

II-313 - REATOR EM BATELADAS SEQUENCIAIS OPERADO COM BIOMASSA GRANULAR AERÓBIA: FORMAÇÃO DO LODO E AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO FLOCO

Rodrigo de Freitas Bueno⁽¹⁾

Biólogo e Engenheiro Ambiental, Mestre em Saúde Pública – Área: Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Doutorando em Engenharia Civil – Área: Engenharia Hidráulica e Ambiental na Escola Politécnica da USP.

Roque Passos Piveli

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP, Doutor em Engenharia Civil-Área: Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP, Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

Amanda Rodrigues Inácio

Engenheira Ambiental – Área: Ambiental e Saneamento pelo Centro Universitário do SENAC.

Maria Eliana Santos Cantil

Engenheira Ambiental – Área: Ambiental e Saneamento pelo Centro Universitário do SENAC.

Ruama Sales Carneiro

Engenheira Ambiental – Área: Ambiental e Saneamento pelo Centro Universitário do SENAC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Belo Jardim, 118 – Jd. Mutinga – São Paulo - SP - CEP: 05159200 - Brasil - Tel: (11)983962421- e-mail: robueno@usp.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a formação e as características do lodo granular aeróbio em um reator operado em bateladas sequenciais (SBR), tratando esgoto sanitário. A concentração de OD foi mantida na faixa de 1,0-1,5 mg/L. O estudo mostrou que é possível a formação do lodo granular aeróbio com tempos curtos de sedimentação de 7, 5 e 3 minutos. O sistema mostrou-se estável com durante todo o estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo granular aeróbio, reator em bateladas sequenciais, morfologia do floco, tempo de sedimentação, esgoto sanitário.

1. INTRODUÇÃO

As novas legislações e políticas, tanto a nível estatal como comunitário, estão cada vez mais restritivas ao lançamento das concentrações de material orgânico e nutrientes. Este feito, junto com a redução de área disponível para essa gestão, está impulsionando o desenvolvimento de novos sistemas e tecnologias para o tratamento de esgotos. Estes, cada vez mais eficazes e compactos, e capazes de realizarem a remoção conjunta de matéria orgânica e nutriente, como nitrogênio e fósforo. Dentre as tecnologias de interesse, o uso de reatores sequenciais (SBR - Sequencing Batch Reactores) com biomassa granular aeróbia aplicada ao tratamento biológico de esgotos é apresentado como uma alternativa ao processo de lodo ativado convencional (BEUN, et al. 1999; ARROJO, 2004; DE BRUIN, 2004; SCHWARZENBECK, 2004; CASSIDY, 2005; ADAV, *et al.* 2008 e NI B.-J., 2009). Estes reatores são operados sequencialmente em ciclos, que compreendem as fases de enchimento, reação, sedimentabilização e descarte. Os ciclos de funcionamento são caracterizados por uma curta duração das fases de enchimento e de sedimentação, a fim de desenvolver a biomassa em forma de grânulos, sob condições aeróbias. Estes sistemas permitem tratar cargas mais elevadas do que os sistemas de lodos ativados, devido à possibilidade de se acumular grandes concentrações de biomassa. Apresentam ainda, ótimas características de sedimentabilidade do lodo e baixa produtividade de lodo de excesso, requerendo uma menor área de implantação (ZHU J.R., 2003; DE KREUK M.K. and VAN LOOSDRECHT, 2006 e FIGUEROA, 2009). Outra vantagem é a possibilidade de remoção simultânea de matéria orgânica e de nitrogênio por meio do processo de nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS) (YILMAZ, 2008). Desta forma, pode-se obter um efluente de melhor qualidade e uma redução nos custos de implantação e na gestão do lodo. Os primeiros estudos focados na granulação da biomassa aeróbia foram desenvolvidos em reatores de escala laboratorial, utilizando meio sintético para melhor compreender todas as variáveis que afetam o processo de formação do lodo granular (DE KREUK, 2006). Deste modo, foi determinado que entre os fatores-chave na

operação desses sistemas são o tempo de sedimentação, a tensão criada pelas condições mecânicas ou hidrodinâmicas no reator, o tipo de substrato, a concentração de matéria orgânica (DQO), a concentração de amônia (NH_3), a concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido (OD) e a possível presença de substâncias inibidoras (BERNET, 2005; LIU, 2010a). Dentro deste contexto, definiu-se neste estudo, uma investigação experimental com objetivo de avaliar as condições necessárias para formação do lodo granular biológico e a caracterização morfológica do floco.

