

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

NOVAS ROTINAS OPERACIONAIS COMO FORMA DE MELHORIA DE PROCESSO E REDUÇÃO DE CUSTOS EM UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS: ESTUDO DE CASO

*Rodrigo Augusto Franco de Oliveira Zawadzki¹
Wellington Ignácio Jaworski²
Juliene Paiva Flores¹

NEW OPERATIONAL ROUTINES AS PROCESS UPGRADE
AND TO DECREASE COSTS IN AN ACTIVATED SLUDGE
SYSTEM: A CASE STUDY

Recibido el 14 de enero de 2016; Aceptado el 1 de julio de 2016

Abstract

The operational control of an activated sludge system it involves following a series of analytical parameters. These parameters allows the WWTP workers to apply preventive or corrective actions that guarantee properly efficiency of the treatment. Hence, this study describes the implementation of new operational routines in an activated sludge system. So, at first, the 17 workers of the WWTP were trained in what concern solids in mixed liquor control and sludge microscopy, than, new analytical control parameters were implemented. After implementation of the new operational routines we were able to establish strategies that prevent problems with sludge lost through the clarifier, excessive biomass mineralization, and, at last, decrease in average 89 % the chlorine gas application for filamentous bulking control.

Keywords: Chlorine gas application, Filamentous bulking, Operational routine, Solids in mixed liquor, Sludge microscopy.

¹ Área de Saneamento e Meio Ambiente, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Paraná – unidade Cidade Industrial de Curitiba, Brasil.

² Estação de Tratamento de Esgotos Belém, Companhia de Saneamento do Paraná, Brasil.

*Autor correspondente: Área de Saneamento e Meio Ambiente, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Rua Senador Accioly Filho, 298 – Cidade Industrial, Curitiba, PR, – 81.310-000, Brasil. Email: rodrigo.zawadzki@pr.senai.br

Resumo

O controle operacional de sistemas de lodos ativados envolve o acompanhamento de uma série de parâmetros analíticos. Tais parâmetros permitem aos gestores e operadores da ETE (Estação de Tratamento de Esgotos) a adoção de ações corretivas ou preventivas que garantam a adequada eficiência do tratamento. Desta forma, o presente trabalho descreve a implantação de novas rotinas de controle operacional em um sistema de lodos ativados. Para isto, foi realizado inicialmente o treinamento de 17 técnicos da ETE quanto aos procedimentos de controle de sólidos e microscopia de lodo, e, em seguida, implantados novos parâmetros de controle operacional. Após a implementação das novas rotinas operacionais obteve-se estratégias capazes de prevenir os problemas de arraste de lodo, morte excessiva de biomassa e, por fim, reduzir em média 89 % a dosagem de gás cloro no combate ao *bulking* filamentoso.

Palavras chave: Aplicação de gás cloro, Bulking filamentoso, Controle de sólidos, Microscopia de lodo, Rotinas operacionais.

Introdução

Muitos problemas operacionais podem aparecer em lodos ativados, afetando a qualidade do efluente final. Tais problemas podem ser originados pela falta de condições ideais de fluxo hidráulico, de controle dos processos ou de formação dos flocos biológicos. Desta forma, para manter uma condição operacional ideal em um sistema de lodos ativados, é necessária a manutenção de uma biomassa (lodo ativado) capaz de tratar o esgoto e ainda ser mantida sob controle (Richard, 2003).

O monitoramento do IVL (Índice Volumétrico de Lodo), as análises de sólidos suspensos e microscopia de lodo são parâmetros para controle de sólidos em lodos ativados muito utilizados. Este tipo de monitoramento visa identificar a quantidade e a qualidade na formação dos flocos biológicos, que, por consequência, refletem na qualidade do efluente clarificado e na altura do manto de lodo no decantador. Neste sentido, o *bulking* filamentoso (intumescimento) e os flocos quebradiços são potenciais problemas operacionais (Metcalf & Eddy, 2003 e Jenkins *et al.*, 2003). A formação excessiva de espuma também apresenta relação com flocos filamentosos, conforme estudos recentes realizados por Fryer e Gray (2012) e Di Bella e Torregrossa (2013).

Atualmente, algumas linhas de pesquisa estudam o combate ao *bulking* filamentoso através da adição de coagulantes químicos, como Al Dawery (2015), ou de agentes capazes de aumentar o peso dos flocos, como relatam Rossoni *et al.* (2013) e Xu *et al.* (2014). No entanto, o combate com a dosagem de cloro na linha de reciclo de lodo ainda é o mais comumente utilizado nas ETEs, conforme relatam Von Sperling (2012), Guo *et al.* (2012) e Yano e Gomes (2013).

