

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE AERAÇÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) NA DIMENSÃO DE FLOCOS DE LODO ATIVADO E NA QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL

P. H. S. OLIVEIRA¹, P. L. R. SOUSA¹, J. M. M. DANTAS¹, E. S. dos SANTOS¹ e G. R. MACEDO¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: pedro.henrique.leb@gmail.com

RESUMO – Os efeitos de duas intensidades de aeração (vazão do ar de 3,5 L.min⁻¹ e 7,0 L.min⁻¹) e a concentração de oxigênio dissolvido (OD) sobre a dimensão de flocos de lodo ativado, e bem como sobre a eficiência de remoção foram estudados utilizando um sistema tradicional de lodos ativados alimentado com um efluente doméstico sintético. Amostras foram retiradas semanalmente das três unidades que compõe o sistema – tanque de alimentação, de aeração e de armazenamento – para verificar a Demanda Química de Oxigênio (DQO). A eficiência do processo foi avaliada através da comparação entre a DQO inicial e final. Os resultados mostraram um eficiência máxima de remoção de quase 75% na primeira sequência de aeração e 85% para a segunda. Para a primeira aeração, a concentração de OD manteve-se maior que 3,0 mg.L⁻¹ e uma faixa de diâmetro de 10 a 60 µm foi observada, enquanto que na segunda sequência a concentração de OD permaneceu superior a 4,0 mg.L⁻¹ com uma faixa de diâmetro de 10 a 200 µm. Além disso, os resultados reafirmam o que literatura tem relatado, maiores concentrações de OD produzem flocos com maiores dimensões.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, sistemas aeróbios de lodos ativados têm sido uma tecnologia largamente aplicada como tratamento secundário de águas residuárias. Esse tipo de processo possui uma remoção eficaz de poluentes e se consolida basicamente em duas etapas: (1) a biodegradação e (2) a separação física da biomassa do sobrenadante por força gravitacional (Perez *et al.*, 2006; Wilén *et al.*, 2008). Para a etapa da biodegradação, a qual ocorre no tanque de aeração, especificamente, é necessário o suprimento de oxigênio. O fornecimento de oxigênio mantém no lodo ativado as atividades metabólicas de grande parte dos microrganismos responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos solúveis ou não (Jordão e Pessoa, 1995; Wang *et al.*, 2007; Liao *et al.*, 2011).

A operação de aeração é comumente realizada por meio de equipamentos projetados para tal tarefa. Os mais utilizados em estações de tratamento de larga escala são os compressores, difusores de ar e aeradores. O emprego desses aparelhos, em geral, aumenta o desempenho do sistema de lodos ativados, porém, o fato de demandarem grandes quantidades de energia e potência, encarece o uso do processo (Metcalf e Eddy, 1991; Von Sperling, 1997, Krüger, 2011). Em adição, há a dispêndio com a

manutenção, seja pela limpeza dos filtros dos compressores, ou pela revisão das turbinas dos aeradores, por exemplo.

Nesse contexto, a pesquisa em questão, visa à avaliação da vazão de ar aplicada ao processo, assim como a concentração de oxigênio dissolvido (OD) resultante dessa vazão. Logo, pretende-se encontrar uma intensidade de aeração satisfatória e capaz de produzir flocos com a habilidade de sedimentar. Acredita-se que há diversas razões para baixas propriedades de sedimentação do lodo, segundo Wilén *et al.* (2008), a dimensão (ou tamanho) do floco é um parâmetro crucial e deve ser investigado quando se trata de obter uma separação sólido-líquido eficiente. Outro parâmetro importante é a estabilidade do floco, tendo em vista que flocos fracos podem se desintegrar facilmente devido as tensões de cisalhamento a que são expostos. O estresse hidrodinâmico (cisalhamento) está presente em todo sistema de tratamento biológico de águas residuárias como resultado da aeração, agitação mecânica ou fluidização do líquido (Liu *et al.*, 2005).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do Sistema Experimental de Lodos Ativados

