



II-103 - ANÁLISE DA QUANTIDADE DE CICLOS EM REATOR ANAERÓBIO OPERADO EM BATELADAS SEQUÊNCIAIS APLICADO AO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Luciano Farias de Novaes⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Pesquisador da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

José Alberto Domingues Rodrigues⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor Pesquisador da Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia.

Cristina Filomena P. Rosa Paschoalato⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Pesquisadora da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Thiago Oliveira de Souza⁽⁴⁾

Aluno de Iniciação Científica do curso de Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Wagner Luis Massarotto⁽⁵⁾

Mestrando do curso de Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Bento Carlos nº 672. Centro. São Carlos – SP. CEP: 13.560-660. e-mail: luciano@thesis.eng.br

RESUMO

Um dos fatores de suma importância nos sistemas de tratamento operados em bateladas sequenciais é o tempo de ciclo a ser adotado, bem como quantos ciclos por dia existirá no processo, pois estes podem ser de diferentes durações. Assim, no presente trabalho teve-se como objetivo avaliar a quantidade de ciclos a ser adotado em um sistema composto por reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (ASBR), escala piloto ($\approx 1 \text{ m}^3$), com agitação mecânica e em duas configurações: uma com biomassa granulada e outra com biomassa imobilizada em suporte inerte de espuma de poliuretano, aplicados ao tratamento de esgoto doméstico. Os reatores foram operados em três ciclos diários com durações iguais, ou seja, tempo de ciclo de 8 horas. Assim, os reatores foram operados durante os ciclos de 11h 30min às 19h 30min, 19h 30min às 03h 30min e 03h 30min às 11h 30min. Analisando os resultados é constatado que no horário de alimentação 03h 30min o afluente sempre apresenta carga orgânica menor que a do efluente do reator neste mesmo horário, pois a carga orgânica do esgoto doméstico na madrugada é muito baixa. Também é evidenciado que o ciclo de operação de 03 h 30 min às 11 h 30 min apresenta sempre eficiência negativa de remoção de carga orgânica, mostrando que este ciclo não apresenta benefícios no sistema de tratamento empregado. Como a concentração de matéria orgânica do afluente de ambos reatores no horário 03 h 30 min tende a ser inferior à concentração de matéria orgânica do efluente do reator no mesmo horário e como o ciclo de operação de 03 h 30 min às 11 h 30 min tende a não remover matéria orgânica, pode-se constatar que este ciclo não apresenta benefícios ao sistema de tratamento empregado, sendo, portanto recomendado a sua exclusão do sistema. Assim, como recomendação, o sistema poderia ser operado por dois ciclos, sendo um de 8 horas (alimentado às 11h 30 min e descarregado às 19h 30 min) e um de 16 horas (alimentado às 19h 30min e descarregado às 11h 30min).

PALAVRAS-CHAVE: Reator Anaeróbio, Tratamento de Efluentes, Tempo de Operação.

INTRODUÇÃO

Os reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (ASBR) têm sido estudados desde o início da década de 90 por grupos de pesquisa no Estados Unidos e no Canadá (Fernandes *et al.*, 1993; Sung & Dague, 1995; Brito *et al.*, 1997, e Timur & Östürk, 1999). Embora ainda em estágio de desenvolvimento, seu uso se revela promissor, uma vez que os resultados têm demonstrado que esse tipo de reator é adequado para tratamento tanto de águas residuárias de elevada concentração (laticínios, suinocultura e chorume) quanto para águas residuárias de baixa concentração (esgoto doméstico), bem como para operação em temperaturas mais



baixas (a queda da temperatura pode ser compensada com o aumento da concentração da biomassa – Dague *et al.*, 1992).

A característica básica do ASBR é ser preenchido com esgoto no início e esvaziado ao final do tratamento, repetindo-se a operação com nova batelada. O conteúdo do reator é misturado, permitindo um bom contato esgoto/biomassa. O tratamento é efetuado em tanque único, em uma seqüência operacional que compreende basicamente as seguintes etapas: (a) alimentação, enchimento com água residuária; (b) reação, tratamento propriamente dito, por meio das bio-transformações dos constituintes do esgoto pelos microrganismos; (c) sedimentação final do lodo biológico, após a finalização das reações; e (d) esvaziamento do tanque, com a retirada do líquido tratado e clarificado. Assim, o tempo de ciclo do reator é o somatório dos tempos de enchimento, de reação, de sedimentação e de esvaziamento.

