

II-296 - ESTUDO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA FORMAÇÃO DE ESTRUVITA EM UMA ETE - ESCALA REAL

Túlio Antônio Monteiro⁽¹⁾

Mestre em Biotecnologia pelo INP -Institut National Polytechnique de Toulouse - França. Graduado em Engenharia Química pela UFMG. Engenheiro químico da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA.

Ernane Vitor Marques⁽²⁾

Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Graduado em Gestão da Qualidade pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Graduado Supervisor Operação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA.

Jardel Martins Batista⁽³⁾

Técnico químico pela Escola Técnica Municipal de Sete Lagoas – Técnico de Cogeração de Energia da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA

Sirlei Geraldo de Azevedo⁽⁴⁾

Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Especialista em Engenharia da Qualidade (PUC Minas). Graduado em Engenharia Química pela UFMG. Engenheiro químico da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA.

Márcio Ney Neves Rosa⁽⁵⁾

Pós-Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na PUC/MG. Graduado em Farmácia pelo Centro Universitário Una. Técnico químico da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA

Endereço⁽¹⁾: Av. dos Andradas, 8805, Bairro Caetano Furquim, Belo Horizonte – MG CEP: 31050-350 e-mail: tulio.monteiro@copasa.com.br

RESUMO

Foi feito um estudo em uma Estação de Tratamento de esgoto (ETE), com objetivo de caracterizar as possíveis condições operacionais da estação que favorece a formação da estruvita em escala real. Trata-se de uma ETE de grande porte constituída de uma planta de tratamento da modalidade de lodo ativado convencional, com capacidade de tratar até 3,375m³/s e atender uma população 1,6 milhões de pessoas. A partir do surgimento de entupimento em algumas tubulações do processo da estação causado pela ocorrência de precipitação de cristais de estruvita, foi necessário levantar e caracterizar possíveis causas do surgimento do problema, tendo em vista, que nos primeiros anos de operação da ETE não foi detectado ou observado este problema. Para o estudo e avaliação do processo de formação da estruvita, foram feitas intervenções operacionais e coleta de amostras para campanhas de parâmetros, em diferentes etapas do processo durante o ano de 2018 e janeiro de 2019, de modo a avaliar os constituintes da estruvita bem como o meio em que o mesmo se encontrava. O estudo tem por objetivo investigar a possível presença e a proporção dos constituintes favoráveis a formação da estruvita a partir do seu índice de saturação no meio, e ao mesmo tempo propor alterações de fluxos operacionais visando reduzir a formação da estruvita.

PALAVRAS-CHAVE: Estruvita, ETE, Fósforo, Nitrogênio, Caracterização.

INTRODUÇÃO

A estruvita é um composto formado por íons de magnésio, fosfato e amoniacal ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$) que tem a forma de sais brancos ou cristais transparentes, quando livre de impurezas. Ela é formada quando altas concentrações destes íons estão presentes simultaneamente em solução ligeiramente alcalina ($pH > 7$). A precipitação espontânea de estruvita ocorre preferencialmente na presença de magnésio, em pontos com turbulência e onde há liberação de gás carbônico (aumento do pH), causando incrustações em tubulações de lodo, bombas e equipamentos e provocando grandes prejuízos operacionais principalmente na linha de tratamento de lodo de ETEs.

As ETEs que são detectados ocorrências de precipitação espontânea de estruvita, na maioria das vezes, possuem digestores anaeróbios de lodo. No processo de digestão anaeróbia ocorre a lise (quebra) celular, em

que íons de fósforo e nitrogênio, antes incorporados como nutrientes nos processos de crescimento bacteriano no tratamento de esgoto e degradação de matéria orgânica, são liberados novamente na solução aquosa.

O processo de incorporação de fósforo pode ser intensificado em ETEs com sistemas de tratamento por lodos ativados configurados para a remoção biológica do fósforo. Este sistema é implementado basicamente por um tanque anaeróbio adicional (sem a presença de oxigênio livre dissolvido ou íons com oxigênio interligado, como íons de nitrato e nitrito), geralmente à montante do sistema de lodos ativados. De forma bastante simplificada, neste tanque, as bactérias são colocadas sob um “estresse” adicional, que amplia a capacidade de assimilação posterior de fósforo no tanque aerado, durante os processos metabólicos que ocorrem como decorrência da remoção de matéria orgânica do esgoto. Por essa razão, o lodo secundário de ETEs com remoção biológica de fósforo é muito mais rico em fósforo do que o lodo de ETEs sem remoção biológica de fósforo.

OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de caracterizar as condições operacionais de uma estação de tratamento de esgoto por lodo ativado em escala real que conduzem à formação de estruvita.

REFERENCIAL TEORICO

Nas ETEs com sistemas de remoção biológica de fósforo, a formação da estruvita é um problema bastante discutido, pois ela geralmente precipita em pontos de tubulações dos sistemas anaeróbico de digestão e desaguamento de lodo da centrifuga. Quando se consegue controlar o processo de cristalização e transformação de fases, ela pode contribuir para resolver problemas de eficiências de remoção de nutrientes do sistema de tratamento de esgoto. (Aidar; 2012)

Segundo Silva; (2013). Durante a digestão anaeróbia grande parte do fósforo armazenado como poli-fosfato e do fósforo presente na matéria orgânica é liberado na fase líquida, que é ao mesmo tempo recirculada para o sistema de remoção biológica de fósforo, resultando em um excesso de carga e aumento de concentrações de fósforo, uma vez que se somam as concentrações normais de entrada com o fósforo do recirculado. Além disso, a medida que as proteínas são degradadas a concentração de amônia na fase líquida aumenta consideravelmente e as concentrações de magnésio, cálcio e potássio também se elevam em virtude da lise celular que são elementos essenciais na formação da estruvita.

A precipitação de estruvita em solução aquosa requer determinadas condições controladas por fatores físico-químicos, tais como pH da solução, saturação dos constituintes, energia de mistura, temperatura e presença de íons como cálcio e magnésio Silva (2013).

A nucleação da estruvita inicia-se em condições de supersaturação, quando a solução contém uma concentração de íons dissolvidos superior à permitida em condições de equilíbrio. Assim, há uma reação entre os íons presentes dando origem a pequenos cristais embriões. A fase de crescimento dos cristais ocorre seguida à nucleação, na medida em que os íons, difusos na solução, migram para a superfície dos núcleos formados, aderindo-se a eles. Esse processo ocorre de forma contínua até que a condição de supersaturação seja revertida deslocando um novo equilíbrio. Nesse novo equilíbrio, tem-se uma solução saturada, em que as partículas de soluto não dissolvidas se encontram em equilíbrio com a solução Castro (2014).

METODOLOGIA UTILIZADA

A ETE em estudo constitui uma planta de tratamento da modalidade lodo ativado convencional conforme figura 1, que se fundamenta, simplificada, no princípio básico da elevação da concentração da biomassa na unidade de aeração por meio da recirculação dos sólidos. E, tal recirculação faz com que estes permaneçam no sistema por um tempo (idade do lodo) superior ao do líquido (tempo de detenção hidráulica), garantindo elevada eficiência do processo.

