

# Influência do parâmetro idade do lodo na operação de um reator em batelada sequencial com lodo granular aeróbio




## *Influence of the sludge age parameter on the operation of a sequential batch reactor with granular aerobic sludge*




- **Data de entrada:**  
02/08/2019
- **Data de aprovação:**  
26/02/2020

Fábio Campos<sup>1\*</sup> | Rodrigo de Freitas Bueno<sup>2</sup> | Roque Passos Piveli<sup>3</sup> | Fernanda Cunha Maia<sup>3</sup> | Allan Costa Nunes<sup>3</sup> | Natália Rodrigues Guimarães<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.053>

### ORCID ID

Campos F  <https://orcid.org/0000-0002-8117-789X>  
Bueno RF  <https://orcid.org/0000-0002-6274-3278>  
Piveli RP  <https://orcid.org/0000-0003-0653-0603>

Maia FC  <https://orcid.org/0000-0001-5381-2211>  
Nunes AC  <https://orcid.org/0000-0003-1969-3719>  
Guimarães NR  <https://orcid.org/0000-0002-2682-8303>

### Resumo

O presente estudo avaliou em duas fases um Reator em Batelada Sequencial Granular Aeróbio, que na 1ª fase operou sem o controle da idade do lodo e, na 2ª fase, com controle desse parâmetro. Os resultados finais demonstraram que, para cargas volumétricas aplicada da ordem de 1,8 a 1,9 kgDQO/m<sup>3</sup>.d; 0,21 a 0,28 kgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>.d e 0,02 a 0,025 kgP-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/m<sup>3</sup>.d, foi possível gerar um efluente final com valores semelhantes em termos de matéria orgânica e nutrientes em ambas as fases após o período de aclimação (ciclo com 43 min de enchimento/descarte; 127 min reação e 10 min sedimentação), obtendo-se DQO<sub>sol</sub> média de 52±8,0 (80% remoção) e 52±20,0 mgO<sub>2</sub>/L (86% remoção); nitrogênio amoniacal de 6±3,0 (89% de conversão) e 9±5,0 mgN/L (87% de conversão) e fósforo total de 5±1,0 (35% remoção) e 5±0,5 mgP/L (37% remoção), na 1ª e 2ª fase respectivamente. No que tange à granulação da biomassa, com base na relação IVL<sub>30</sub>/IVL<sub>10</sub>, e na velocidade de sedimentação, verificou-se que não ocorreu a efetiva granulação do conteúdo do reator em nenhuma das fases; contudo, o controle intencional da idade do lodo conferiu uma maior estabilidade na concentração de biomassa presente no reator e uma menor perda de sólidos no efluente final, com valores médios de sólidos em suspensão voláteis na 1ª fase de 77±48 mgSSV/L, e na 2ª fase, 51±28 mgSSV/L, evidenciando a vantagem de sua aplicação na operação desse processo.

**Palavras-chave:** Granulação aeróbia. Remoção simultânea de matéria orgânica e nutrientes. Sedimentação.

### Abstract

*The present study evaluated in two phases an Aerobic Granular Sequential Batch Reactor, which in the 1<sup>st</sup> phase operated without control of the age of the sludge and, in the 2<sup>nd</sup> phase, with control of this parameter. The final results showed that for average applied volumetric loads of 1.80 to 1.90 kgDQO/m<sup>3</sup>.d; 0.21 to 0.28 kgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>.d and 0.02 to 0.025 kgP-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/m<sup>3</sup>.d, it was possible to generate a final effluent with similar values in terms of organic matter and nutrients in both phases after the acclimation period (cycle 43 filling/disposal, 127 min reaction and 10 min*

<sup>1</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP (EACH-USP) - São Paulo - São Paulo - Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do ABC - UFABC - Santo André - São Paulo - Brasil.

<sup>3</sup> Escola Politécnica da USP - São Paulo - São Paulo - Brasil.

\* **Autor correspondente:** fcampos@usp.br.

sedimentation), obtaining an average  $COD_{soluble}$  of  $52 \pm 8.0$  (80% removal) and  $52 \pm 20.0$   $mgO_2/L$  (86% removal); ammoniacal nitrogen of  $6 \pm 3.0$  (89% conversion) and  $9 \pm 5.0$   $mgN/L$  (87% conversion) and total phosphorus of  $5 \pm 1.0$  (35% removal) and  $5 \pm 0.5$   $mgP/L$  (37% removal) in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> phase respectively. Regarding the granulation of the biomass, based on the  $IVL_{30}/IVL_{10}$  ratio, and the sedimentation velocity, it was verified that the reactor content was not effectively granulated in any of the phases; however, the intentional control of the age of the sludge gave a greater stability in the reactor biomass concentration and a lower loss of solids in the final effluent, with average values of volatile suspended solids in the first phase of  $77 \pm 48$   $mgSSV/L$ , and in the 2<sup>nd</sup> phase,  $51 \pm 28$   $mgSSV/L$ , showing the advantage of its application in the operation of this process.

**Keywords:** Aerobic granulation. Simultaneous removal of organic matter and nutrients. Sedimentation.

## 1 INTRODUÇÃO

A premente busca nas atualizações científicas e tecnológicas pertinentes aos processos de tratamento de esgoto é consequência da necessidade do desenvolvimento do trabalho acadêmico, que agrega conhecimento nacional sob o tema, bem como da urgente demanda em processos cada mais compactos e eficientes, tanto em termos de remoção de carga orgânica como de nutrientes. Nesse contexto, foi descoberta a possibilidade de obter grânulos aeróbios sem a presença de material suporte com o emprego de reatores em batelada sequenciais (RBS) (DE KREUK, NISHIDA e VAN LOOSDRECHT, 2007). Grânulos biológicos aeróbios podem ser definidos como agregados microbianos que não coagulam sob baixa tensão hidrodinâmica e que apresentam velocidade de sedimentação significativamente maior do que flocos biológicos; em geral, apresentam forma esférica, cujo diâmetro pode variar de 0,2 a 6,0 mm (GAO et al., 2011; ADAV et al., 2008; DE KREUK et al., 2005). O processo de granulação consiste em uma seleção de flocos de maior densidade que permanecem no reator quando são aplicados baixos tempos de sedimentação para que, posteriormente, possam ser convertidos em grânulos maduros (DE KREUK, NISHIDA e VAN LOOSDRECHT, 2007; TAY et al., 2001).