A etapa de alimentação envolve a adição de um volume pré-determinado de água residuária no reator, sendo que o tempo de enchimento depende da operação do reator, podendo encher totalmente no início do ciclo ou ter enchimento contínuo (batelada alimentada). Neste último caso, o período de enchimento pode se estender até o final do período de reação. Segundo Angenent & Dague (1995) o ASBR não necessita de sistemas de alimentação complexos devido à configuração do reator que permite a disposição uniforme da biomassa no reator, minimizando as possibilidades de ocorrência de caminhos preferenciais, curtos-circuitos e zonas estagnadas.

Na etapa de reação ocorre a conversão da matéria orgânica a biogás, sendo, portanto a etapa mais importante do processo. Nesta etapa a água residuária dentro do reator é misturada por um período de tempo pré-determinado, sendo que esta mistura assume papel importante, pois permite um contato mais efetivo entre o substrato e a biomassa. As características (composição e concentração) do afluente, qualidade do efluente que se deseja obter, concentração da biomassa no reator e temperatura da água residuária são os principais parâmetros para a definição do tempo necessário de reação.

Na etapa de sedimentação a mistura é interrompida para permitir a separação da biomassa, sendo que o próprio reator atua como decantador (clarificador). O tempo necessário para clarificação depende das características de sedimentabilidade da biomassa. Angenent & Dague (1995) descrevem que este tempo tem de ser baixo o suficiente de modo a promover o arraste pelo efluente da biomassa inativa de baixa sedimentabilidade, e alto o suficiente de maneira a manter a biomassa granular ativa, responsável pela remoção da matéria orgânica, no interior do reator. Esta etapa é importante no processo, pois permite que a biomassa seja retida no reator e conseqüentemente continue a sua formação, resultando em maiores tempos de retenção celular e melhorando a eficiência de remoção de matéria orgânica. Segundo Zhang *et al.* (1996) a biomassa rapidamente sedimentável no reator é continuamente selecionada em todos os ciclos do processo, fazendo com que os microrganismos mais competitivos sejam mantidos no reator e o desempenho do reator seja otimizado.

A etapa de esvaziamento ocorre após ter havido uma separação suficiente de sólidos, evitando assim, o arraste de material sólido no efluente. Ocorre, portanto, o descarte do sobrenadante e permanência da manta de lodo no fundo do reator, sendo que o volume descartado é normalmente igual ao volume alimentado na etapa de alimentação. Uma vez completada a etapa de esvaziamento, o reator está pronto para ser alimentado novamente com outra batelada de água residuária, iniciando um novo ciclo.

Desta forma o tempo de ciclo a ser adotado em um sistema operado em bateladas seqüenciais é um dos fatores de suma importância no desempenho do tratamento, bem como quantos ciclos por dia existirá no processo, pois estes podem ser de diferentes durações. Assim, no presente trabalho teve-se como objetivo avaliar a quantidade de ciclos a ser adotado em um sistema composto por reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais (ASBR), escala piloto ($\approx 1 \text{ m}^3$), com agitação mecânica e em duas configurações: uma com biomassa granulada e outra com biomassa imobilizada em suporte inerte de espuma de poliuretano, aplicados ao tratamento de esgoto doméstico.

MATERIAIS E MÉTODOS

No experimento foram utilizados dois reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais com agitação mecânica construídos em polietileno e montados nas seguintes configurações: (a) um reator com biomassa



granulada (ASBR) e (b) um reator com biomassa imobilizada (ASBBR). Assim, no decorrer deste trabalho o reator com leito granulado será denominado ASBR e o reator com biomassa imobilizada será denominado ASBBR.

Na Tabela 1 e na Figura 1 são apresentadas as características construtivas dos reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais.

Tabela 1. Características construtivas dos reatores ASBBR e ASBR.