A instalação do sistema experimental de lodos ativados (Figura 1), segundo Macalfy e Eddy (1991), foi realizada a fim de simular o tratamento secundário de uma estação de tratamento de esgotos. O sistema experimental é formado por um tanque de aeração com volume operacional de 4L (Ø 18 cm) acoplado a um decantador com capacidade de 2L (Ø 9 cm). Uma bomba peristáltica possibilita o transporte do despejo sintético e o reciclo do lodo decantado para o tanque de aeração. O tanque de alimentação possui uma capacidade de 9L, sendo o efluente sintético removido deste tanque com uma vazão de 4,25 L/dia. O reciclo opera com a mesma vazão de alimentação, estabelecendo uma recirculação de razão 1:1. O efluente clarificado ou sobrenadante é retirado por gravidade da parte superior do decantador, onde se encontra um canal de saída para o tanque de armazenamento.

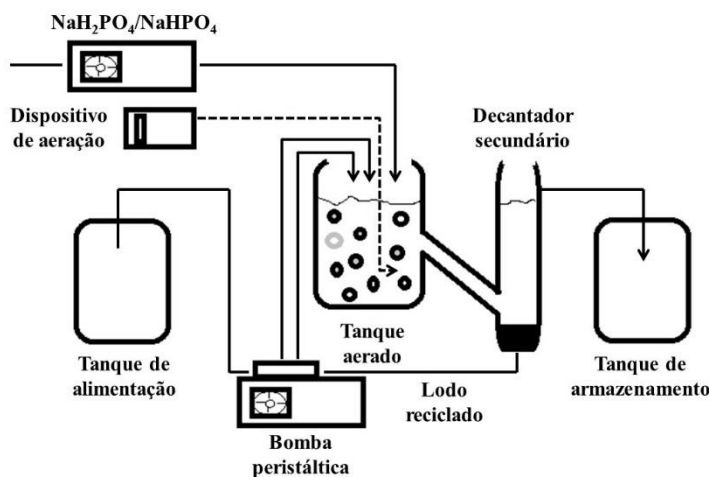


Figura 1 – Sistema de lodos ativados de bancada.

O fornecimento de ar, no interior do tanque de aeração, é efetivado por meio de compressores de ar de pequeno porte com vazão de gás de 3,5L/min. Além de suprir o processo com oxigênio, deve-se ainda mantê-lo em pH neutro. Para isso, foi instalada outra bomba peristáltica que dosa para o interior do tanque, com vazão de 0,003L/min, uma solução tampão de composição volumétrica 39% de NaH_2PO_4 (0,2M) e 61% de NaHPO_4 (0,2M).

2.2. Adaptação do Sistema

Após o sistema instalado, foi coletado o lodo ativado com concentração de 338,5 mgSST/L do tanque de aeração da ETE-UFRN. Um inóculo de 6L foi preparado com o lodo ativado, e então, introduzido pela unidade de aeração do sistema experimental. Com o processo operando de forma contínua, esperou-se até que ele alcançasse o regime estacionário, ocasião na qual a biomassa estava adaptada ao novo ambiente. As condições estacionárias foram caracterizadas por pequenas variações nas quantidades de DQO e SST (Wu e He, 2012). Apenas quando o sistema estava realmente adaptado, iniciaram-se as atividades experimentais.

2.3. Parâmetros e Condições Operacionais

Com o objetivo específico de avaliar a intensidade de aeração na formação do floco de lodo ativado, o sistema experimental funcionou com duas sequências de operação, conforme a Tabela 1. A sequência 1 teve a duração de um mês, enquanto a sequência 2 de dois meses. A vazão de ar sempre aumentou de uma sequência para outra. Estudos posteriores pretende avaliar mais uma condição de operação (sequência 3), também com duração de dois meses.

Tabela 1 – Configuração das sequências de operação

Sequência	Vazão de ar - Q_{ar} (L/min)	Oxigênio Dissolvido (OD) (mgO_2/L)
1	3,5	> 3,0
2	7,0	> 4,0

A fim de garantir a boa funcionalidade do sistema experimental de lodos ativados alguns parâmetros foram estabelecidos de acordo com Barros Jr. (2008): A idade do lodo (θ_c) foi fixada em 20 dias; a razão de reciclo (R) em 1:1; o oxigênio dissolvido (OD) foi rigorosamente mantido acima de 2 mgO_2/L e pH do meio biológico oscilou numa faixa de 6,5 – 7,5.