Porém, a ocorrência de *bulking* filamentoso, espuma e demais problemas operacionais em lodos ativados podem ser evitados pela adoção de monitoramento e controle operacional adequado. Leal *et al.* (2013) utilizaram análises de microscopia de lodo, IBL (Índice Biótico de Lodo) e parâmetros físico-químicos clássicos para a melhoria da condição operacional de um lodos ativados tratando efluentes petroquímicos no Brasil, tendo como resultado a possibilidade de prever problemas operacionais e a tomada de ações preventivas antes da ocorrência dos mesmos.

Poutiainen (2010) afirma que informações analíticas da ETE são de suma importância para a manutenção da eficiência do tratamento, facilitando o atendimento dos parâmetros de lançamento. Alsina *et al.* (2014) enfatizam a importância da utilização de múltiplos parâmetros para estabelecer estratégias de controle operacional e tomadas de decisões em ETEs. Mesquita *et al.* (2013) e Khan *et al.* (2015) destacam as técnicas de microscopia de lodo como formas de controle operacional em lodos ativados. Já Van Dierdonck *et al.* (2013) conflita resultados de microscopia e IVL em seu estudo, mostrando que dependendo da condição de biofloculação o IVL não é capaz de identificar problemas de má formação, ao contrário da microscopia. Já Koivuranta *et al.* (2015) utilizou identificação microscópica *on line* por meio de um programa de análise de imagem para identificação de *bulking* filamentoso em um sistema de lodos ativados.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo descrever e avaliar a implantação de novas rotinas operacionais de controle de sólidos e de *bulking* filamentoso em um sistema de lodos ativados.

Metodologia

O presente estudo foi realizado por meio de uma parceria entre a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e o SENAI CIC (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial da Cidade Industrial de Curitiba).

O sistema de lodos ativados onde este trabalho foi realizado é a ETE Belém, pertencente à SANEPAR, e localizada em Curitiba, PR. Os ensaios analíticos foram realizados nos laboratórios da própria ETE. Esta estação de tratamento conta com um sistema preliminar de tratamento que consiste em bombas elevatórias de parafuso que fornecem em média 1200 L/s, canal com duas grades (espaçamento de barras 8 e 6 mm) e desarenação. Após tratamento preliminar o esgoto tem sua vazão dividida em dois tanques de aeração em valos de oxidação de 42000 m³ cada (tq1 e tq2), que funcionam em paralelo. Dois decantadores em paralelo (dec1 e dec2) de 64 m de diâmetro cada atendem aos tanques de aeração, sendo que o clarificado é então lançado no corpo receptor. O reciclo de lodo se dá por meio de duas bombas parafuso, uma para cada decantador. Já o descarte de lodo ocorre por meio de bombas submersas instaladas

no fundo de cada decantador. O sistema de lodos ativados possui 20 dias de idade de lodo de projeto, portanto é um sistema de aeração prolongada.

A metodologia utilizada no presente trabalho envolveu 3 etapas:

- Inicialmente realizou-se o treinamento dos técnicos da ETE no que tange os procedimentos de controle de sólidos e de *bulking* filamentoso em lodos ativados;
- Após a realização deste treinamento foram então implantadas novas rotinas analíticas e procedimentos de controle operacional;
- Por fim, foi avaliada a quantidade de cloro gasoso e os custos de sua aplicação no controle de *bulking* filamentoso.

Estas 3 etapas são descritas a seguir.

Treinamento dos técnicos da ETE

Para implantar o controle operacional de sólidos e de *bulking* filamentoso na ETE, inicialmente foi realizado um treinamento com os técnicos (operadores e gestores) da estação. Este treinamento teve a duração de 12 h aula, sendo 6 h aula práticas. O treinamento foi realizado na última quinzena de novembro de 2013. Os conteúdos desenvolvidos durante este treinamento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Conteúdos desenvolvidos durante o treinamento dos técnicos da ETE.

Conteúdo	Carga horária
Controle de sólidos em lodos ativados: <ul style="list-style-type: none"> • Princípios básicos; • Conjunto de sólidos suspensos; • Carga no decantador; • Índice Volumétrico de Lodo. 	4 h aula
Microscopia de lodo ativado: <ul style="list-style-type: none"> • Partes do microscópio, funcionamento e limpeza do conjunto óptico; • Procedimentos de microscopia; • Tipos de formação de flocos; • Presença de protozoários, rotíferos, ciliados e invertebrados; • Toxicidade, idade do lodo e qualidade do floco; • Controle de <i>bulking</i> filamentoso. 	8 h aula

Implantação de novas rotinas operacionais

Até a realização do treinamento com os técnicos, já era realizado diariamente como monitoramento da ETE os seguintes parâmetros analíticos:

- No esgoto afluente – vazão afluente, pH, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), SSed (Sólidos Sedimentáveis), SST (Sólidos Suspensos Totais) e Nitrato;
- Nos tanques de aeração – SST, OD (Oxigênio Dissolvido), Nitrato e IVL-diluído (Índice Volumétrico de Lodo realizado por uma série de diluições da amostra de lodo decantado em uma proveta de 1000 mL);
- Na linha de reciclo de lodo – vazão de reciclo de lodo e SST;
- No esgoto tratado (saída) – pH, DQO, DBO, SSed e SST.