Configuração	ASBBR	ASBR
Volume total (m ³)	1,18	1,18
Volume útil (m ³)	1,02	1,02
Volume de lodo (m ³)	-	0,35
Volume do suporte inerte (m ³)	0,58	-
Massa do material suporte (kg)	7,20	-
Volume de líquido (m ³)	0,65	0,65
Volume de gás (m ³)	0,16	0,16
Altura (m)	1,50	1,50
Diâmetro (m)	1,00	1,00

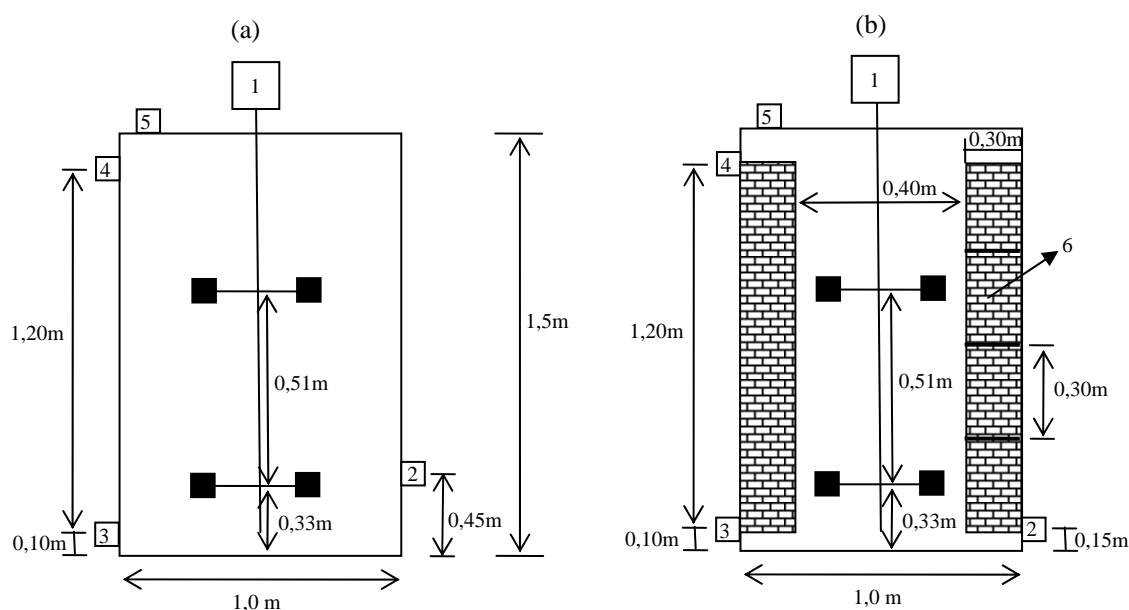


Figura 1. Configuração dos reatores (a) ASBR e (b) ASBBR.

[Notação: (1) Sistema de agitação mecânica com motor de rotação variável e impelidor, (2) Válvula de descarga, (3) Válvula de alimentação, (4) dreno (ladrão), (5) biogás, (6) cesto contendo biomassa imobilizada].

O inóculo utilizado foi o lodo proveniente do reator UASB o qual trata águas residuárias de esgoto sanitário. A água residuária utilizada no estudo foi o esgoto sanitário proveniente do campus da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Os reatores foram operados à temperatura ambiente em ciclos de 8 horas, ou seja, três ciclos diários. Foram analisadas amostras do afluente e efluente nos três ciclos diários (11:30hs às 19:30hs; 19:30hs às 03:30hs; e 03:30hs às 11:30hs), durante 60 dias, avaliando assim o desempenho do sistema nos diferentes ciclos. Nesta etapa os reatores foram operados com intensidade de agitação igual a 60 rpm. O reator ASBR foi operado com impelidor do tipo turbina de pás planas enquanto que o reator ASBBR foi operado com impelidor do tipo turbina de pás inclinadas 45°.



