



II-406 – PROPOSTA DE QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA EM PROCESSO REATOR BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL (MBBR)

Daniel Vieira Minegatti de Oliveira⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre em Tecnologia de Saneamento Ambiental em Recursos Hídricos – COPPE-UFRJ.

Isaac Volschan Junior

D.Sc., Prof. Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

Eduardo Pacheco Jordão

Dr.Eng., Prof. Associado do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Carlos Chagas Filho nº 791 - Pólo Biotecnologia Quadra B - Lotes 09, Cidade Universitária - Ilha do Fundão. CEP: 21941-904. Rio de Janeiro, RJ - Brasil - Tel: +55 (21) 9265-7788 - email: daniel.minegatti@gmail.com

RESUMO

“*Moving Bed Biofilm Reactor*” pode ser traduzido como Reator Biológico com Leito Móvel e consiste em uma tecnologia baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (processo híbrido). O trabalho, a priori, apresenta e discute alguns conceitos inerentes à tecnologia após investigação do desempenho de um MBBR submetido a carga orgânica volumétrica (COV) média de 1,0 kgDBO/m³.d. O meio suporte utilizado, contendo 600 m²/m³ de Área Superficial Específica, foi introduzido no reator biológico de acordo com volume relativo de 20% do mesmo.

Concomitante a isso, o presente trabalho discute aspectos que influenciam na quantificação de biomassa presente no reator biológico, e propõe metodologia específica para estimativa, com base em projeto de pesquisa em unidade experimental com capacidade para população equivalente de 500 habitantes, ressaltando também importância desta quantificação para o processo e, conseqüentemente, para o dimensionamento do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgotos, MBBR, Biomassa Aderida, Biomassa em Suspensão.

OBJETIVO

Apresentar e discutir conceitos inerentes a tecnologia MBBR que influenciam na quantificação de biomassa presente no reator biológico, e propor metodologia específica para estimativa, com base em projeto de pesquisa em unidade piloto realizado no Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ com capacidade para população equivalente de 500 habitantes.

INTRODUÇÃO

Princípios da Tecnologia

“*Moving Bed Biofilm Reactor*” pode ser traduzido como Reator Biológico com Leito Móvel e consiste em uma tecnologia baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (biofilme).

No interior do reator biológico são mantidos em suspensão meios suporte plásticos de baixa densidade, que sujeitos à agitação promovida por sistemas de aeração ou de mistura, apresentam elevada mobilidade e, conseqüentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão. Trata-se assim de um reator biológico híbrido, no qual organismos decompositores são mantidos tanto em suspensão na massa líquida, como também aderidos ao meio suporte, permitindo o aumento da totalidade da biomassa e a elevação do tempo de retenção celular. A maior concentração de sólidos mantida no reator permite, em princípio, a maior decomposição da matéria orgânica carbonácea e de compostos nitrogenados, o que conseqüentemente resulta no requisito de menor volume para o reator biológico.



Desta forma, a tecnologia MBBR pode ter como objetivo a remoção de matéria orgânica carbonácea e a nitrificação, e de acordo com configurações específicas, a desnitrificação e a remoção de fósforo.

O processo pode ser implementado para o caso de novas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), porém, em geral, sua maior aplicação da tecnologia visa incrementar o desempenho de unidades de tratamento biológico já existentes, por meio da transformação de processos de lodos ativados em MBBR, ou como unidade complementar de pré ou pós-tratamento secundário. No caso, a literatura não reporta o emprego da recirculação do lodo secundário, exceto quando aplicado de acordo com a configuração de pré-desnitrificação.

Quando aplicado em câmaras anóxicas, é requerida a instalação de equipamentos de mistura, de forma a evitar a sedimentação de sólidos e promover a movimentação dos meios suporte no interior do reator. Para o caso de câmaras aeróbias, o próprio sistema de aeração empregado para a transferência do oxigênio é responsável pela mistura do meio e pela manutenção dos meios suporte em movimento. O processo MBBR somente empregam aeração por ar difuso de forma que a estrutura física dos meios suporte seja preservada. A Tabela 1 apresenta as características e condições operacionais reportadas na literatura.