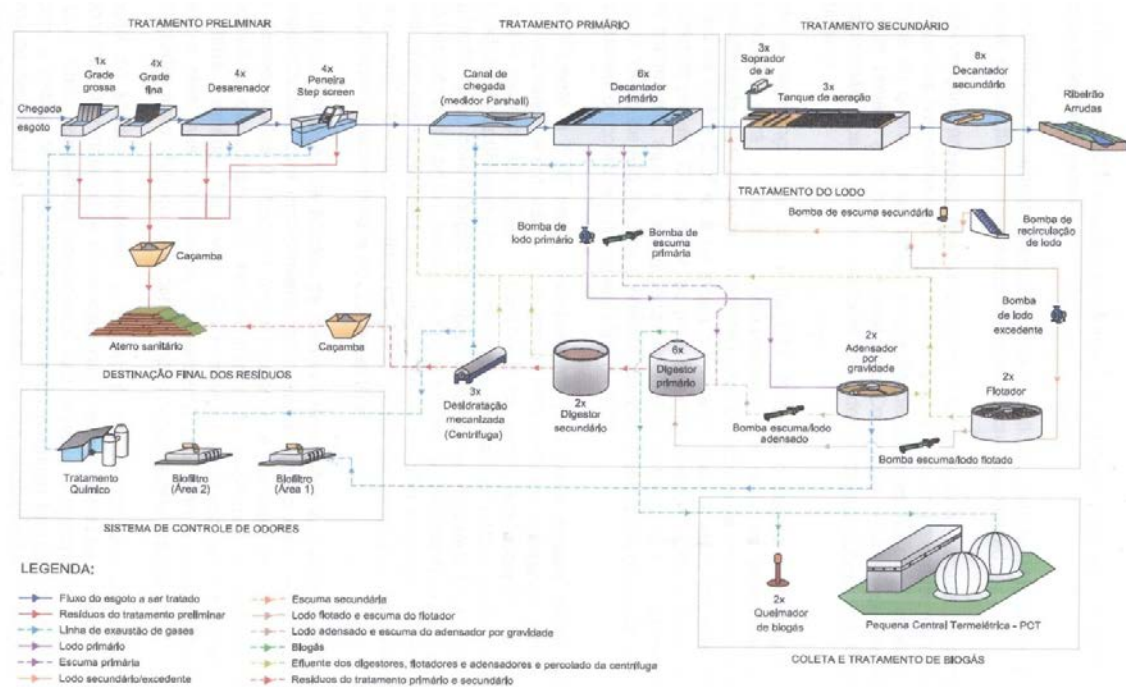


Figura 1: Fluxograma geral da Ete

Importante destacar que nos primeiros 12 anos de operação da Ete não houve transtornos há operação quanto à obstrução de tubulações, contudo a estruvita já era observada em caixas de amostragem nas unidades de Digestão anaeróbica. Por volta do ano de 2013 o clarificado do processo de centrifugação deixou de ser lançado no efluente final da Ete para adentrar nos reatores de lodo ativado.

No final do ano de 2014 operadores da ETE perceberam que havia precipitação de estruvita na linha do clarificado das centrífugas, já em meados de 2016, foi também percebido uma forte precipitação de estruvita na tubulação da saída dos digestores primários. Esta situação se intensificou de forma acentuada durante o ano de 2017, causando grandes transtornos para a operação da ETE. Se fazendo necessário buscar razões para a formação da estruvita, que não existia ou não havia sido detectada nos primeiros anos de operação da ETE.

Para o estudo de avaliação do processo de formação da estruvita foram feitas intervenções operacionais em diferentes etapas do processo de modo a avaliar os constituintes da estruvita bem como o meio em que o mesmo se encontrava. Foram propostas as seguintes mudanças operacionais para um período de avaliação de um ano:

Etapas 1: até 02/03/18 - Condição de operação inicial

- Tanque de aeração: Zona anóxica sem aeração
- Digestores de lodo: sem aquecimento
- Desidratação: clarificado retornando para o tanque de aeração.

Etapas 2: 03/03/18 a 05/06/18

- Tanque de aeração: Zona anóxica sem aeração
- Digestores de lodo: sem aquecimento
- Desidratação: clarificado retirado do tanque de aeração e enviado para o efluente.

Etapas 3: 06/06/18 a 16/08/18

- Tanque de aeração: Zona anóxica com aeração
- Digestores de lodo: aquecimento dos digestores 3 e 4
- Desidratação: clarificado retirado do tanque de aeração e enviado para o efluente.

Etapa 4: 16/08/2019 a 28/01/2019

- Tanque de aeração: Zona anóxica sem aeração
- Digestores de lodo: aquecimento dos digestores 3 e 4
- Desidratação: clarificado retirado do tanque de aeração e enviado para o efluente.

Parâmetros analisados por campanhas:

Fase líquida:

Afluente e efluente final da Ete: magnésio, amônia, fósforo total e pH

Afluente do decantador primário, Lodo primário, Afluente do tanque de aeração 1, 2 e 3, Lodo de retorno, Lodo flotado, Efluente do flotador, Lodo dos digestores 1,3,4,5,8; Clarificado da centrifuga: magnésio, amônia, fósforo total e pH.