2. OBJETIVO DO ESTUDO

O objetivo central da pesquisa é a proposição de medidas para a melhoria das condições operacionais de estações de tratamento de esgotos com aeração prolongada em fluxo intermitente (SBR), por meio do processo de lodo granular aeróbio. Como objetivo específico, se pretende avaliar as condições necessárias para a formação e a caracterização da morfologia do floco do lodo granular aeróbio.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Operação e configuração da planta piloto

A pesquisa em desenvolvimento é conduzida por meio de um experimento em escala piloto. Foi posto em operação um reator biológico, operado em bateladas sequenciais, alimentado com esgoto sanitário. A Figura 1 mostra o arranjo experimental utilizado neste estudo. O sistema de aeração é feita por ar difuso instalado no fundo dos reatores, garantindo o suprimento de oxigênio. Para evitar a sedimentação do lodo nas fases de enchimento e reação, foi instalado um misturador no reator. Uma válvula solenóide controlada por um medidor de oxigênio dissolvido (OD) será utilizada para manter a concentração de OD na faixa de estudo. A concentração de OD, pH, temperatura e potencial de oxidação-redução (ORP), serão medidos e monitorados online durante todas as etapas do estudo. Os dados serão registrados em um computador, por meio de um data logger. O controle dos ciclos (enchimento, aeração, agitação, sedimentação e descarte) é realizado por meio de um controlador automatizado, de modo a se estabelecer as condições para formação do lodo granular aeróbio. A Tabela 1 mostra as principais condições de operação do sistema.

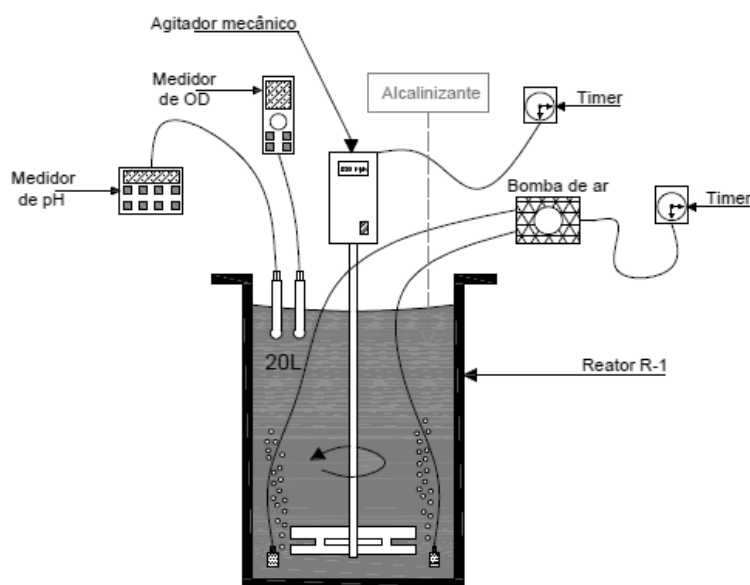


Figura 1: Corte esquemático do sistema de lodo granular aeróbio em bateladas sequenciais

Tabela 1: Resumo das condições de operação do sistema de lodo granular aeróbio

Parâmetros	Etapa I	Etapa 2
Dias de operação	40	40
Volume útil do reator (Litros)	28	28
Vazão de alimentação / ciclo (L/min)	4,7	4,7
Duração de cada ciclo (minutos)	180	180
TDH por ciclo (horas)	5,9	5,9
Descarte de lodo (Litros/dia)	1,4	1,4
Idade do lodo (dias)	20	20
Concentração de OD (mg/L)	1,5-2,0	0,3-0,8
N (amostras)	20	20

3.2. Análises laboratoriais

Os métodos analíticos utilizados foram descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 21th Edition (APHA, 2005). As concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fósforo, serão quantificados em um cromatógrafo de íons (Dionex-100, coluna ASCR2_mm e CSCR2_mm). Os principais parâmetros físico-químicos e a frequência de amostragem realizada são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Programa de monitoramento nos reatores durante as fases I e II.