Nessa perspectiva, o desenvolvimento do reator de lodo granular aeróbio desponta como uma alternativa atraente para o tratamento de esgoto,

por permitir que ocorra em seus grânulos, simultaneamente, mineralização de alta carga de matéria orgânica, processos de nitrificação e desnitrificação, remoção biológica de fósforo; além da demanda por uma área quatro vezes menor que a requerida por um RBS convencional (WINKLER et al., 2017).

Entretanto, boa parte das pesquisas conduzidas sobre o tema considera como inerente ao processo de granulação o arraste de sólidos em suspensão no efluente final, partindo de tal perda para a determinação da idade do lodo ( $\theta_c$ ) no reator. A Tabela 1 apresenta alguns trabalhos e como se posicionaram perante a adoção ou não do parâmetro idade do lodo.

**Tabela 1** - Ocorrência do controle do parâmetro Idade do Lodo em artigos científicos

| Referência                             | Relação com o parâmetro Idade do lodo |
|--|---------------------------------------|
| BASSIN, TAVARES e DEZOTTI, 2019        | Cita controle na 2ª fase do estudo    |
| DANTAS, 2018                           | Não menciona                          |
| Van DIJK, PRONK e van LOOSDRECHT, 2018 | Não menciona                          |
| PRONK et al., 2015                     | Não menciona                          |
| PRONK et al., 20152                    | Não menciona                          |
| WAGNER et al., 2015                    | Cita, mas não controla                |
| MOUSTAFA, 2014                         | Não menciona                          |
| FILALI et al., 2012                    | Não menciona                          |
| WAGNER, 2011                           | Não menciona                          |
| Di IACONI et al., 2007                 | Não menciona                          |
| ARROJO et al., 2004                    | Não menciona                          |
| YANG, TAY e LIU, 2003                  | Não menciona                          |
| BEUN, VAN LOOSDRECHT e HEIJNEN, 2002   | Cita, mas não controla                |
| DANGCONG et al., 1999                  | Não menciona                          |

O efetivo controle do parâmetro idade do lodo é de grande relevância para processos biológicos com retenção de biomassa, e sua imposição é fundamental em sistemas que visem à remoção simultânea de nitrogênio e fósforo, posto que em decorrência de sua escolha será possível promover o equilíbrio de condições de permanência celular que satisfaça tanto à comunidade nitrificante como aos organismos acumuladores de fósforo (PAO), já que a principal rota de retirada de fósforo do sistema, por meio do lodo excedente, exige idades do lodo baixas, e, por sua vez, os organismos nitrificantes necessitem de idades do lodo mais elevadas, em função de sua taxa de reprodução ser reduzida (VON SPERLING, 2002).

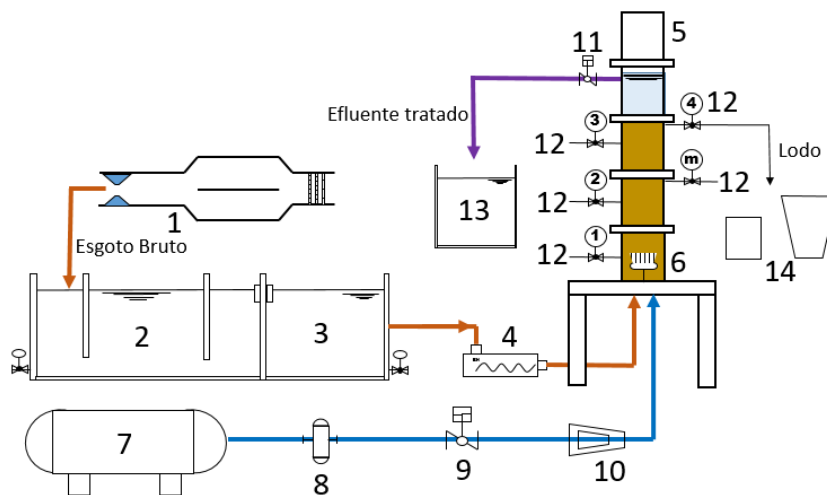
Isso posto, a despeito do potencial que se vislumbra com o emprego dessa tecnologia para tratamento de esgoto e, conseqüentemente, proteção dos recursos hídricos, faz-se necessária a investigação e compreensão da influência que o parâmetro idade de lodo pode oferecer tanto na partida do reator como na sua operação sob regime estabilizado. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da imposição e controle do parâmetro idade do lodo como forma de controlar essa perda de sólidos via efluente, além de otimizar os processos bioquímicos de remoção de matéria orgânica e nutrientes.

## 2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida por meio de um experimento em escala piloto, sendo posto em operação um sistema de tratamento de esgoto dimensionado para operar como reator de batelada sequencial granular aeróbio (RBSGA), confeccionado em acrílico, levando-se em conta a importância da observação visual a respeito do fenômeno da granulação do lodo. O experimento foi realizado em uma região de clima do tipo BSh (classificação de Köppen e Geiger) com temperatura média de 24,4°C e pluviosidade média anual de 469 mm (Climate-Data.org).

O estudo foi dividido em duas fases, a primeira compreendendo a operação do reator sem imposição e controle da idade do lodo durou 280 dias, e a segunda fase, com imposição e controle da idade do lodo, foi monitorada por 160 dias.