As medições de vazão eram realizadas *on line*, através de sensor de ultrassom instalado nas calhas de alimentação dos tanques de aeração. Já as amostragens para as análises físico-químicas eram simples, sempre no horário de pico de vazão e sempre nos mesmos locais na ETE. Além disso, todos estes parâmetros eram realizados conforme *Standard Methods 22^a* edição (APHA, 2012).

A primeira nova rotina operacional implantada foi o cálculo da carga de sólidos aplicada ao decantador, que passou a ser medido diariamente após a realização do treinamento dos técnicos. Este cálculo foi realizado conforme equação 1.

$$C_a = Q_e \cdot SST$$

Equação (1)

Onde:

C_a : carga de sólidos aplicada (kg/h)

Q_e : vazão de entrada nos decantadores (m³/h)

SST: concentração de sólidos suspensos totais nos tanques de aeração (kg/m³).

A taxa de aplicação de sólidos nos decantadores foi calculada conforme equação 2.

$$T_{as} = C_a / A_s$$

Equação (2)

Onde:

T_{as} : taxa de aplicação de sólidos (kg/m².h)

C_a : carga de sólidos aplicada (kg/h)

A_s : área superficial dos decantadores (m²).

Após o treinamento, foi incluído na rotina operacional, além dos parâmetros que já eram realizados, o monitoramento analítico diário nos tanques de aeração dos seguintes parâmetros:

- SSed (Sólidos Sedimentáveis) – que indica a sedimentabilidade do lodo;
- SSV (Sólidos Suspensos Voláteis) – que indica a concentração de biomassa viva (ativa) no sistema;
- SSF (Sólidos Suspensos Fixos) – que denota a concentração de biomassa morta no sistema.

Estes parâmetros também foram analisados conforme *Standard Methods* 22ª edição (APHA, 2012), por meio de amostragem simples no horário de pico de vazão e sempre no mesmo local dos tanques de aeração. Desta forma, foi possível a inclusão da relação A/M (Alimento/Micro-organismo), do IVL (Índice Volumétrico de Lodo) e da relação entre biomassa viva e morta no sistema.

A relação A/M visa identificar a ocorrência de choques de carga, e foi calculada diariamente pela equação 3.

$$A/M = (Q \cdot S_0) / (V \cdot X_v) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Q: vazão afluyente (m³/dia)

S₀: concentração de DBO do esgoto bruto (mg/L)

V: volume dos tanques de aeração (m³)

X_v: concentração média de SSV dos dois tanques de aeração (mg/L).

O monitoramento diário do IVL, ao invés do IVL-diluído, também foi implantado como rotina operacional na ETE. O IVL (mL/g) visa identificar a condição de compactação do lodo (grau de sedimentabilidade) e foi calculado a partir da equação 4

$$IVL = (SSed/SST) \cdot 1000 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

SSed: volume de lodo sedimentado no cone de Imhoff (mL/L)

SST: concentração de sólidos suspensos totais dos tanques de aeração (mg/L).

A análise de microscopia de lodo também foi incluída na rotina diária de operação da ETE, visando identificar os tipos de micro-organismos que estavam se desenvolvendo nos flocos biológicos. Esta microscopia foi realizada a partir de coletas de lodo dos tanques de aeração, onde foi transferida de 2 a 3 gotas da amostra para uma lâmina de vidro. Adicionou-se então 1 a 2 gotas de cristal violeta a 0.1%, para fornecer contraste na amostra, e homogeneizou-se vagarosamente o conteúdo na lâmina de vidro. Os flocos foram então visualizados nos aumentos de 40x e 100x em um microscópio óptico Olympus BX40. Os ensaios foram realizados em triplicata e por três operadores diferentes, visando evitar as divergências subjetivas quanto à qualidade do floco formado.

Análise de custos com a aplicação de cloro gasoso

O cloro gasoso é aplicado na ETE para o controle de *bulking* filamentoso, sendo a dosagem realizada diretamente na linha de reciclo de lodo. Até um dia antes da implantação das novas rotinas de controle operacional (descritas no item anterior) esta dosagem era realizada sempre que o valor medido do IVL-diluído atingia 120 mL/g. Esta dosagem era então mantida até as

medições de IVL-diluído diminuiriam abaixo de 70 mL/g. Esta dosagem era adotada pois interpretava-se que o fato do IVL-diluído encontrar-se maior ou igual a 120 mL/g devia-se única e exclusivamente ao crescimento desordenado de microrganismos filamentosos no floco (*bulking* filamentosos).