Para ser possível realizar a manutenção da idade do lodo em 20 dias, o descarte do lodo ativado que se encontrava no tanque de aeração foi efetuado diariamente com o auxílio de uma proveta de 200 ml. Quanto à concentração de oxigênio dissolvido, para ser conservada acima de 2 mgO_2/L , utilizou-se como principal fonte de oxigênio, no meio líquido, os compressores de pequeno porte. Tais compressores funcionaram 8 horas ligados e 16 horas desligados por dia. O monitoramento foi feito em intervalos pré-determinados durante o ciclo aerado e não aerado.

2.4. Métodos Analíticos

Sólidos suspensos totais (SST) e demanda química de oxigênio (DQO): As medições de SST e DQO foram determinadas de acordo com os *Standard Methods* (APHA, 2005). As amostras para esses procedimentos foram retiradas diretamente do tanque de aeração. No caso da DQO, também foram tomadas amostras do tanque de alimentação e do tanque de armazenamento para a obtenção das eficiências de remoção. As leituras foram feitas em triplicata para a DQO e duplicata para SST.

Análise granulométrica: Um granulômetro a laser Microtrac foi o equipamento responsável por fornecer as distribuições de tamanhos dos flocos biológicos. O aparelho incide um feixe de luz sobre o floco, o sinal da luz é desviado em diferentes ângulos e então convertido em diâmetro.

Análise de imagens: Com o auxílio do microscópio binocular de câmara fotográfica acoplada (modelo BX 51, OLYMPUS) foi possível observar a aparência dos flocos biológicos.

Oxigênio dissolvido(OD): Um eletrodo à membrana WTW Oxi315i é utilizado para a determinação da concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 (a) e (b) mostram as variações de DQO e SST do lodo ativado no tanque de aeração com o tempo experimental e com as sequências de operação as quais foi submetido. Na sequência 1 (DQO: $269,38 \pm 154,52$ mg/L e SST: $67,40 \pm 20,02$ mg/L) é claramente observado um aumento pronunciado na DQO do lodo ativado. Devido à complexidade dos organismos biológicos e dos inúmeros parâmetros que possuem impacto nessas células é inevitável manter todas as características com pequenas variações (Krüger, 2011). Mas é importante ressaltar que esse comportamento é normal no início do processo experimental em razão da aclimação do meio (Liao *et al.*, 2011; Wu e He, 2012).

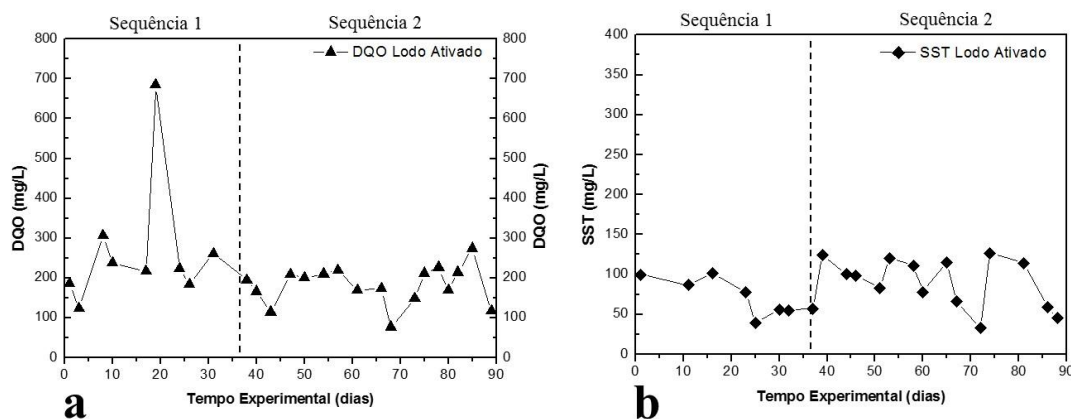


Figura 2 – Variação de (a) DQO e (b) SST do lodo ativado com o tempo experimental.