Variáveis	Unidade	Afluente	Lodo Granular	Efluente
Temperatura	°C	-	Online	-
REDOX	mV	-	Online	-
pH	-	2 x Semana	Online	2 x Semana
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	Online	-
DQO total	mg/L	2 x Semana	-	2 x Semana
Série de sólidos	mg/L	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana
Densidade do grânulo	gSSV/L.grânulo	-	2 x Semana	-
Diâmetro do grânulo	mm	-	2 x Semana	-
VSZ	m/h	-	2 x Semana	-
IVL	mg/g	-	2 x Semana	-
Série nitrogenada	mgN/L	2 x Semana	-	2 x Semana
P-PO ₄ total	mgP/L	2 x Semana	-	2 x Semana
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	2 x Semana	-	2 x Semana
Condutividade e Salinidade	mg/L	2x Semana	2 x Semana	2x Semana
Microbiologia do lodo	-	-	2x Semana	-

4. RESULTADOS

Para validação e padronização do método foram analisadas 10 amostragens com um total de 550 flocos que foram submetidos à análise pelo método clássico e ao método de análise de imagem. Na Tabela 1 podemos evidenciar os resultados médios obtidos se resultaram muito próximos.

Tabela 1: Comparativo entre os dados obtidos pela leitura manual e pelo programa de tratamento de imagem.

Diâmetro do floco (μm) – Lodo Ativado		
Variável	Manual	Programa
Média	60	60
máximo	330	360
mínimo	20	10
DP	0,07	0,07
CV (%)	111	88
AT	0,32	0,34
Flocos analisados	550	

Com os valores obtidos no experimento, construímos a Figura A e B que apresentam os resultados estatísticos da comparação entre os métodos. Na Figura 3-A se observa o valor R^2 da reta de tendência das amostras pontuais $R > 0.83$ com significância estatística $p < 0.280$. Esses valores mostram uma boa aproximação dos resultados o que fica mais evidente quando comparamos estatisticamente as médias obtidas durante todo o experimento na Figura 4. Observa-se o valor R^2 da reta de tendência das médias acima de $R > 0.95$ com significância estatística $p < 0.1$ com intervalo de confiança de 95%. Na figura 3-B se observa a correlação dos dados e a distribuição pontual do tamanho do floco. A distribuição do diâmetro médio obtido pelo ImageJ foram relativamente menores do que aqueles obtidos pela metodologia tradicional, o que pode indicar: o Image J consegue medir flocos de menor diâmetro ou o procedimento de processamento de imagem reduz o diâmetro equivalente do floco, o que justificaria, a priori, o deslocamento da curva de distribuição do tamanho de flocos para a esquerda.