Fase sólida:

Afluente do decantador primário, Lodo primário, Afluente do tanque de aeração 1, 2 e 3, Lodo de retorno, Lodo flotado, Lodo dos digestores 1,3,4,5,8; Lodo desidratado: magnésio, amônia, fósforo total e pH.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Durante o período da pesquisa foram levantados os dados de vazão conforme apresentado na figura 2:

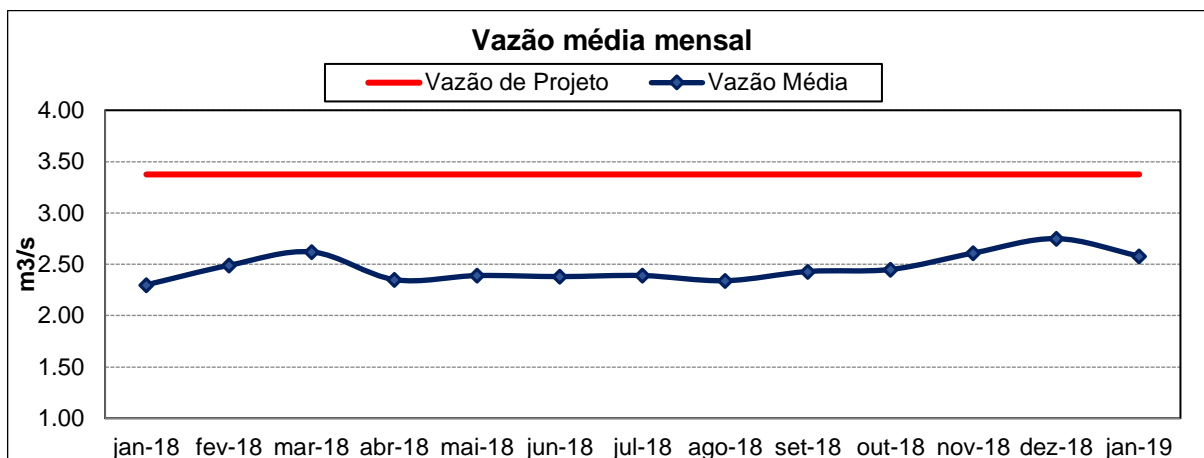


Figura 2: Gráfico de vazão da Ete

Os resultados analíticos obtidos foram avaliados de forma a quantificar os parâmetros constituintes da estruvita considerando as seguintes etapas do processo:

- Entrada e saída da Ete (concentrações e cargas)
- Reatores de lodos ativados (tanques de aeração)
- Digestores anaeróbios

As tabelas 1 a 4 apresentam os resultados encontrados na pesquisa no período de Janeiro de 2018 a Janeiro de 2019, avaliados durante as campanhas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1: Concentrações afluente e efluente da Ete

Mês	Afluente (esgoto bruto)			Efluente (esgoto tratado)		
	N. Amoniacal mg.L ⁻¹	Fósforo Total mg.L ⁻¹	Magnésio mg.L ⁻¹	N. Amoniacal mg.L ⁻¹	Fósforo Total mg.L ⁻¹	Magnésio mg.L ⁻¹
mar-18	26,7	5,064	3,77	6,4	3,637	3,76
jun-18	35,5	5,292	5,01	12,8	4,953	4,34
ago-18	38,6	4,909	5,48	27,0	4,546	3,98
Jan-19	28,6	5,569	*	12,7	3,108	3,45

* Amostragem não realizada.

Tabela 2: Cargas afluyente e efluente da Ete

carga afluyente (kg/d)			efluente (kg/d)		
carga N	carga P	carga Mg	carga N	carga P	carga Mg
6044,0	1146,3	853,4	1448,8	823,3	851,1
7299,9	1088,2	1030,2	2632,1	1018,5	892,4
7804,0	992,5	1107,9	5458,8	919,1	804,7
6375,3	1241,4	*	2830,9	692,8	769,0

* Amostragem não realizada.

Tabela 3: Carga média total nos tanques de aeração

	carga N kg/d	carga P kg/d	carga Mg kg/d
mar-18	420,4	28952,5	5956,3
jun-18	4253,4	7650,5	4634,6
ago-18	11326,8	19727,3	4296,2
Jan- 19	10416,3	28276,4	5706,5

Tabela 4: Carga média total nos digestores

	carga N kg/d	carga P kg/d	carga Mg kg/d
mar-18	838,9	659,4	108,9
jun-18	1516,7	169,7	23,1
ago-18	1238,1	791,2	143,2
Jan- 19	1597,7	1057,7	1492,6

A figura 3 apresenta uma foto da ocorrência da estruvita nas tubulações da linha de transferência lodo dos digestores, caracterizando o problema das incrustações na operação da estação.