A mudança para a sequência 2 (DQO: $182,19 \pm 46,91$ mg/L e SST: $91,10 \pm 29,53$ mg/L), ou seja, uma aeração mais intensa, aumentou a concentração dos SST assim como a oscilação de seus valores, por outro lado a DQO pareceu estabilizar em seu valor médio. O aumento nos valores de SST demonstra que o aumento da intensidade de aeração sugere um aumento na habilidade de floculação, provavelmente porque há um acréscimo da concentração de oxigênio dissolvido no meio, fator o qual acredita-se ter grande influência na formação do floco (Liu *et al.*, 2005; Wilén e Balmér, 1999; Wilén *et al.*, 2003). Tal influência será mostrada na subseção seguinte.

Comparando de uma forma global, a sequência 1 com a 2, o aumento da vazão de aeração promoveu uma diminuição na DQO e um aumento no valores de SST. O que ainda não significa que houve um maior desempenho do processo.

3.1. Relação Oxigênio Dissolvido, Diâmetro do Floco e Eficiência de Remoção

Segundo Wilén e Balmér (1999) e Liu *et al.* (2005) existe uma tendência à produção de flocos de maiores dimensões quando se aumenta a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no meio líquido. Essa mesma tendência foi observada nos resultados da investigação em questão como pode ser notado na Figura 3 (a). Com a mudança de sequência houve um acréscimo, mesmo que sutil, na concentração de OD. É perceptível o aumento do diâmetro médio do floco quando os valores de OD foram maiores. Na sequência 2, por exemplo, esses valores chegam a crescer em um comportamento linear, atingindo um pico de $178,06 \pm 17,58$ μm quando a concentração de OD alcança $5,20 \pm 0,138$ mg/L. O aumento no diâmetro médio dos flocos ainda confirma o aumento dos sólidos em suspensão (SST) notado na Figura 2 (b) na sequência 2.

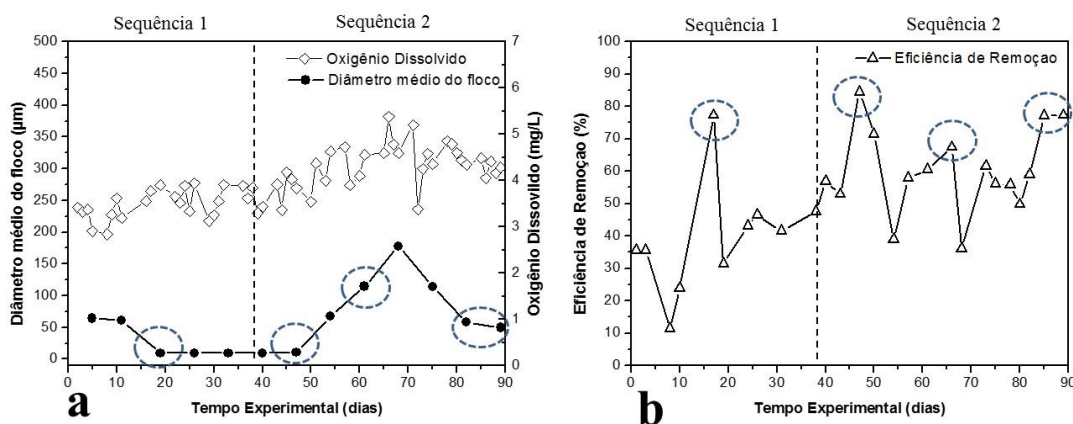


Figura 3 – Acompanhamento do (a) Diâmetro médio do floco e oxigênio dissolvido e (b) eficiência de remoção.

É importante observar a Figura 3 (a) e (b) e perceber que as maiores eficiências de remoção aconteceram quando os diâmetros médios foram menores. Esse fato sugere que a formação de flocos maiores não é garantia de uma remoção efetiva. Geralmente, flocos maiores possuem uma estrutura

porosa e irregular o que dificulta a sedimentação no sedimentador secundário, ao contrário dos menores os quais são mais compactos (Wilén e Balmér 1999; Meng *et al.*, 2006).