O esgoto sanitário que alimentou a unidade piloto, em ambas as fases, foi proveniente de um conjunto residencial universitário com contribuição de um restaurante alocado em suas dependências, sendo recalcado para a área em que se encontrava a unidade piloto por meio de uma estação elevatória (EE), a qual consistia em um poço de sucção executado em concreto armado com duas bombas submersíveis operando intermitentemente. Na chegada do esgoto à área da pesquisa, o mesmo era submetido a um tratamento preliminar composto por grade mecanizada e caixa de areia, sendo em seguida encaminhado por meio de uma calha parshall até uma caixa de separação água e óleo e, por fim, para o poço de sucção de onde era derivado e aplicado ao reator por meio de uma bomba de deslocamento positivo. O reator possuía 0,50 m de diâmetro interno e 5,0 m de altura total, com 4,2 m de profundidade útil, perfazendo uma relação altura/diâmetro igual a 8,4. Na base do reator tinha-se a entrada e distribuição do esgoto advindo do tratamento preliminar, assim como presença um difusor de bolhas finas de membrana, cedido pela empresa AQUAMEC, ligado a um compressor de ar de forma a garantir o suprimento de oxigênio dissolvido necessário ao processo. A retirada do efluente tratado era realizada de forma conjunta com a etapa de alimentação e descarte, fazendo o efluente sair pela parte superior do reator; tal estratégia permitiu subtrair a fase de descarte do ciclo, incrementando esse tempo para a fase de aeração. As medições de pH, oxigênio dissolvido e temperatura, foram realizadas por meio da coleta pontual de amostras do reator em mistura completa com o esgoto em tratamento, durante o período de aeração do mesmo. A Fig. 1 mostra o esquema do reator em escala piloto



1 - Canal de gradeamento, caixa de areia e calha parshall; 2 - SAO - Separador Água e Óleo; 3 - Poço de Sucção; 4 - Bomba de alimentação de esgoto bruto; 7 - Compressor; 8 - Filtro Regulador; 9 - Válvula Solenoide de Ar; 10 - Rotâmetro, 11 - Válvula Solenoide de saída do efluente tratado; 12 - Pontos de amostragem de lodo; 13 - Caixa de Coleta do Efluente Tratado; 14 - Recipientes de Coleta do Descarte Intencional de Lodo.

**Figura 1** - Fluxograma do Esquema Operacional da Unidade Piloto

Em ambas as fases, o reator manteve-se com a chave que controla o nível de lodo/esgoto posicionada de forma que a altura operacional fosse mantida em 4,2 m, perfazendo um volume útil (VU) igual a 0,825 m<sup>3</sup>. Inicialmente, adotou-se a relação A/M de 0,6 kgDBO/kgSSV.d, o que implica, portanto, em um volume de enchimento por batelada de 0,44 m<sup>3</sup>, fazendo com que a cada ciclo de operação a troca volumétrica (Venchimento/VU) fosse de 53%. Deve-se ressaltar que esses parâmetros foram sofrendo variações de acordo com o andamento da pesquisa. Com o objetivo de aperfeiçoar os custos advindos da introdução de ar no reator, mas sem prejudicar o processo de granulação no que diz respeito à influência da hidrodinâmica e das forças de cisalhamento, com base nos trabalhos de Tay e colaboradores (LIU, Y.Q. e TAY, 2006), aplicou-se uma vazão de ar de 200 L/min, o que corresponde a uma velocidade superficial ascensional de 1,7 cm/s, com níveis de OD variando entre 5 e 6 mgO<sub>2</sub>/L. O ciclo operacional imposto, monitorado por um controlador automatizado, possuía 3 horas de duração total, sendo destinados inicialmente 43 minutos para a fase do enchimento/descarte (entrada

de esgoto/saída de efluente), 117 minutos para a reação (aeração) e 20 minutos para a fase de sedimentação, sendo que esse tempo foi progressivamente diminuído para 15 minutos e, finalmente, 10 minutos. Em cada modificação no tempo de sedimentação, a parcela reduzida nessa etapa era transferida para a etapa de reação.

Como inóculo do processo, foi utilizado, em ambas as fases do estudo, lodo proveniente de um sistema de lodos ativados localizado na Estação de Tratamento de Esgoto Jesus Netto (Sabesp).

Durante a 2ª fase do estudo, a imposição e o controle da idade do lodo no processo variou entre 6 e 10 dias, e o lodo retirado intencionalmente para atender a essa variável era feito pela válvula número 4 (Fig. 1, ponto de amostragem de lodo nº 12), sempre durante o período da aeração.

Tanto o esgoto bruto como o efluente final foram caracterizados pela determinação das variáveis Demanda Química de Oxigênio (DQO) solúvel, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo (total). O lodo do reator foi caracterizado em termos de Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) e suas

propriedades de sedimentabilidade foram avaliadas por meio de ensaios de índice volumétrico do lodo (IVL) nas parcelas 5, 10 e 30 minutos e determinação da velocidade por meio da equação de Vesilind. Todas as metodologias analíticas utilizadas seguiram à 21ª edição do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização do esgoto afluente à unidade piloto

Em relação à composição do esgoto doméstico aplicado à unidade piloto ao longo das duas fases do estudo, a Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos para cada variável monitorada.

**Tabela 2** - Caracterização do Esgoto Afluente à Unidade Piloto

| Variável                               | 1ª fase - média e desvio (n=20) | 2ª fase - média e desvio (n=30) |
|--|---------------------------------|---------------------------------|
| DQO (mgO <sub>2</sub> /L)              | 607±159                         | 726±184                         |
| DBO (mgO <sub>2</sub> /L)              | 398±80                          | 413±85                          |
| NTK (mgN/L)                            | 99±28                           | 85±14                           |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mgN/L) | 66±17                           | 58±11                           |
| P total (mgP/L)                        | 8±3                             | 7,4±1,6                         |
| P solúvel (mgP/L)                      | 5±1                             | 5,1±1,2                         |
| Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)  | 264±74                          | 226±27,8                        |
| pH                                     | 7,1±0,3                         | 6,9±0,3                         |

Partindo-se das vazões médias aplicadas em cada fase, 2,83±04 m<sup>3</sup>/d e 2,50±0,4 m<sup>3</sup>/d, respectivamente, foi possível impor ao processo cargas volumétricas médias da ordem de 1,90 kgDQO/m<sup>3</sup>.d; 0,28 kgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>.d e 0,02 kgP-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/m<sup>3</sup>.d, na 1ª fase, e de 1,80 kgDQO/m<sup>3</sup>.d; 0,21 kgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>.d e 0,025 kgP-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/m<sup>3</sup>.d, na 2ª fase, mantendo-se, portanto dentro de faixas bem semelhantes. Deve-se ressaltar que tais valores são próximos aos utilizados por diversos autores em trabalhos semelhantes (ADAV et al., 2008; FILALI et al., 2012; GUIMARÃES, 2017; JESUS, 2016; LI, J. et al., 2007; SCHWARZENBECK et al., 2004; WAGNER e DA COSTA, 2013).