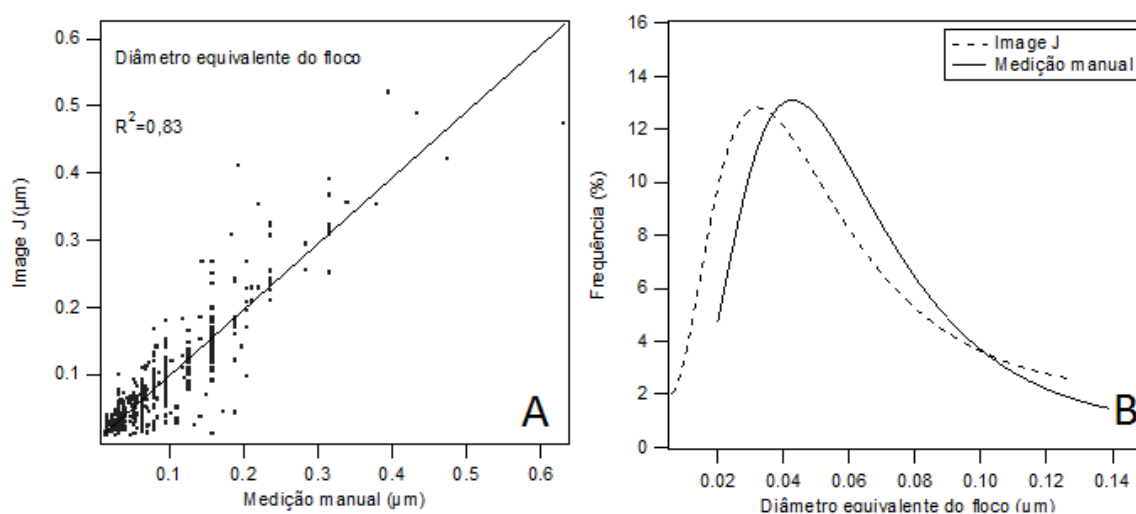


Figura 3: Resultados dos testes estatísticos de comparação do método manual

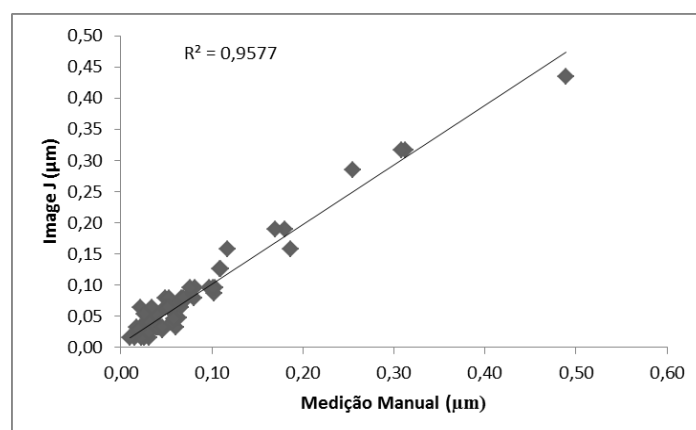


Figura 4: Resultados experimentais de comparação entre o método clássico e de imagem

Testes de repetitividade e reprodutibilidade

Na Figura 5 A e B são apresentados os testes de repetitividade e reprodutibilidade do programa ImageJ. Observa-se o valor R^2 da reta de tendência das médias acima de $R > 0.95$ com significância estatística $p < 0.1$ e intervalo de confiança superior 95% para ambos os testes mostrando que o programa é confiável e pode ser aplicado para determinação das características morfológicas dos flocos.