Os resultados demonstram que a sequência 1 apresentou uma eficiência máxima de quase 75%, enquanto que a sequência 2 apresentou uma eficiência máxima de quase 85%, e além disso apresentou maior frequência em eficiências maiores. Pode parecer contraditório, na ocasião em que houve maiores diâmetros houve maiores eficiências, porém, é preciso ressaltar que embora a concentração de OD seja maior, existe o fato que os flocos na sequência 2 estão sujeitos a uma maior tensão de cisalhamento provocada pela maior intensidade de aeração. Tal influência promove a desestruturação dos flocos de grandes dimensões e gera flocos de menores diâmetros (Stricot *et al.*, 2010).

Uma análise de imagens do lodo por meio do microscópio binocular de câmara fotográfica acoplada (modelo BX 51, OLYMPUS) foi realizada a fim de verificar o comportamento dos flocos na sequência 2 como mostra a Figura 4 a seguir.

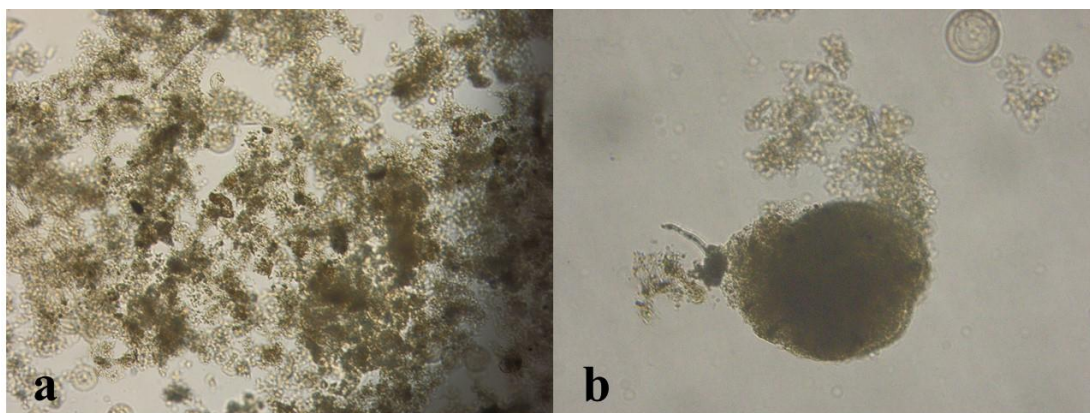


Figura 4 – Aparência dos flocos do lodo com (a) maior dimensão (lente: 20X) e (b) com menor dimensão (lente: 40X).

Como pode ser visto acima, a Figura 4 (a) apresenta exatamente a estrutura típica de flocos com grande dimensão na presença de uma concentração de OD elevada, ou seja, uma morfologia interligada, irregular e porosa. Por outro lado, na Figura 4 (b) nota-se um floco biológico de menor dimensão, bem mais compacto, provavelmente resultado do processo de cisalhamento gerado pela aeração. Além disso, em ambas as figuras é possível notar a presença de protozoários, organismos frequentes em sistemas de lodos ativados (Jordão e Pessôa, 1995).

4. CONCLUSÃO

Essa pesquisa investigou a influência da intensidade de aeração e da concentração de oxigênio dissolvido (OD) na dimensão de flocos de lodo ativado usando um sistema convencional de bancada. As principais conclusões foram sumarizadas abaixo.

Da sequência 1 para a sequência 2, de uma forma global, houve uma diminuição da DQO do lodo ativado presente no tanque de aeração. Um resultado contrário foi encontrado para os valores de SST, houve um aumento dos valores, assim como uma oscilação mais frequente. O aumento nas concentrações de SST sugere uma maior habilidade de floculação (Liu *et al.*, 2005; Wilén e Balmér, 1999; Wilén *et al.*, 2003).