Tabela 1: Características e condições operacionais de reatores MBBR

Autores	Efluente	Configuração	Adição química	Recirculo de lodo
HONG-BIN <i>et al.</i> (2007)	Sintético	O+O	Não	Não
WANG <i>et al.</i> (2006)	Doméstico	O	Sim	Não
LUOSTARINEN <i>et al.</i> (2006)	Doméstico	UASB+O	Sim	Não
BORGHEI & HOSSEINI (2004)	Sintético	O+O	Não	Não
DAUDE & STEPHENSON (2003)	Doméstico	O+O	Não	Não
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2003b)	Doméstico	O+FBFR	Não	Não
JONOUUD <i>et al.</i> (2003)	Sintético	A+O	Não	Não
PARKER <i>et al.</i> (2002)	Sintético	O+LA	Não	Sim - para LA
JAHREN <i>et al.</i> (2002)	Celulose e Papel	O	Sim	Não
HELNESS & ØDEGAARD (2001)	Sintético	SBR	Não	Não
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2000)	Doméstico	O+O	Não	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (2000)	Doméstico	O	Não	Não
SUNNER <i>et al.</i> (1999)	Misto	O+LA e O	Não	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1998)	Doméstico	O+RBC	Não	Sim - para RBC
RUSTEN <i>et al.</i> (1997)	Doméstico	A+A+O+O	Sim	Sim
BROCH-DUE <i>et al.</i> (1997)	Celulose e Papel	O+O	Sim	Não
PASTORELLI <i>et al.</i> (1997)	Doméstico	O+O+O	Não	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1995)	Doméstico	A+A+A+O+O+O	Sim	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1994b)	Celulose e Papel	O+O	Sim	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1994a)	Doméstico	O+O+O+O+O+A+A+	Sim	Não
HEM <i>et al.</i> (1994)	Sintético	Ö	Não	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (1994)	Industrial	O+O+O	Sim	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (1993)	Doméstico	A+O+O	Sim	Não

Misto = Doméstico + Industrial; A = MBBR Anóxico; O = MBBR Aeróbio; LA = Lodos Ativados; RBC = Biodisco Rotativo de Contato; FBFR = Reator Biológico com Leito Fixo; SBR = MBBR em Batelada

Fonte: Minegatti (2008)

Meio Suporte

O material frequentemente utilizado para a fabricação dos meios suportes é o polietileno. A forma cilíndrica é a mais empregada, contendo corrugações externas e divisões internas. O desenvolvimento mais recente da



tecnologia aponta para meios suporte na forma de disco. A Figura 1 ilustra alguns tipos de meio suporte aplicados no processo MBBR.

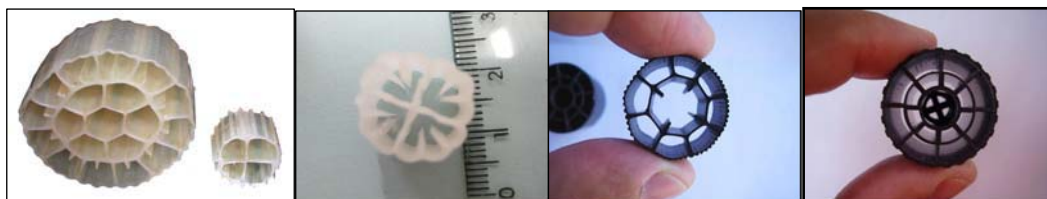


Figura 1: Meios suporte aplicados no processo MBBR

Segundo PASTORELLI *et al.* (1997), a densidade do meio suporte deve ser da ordem de 1 g/cm^3 . As pesquisas de ØDEGAARD *et al.* (1993, 1994); RUSTEN *et al.* (1994, 1998) sempre utilizaram meios suporte cilíndricos com densidade de $0,95 \text{ g/cm}^3$.

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, como indica a Tabela 2.

Tabela 2: Configurações geométricas dos principais meios suporte empregados no processo MBBR

Empresa	Massa específica (g/cm^3)	Forma	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Kaldnes (K1)	0,95	Cilíndrica	10	7
Kaldnes (K2)	0,95	Cilíndrica	15	15
Kaldnes (K3)	0,95	Cilíndrica	25	10
Veolia (BiofilmChip M)	0,99	Disco	2,2	45
Aqwise	ND	Cilíndrica	14	14
AMBIO	0,99	Cilíndrica	25	25
Degremont (ActiveCell450®)	ND	Cilíndrica	22	15
Degremont (ActiveCell515®)	ND	Cilíndrica	22	20

ND = informação não disponível.

Fonte: Minegatti (2008).