#### 3.2 Monitoramento das variáveis operacionais

A biomassa presente no reator manteve-se dentro de valores típicos para processos biológicos em suas variáveis pH e temperatura durante todo o período do estudo, sendo que foi possível

operar o processo com pH em torno de 7,1±0,3 e temperatura de 21,2±2,8 °C na 1ª fase, e com pH de 6,9±0,3 e temperatura de 22,3±2,4 °C na 2ª fase. Os valores de OD mantiveram-se estáveis das duas fases, situando-se em torno de 80% da saturação, gerando uma velocidade superficial ascensional em torno de 1,7 cm/s conforme mencionado anteriormente, com algumas variações aleatórias em função do funcionamento do compressor, dessa forma, atendendo-se ao impositivo do favorecimento de altas forças hidrodinâmicas de cisalhamento fundamentais na formação de grânulos (ADAV et al., 2009; DE KREUK et al., 2005). O tempo de detenção hidráulica (TDH) observado na primeira fase do estudo foi de 7,2±1,1 h e para a segunda fase, de 7,9±0,0,9 h, próximos das 6 h recomendados por Beun e colaboradores (BEUN et al., 1999) para seleção de biomassa com alta velocidade de sedimentação e otimização do processo de granulação. Por fim, a relação A/M observada ao longo de todo o período de monitoramento manteve-se em 0,6±0,2 Kg DBO/Kg SSV.d.

### 3.3 Aspectos da perda de sólidos no efluente durante o processo de granulação

Durante a primeira fase do estudo, o RBSGA foi mantido sem controle da idade do lodo, sendo que o crescimento de biomassa no interior do reator foi controlado unicamente pela perda de sólidos observada durante o descarte do efluen-

te final; já na segunda fase, com a idade do lodo imposta e controlada, houve a retirada diária e manual do lodo de excesso, levando-se em conta os sólidos arrastados junto com o efluente final para obtenção do volume de lodo a ser descartado do reator. A Fig. 2 apresenta a série histórica da variável SSV para o lodo do reator e para o efluente final e, ambas as fases do estudo.

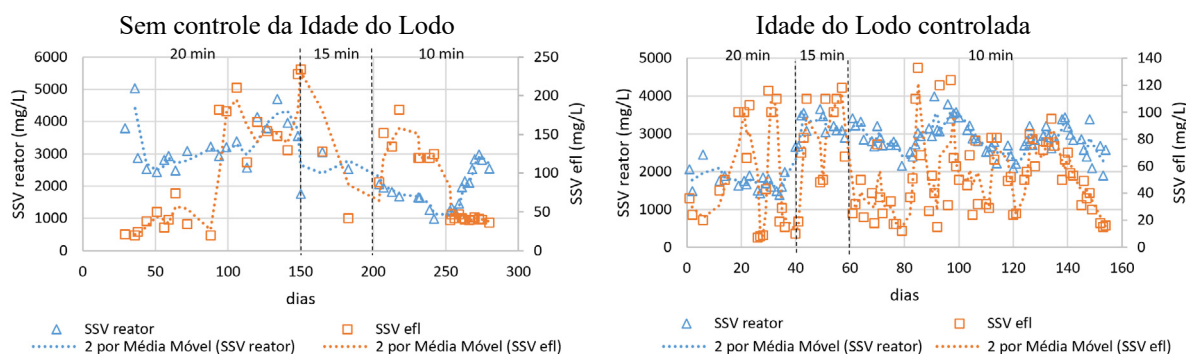


Figura 2 - Série histórica da variável SSV (lodo e efluente final) - 1ª Fase

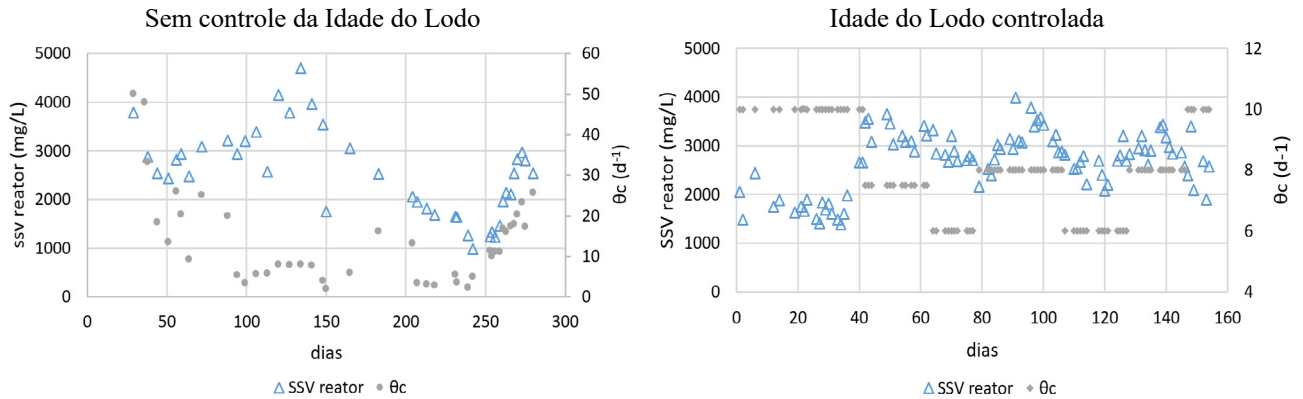
Na 1ª fase de estudo, sem controle da idade do lodo, observa-se entre os dias 150 e 250 um decréscimo nos valores de SSV da biomassa, indicando uma possível desintegração de grânulos, diferentemente do comportamento verificado durante a 2ª fase, com imposição e controle da idade do lodo, onde se percebe uma maior estabilidade na concentração de SSV presente no reator, assim como perdas menos expressivas de sólidos junto ao efluente final. Pode-se estimar que, durante o período em que o tempo de sedimentação foi progressivamente diminuído (20 e 15 minutos), houve um arraste médio para o efluente de  $102 \pm 60$  mg/L na 1ª fase, contra  $60 \pm 39$  mg/L na 2ª fase e, ao atingir o regime estabilizado (10 minutos), as concentrações médias de sólidos no efluente final foram de  $77 \pm 48$  mg/L e  $51 \pm 28$  mg/L, respectivamente.