No início dos ciclos, os reatores foram alimentados com um volume igual a $0,65 \text{ m}^3$ de esgoto sanitário cada um, em um período aproximado de 0,5 hora (ressalta-se que ambos reatores foram alimentados no mesmo tempo e com a mesma vazão, apresentando portanto o mesmo afluente). Em seguida, iniciou-se a agitação do meio, com rotação fixa (60 rpm). A descarga também foi realizada em um período aproximado de 0,5 hora, finalizando o ciclo operacional e, em seguida, iniciando-se o novo ciclo. O período da etapa de reação foi diferente para as duas configurações. Para a configuração com biomassa granulada, o tempo foi de 6,0 horas com o acionamento da agitação, seguida de uma etapa de sedimentação de 1,0 hora, durante a qual a agitação foi interrompida, para então ser efetuada a descarga. Para a configuração com biomassa imobilizada, a etapa de reação foi de 7,0 horas, uma vez que a etapa de sedimentação não foi necessária.

RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das variáveis monitoradas nos reatores ASBR e ASBBR, com intensidade de agitação igual a 60 rpm, para os três ciclos diários. Verifica-se que, para todos os ciclos avaliados, em média o pH efluente de ambos reatores não variaram significativamente, permanecendo dentro da faixa ótima de estabilidade para formação de metano, ou seja, entre 6,0 e 8,0. Também é evidenciado, em ambos reatores e para todos os ciclos avaliados, produção de alcalinidade a bicarbonato em relação ao afluente, mostrando a existência de estabilidade no sistema, mesmo ocorrendo uma pequena produção de ácido no reator ASBBR.

Quanto a concentração de matéria orgânica ($\text{DQO}_{\text{Bruta}}$) do afluente, verifica-se que esta apresenta um desvio padrão considerável, evidenciando que ocorre uma variação expressiva da concentração de matéria orgânica do esgoto sanitário durante o período de operação. Esta concentração de matéria orgânica está diretamente correlacionada com a presença de sólidos no afluente, sendo também constatados valores altos de sólidos no afluente. Constata-se que mesmo após o tratamento a concentração de sólidos no efluente continuou alta, sendo observado que o sistema com biomassa imobilizada em suporte inerte apresentou melhor capacidade de retenção de sólidos totais quando comparado com o sistema com biomassa granular.

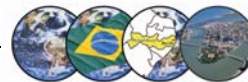
Também é observado a grande variação da concentração de matéria orgânica no afluente de ciclo para ciclo, sendo constatado $133 \text{ mgDQO}_{\text{Bruta}}/\text{L}$ no afluente das 03h30min, valor este igual a 22,5% da concentração de matéria orgânica na forma de DQO no afluente do horário de 11h30min ($590 \text{ mgDQO}_{\text{Bruta}}/\text{L}$).

Comparando os dois reatores nos três ciclos avaliados verifica-se que o reator ASBR apresentou pior eficiência de remoção de matéria orgânica bruta quando comparado com o reator ASBBR. Porém, este comportamento se inverte quando se trata da eficiência de remoção da matéria orgânica filtrada, sendo este fato devido a maiores concentrações de sólidos suspensos evidenciado no efluente do ASBR, ocasionando maior concentração de matéria orgânica na forma de $\text{DQO}_{\text{Bruta}}$.

Comparando os três ciclos observa-se que os efluentes dos reatores nos ciclos de 11 h 30min às 19h 30min e de 19 h 30min às 03h 30min apresentaram comportamentos similares, pois o afluente em ambos os ciclos são semelhantes, tanto nas suas características físicas como nas químicas. Já os sistemas, ASBR e ASBBR, operados no horário das 03h 30min às 11 h 30 min não apresentaram remoção de matéria orgânica, pois a concentração de matéria orgânica da água residuária afluente do sistema no horário das 03h 30min é pequena. Assim, o sistema neste ciclo, ao invés de estar tratando a água residuária, está poluindo ela ainda mais.

Na Figura 2 é apresentada a variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta do afluente e do efluente do ASBR e do ASBBR, correspondente ao ciclo de 03h 30 min às 11 h 30 min, ao longo de 60 dias de operação. Verifica-se que a concentração de matéria orgânica do afluente tende a ser sempre inferior às concentrações dos efluentes do ASBR e do ASBBR. Também se evidencia que a primeira e a segunda amostra do efluente do ASBR apresentaram valores de DQO bem superiores, sendo justificado pelo fato que nesta etapa o reator tinha acabado de iniciar a partida, momento em que o lodo menos denso flotava e ficava na parte sobrenadante do reator, ou seja, este lodo estava saindo junto com o efluente.