A movimentação e o choque entre os meios suporte mantidos no interior do reator fazem com que as faces externas dos mesmos sejam continuamente sujeitas a eventual perda de biomassa aderida. Entende-se que neste caso, a configuração da superfície externa do meio suporte não somente influencie a adesão de biomassa assim como a perda da mesma; superfícies mais corrugadas e acidentadas tendem a conter nichos que proporcionem a maior aglomeração de organismos e que dificultem o cisalhamento de biomassa aderida. Neste contexto, a área de efetiva aderência de biomassa tende a ser igual à área total disponível, quanto maior for a capacidade de retenção de biomassa que o meio suporte apresentar.

O processo MBBR tem a “área superficial específica” como principal parâmetro de referência e especificação do meio suporte empregado, pelo fato de relacionar a quantidade de meio suporte presente no reator à quantidade potencial de biomassa aderida. É dada pela razão entre a totalidade da área de meios suporte (m^2) e o volume por eles ocupado (m^3), considerado o devido empolamento das peças em função da disposição natural das mesmas por unidade de volume (m^2/m^3).

Deve ainda o conceito de “área superficial específica” contemplar somente a superfície do meio suporte, na qual efetivamente ocorre a aderência de biomassa. Neste sentido, a totalidade de área superficial disponível para a efetiva aderência de biomassa em um MBBR (m^2) corresponde ao produto entre a área superficial do meio suporte, considerando somente a superfície de efetiva aderência de biomassa, e a quantidade de meios suporte de fato contida em unidade de volume igual a 1 m^3 .



A importância da correta interpretação do conceito de “área superficial específica” deve-se ao fato de que a quantidade de meio suporte introduzida no reator biológico é determinada em função da efetiva quantidade de biomassa aderida que se pretende manter no processo.

É usual referir-se à quantidade de meios suporte a ser adicionada ao reator como um percentual do seu volume. Segundo estudos de ØDEGAARD *et al.* (1993); ØDEGAARD *et al.* (1994); RUSTEN *et al.* (1998); ANDREOTTOLA *et al.* (2000) e outros autores, a quantidade de meio suporte no reator MBBR deve ser compreendida entre 40 e 70% do seu volume.

Neste contexto, é importante ressaltar que “área superficial específica” como anteriormente definida, não deve ser relacionada ao volume do reator biológico, porém ao volume de meios suporte nele contida (m^2/m^3 de meio suporte). No entanto, há referências na literatura que relacionam área disponível e volume de reator, como por exemplo, as indicações de ØDEGAARD *et al.* (1994) e RUSTEN *et al.* (1994), que para o volume relativo de 70%, sugerem valores na faixa de 335 a 350 m^2 de área superficial disponível por m^3 de reator.

Biomassa

Como anteriormente descrito, a aplicabilidade do processo ocorre tanto para o caso de novas ETEs, assim como para o caso de adaptações no processo de lodos ativados de ETEs existentes. É, portanto muito clara e natural a analogia entre o processo MBBR e o processo de lodos ativados. Consequentemente, são comuns a ambos os processos os mesmos parâmetros de projeto e de controle. A única particularidade do processo MBBR, reside no fato de que a biomassa responsável pela decomposição de substratos não é somente devida aos microorganismos em suspensão como também àqueles aderidos aos meios suporte.

A literatura usualmente caracteriza a biomassa aderida aos meios suporte com base na concentração de ST, com exceção de ANDREOTTOLA *et al.* (2003) e HONG-BIN *et al.* (2007), que relacionam os seus experimentos, respectivamente, com as concentrações de SST e SSV. Em qualquer um dos casos, em se tratando do processo MBBR, deverão ser consideradas tanto as concentrações de sólidos aderidos ao meio suporte assim como aquelas em suspensão, cujo somatório representaria a totalidade da biomassa presente no reator.

É também usual a literatura somente fazer referência à quantidade de biomassa presente no processo MBBR com base na massa de sólidos aderida por área superficial de meio suporte, expressa em g/m^2 . A Tabela 3 resumidamente indica as quantidades de biomassa com que trabalharam alguns autores.