Ainda em relação à biomassa presente no conteúdo do reator, na 1ª fase do estudo, sua concen-

tração era função unicamente da perda de sólidos pelo efluente, isto é, permitiu-se o crescimento do lodo tendo como único controle a própria dinâmica do processo, do qual resultou numa grande variação da idade do lodo (2 a 50 dias), diferentemente da 2ª fase onde, mediante a retirada intencional de lodo, fora imposta e controlada essa variável (entre 6 e 10 dias), de forma que a concentração de sólidos no reator era função dessa operação.

Isso pode evidenciar que, para efeito da partida e operação do RBSGA, o controle sistemático da idade do lodo é relevante, podendo evitar a descarga de grandes quantidades de sólidos em suspensão no corpo receptor, bem como reduzindo o período global até a estabilização do processo por conta da maior estabilidade conferida à biomassa no reator.

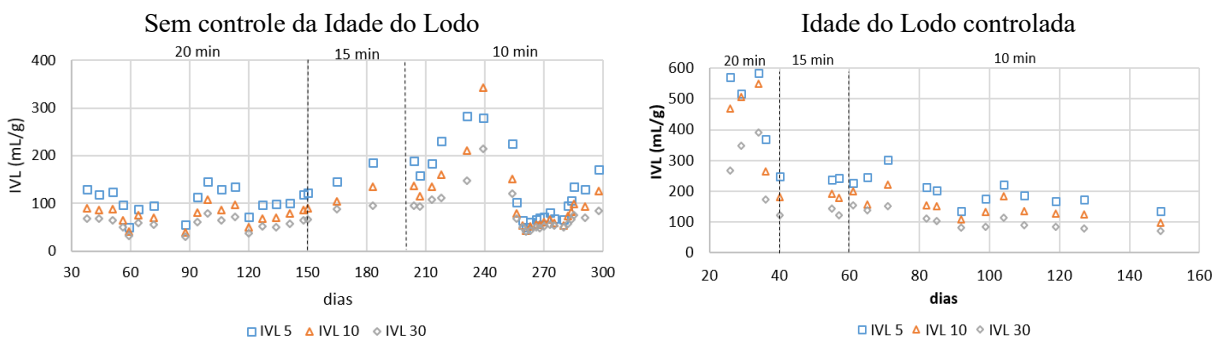
A Fig. 3 ilustra a série histórica da variação do SSV da biomassa e a idade do lodo obtida ao longo do estudo.



**Figura 3** - Série histórica da variável SSV (lodo e efluente final) - 2ª Fase

No que tange ao processo de granulação, é possível avaliar indiretamente sua evolução por meio das características de sedimentabilidade do lodo, as quais podem ser obtidas por meio de ensaio de IVL (METCAL & EDDY, 2005); contudo, em se tratando de lodo granular, o ensaio tradicional normatizado em 30 minutos pode não representar de forma adequada a dinâmica de interação dos grânulos com o líquido em mo-

vimento, uma vez que estes sedimentam muito mais rápido do que a biomassa floculada. Uma opção para adaptar o método às condições físicas da biomassa granular é a determinação do volume do lodo após 5, 10 e 30 minutos de sedimentação (SCHWARZENBECK et al., 2004). A Fig. 4 apresenta a série histórica das medidas de IVL nas duas fases do estudo.



**Figura 4** - Série histórica das medidas de IVL 5, 10 e 30

Pôde-se observar ao longo do tempo o melhor comportamento da sedimentabilidade da biomassa quando se verificou a imposição e controle da idade do lodo, evidenciando a progressiva seleção de partículas mediante o aumento da pressão hidráulica traduzida pela diminuição do tempo de sedimentação. Entretanto, no que tange aos valores finais do estudo, a 1ª fase apresentou  $IVL_{30}$  igual a 80 mL/g e a 2ª fase,  $IVL_{30}$  de 70 mL/g, isto é, valores próximos e classificados como “bom” (SANTOS et al., 2016).

Tomando por base a relação  $IVL_{30}/IVL_{10}$  obtida no período com a configuração operacional completa (ciclo com 10 minutos de sedimentação), obtiveram-se os valores de 80% e 70%, respectivamente para a 1ª e 2ª fase, ambos abaixo dos 90% preconizados pela literatura para uma completa granulação (de KREUK, KISHIDA e LOOS-DRECHT, 2007; LIU e TAY, 2007; SCHWARZENBECK et al., 2004); ainda em relação à investigação da biomassa, os ensaios para determinação da

velocidade por meio da equação de Vesilind, para esse mesmo período, forneceram os valores médios de 6,0 m/h e 9,4 m/h, respectivamente, ambos considerados “médios” de acordo com van Haandel e Marais (1999) e bem abaixo do comumente encontrado para lodo aeróbio granular (25 a 70 m/h) (QUIN, LIU e TAY, 2004).

Tal fato, contudo, pode não ter uma relação direta com o parâmetro idade do lodo, uma vez que a alteração dessa variável durante a 2ª fase do estudo não implicou em modificação nos valores obtidos para a relação  $IVL_{30}/IVL_{10}$ , como pode ser demonstrado na Fig. 5.

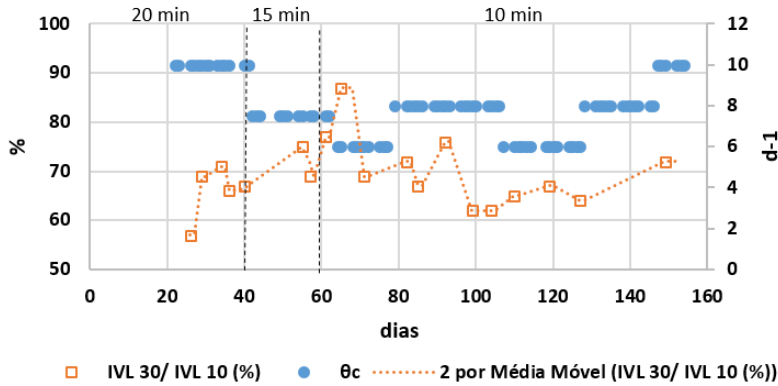


Figura 5 - Relação  $IVL_{30}/IVL_{10}$  e variação da idade do lodo (2ª fase)

### 3.4 Monitoramento do RBSGA em regime estabilizado

Admitindo-se o último período de operação em cada fase como o regime a ser mantido (ci-

clo com 10 minutos de sedimentação), as Fig. 6, 7 e 8 ilustram as séries históricas e os box-plot de eficiência de cada fase para as variáveis DQOsolúvel, nitrogênio amoniacal e fósforo total.