Portanto, foi realizado um levantamento do gasto mensal de gás cloro através da consulta direta às notas fiscais de compra dos cilindros de gás, onde foi consultado o valor em R\$ de cada nota, a quantidade em ton adquirida e o valor cobrado em R\$/kg. Da mesma forma, visando comparar os gastos com gás cloro antes e depois da adoção das novas rotinas de controle de *bulking* filamentosos, o mesmo levantamento foi realizado.

Resultados e discussões

Nesta ETE foram treinados 15 operadores e 2 gestores. A partir da segunda quinzena de fevereiro de 2014 as novas rotinas de controle operacional de sólidos e de *bulking* filamentosos, vistas durante o treinamento, já estavam totalmente implantadas. Sendo assim, os resultados de monitoramento da carga e taxa de sólidos aplicada aos decantadores, A/M e IVL aqui reportados referem-se a 510 dias de medições nos anos de 2014 e 2015, vale ressaltar que não houveram medições aos sábados, domingos e feriados, bem como em alguns dias no primeiro trimestre de 2015 quando o laboratório da ETE passou por reformas.

O monitoramento da carga de sólidos aplicada aos decantadores (dec1 e dec2) é descrito pela Figura 1, onde nota-se que a mesma encontra-se na grande maioria dos dias acima da carga limite dimensionada de 13250 kg SST/h (dado obtido no projeto da ETE). A taxa média de aplicação de sólidos durante o período analisado foi de $6,73 \pm 1,16$ kg SST/m².h no dec1 e $7,92 \pm 1,17$ kg SST/m².h no dec2, mostrando-se em ambos os decantadores superior ao limite de 4,12 kg SST/m².h dimensionado no projeto da ETE. Isto causa uma elevação da altura do manto de lodo no interior do decantador, já que a quantidade de sólidos aplicada por unidade de área encontra-se acima da taxa na qual as partículas decantam e se comprimem no fundo do decantador. No entanto, tal característica não pode ser interpretada como má formação de flocos, já que a carga de sólidos aplicada ao decantador leva em consideração apenas a quantidade de lodo, e não a qualidade do floco formado.

Já o monitoramento da relação A/M mostra, conforme Figura 2, que a disponibilidade de alimento encontrava-se na maioria das vezes abaixo da faixa indicada para aeração prolongada, de 0.08 a 0.15 kg DBO/kg SSV.dia (Von Sperling, 2012). Isto denota que o sistema opera em uma faixa de metabolismo endógeno bastante acentuado, dada à baixa disponibilidade de alimento. No entanto, apresentava alimento suficiente (ou próximo do limite aceitável) para os microrganismos, já que, segundo Metcalf & Eddy (2003) a faixa de 0.04 a

0.10 kg DBO/kg SSV.dia também é aceitável. Tal característica por um lado é vantajosa, pois eleva a eficiência do tratamento, fato que é comprovado pela DBO de saída do efluente clarificado encontrar-se na maioria absoluta dos dias abaixo de 15 mg/L (dados não incluídos neste trabalho). No entanto, como desvantagem, torna o sistema mais susceptível a choques de carga e à morte excessiva de biomassa, bem como provoca a formação de flocos levemente quebradiços, conforme foi identificado no histórico das microscopias e será discutido a seguir.

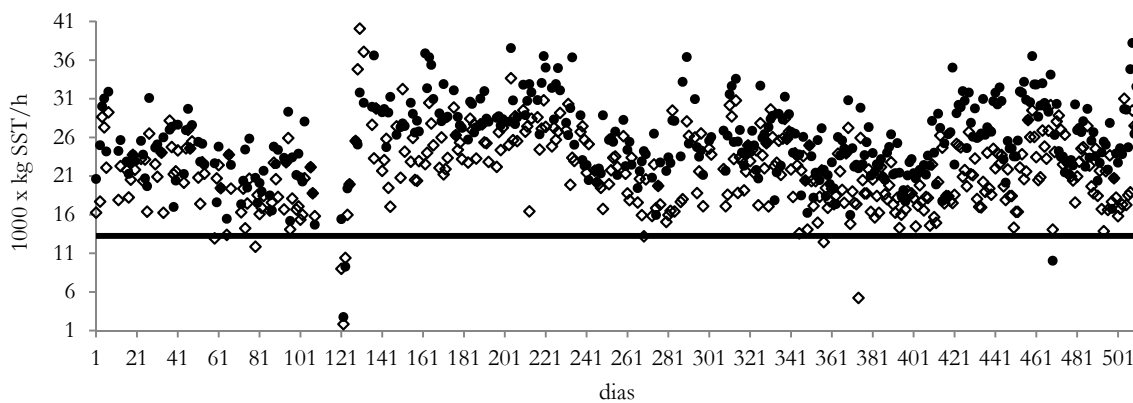


Figura 1. Monitoramento diário da carga de sólidos aplicada nos decantadores. À esquerda da linha vertical pontilhada estão as medições no ano de 2014, e à direita da linha as medições em 2015. Marcador vazio – dec1, marcador cheio – dec2. A linha cheia horizontal representa a carga limite de 13250 kg SST/h.