Tabela 3: Quantidades de biomassa presentes em reatores MBBR

Autores	Massa de sólidos aderida ao meio suporte (g/m^2)	Concentração de sólidos (mg/l)
HONG-BIN <i>et al.</i> (2007)	5,0 SSV	-
LUOSTARINEN <i>et al.</i> (2006)	26 a 44 ST	-
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2003b)	4,0 SST	-
JAHREN <i>et al.</i> (2002)	-	1.400 a 1.900 SSV ^(a)
RUSTEN <i>et al.</i> (1998)	-	4.250 ST ^(b)
RUSTEN <i>et al.</i> (1994b)	-	2.300 ST ^(b)
RUSTEN <i>et al.</i> (1994a)	-	4.000 ST ^(a)

^(a) Biomassa aderida

^(b) Biomassa aderida + suspensão

A dinâmica do processo MBBR permite a similaridade dos parâmetros operacionais e de controle que são aplicados ao processo de lodos ativados, guardada a especificidade de que a massa total de sólidos no tanque de aeração é também devida à biomassa aderida.



MATERIAIS E MÉTODOS

O aparato experimental objeto do presente trabalho é principalmente constituído pela adaptação da unidade de Lodos Ativados existente nas instalações do Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ. Em unidade experimental, para a população equivalente de 500 habitantes, o processo MBBR é uma das 15 tecnologias de tratamento de esgotos que compõem este laboratório, 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 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 2,2 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. O volume de meio suporte aplicado no reator MBBR foi equivalente a 20% do volume do tanque de aeração. A Figura 3 ilustra o meio suporte plástico utilizado.

Os dados a serem utilizados no presente trabalho correspondem àqueles obtidos em projeto de pesquisa durante o período de abril de 2007 a agosto de 2008, no qual o processo foi submetido a uma carga orgânica volumétrica média de 1,0 kgDBO/m³.d (carga orgânica superficial média de 7,7 kgDBO/m².d), tempo de detenção hidráulica de 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



Figura 3: Meio suporte plástico utilizado

RESULTADOS

O conceito de área superficial específica do meio suporte expressa a razão entre a área disponível e o volume que ela ocupa. No entanto, pode este conceito ser interpretado segundo duas diferentes maneiras, e levar a obtenção de diferentes valores, o que pode comprometer a adequada especificação do meio suporte e o correto dimensionamento do processo MBBR.

Considerando que a quantidade de meio suporte a ser aplicada no reator é usualmente definida em base volumétrica, é necessário que a sua especificação contemple a quantidade de peças contidas em um volume unitário, considerando portanto o empolamento devido aos espaços vazios entre as peças.

Este conceito difere da simples razão entre a área superficial de uma peça de meio suporte e o volume por ela ocupado, uma vez que na prática, o fornecimento e a colocação do meio suporte não se fazem peça a peça e sim com base volumétrica.

No presente caso, considerando assim a primeira abordagem, obter-se-ia a área superficial específica de 635 m²/m³, resultado do produto entre 0,011605 m²/peça e 55.000 peças contidas em 1m³, como informado pelo fabricante, quantidade equivalente a 92 peças contidas em um recipiente de 18 L, como amostrado. Caso fosse quantificada, indevidamente, com base na segunda abordagem, este valor seria de 940 m²/m³.

A observação visual *in loco* da peça e conforme ilustra as fotografias da Figura 4, apontam para a integral aglomeração de biofilme no interior da mesma, enquanto em sua superfície externa somente se verifica a explícita formação de biofilme nas depressões das partes corrugadas.

Assim, a área disponível de 0,011605 m² por peça, incluindo as partes internas e externas, corresponderia a “área superficial específica” de 635 m²/m³, enquanto a área de 0,010908 m² de efetiva aderência, excluindo as áreas externas, que pela observação visual não apresentavam agregação de biofilme, corresponderia a “área superficial específica” de 600 m²/m³. Por outro lado, caso fosse abordado erroneamente o conceito de área superficial de uma única peça (sem empolamento), ou seja, razão entre a área superficial de uma peça e o volume por ela ocupado, e considerado somente a área com evidente agregação de biofilme, a “área superficial específica” seria da ordem de 890 m²/m³.



Figura 4: Biomassa aderida ao Meio suporte utilizado

De qualquer forma, ressalta-se que devem sempre as especificações dos meios suporte serem avaliadas a luz dos critérios aqui discutidos para que cada uma das diferentes peças comercializadas para aplicação no processo MBBR possam ser técnica e economicamente devidamente comparadas.

Por fim, esta discussão permite a reflexão de que ao invés dos meios suportes serem especificados em função da área superficial específica efetiva ou não, o fossem com base no potencial de aderência de biomassa que cada um possui, expresso em kgSSV/m³.