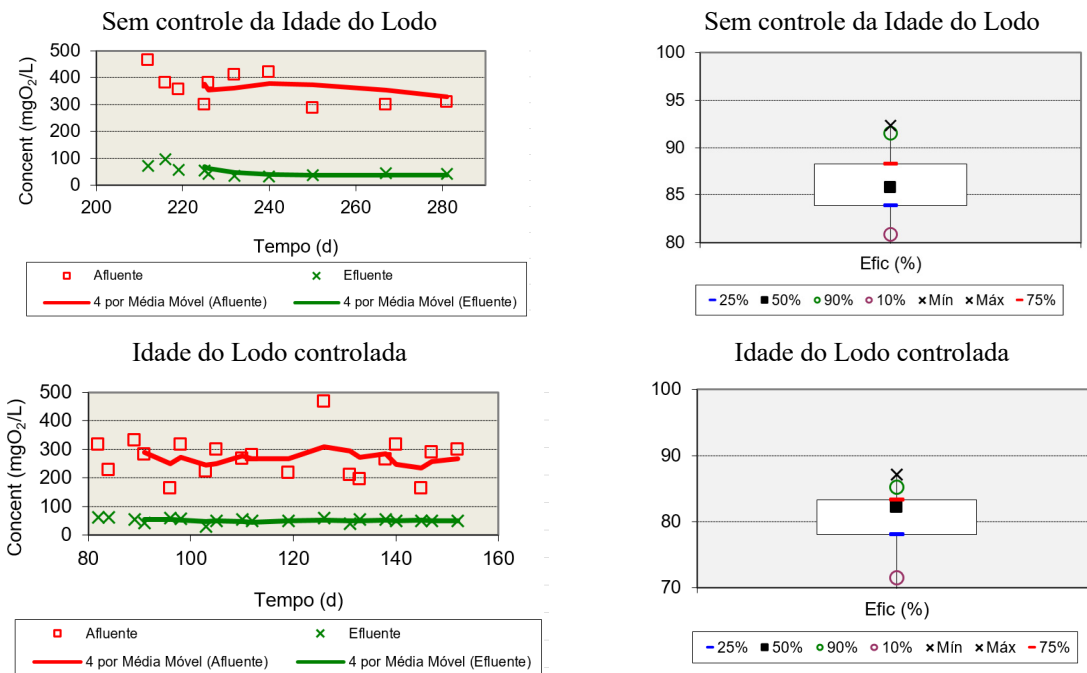


Figura 6 - Série histórica e box-plot da eficiência de remoção de  $DQO_{sol}$



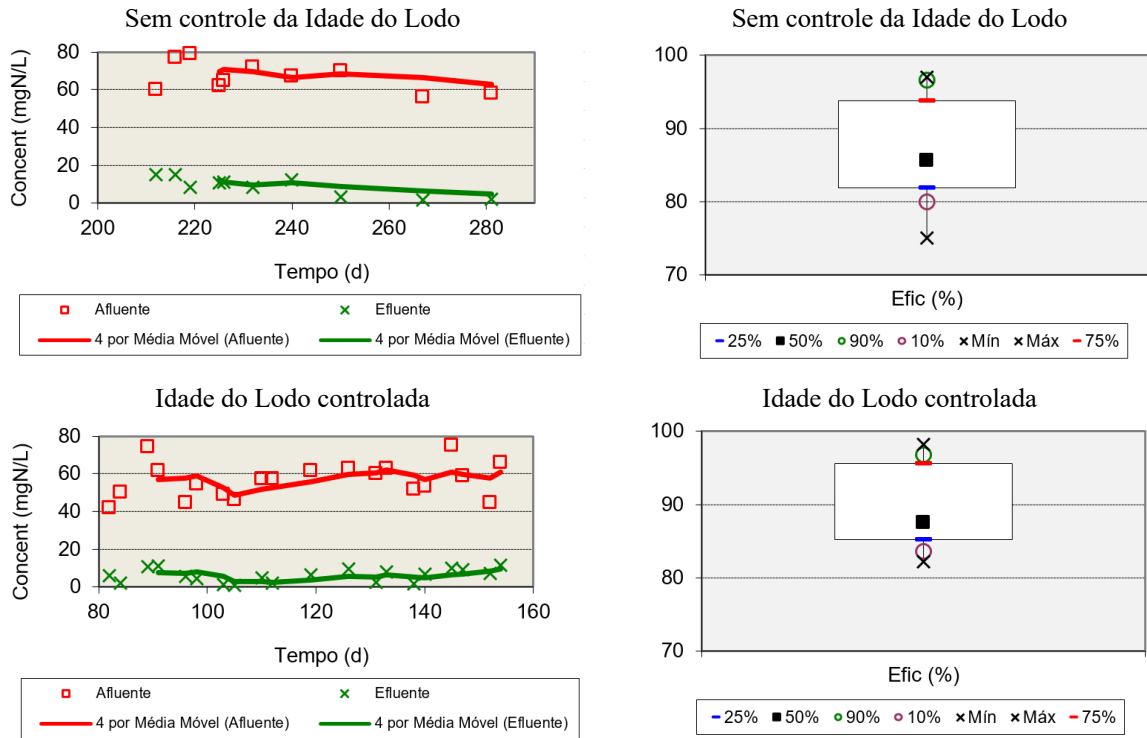


Figura 7 - Série histórica e box-plot da eficiência de conversão de Amônia

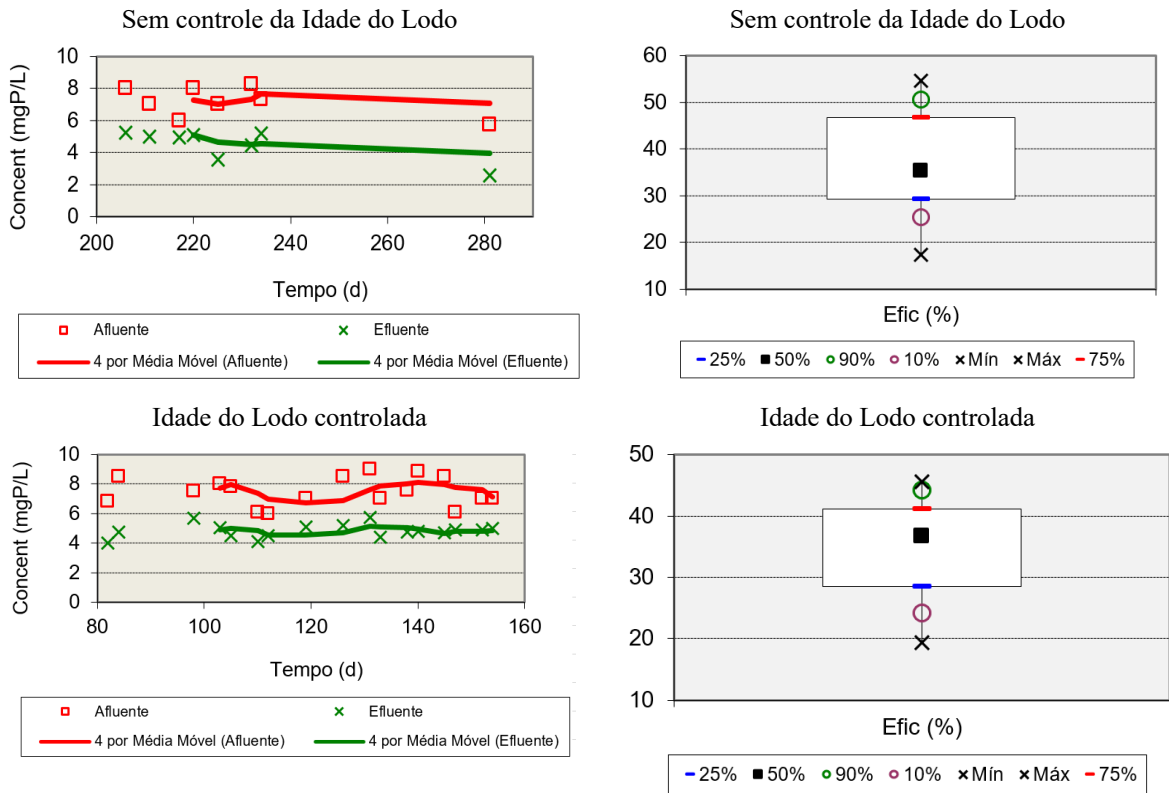


Figura 8 - Série histórica e box-plot da eficiência de remoção de Fósforo total

De acordo com a Fig. 6, pode-se verificar que a remoção de matéria orgânica solúvel ocorreu de forma satisfatória em ambas as fases, produzindo um efluente final com valores médios de  $DQO_{sol}$  de  $52 \pm 20$   $mgO_2/L$  e  $52 \pm 8$   $mgO_2/L$ , respectivamente. O mesmo comportamento foi observado em relação à conversão de nitrogênio amoniacal, como pode ser visto na Fig. 7, gerando um efluente final com  $9 \pm 5$   $mgN/L$  e  $6 \pm 3$   $mgN/L$ , indicando que o processo de nitrificação ocorreu em ambas as fases, independentemente do controle ou não da idade do lodo. Em relação ao fósforo, é possível notar uma baixa eficiência de remoção em ambas as fases do estudo como apresentado na Fig. 8, com valores médios no efluente final de  $5 \pm 1$   $mgP/L$  e  $5 \pm 0,5$   $mgP/L$ . Esse mau desempenho pode ser explicado com base na ineficiente granulação da biomassa, como discutido no item 3.3, uma vez que os organismos acumuladores de fósforo (PAO) necessitam de um ambiente anaeróbico para a conversão do substrato em polímeros intracelulares como o polihidroxialcanatos (PHA) ou polihidroxibutiratos (PHB) para posterior uso na fase de reação no ciclo de operação e efetiva assimilação de fósforo; dessa