Figura 3: Foto da estruvita na tubulação de transferência lodo entre digestores

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES

Etapa 1: Condição na qual foram encontradas as primeiras obstruções na tubulação. Ressalta-se que o ponto mais crítico é, e continua sendo, o clarificado da unidade de desidratação. Tal ponto atende de forma mais acentuada as premissas do mecanismo de formação da cristalização da estruvita. Segundo Ari e Duarte, (2010), a cristalização e a formação de incrustações requerem a ocorrência de três fatores simultâneos: supersaturação, nucleação e tempo de contato dos constituintes responsáveis pela formação dos cristais.

A literatura nos diz que todo processo completo de cristalização ocorre nos digestores anaeróbios, porém, a ocorrência mais frequente e acentuada de formação de grandes cristais e por consequência obstrução são observados na tubulação de clarificado das centrífugas. A figura 4 mostra a incrustação na tubulação do clarificado da centrífuga no processo de desidratação mecânica do lodo.



Figura 4: Foto da estruvita na tubulação de clarificado da centrífuga

Etapa 02: Na tabela 03 e 04, pode se observar uma redução dos constituintes fósforo e magnésio evidenciado nos dados de março a junho/18. Esta redução nos tanques de aeração e nos digestores não resultou em inibição de cristalização nos pontos críticos citados anteriormente devido ao acúmulo dos constituintes da estruvita nos digestores anaeróbicos; redução esta que pode estar associado a retirada do clarificado da centrífuga do tanque de aeração e encaminhado para o efluente final; não impactando no resultado do processo como um todo evidenciados através do nível de grandeza dos dados na tabela 2.

Etapa 03: No tanque aerado ocorre a nitrificação, conversão de amônio a nitrato, mas não há remoção de nitrogênio. A desnitrificação é alcançada em ausência de oxigênio (zona anóxica), pela respiração bacteriana do nitrato para a oxidação da matéria orgânica, formando nitrogênio gasoso que é liberado para a atmosfera. (SPERLING, 2002).

O mecanismo da remoção biológica de fósforo é composto de fases de fermentação e estocagem de ácidos graxos voláteis na fase anaeróbia e absorção de fósforo para produção de novas células e manutenção na fase aeróbia. Na zona anóxica quando há substrato orgânico disponível, atua como um seletor biológico aumentando a população de bactérias acumuladoras de fósforo (polifosfato).

Com a morte celular no meio anaeróbio, o fósforo incorporado anteriormente pelas bactérias no meio aeróbico é liberado das células bacterianas removedoras de fósforo, na fase líquida. A remoção biológica de fósforo envolve a sua incorporação na biomassa como material celular. Como pode-se observar na tabela 4, o aumento substancial de fósforo de 169,7 kg/dia para 791,2 kg/dia e de magnésio de 23,1 kg/dia para 143,2 kg/dia nos digestores anaeróbicos entre a segunda e a terceira campanha.

Nesta etapa foi observada a mudança na biota do lodo do tanque de aeração com redução da cultura de microrganismos e aumento da concentração do lodo biológico, interferindo nas ações operacionais comprometendo a gestão do lodo do processo. Uma das causas possíveis poderia estar associada ao baixo

nível de oxigênio dissolvido no tanque de aeração, comprometendo a remoção de amônia, conforme demonstrado na figura 5.