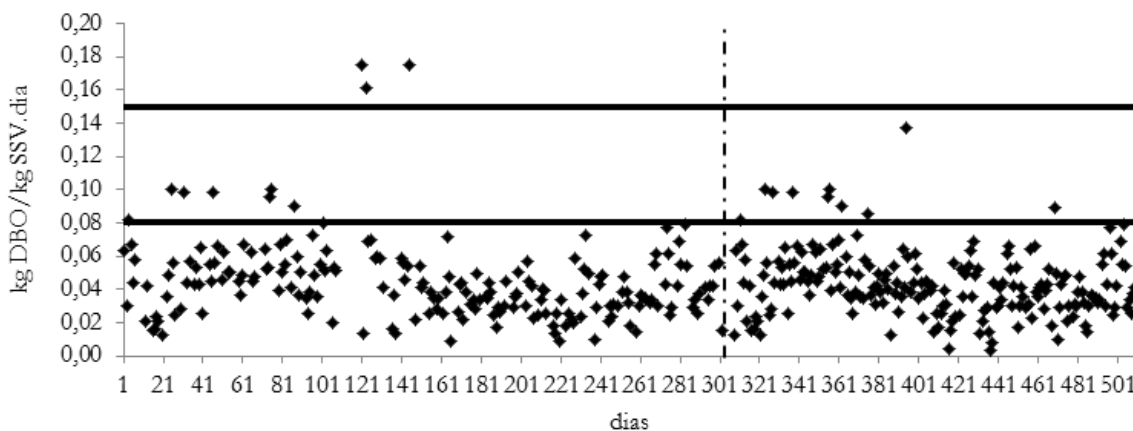


Figura 2. Monitoramento diário da relação A/M na ETE. À esquerda da linha vertical pontilhada estão as medições no ano de 2014, e à direita da linha as medições em 2015. As linhas cheias horizontais representam a faixa de A/M recomendável para a aeração prolongada.

Já a Figura 3 mostra o monitoramento do IVL, onde nota-se que na maioria dos dias amostrados a condição de compactação do lodo encontrava-se dentro da faixa média (100 a 200 mL/g). Verificou-se também a ocorrência de IVL ruim (200 a 300 mL/g) em alguns dias. As faixas de IVL referenciais são as recomendadas por Von Sperling (2012).

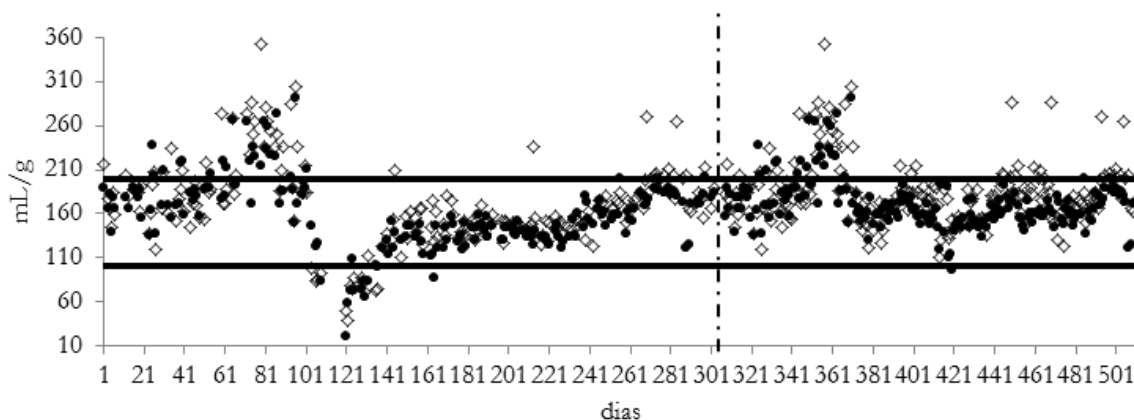


Figura 3. Monitoramento diário do IVL nos tanques de aeração. À esquerda da linha vertical pontilhada estão as medições no ano de 2014, e à direita da linha as medições em 2015. Marcador vazio – tq1, marcador cheio – tq2. As linhas cheias horizontais mostram os limites da faixa de IVL médio.