forma, a inexistência de uma estrutura granular oferecendo um ambiente interno anaeróbico, junto com os altos valores de OD, pode ter dificultado a ação desses microrganismos, prejudicando a absorção desse nutriente (BASSIN, 2012; de KREUK, 2007).

Isso posto, observa-se que, apesar das melhores condições proporcionadas pela imposição da idade do lodo para estabilidade da biomassa e controle da perda de sólidos com o efluente final, a remoção de DQO solúvel e a nitrificação ocorreram também satisfatoriamente sem que este controle tenha sido exercido para as condições da 1ª fase.

#### 4 CONCLUSÕES

À luz dos resultados desta pesquisa, o controle da idade do lodo mediante descargas intencionais da fração excedente de lodo demonstrou ser procedimento interessante no sentido de reduzir as quantidades de sólidos descarregadas no corpo receptor durante a partida e operação de reatores com lodo granular aeróbico, bem como para oferecer uma maior estabilidade na concentração de biomassa presente no reator.

A avaliação da relação IVL30/IVL10 como indicativo do processo de granulação não apresentou diferenças que permitam constatar a influência do parâmetro idade do lodo na formação de grânulos, bem como a análise da eficiência do processo, em termos de remoção de matéria orgânica e nutrientes; também não se demonstraram diferenças significativas que permitam constatar a mesma vantagem em impor e controlar tal parâmetro.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e à Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro através do projeto Fapesp-Sabesp nº 2017/04417-4.