Em relação a biomassa presente no reator, observa-se que alguns autores quantificam a massa total de sólidos do reator considerando ST, outros consideraram SST ou ainda SSV. Ressalta-se que a massa de sólidos representada pela concentração de SSV é mais coerente, pois, esta melhor expressa a quantidade de biomassa presente no sistema.

Para a quantificação da biomassa aderida aos meios suporte, a massa de SSV foi obtida por meio de cinco diferentes metodologias denominadas como: “Limpeza/Lavagem”; “Limpeza/Lavagem + massa líquida”;



“Ultra-Som”; “Hidróxido de Sódio” e “Ultra Som + Hidróxido de Sódio”. Assim, com base nestes experimentos, a Tabela 4 apresenta os resultados médios das diversas campanhas realizadas.

Tabela 4: Massa de SSV aderida ao meio suporte (gSSV/peça)

Metodologias		Média	Desvio Padrão	Coeficiente Variância	Percentis				
					10	25	50	75	90
Lavagem/Limpeza	SSV	0,03	0,01	0,43	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Lavagem/Limpeza + massa líquida	SSV	0,04	0,08	0,73	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06
Ultra-Som	SSV	0,1	0,03	0,34	0,06	0,07	0,10	0,12	0,15
Hidróxido de Sódio	SSV	0,17	0,1	0,61	0,08	0,08	0,16	0,24	0,28
Ultra-Som + Hidróxido de Sódio	SSV	0,08	0,08	0,96	0,02	0,05	0,06	0,07	0,15

Como pode-se observar, o maior valor obtido foi por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio”, igual a 0,17 gSSV/peça. Assim, com base na “área superficial específica” de 600 m²/m³ de meio suporte, tem-se a massa de sólidos aderida por área superficial, aqui denominada Formação de Biomassa Aderida (FBA), equivalente a 15,6 gSSV/m².

O conceito da relação A/M convencionalmente aplicado ao processo de lodos ativados pode ser adaptado ao processo MBBR, passando a denominá-lo relação A/M equivalente (A/Meq), cuja quantificação considera a totalidade da biomassa aderida e em suspensão. A Tabela 5 a seguir apresenta os resultados das concentrações de sólidos aderidos ao meio suporte e em suspensão, respectivamente denominados SSVad e SSVTA, cujo somatório representa a totalidade da biomassa presente no reator, aqui também denominada SSVETA. De fato, como demonstra a Tabela 4, a massa total de SSV mantida no reator MBBR, esteve compreendida entre 1730 e 3592 mg/l ao longo do período de monitoramento da unidade experimental.

Considerando a carga orgânica afluyente em cada dia monitorado, a Tabela 5 também indica os valores de A/Meq obtidos durante o período do experimento em que o processo encontrava-se em regime de permanente equilíbrio.

Tabela 5: Dados bases para a obtenção da concentração de A/Meq

Dias\Parâmetro	SSVad (mg/l)	SSVTA (mg/l)	SSVETA (mg/l)	A/Meq (kgDBO/kgSSVETA.d)
1	-	1730	1730	-
8	2721	1540	4261	0,40
15	1944	1540	3484	-
22	1651	890	2541	0,28
211	2581	819	3400	0,22
218	2497	1095	3592	0,14
225	2503	788	3291	-
246	2189	940	3129	0,25
253	2493	587	3080	0,31
Média	2322	1103	3167	0,27

Entende-se que para a manutenção de valores de A/Meq inferiores aos obtidos, e consequentemente, para o estabelecimento de condições operacionais propícias ao melhor desempenho do processo, poderia o reator MBBR ser submetido ao emprego de maior quantidade de meio suporte, superior ao volume equivalente a 20% do reator, conforme praticado ao longo do experimento. Teoricamente, com base nos valores obtidos, caso então inserido o volume de meio suporte equivalente a 40% do reator, por exemplo, obter-se-ia um valor médio de A/Meq igual a 0,16 kgDBO/kgSSVETA.d, conforme indica a Tabela 6.