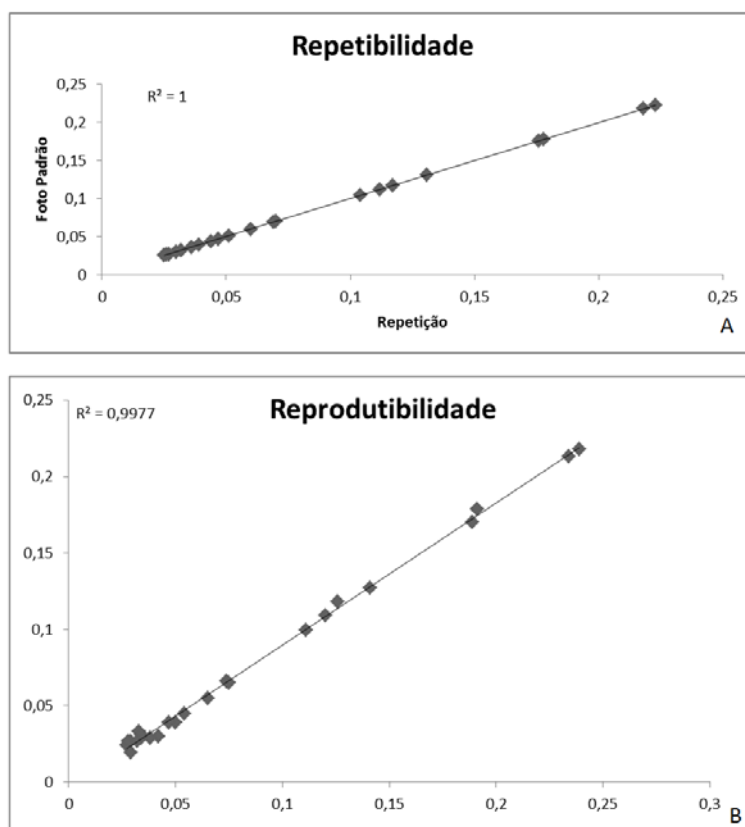


Figura 5: Resultados experimentais de repetitividade e reprodutibilidade do imageJ

CONCLUSÕES

O principal resultado foi a validação e a padronização do método de caracterização de flocos de lodo ativado por análise de imagem, através do software gratuito ImageJ. O método mostrou-se seguro e de fácil aplicação, para quantificação e determinação do diâmetro dos flocos de lodo ativado mostrando-se ser uma ferramenta eficiente e eficaz na prática. Pretende-se ainda, em estudos posteriores a utilização do software para caracterização de filamentos das bactérias filamentosas, onde, possibilitará o uso dessa ferramenta de forma eficiente e prática no monitoramento de ETE.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ADAV S.S., LEE D.J., SHOW K.Y. AND TAY J.H. (2008). Aerobic granular sludge: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 26(5), 411-423.
2. APHA, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA.
3. ARROJO B., MOSQUERA-CORRAL A., GARRIDO J.M. AND MENDEZ R. (2004). Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors. *Water Research*, 38(14-15), 3389-3399.
4. BERNET N., SANCHEZ O., CESBRON D., STEYER J.P. AND DELGENÈS J.P. (2005). Modeling and control of nitrite accumulation in a nitrifying biofilm reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 24(2), 173-183.
5. BEUN J.J., HENDRIKS A., VAN LOOSDRECHT M.C.M., MORGENROTH E., WILDERER P.A. AND HEIJNEN J.J. (1999). Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. *Water Research*, 33(10), 2283-2290. Campos J.L.,
6. FIGUEROA M., MOSQUERA-CORRAL A. AND MENDEZ R. (2009). Aerobic sludge granulation: state-of-the-art. *International Journal of Environmental Engineering*, 1, 136-151.
7. CASSIDY D.P. AND BELIA E. (2005). Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge. *Water Research*, 39(19), 4817-4823.
8. DE BRUIN L.M.M., DE KREUK M.K., VAN DER ROEST H.F.R., UIJTERLINDE C. AND VAN LOOSDRECHT M.C.M. (2004). Aerobic granular sludge technology: an alternative to activated sludge? *Water Science and Technology*, 49(11-12), 1-7.
9. DE KREUK M.K. and VAN LOOSDRECHT M.C.M. (2006). Formation of aerobic granules with domestic sewage. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 132(6), 694-697.
10. LIU Y.Q., MOY B., KONG Y.H. AND TAY J.H. (2010b). Formation, physical characteristics and microbial community structure of aerobic granules in a pilot-scale sequencing batch reactor for real wastewater treatment. *Enzyme and Microbial Technology*, 46(6), 520-525.
11. NI B.-J., XIE W.-M., LIU S.-G., YU H.-Q., WANG Y.-Z., WANG G. and DAI X.-L. (2009). Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater. *Water Research*, 43(3), 751-761.
12. SCHWARZENBECK N., ERLEY R. AND WILDERER P.A. (2004b). Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter. *Water Science and Technology*, 49(11-12), 41-46.
13. YILMAZ G., LEMAIRE R., KELLER J. and YUAN Z. (2008). Simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal from nutrient-rich industrial wastewater using granular sludge. *Biotechnology and Bioengineering*, 100(3), 529-541
14. ZHU J.R. and WILDERER P.A. (2003). Effect of extended idle conditions on structure and activity of granular activated sludge. *Water Research*, 37(9), 2013-2018.