#### 6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

#### 7 REFERÊNCIAS

- ADAV, Sunil S. e colab. Aerobic granular sludge: Recent advances. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 5, p. 411–423, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.05.002>, 2008.
- APHA/AWWA/WEF, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22a Edição, Washington DC.2012.
- ARROJO, B.; MOSQUERA-CORRAL, A.; GARRIDO, J.M.; MÉNDEZ, R., Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing

- batch reactors. **Water Research**, vol. 38, p. 3389-3399, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.05.002>, 2004.
- BASSIN, J.P.; TAVARES, D.C.; BORGES, R.C.; DEZOTTI, M., Development of aerobic granular sludge under tropical climate conditions: The key role of inoculum adaptation under reduced sludge washout for stable granulation. **Journal of Environmental Management**, vol. 230, p. 168-182, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.072>, 2019.
- BASSIN, J. P. **Remoção biológica de nutrientes em sistemas compactos e estudo da diversidade microbiana por técnicas de biologia molecular**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- BEUN, J.J e colab. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. **Water Research**, v. 33, n. 10, p. 2283–2290, DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(01\)00250-0](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(01)00250-0), 1999.
- BEUN, J.J.; van LOOSDRECHT, M.C.M.; HEIJNEN, J.J., Aerobic granulation in a sequencing batch airlift reactor. **Water Research**, vol. 36, p. 702-712, DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(01\)00250-0](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(01)00250-0), 2002.
- DANGCONG, P.; BERNET, N.; DELGENES, J.P.; MOLETTA, R., Aerobic granular sludge – A case report. **Wat. Res.**, vol 33, no. 3, p. 890-893, 1999
- DANTAS, B.K.S.F., **Formação de lodo granular aeróbio em reatores em bateladas sequenciais para o tratamento de esgoto doméstico de baixa carga visando à remoção de nutrientes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- DE KREUK, M.K., KISHIDA, N., van LOOSDRECHT, M.C.M., Aerobic Granular Sludge – State of the Art. **Water Science & Technology**, 55 (8-9): 75-81, DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2007.244>, 2007.
- DE KREUK, Merle K. e HEIJNEN, J. J. e VAN LOOSDRECHT, M. C.M. Simultaneous COD, nitrogen, and phosphate removal by aerobic granular sludge. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 90, n. 6, p. 761–769, DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.20470>, 2005.
- Di IACONI, C.; RAMADORI, R.; LOPEZ, A.; PASSINO, R., Aerobic granular sludge systems: The new generation of wastewater treatment Technologies. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, vol. 46, no. 21, p. 6661-6665, DOI: <https://doi.org/10.1021/ie061662l>, 2007
- FILALI, A.; MANAS, A.; MERCADE, M.; BESSIERE, Y.; BISCANS, B.; SPERANDIO, M., Stability and performance of two GSBP operated in alternating anoxic/aerobic or anaerobic/aerobic conditions for nutrient removal. **Biochemical Engineering Journal**, Elsevier, vol. 67, p. 10-19, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2012.05.001>, 2012.
- GAO, Dawen e colab. Aerobic granular sludge: Characterization, mechanism of granulation and application to wastewater treatment. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 2, p. 137–152, DOI: <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.497961>, 2011.
- GUIMARÃES, Lorena B e colab. Microbial pathways of nitrogen removal in aerobic granular sludge treating domestic wastewater. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 92, n. 7, p. 1756–1765, 1 Jul 2017.
- JESUS, Maurício De. **Granulação aeróbica natural em um reator em bateladas sequenciais para tratamento de esgoto sanitário**. 2016. Florianópolis, SC., 2016.
- LIU, Yong Qiang e TAY, Joo Hwa. Characteristics and stability of aerobic granules cultivated with different starvation time. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 75, n. 1, p. 205–210, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-006-0797-4>, 2007.
- METCALF & EDDY, **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4ª edição, G. Tchobanoglous, F. L Burton, H. D. Stensel (Editores), McGraw-Hill, Nova York. 2004.
- MOUSTAFA, T., **Aerobic granular sludge – Study of applications for industrial and domestic wastewater**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Tecnologia Chalmers, Suécia, 2014.
- PRONK, M.; de KREUK, M.K.; de BRUIN, B.; KAMMINGA, P.; KLEEREBEZEM, R.; van LOOSDRECHT, M.C.M., Full scale performance of the aerobic granular sludge process for sewage treatment. **Water Research**, vol. 84, p. 207-217, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.011>, 2015.
- PRONK, M; ABBAS, B.; AL-ZUHAIRY, S.H.; KRAAN, R.; KLEEREBEZEM, R.; van LOOSDRECHT, M.C.M., Effect and behaviour of different substrates in relation to the formation of aerobic granular sludge. **Applied Microbiology and Biotechnology**, vol. 99, no. 12, p. 5257-5268, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs00253-014-6358-3>, 2015.
- QIN, Lei e LIU, Yu e TAY, Joo-Hwa. Effect of settling time on aerobic granulation in sequencing batch reactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 21, n. 1, p. 47–52, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2004.03.005>, 2004
- SCHWARZENBECK, N. e ERLEY, R. e WILDERER, P.A. Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter. **Water Science and Technology**, v. 49, n. 11–12, 2004.
- TAY, J.-H. e LIU, Q.-S. e LIU, Y. The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 57, n. 1–2, p. 227–233, DOI: <https://doi.org/10.1007/s002530100766>, 2001.
- Van DIJK, E.J.H.; PRONK, M.; van LOOSDRECHT, M.C.M., Controlling effluent suspended solids in the aerobic granular sludge process. **Water Research**, vol. 147, p. 50-59, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.052>, 2018.

VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações.** Campina Grande – PB: Epgraf., 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento de Águas Residuárias.** Vol. 4. Lodos Ativados. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, v. 1. 428 p. 2002.

WAGNER, J., **Desenvolvimento de grânulos aeróbios e tratamento de esgoto doméstico em um reator em bateladas sequenciais (RBS) sob diferentes condições operacionais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

WAGNER, J.; WEISSBRODT, D.G.; MANGUIN, V.; COSTA, R.H.R.; MORGENROTH, E.; DERLON, N., Effect of particulate organic substrate on aerobic granulation and operating conditions of sequencing batch reactors. **Water Research**, vol. 85, p. 158-166, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.030>, 2015.

WAGNER, J. e DA COSTA, R. H. R. Aerobic Granulation in a Sequencing Batch Reactor Using Real Domestic Wastewater. **Journal of Environmental Engineering**, v. 139, n. 11, p. 1391–1396, Nov 2013.

WINKLER, M.K.; BASSIN, J.P.; KLEEREBEZEM, R.; de BRUIN, L.M.; van den BRAND, T.P.; van LOOSDRECHT, M.C.M., . An integrative review of granular sludge for the biological removal of nutrients and recalcitrant organic matter from wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 336, n. July 2017, p. 489–502, DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322014000100004>, 2017

YANG, S.F.; TAY, J.H.; LIU, Y., A novel granular sludge sequencing batch reactor for removal of organic and nitrogen from wastewater. **Journal of Biotechnology**, n 106, p. 77-86, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2003.07.007>, 2003.