Tabela 6: Dados bases para a obtenção da relação A/Meq

Dias\Parâmetro	SSVad (mg/l)	SSVTA (mg/l)	SSVETA (mg/l)	A/Meq (kgDBO/kgSSVETA.d)
1	-	1730	1730	-
8	5441	1540	6981	0,24
15	3887	1540	5427	-
22	3301	890	4191	0,17
211	5161	819	5980	0,12
218	4994	1095	6089	0,08
225	5007	788	5795	-
246	4378	940	5318	0,14
253	4987	587	5574	0,17
Média	4644	1103	5232	0,16

Observa-se que o volume de meio suporte equivalente a 40% do volume do reator, condiz com os valores relatados na literatura e compreendidos entre 40 e 70% (ODEGAARD *et al.*, 1993, 1994; HEM *et al.*, 1994; RUSTEN *et al.*, 1994, 1995, 1997, 1998; JAHREN *et al.*, 2002; DAUDE & STEPHENSON, 2003; BORGHEI & HOSSEINI, 2004; LUOSTARINEN *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2006).

CONCLUSÕES

Em função da analogia ao processo MBBR e com base na avaliação de um parâmetro clássico de dimensionamento e de controle do processo de lodos ativados, o trabalho teve como objetivo propor procedimentos para a caracterização da totalidade de biomassa presente no reator MBBR, aqui denominada SSVETA, e que considera não somente a biomassa em suspensão, como no processo de lodos ativados, assim como a biomassa aderida.

Com base nos resultados obtidos, o trabalho destaca que para a obtenção de melhores condições operacionais –menores valores A/Meq., pode o processo MBBR utilizar-se do artifício de manter maior volume de meio suporte no reator, o que em princípio, permitiria o estabelecimento de maior quantidade de biomassa aderida e, conseqüentemente, maior Meq..

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOTTOLA, G; DAMIANI, E; FOLADORI, P; NARDELLI, P; RAGAZZI, M. (2003). "Treatment of mountain refuge wastewater by fixed and moving bed biofilm systems". Water Science and Technology, Vol 48 (11-12). pp. 169-177.
2. ANDREOTTOLA, G; FOLADORI, P; RAGAZZI, M; TATÀNO, F. (2000). "Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater". Water Science and Technology, Vol 41 (4-5). pp. 375-382.
3. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Washington: Public Health Association. 2006.
4. CAMMAROTA, M. C. (1998). "Produção de exopolímeros e adesão microbiana". Tese de D.Sc, IQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
5. HELNESS, H. (2007). "Biological Phosphorus Removal in a Moving Bed Biofilm Reactor". Ph.D. Department of Hydraulic and Environmental Engineering – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegian.
6. 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) pp 295-601.
7. JAHREN, S, J; RINTALA, J, A; ODEGAARD, H. (2002) "Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions". Water Research, Vol 36, pp 1067-1075.
8. JORDÃO, E. P & PESSÔA, C. A. (2005). Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ª ed. ABES-RJ, 890p.



9. JORDÃO, E, P; VOLSCHAN, I, J; MINEGATTI, D, V, O. “A Variante “MBBR” de Lodos Ativados – Uma Alternativa Vantajosa”. VI Congresso da IV Região da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária – AIDIS. Buenos Aires, Julho/2007.
10. 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*, Vol 40, pp 1607-1615.
11. METCALF & EDDY (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4rd ed. New Delhi, McGraw-Hill Inc. 1848.
12. 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.
13. MINEGATTI, D, V, O; VOLSCHAN, I, J; JORDÃO, E, P. “Comportamento e Desempenho do Processo Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR) para a Remoção da Matéria Orgânica e Compostos Nitrogenados”. XXXI Congresso Interamericano da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS). Santiago, Chile, Outubro/2008.
14. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; WESTRUM, T. (1994) “A new moving bed biofilm reactor – application and results”. *Water Science and Technology*. Vol. 29 (10-11), pp. 157-165.
15. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; BADIN, H (1993) “Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor”. *Water Science and Technology*. Vol. 28 (10), pp. 351-359.
16. PASTORELLI, G; ANDREOTTOLA, G; CANZIANI, R; DARRIULAT, C; FRAJA FRANGIPANE, E; ROZZI, A. (1997) “Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors”. *Water Science and Technology*. Vol. 35 (6), pp. 91-99.
17. RUSTEN, B; MCCOY, M; PROCTOR, R; SILJUDALEN, JON G. (1998) “The innovative moving bed biofilm reactor/Solids contact reaeration process for secondary treatment of municipal wastewater”. *Water Environment Research*, Vol 70 (5), pp 1083-1089.
18. RUSTEN, B; SILJUDALEN, J, G; Nordeidet, B. (1994) “Upgrading to nitrogen removal with the KMT moving bed biofilm process”. *Water Science and Technology*, Vol 29 (12), pp 185-195.