Uma tendência a flocos maiores em concentrações mais elevadas de OD pôde ser encontrada, assim como tem relatado a literatura (Liao *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2005; Wilén e Balmér, 1999; Wilén *et al.*, 2003; Wu e He, 2012).

A sequência 1 alcançou uma eficiência máxima de aproximadamente 75%, enquanto que a sequência 2 atingiu cerca de 85% de remoção máxima. Os resultados sugerem que as melhores eficiências de remoção são encontradas quando os flocos possuem menores valores de diâmetro médio. Parece inconsistente ver que a sequência 2 possui melhores resultados de eficiência de remoção quando essa apresenta maiores valores de diâmetro médio. No entanto, os consideráveis valores de eficiência aconteceram quando a sequência 2 apresentou flocos com de menores dimensão, possivelmente, resultantes do cisalhamento gerado pela aeração mais intensa.

5. NOMENCLATURA

DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg/L)

ETE – UFRN – Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

OD – Oxigênio Dissolvido (mg/L)

R – Razão de Reciclo

SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L)

θ_c – Idade do Lodo (dias)

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA/AWA. *Standard Methods for Examination of the Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington, 2005.

BARROS Jr., L. M. *Estudo da influência de compostos recalcitrantes na remoção de matéria orgânica biodegradável no tratamento de efluente de refinarias de petróleo*. 2008. 206f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

JORDÃO & PESSÔA. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3^a ed. São Paulo: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

LIAO, B. Q.; JIN, H.J.; LANGEVIN, S. P.; GAO, L.J.; LEPPARD, G. G. Effects of temperature and dissolved oxygen on sludge properties and their role in bioflocculation and settling. *Water Res.* v.45, p.509-520, 2011.

LIU, Q-S.; LIU, Y.; TAY J-H.; SHOW, K. Y. Responses of sludge flocs to shear strength. *Process Biochem.* v.40, p.3213-3217, 2005.

KRÜGER, M. S. *Assess the impact of aeration to limit membrane fouling in a membrane bioreactor under special consideration of extracellular polymeric substances (proteins and carbohydrates) in the mixed liquor.* 2011. 69f. Master Thesis – Faculty of Forest, Geo and Hydro Sciences, Institute for Urban Water Management.

MENG, F., YANG, F., XIAO, J., ZHANG, H., GONG, Z. A new insight into membrane fouling mechanism during membrane filtration of bulking and normal sludge suspension. *J. Membr. Sci.*, v.285, p.159 -165, 2006.

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.* 3ª ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.

PEREZ, Y. G.; LEITE, S. G. F.; COELHO, M. A. Z. Activated sludge morphology characterization through an image analysis procedure. *Braz. J. Chem. Eng.* v.23, n.03, p.319 - 330, 2006.

STRICOT, M.; FILALI, A.; LESAGE, N.; SPÉRANDIO, M.; CABASSUD, C. (2010). Side-stream membrane bioreactors: Influence of stress generated by hydrodynamics on floc structure, supernatant quality and fouling propensity. *Water Res.*, v.44, p.2113 – 2124, 2010.

VON SPERLING, M. (1997). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.* Vol. 4. Lodos Ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 415 p.

WANG, C.; ZING, Y.; LOU, J.; WU, P. Dynamic simulation of a WWTP operated at low dissolved oxygen condition by integrating activated model and floc model. *Biochem. Eng. J.*, v.33, p.217-227, 2007.

WILÉN, B.-M. & BALMÉR, P. The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs. *Water Res.*, v.33, p.391- 400, 1999.

WILÉN, B.-M.; JIN, B.; LANT, P. Impacts of structural characteristics on activated sludge floc stability. *Water Res.*, v.37, p.3632-3645, 2003.

WILÉN, B.-M.; LUMLEY, D.; MATTSSON, A.; MINO, T. Relationship between floc composition and flocculation and settling properties studied at a full-scale activated sludge plant. *Water Res.*, v.42, p.4404-4418, 2008.

WU, J.; HE C. Effect of cyclic aeration on fouling in submerged membrane bioreactor for wastewater treatment. *Water Res.*, v.46, p.3507-3515, 2012.