Na Figura 3 é apresentada a variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta do afluente e do efluente do ASBR e do ASBBR, sendo que tanto o afluente como o efluente de ambos reatores foram amostrados no mesmo horário (03h30min), ou seja, comparou-se os valores de concentração de matéria orgânica que estava entrando e saindo dos reatores no mesmo momento. Verifica-se que no horário 03h 30min



o afluente tendeu a apresentar menores concentrações de matéria orgânica quando comparado às concentrações dos efluentes dos reatores no mesmo horário, mostrando que a concentração de matéria orgânica que entra nos reatores é inferior à que sai dos mesmos neste horário, pois a concentração de matéria orgânica do esgoto doméstico durante a madrugada é muito baixa.



Tabela 2. Valores médios das variáveis monitoradas nos reatores ASBR e ASBBR, com intensidade de agitação igual a 60 rpm, para os três ciclos diários.

Parâmetro	Ciclo das 11 h 30min às 19h 30min			Ciclo das 19 h 30min às 03h 30min			Ciclo das 03 h 30min às 11h 30min		
	Afluente	Efluente ASBR	Efluente ASBBR	Afluente	Efluente ASBR	Efluente ASBBR	Afluente	Efluente ASBR	Efluente ASBBR
pH	7,20 ± 0,70	7,07 ± 0,26	6,80 ± 0,19	7,05 ± 0,18	7,03 ± 0,32	6,79 ± 0,27	6,96 ± 0,20	7,12 ± 0,28	6,86 ± 0,22
DQO _{Bruta} , mg L ⁻¹	590 ± 196	376 ± 133	362 ± 149	518 ± 205	413 ± 179	296 ± 95	133 ± 41	268 ± 135	183 ± 76
Efic. DQO _{Bruta} (%)		35,4	38,6		24,4	40,0		-116,0	-42,0
DQO _{Filtrada} , mg L ⁻¹	273 ± 92	115 ± 58	197 ± 111	253 ± 116	119 ± 49	191 ± 94	55 ± 28	81 ± 50	97 ± 54
Efic. DQO _{Filtrada} (%)		81,1	68,1		76,5	63,9		38,5	24,7
Alcalinidade, mgCaCO ₃ /L	120 ± 19	161 ± 30	143 ± 25	115 ± 26	159 ± 24	133 ± 39	86 ± 24	162 ± 32	127 ± 34
Ácidos Voláteis, mgHAc /L	54 ± 15	44 ± 15	72 ± 26	51 ± 15	43 ± 20	72 ± 31	21 ± 6	33 ± 12	36 ± 6
ST, mg L ⁻¹	744 ± 207	595 ± 129	561 ± 168	642 ± 152	574 ± 115	508 ± 146	400 ± 126	461 ± 119	384 ± 120
SST, mg L ⁻¹	252 ± 121	186 ± 118	142 ± 68	163 ± 67	198 ± 133	113 ± 73	91 ± 61	169 ± 141	80 ± 51
SSV, mg L ⁻¹	221 ± 114	166 ± 111	130 ± 60	145 ± 52	181 ± 124	100 ± 64	82 ± 60	160 ± 134	72 ± 45

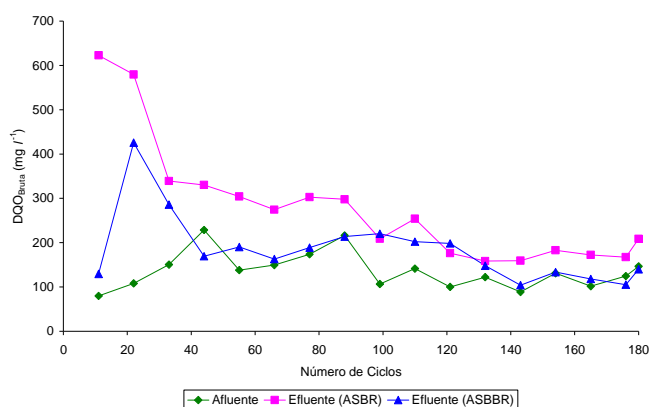


Figura 2. Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta do afluente e do efluente do ASBR e do ASBBR, correspondente ao ciclo de 03h 30min às 11 h 30 min, ao longo de 60 dias de operação.