Embora Metcalf & Eddy (2003) e Jordão e Pessoa (2005) afirmem que valores de IVL acima de 150 mL/g possam apontar *bulking* filamentoso, utilizou-se como base a faixa recomendada por Von Sperling, pois observou-se que valores de IVL até 200 mL/g ainda refletiam numa boa condição de separação de fases tanto no cone de Imhoff como nos decantadores da ETE.

No entanto, embora a Figura 3 aponte alguns valores de IVL ruins, a implantação da análise de microscopia de lodo trouxe a confirmação ou não da ocorrência de *bulking* filamentoso nos tanques de aeração. A Figura 4a mostra a microscopia realizada em 22/04/2014 no tq1, onde embora o IVL neste dia estivesse ruim (275 mL/g) a microscopia de lodo mostra a condição de formação do floco adequada, dada à boa agregação dos micro-organismos formadores de floco e filamentosos com a matriz do floco. Sendo assim, neste dia, o IVL alto deveu-se a um teor SST no tq1 de 2400 mg/L, bastante diluído frente a média histórica de 3500 a 5000 mg/L de SST no tq1. Fato confirmado pela carga aplicada no dec1, que neste dia estava em 12943 kg SST/h, ou seja, abaixo da carga limite.

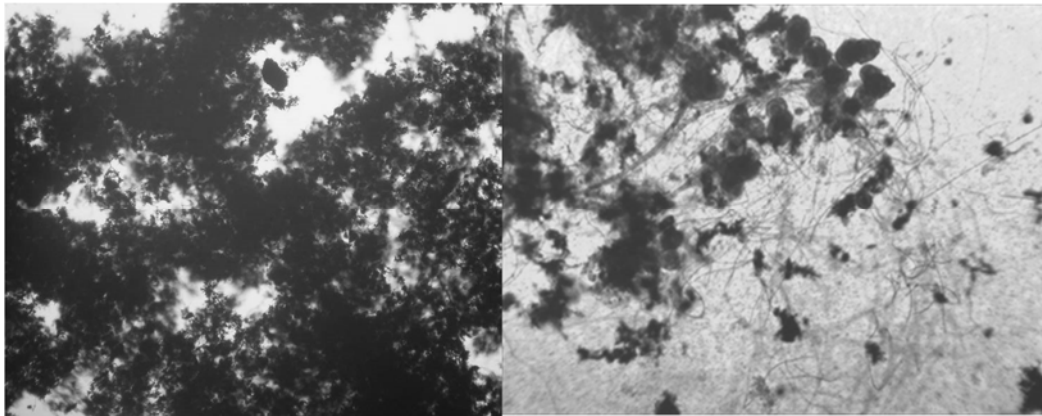


Figura 4. Microscopia de lodo ativado coletado nos tanques de aeração da ETE. Foi utilizado contraste de cristal violeta a 0.1% nas fotomicrografias. À esquerda: floco com formação adequada (aumento 100x). À direita: floco filamentosos (aumento 40x).

Já a Figura 4b contradiz os valores de IVL do dia 30/07/2014, onde o tq1 apresentou 168 mL/g e o tq2 148 mL/g, ou seja, dentro da faixa média. As microscopias no tq1 (micrografia não apresentada neste trabalho) e no tq2 (Figura 4b) neste dia mostram a condição de formação do floco dispersa, com excesso de micro-organismos filamentosos na matriz do floco. Sendo assim, o IVL mediano deste dia foi reflexo de teores de SST altos, próximos a 5000 mg/L nos dois tanques de aeração.

Embora os dados de microscopia e IVL aqui discutidos mostrem apenas duas situações pontuais em dois dias diferentes, ao longo dos anos de 2014 e 2015 este fato repetiu-se no tq1 em 126 dias e no tq2 em 266 dias diferentes. Ou seja, estas duas análises pontuais são apenas para ilustrar o que ocorria na ETE ao conflitar os valores de IVL e SST com a microscopia do lodo. Vale ressaltar que conflitos semelhantes ao descrito também foram verificados por Van Dierdonck *et al.* (2013), e reforça a afirmação de Alsina *et al.* (2014) da necessidade da análise de múltiplos parâmetros para estabelecer a condição operacional de um lodos ativados.

