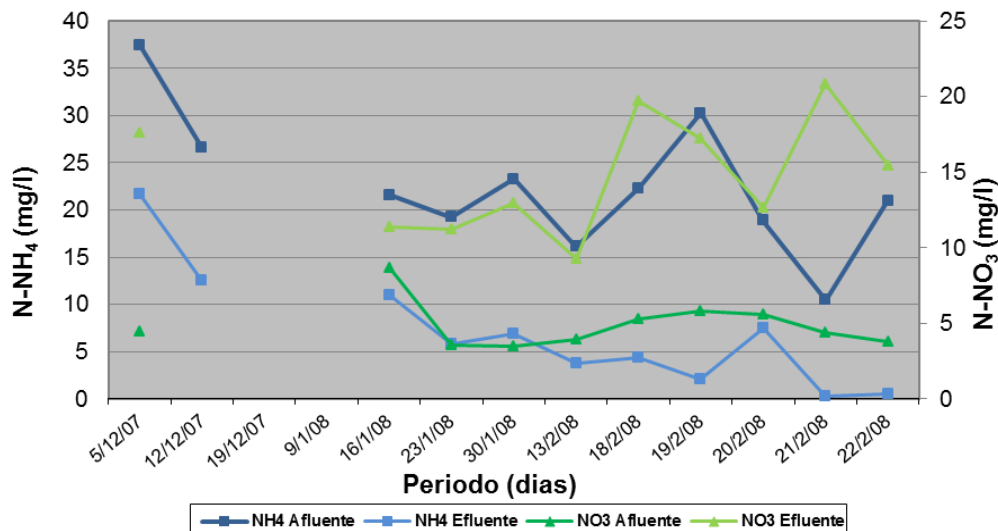


Figura 9. Concentrações afluente e efluente de N-NH₄⁺ e N-NO₃ na Fase V

Ainda neste contexto, Hem *et al.*, (1994) observou que para COS maior que 5 gDBO₇/m².d a taxa de nitrificação é praticamente nula.

Conclusões & Recomendações

O processo MBBR foi monitorado ao longo de 3 anos e meio, no qual os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- O uso da tecnologia MBBR conseguiu aumentar significativamente a vazão afluente e, conseqüentemente, a COV aplicada no processo de lodos ativados, mostrando-se eficiente na remoção de matéria orgânica do esgoto doméstico, podendo operar com boa estabilidade;
- A estabilidade do processo foi relativamente comprometida somente na Fase V, ou seja, quando a COS média foi de 7,74 g DBO/m².d e COV média de 1,0 kg DBO/m³.d, a qual corresponde para o mesmo volume do tanque de aeração, ao triplo do valor usual aplicado ao processo de lodos ativados por aeração prolongada. Assim, nesta fase poderia ter aumentado o percentual de meios suporte no reator.

Durante a Fase V foi possível avaliar outros elementos, tais como:

- A taxa de remoção de DQO filtrada comportou-se da mesma forma que reporta a literatura e correspondeu a valores acima de 90% da taxa de aplicação de DQO filtrada;
- O valor alcançado da densidade específica de biomassa para a metodologias ST empregada, equivalente a 40,3 gST/m², foi similares ao reportado na literatura; já para a metodologias SS, igual 23,8 gSST/m² e 15,6 SSV/m², o valor encontrado foi significativamente superior aos da literatura;
- A remoção média de NTK e N-NH₄ foi de 42 e 44%, respectivamente, caracterizando em uma baixa nitrificação, que pode ser elucidado após comparação com o trabalho proposto por Hem *et al.*, (1994).

Entende-se que o melhor desempenho do processo dependa da manutenção da menor relação A/Meq, maior quantidade de biomassa aderida e, conseqüentemente, da maior disponibilidade de meio suporte, cujos volumes relativos relatados na literatura são compreendidos entre 40 e 70%.

O melhor desempenho do processo, incluindo da nitrificação, poderia ser adquirido com a manutenção de valores de A/Meq inferiores ao valor médio obtido, igual a 0,27 kgDBO/kgSSVETA.d. Assim, a fixação do volume relativo de meio suporte em 20% pode ser entendida como um fator de limitação da quantidade de biomassa.

Ademais, a Carga Orgânica Superficial – COS (gDBO/m².d), equivalente à razão entre a carga orgânica aplicada e a área superficial devida à totalidade de meio suporte disponível, pode ser entendido como o parâmetro operacional que melhor caracteriza o processo MBBR e é dependente da equidade de compreensão das características dos meios suporte empregado.

Por fim, salienta-se que grande esforço foi empreendido para uniformizar a compreensão de parâmetros característicos do processo de acordo com o que é preconizado pela literatura, notadamente: área superficial do meio suporte sujeita a aderência de biofilme, razão entre área superficial e volume do meio suporte, quantificação da biomassa aderida com base na concentração de ST e de SST, razão entre biomassa aderida e biomassa suspensa no reator.

Agradecimentos

O autor agradece à FINEP pelo apoio ao financiamento da pesquisa por meio do PROSAB; à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado, à UFRJ e à empresa MMA Consultoria Ambiental.

Referências bibliográficas

- 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.
- APHA, AWWA, WEF. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th ed, *American Public Health Association*, Washington, DC.
- Helness H. (2007). Biological Phosphorus Removal in a Moving Bed Biofilm Reactor. Ph.D. *Department of Hydraulic and Environmental Engineering. University of Science and Technology*, Trondheim, Norwegian.
- Hem L.J., Rusten B., Ødegaard H. (1994). Nitrification in a Moving Bed Biofilm Reactor. *Water Research*, **28**(6), 1425-1433.
- 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*, **24**(05), 295-601.
- Jahren S.J., Rintala J.A., Ødegaard H. (2002). Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping wastewater under thermophilic conditions. *Water Research*, **36**, 1067-1075.
- Jordão E.P., Pessoa C.A. (2009). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 5ª ed. ABES-RJ, 941 pp.
- Luostarinen S., Luste S., Valentin L., Rintala J. (2006). Nitrogen removal from on-site treated anaerobic effluents using intermittently aerated moving bed biofilm reactors at low temperatures. *Water Research*, **40**, 1607-1615.
- 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*, 91 pp.
- Ødegaard H. (1999): The Moving Bed Biofilm Reactor. In: Igarashi T., Watanabe Y., Asano T.: Tambo N. (Hg.): *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*, Hokkaido Press, 250-305.
- Ødegaard H., Rusten B., Westrum T. (1994). A new moving bed biofilm reactor – application and results. *Water Science and Technology*, **29**(10-11), 157-165.
- Ødegaard H., Rusten B., Badin H. (1993). Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, **28**(10), 351-359.
- Rusten B., McCoy M., Proctor R., Siljudalen J.G. (1998). The innovative moving bed biofilm reactor/Solids contact reaeration process for secondary treatment of municipal wastewater. *Water Environment Research*, **70**(5), 1083-1089.
- Rusten B., Siljudalen J.G., Nordeidet B. (1994). Upgrading to nitrogen removal with the KMT moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, **29**(12), 185-195.