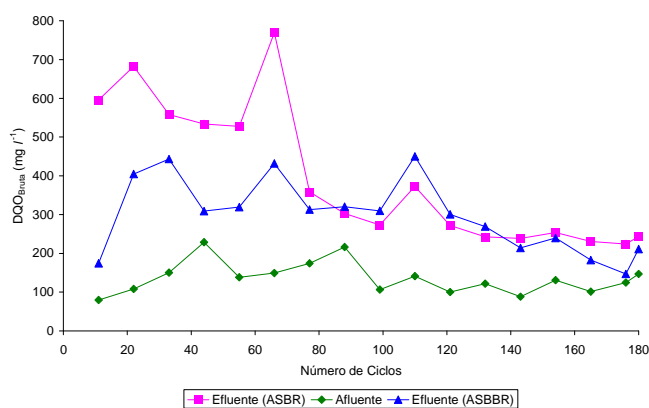


Figura 3. Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta do afluente e do efluente do ASBR e do ASBBR, sendo que tanto o afluente como o efluente de ambos reatores foram amostrados no horário 03h30min.

Como a concentração de matéria orgânica do afluente de ambos reatores no horário 03 h 30 min tende a ser inferior à concentração de matéria orgânica do efluente do reator no mesmo horário e como o ciclo de operação de 03 h 30 min às 11 h 30 min tende a não remover matéria orgânica, pode-se constatar que este ciclo não apresenta benefícios ao sistema de tratamento empregado, sendo, portanto recomendado a sua exclusão do sistema. Assim, como recomendação, o sistema poderia ser operado por dois ciclos, sendo um de 8 horas (alimentado às 11h 30 min e descarregado às 19h 30 min) e um de 16 horas (alimentado às 19h 30min e descarregado às 11h 30min). Estes horários de alimentação dos reatores (11h 30min e 19h 30min) são recomendados devido nestes horários ocorrerem o almoço e janta no restaurante universitário que conseqüentemente aumenta a concentração de matéria orgânica no esgoto sanitário.

CONCLUSÕES

O ciclo de operação de 03 h 30 min às 11 h 30 min não apresenta benefícios ao sistema de tratamento empregado, sendo, portanto recomendado a sua exclusão do sistema. Assim, como recomendação, o sistema poderia ser operado por dois ciclos, sendo um de 8 horas (alimentado às 11h 30 min e descarregado às 19h 30 min) e um de 16 horas (alimentado às 19h 30min e descarregado às 11h 30min).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Angenent, L.T.; Dague, R.R. (1995). A Laboratory-Scale Comparison of the UASB and ASBR processes. In: *50th Purdue Industrial Wastewater Conference Proceedings*, Ann Arbor Press, Chelsea, pp. 365-377.
2. Brito, A.G.; Rodrigues, A.C.; Melo, F.L. (1997). Feasibility of a Pulsed Sequencing Batch Reactor with Anaerobic Aggregated Biomass for the Treatment of Low Strength Wastewaters. *Water Science and Technology*, **35**: 193-198.
3. Dague, R.R.; Habben, C.E.; Pidaparti, S.R. (1992). Initial Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor. *Water Science and Technology*, **26**: 2429-2432.
4. Fernandes, L.; Kennedy, K.J.; Ning, Z. (1993). Dynamic Modeling of Substrate Degradation in Sequencing Batch Anaerobic Reactors (SBAR). *Water Research*, **27**: 1619-1628.
5. Sung, S.; Dague, R.R. (1995). Laboratory Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor. *Water Environmental Research*, **67**: 294-301.
6. Timur, H.; Östürk, I. (1999). Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Landfill Leachate. *Water Research*, **33**: 3225-3230.
7. Zhang, R.; Yin, Y.; Sung, S.; Dague, R.R. (1996). Anaerobic Treatment of Suine Wwaste by the Anaerobic Sequencing Batch Reactor. In: *51th Purdue Industrial Waste Conference*. Proceedings. Purdue University, West Lafayette, Indiana, p. 315 – 321.