A partir da implantação dos novos controles operacionais, foi percebido que a dosagem de cloro realizada antes da implantação das novas rotinas de controle operacional, na grande maioria das vezes não era necessária, já que ao comparar em conjunto as concentrações de SST, SSV e SSF no tanque de aeração, relação A/M, IVL, carga aplicada aos decantadores e microscopia de lodo, os flocos não se mostravam em *bulking* (intumescidos). Na verdade, a formação dos flocos na maioria das vezes estava adequada ou levemente quebradiça, no entanto, a carga aplicada aos decantadores estava na maioria das vezes muito próxima ou acima da carga limite suportada pelos mesmos (ver Figura 1), causando a falsa sensação de intumescimento já que flocos eram arrastados com o clarificado. Desta forma, não havia a necessidade da dosagem de

cloro para controle de *bulking*, e sim, havia a necessidade de um maior descarte de lodo para reduzir a carga de sólidos aplicada ao decantador. Da mesma maneira, muitas vezes aquilo que era identificado como IVL elevado, na verdade era apenas o reflexo da operação de tanques de aeração com volume excessivo de lodo em seu interior.

Quando a dosagem de cloro era adotada geralmente causava morte excessiva de biomassa, com consequente aumento do teor de SSF e diminuição do teor de SSV no tanque de aeração. Esta condição força a uma formação de flocos quebradiça (flocos finos, de pouco peso específico), que acabam por arrastar com o clarificado, deteriorando a qualidade do efluente de saída.

Da mesma maneira, o acompanhamento da relação A/M mostrou a real condição operacional dentro dos tanques de aeração, onde foi possível a identificação de choques de carga de DBO ou diminuição excessiva da disponibilidade de alimento (ver Figura 2). Tais oscilações devem-se à diluição do esgoto bruto com águas pluviais parasitárias ou estão associadas ao recebimento de cargas provenientes de caminhões limpa-fossa com alto teor de SSF, bem como possível toxidez ao longo da rede coletora pela contribuição de efluentes industriais.

Tais características influenciavam diretamente o IVL, o teor de SSV e SSF nos tanques de aeração e a relação A/M. Antes da implantação das novas rotinas operacionais, o IVL-diluído era o único indicativo para o controle de *bulking* filamentosos, e a dosagem de cloro fazia-se muito constante para controlar a formação do floco. No entanto, após a adoção das novas rotinas de controle, os operadores passaram a gerar uma quantidade maior de dados, que, quando analisados em conjunto, descreviam a condição de operação do sistema quanto à quantidade de lodo e à qualidade do floco formado, garantindo assim maior eficiência nas ações corretivas e preventivas adotadas na ETE.

Desta forma, as ações corretivas de dosagem de cloro para combate de *bulking* filamentosos caíram drasticamente devido às condições discutidas anteriormente. Em 2013 foram gastos R\$ 473000.00 na aquisição de cilindros de 900 kg de gás cloro a 4.40 R\$/kg. Entretanto, após a implementação das novas rotinas operacionais, no ano de 2014, foram gastos R\$ 41580.00 em uma única compra no mês de Maio também a 4.40 R\$/kg, sendo assim, 91 % menor que o ano anterior. Já, no ano de 2015, foram gastos R\$ 58905.00 (compra única em Janeiro) na aquisição dos cilindros, no entanto, a 5.50 R\$/kg, porém, ainda 87,5 % menor que no ano de 2013. A Figura 5 detalha a aquisição em ton de Cl₂ mês a mês de 2013 a 2015 onde nota-se que em 2014 e 2015 houveram vários meses onde não foi realizada a compra de nenhum cilindro, fato que só ocorreu uma única vez em 2013 (antes da implementação das novas rotinas de controle operacional). Desta forma, pode-se afirmar que a implementação das novas rotinas operacionais permitiu a diminuição no consumo de cloro para combate a *bulking* filamentosos, dado o uso de cloro em média 89 % menor nos anos subsequentes a esta implementação.

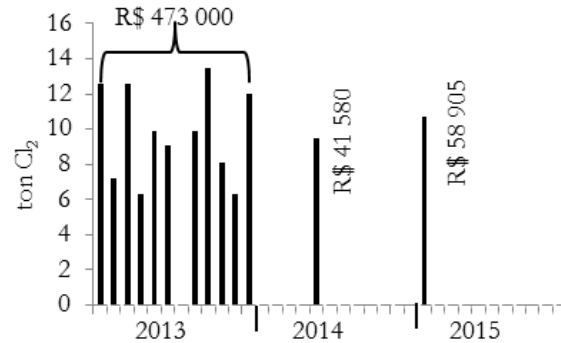


Figura 5. Aquisição mensal (de Janeiro a Dezembro) de gás cloro para o combate de *bulking* filamentoso nos anos de 2013 a 2015.

Conclusões

O treinamento dos técnicos e operadores da ETE nos controles de sólidos e de bulking filamentoso em lodos ativados permitiu um maior entendimento do funcionamento do sistema, bem como possibilitou identificar choques de carga e oscilações na qualidade do afluente da estação, fornecendo novas estratégias de controle operacional preventivo e corretivo.