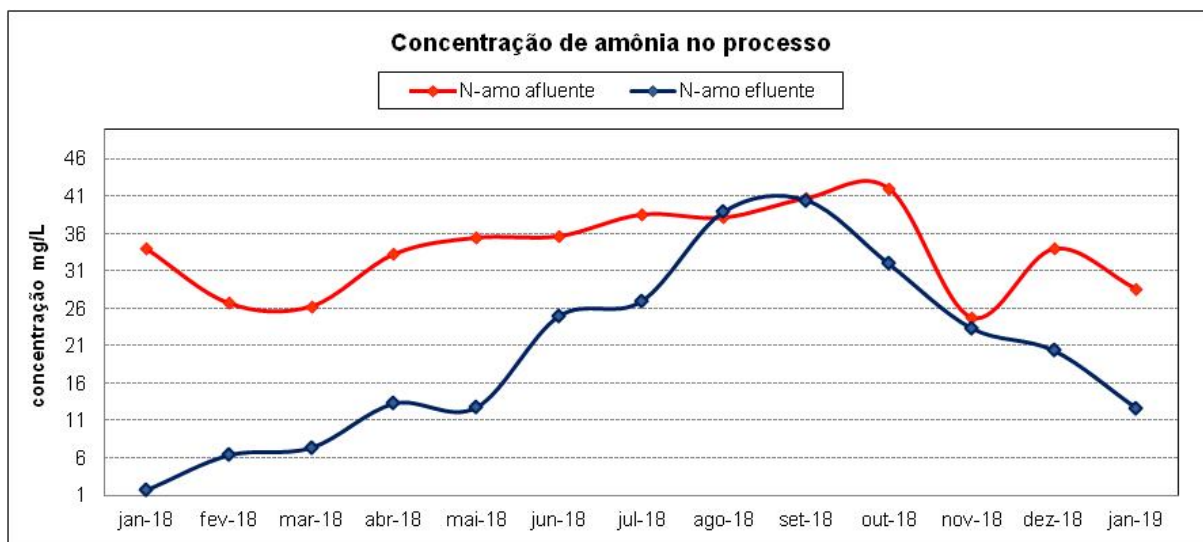


Figura 5: Remoção de amônia

Etapa 04: Nesta quarta etapa, observa-se que as concentrações dos constituintes analisados são bem próximas às encontradas na terceira etapa, demonstrando que a retirada de aeração da zona anóxica e o aquecimento dos digestores 3 e 4 não alterou a concentração do nitrogênio e fósforo, porém aumento substancial do magnésio, responsáveis pela formação da estruvita. Tais pontos são evidenciados nos digestores com acumulação dos constituintes da estruvita em destaque.

CONCLUSÕES OU RECOMENDAÇÕES

Ao se avaliar os dados globais de entrada e saída do processo de tratamento da Ete, pode-se inferir que não houve contribuição significativa dos parâmetros constituintes da estruvita ao se comparar a primeira campanha com as demais (nitrogênio amoniacal, fósforo total e magnésio) no esgoto bruto, conforme dados apresentados nas tabelas 1 e 2.

Para avaliação da incorporação biológica de fósforo foi feita uma análise dos constituintes da estruvita nos tanques de aeração e nos digestores de modo a se compreender a assimilação no processo aeróbio e anaeróbio. Ao se avaliar as cargas dos constituintes nas campanhas considerando as alterações operacionais, pode-se verificar que nos tanques de aeração houve aumento dos constituintes a partir da terceira campanha com as iniciais. Já nos digestores (meio anaeróbio) houve aumento de fósforo e magnésio. A segunda campanha não refletiu os dados porque avaliou-se somente um digestor para a fase líquida, o que pode ter levado a subestimar os dados dessa campanha para a carga média total do constituinte, portanto, não podendo ser substancialmente consistentes na comparação entre campanhas para a referida fase.

A última campanha foi monitorada com base nos resultados obtidos e acompanhados com ações operacionais de modo a se ter uma maior estabilidade no processo. Isso contribuiu de forma mais efetiva no sentido de se ter uma melhor performance como um todo e ser conclusiva para os objetivos do trabalho. Assim mitigar o processo de formação da estruvita na referida Ete, poderá gerar menos problemas operacionais que causam transtornos na rotina operacional agregando menores custos e dificuldades para os operadores da estação. As ações realizadas com o estudo foram importantes para se ter um controle maior da formação da estruvita e assim prolongar os intervalos de limpeza das incrustações nas tubulações afetadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIDAR, F. N. Fatores intervenientes na cristalização da estruvita para a recuperação do fósforo de esgoto. 2012. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-16072013-164846/en.php>>
2. Pressinotti, F. C; Werner, M, Matthies, L, Relatório preliminar de melhoria e ampliação de Etes de Grande porte, Darmstadt, Julho de 2016 DAHLEM Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG
3. Arai, Ary; Duarte, Leandro Rocha. Estudo da Formação de Incrustações Carbonáticas – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2010.
4. Silva, Lorena Albuquerque Adriana da. Separação de cristais de estruvita de percolado de lodo Por flotação por ar dissolvido. – Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária Natal, RN, 2013.
5. Castro. Samuel Rodrigues. Precipitação de estruvita: Recuperação de nitrogênio e fósforo utilizando fontes alternativas de reagentes-Tese de doutorado – Universidade de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2014 Belo Horizonte, MG, 2014.