A implantação da microscopia de lodo e da análise do IVL permitiu a real identificação da ocorrência ou não de problemas de má formação de flocos (quebradiços ou filamentosos). Ao possibilitar a identificação destas características foi possível reduzir significativamente a aplicação de gás cloro na ETE. Desta forma, ao fornecer capacitação técnica aos operadores obteve-se sucesso na implementação de melhorias operacionais e redução de custos no tratamento.

Referências bibliográficas

- Al Dawery, S.K. (2015) Conditioning Process and Characterization of fresh activated sludge. *Journal of Engineering Science and Technology*, **10**(5), 692-711.
- Alsina, X.F., Arnell, M., Amerlinck, Y., Corominas, L., Garnaey, K.V., Guo, L., Lindblom, E., Nopens, I., Porro, J., Shaw, A., Snip, L., Vanrolleghem, P.A., Jeppsson, U. (2014) Balancing effluent quality, economic cost and greenhouse gas emission during the evaluation of (plant-wide) control/operational strategies in WWTPs. *Science of The Total Environment*, **466-467**(1), 616-624.
- APHA (2012) Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 22^a ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WPCP, 1496 pp.
- Di Bella, G., Torregrossa, M. (2013) Foaming in membrane bioreactors: Identification of the causes. *Journal of Environmental Management*, **128**, 453-461.

- Fryer, M., Gray, N.F. (2012) Foaming Scum Index (FSI) – A new tool for the assessment and characterization of biological mediated activated sludge foams. *Journal of Environmental Management*, **110**, 8-19.
- Guo, J., Peng, Y., Wang, Z., Yuan, Z., Yang, X, Wang, S. (2012) Control Filamentous Bulking Caused by Chlorine-resistant Type O21N Bacteria Trough Adding a Biocide CTAB. *Water Research*, **46(19)**(1), 6531-6542.
- Jordão, E.P., Pessoa, C.A. (2005) Tratamento de Esgotos Domésticos. ABES 4ª ed., 932 pp.
- Jenkins, D., Richard, M.G., Daigger, G.T. (2003) Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. 3ª ed. Lewis Publisher, Michigan, 236 pp.
- Khan, M.B., Nisar, H., Ng, C.A., Lo, P.K., Yap, V.V. (2015) Local adaptive approach toward segmentation of microscopic images of activated sludge flocs. *Journal of Electronic Imaging*, **24** (6).
- Koivuranta, E., Stoor, T., Hattuniemi, J., Niinimäki, J. (2015) On-line optical monitoring of activated sludge floc morphology. *Journal of Water Process Engineering*, **5**, 28-34.
- Leal, A.L., Dalzochio, M.S., Flores, T.S., Alves, A.S., Macedo, J.C., Valiati, V.H. (2013) Implementation of the sludge biotic index in a petrochemical WWTP in Brazil: improving operational control with traditional methods. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, **40**(12), 1415-1422.
- Mesquita, D.P., Amaral, A.L., Ferreira, E.C. (2013) Activated sludge characterization through microscopy: A review on quantitative image analysis and chemometric techniques. *Analytica Chimica Acta*, **802**, 14-28.
- Metcalf & Eddy. (2003) Wastewater Engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy Inc. 4a ed., 1856 pp.
- Poutiainen, H. (2010) Tools for Improved Efficiency and Control in Wastewater Treatment. Dissertations in Forestry and Natural Sciences, Publications of The University of Eastern Finland. Kuopio: [s.n.], 123 pp.
- Richard, M. (2003) Activated Sludge Microbiology Problems and their Control, em *20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*. Buffalo, NY.
- Rossoni, H.A.V., Resende, A.A.P., Mounteer, A.H., Sousa, C.A., Silva, C.M., Gomide, J.L., Azevedo, M.A. (2013) Avaliação do uso de agente lastrante no controle do intumescimento filamentoso em sistema de lodos ativados utilizando efluentes de fábrica de papel reciclado. *Revista DAE*, **191**, 60-72.
- Van Dierdonck, J., Van Den Broeck, R., Vansant, A., Van Impe, J., Smets, I. (2013) Microscopic image analysis versus sludge volume index to monitor activated sludge bioflocculation – a case study. *Separation Science and Technology*, **48**(10), 1433-1441.
- Von Sperling, M. (2012) Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. v.4, 3a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 428 pp.
- Xu, S., Sun, M., Zhang, C., Surampalli, R., Hu, Z. (2014) Filamentous sludge bulking control by nano-zero valent iron in activated sludge systems. *Environmental Science: Process Impacts*, **16**, 2721-2728.
- Yano, A.A, Gomes, L.A. (2013) Uso de cloro no controle de bactérias filamentosas em lodos ativados de indústria frigorífica. *Ambi-Água*, **8**(2),146-156.