

Revista Agrária Acadêmica

Agrarian Academic Journal

Volume 1 – Número 2 – Jul/Ago (2018)

Recuperação de fósforo na forma de Estruvita, do sobrenadante de digestão de lodo e alimento na escala piloto

Recovery of phosphorus in the struvite form of the slime and food digestion supernatant on the pilot scale

Marcela Tafur¹, Isaac Volschan Junior¹, Lidia Yokoyama²

¹ - Mestranda em Engenharia Ambiental – Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ – E-mail: marelaofeno@gmail.com; marelaofeno@hotmail.com

² - Engenheiro Civil D.Sc., Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – Escola Politécnica da UFRJ e do Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ

³ - Engenheira Química D.Sc, Professora Associada do Departamento de Processos Inorgânicos – Escola de Química da UFRJ e do Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ

Resumo

Recuperação de PO_4^{3-} e NH_4^+ do sobrenadante da digestão anaeróbia de lodo de esgoto e alimento sob a forma de Estruvita empregando diferentes concentrações de nutrientes em duas unidades de digestão anaeróbia submetidas de forma separada ao processamento exclusivo com lodo, assim como à mistura entre lodo de esgoto e alimento triturado. Este processo ocorre em duas etapas: a primeira etapa com três fontes de magnésio MgSO_4 , MgCl_2 , MgOH_2 , e na segunda etapa adicionado alimento triturado junto ao lodo de esgoto no digestor anaeróbio. Para o aumento na concentração de PO_4^{3-} e NH_4^+ no sobrenadante que ao reagir com o magnésio precipitou-se durante a mistura mecânica em diferentes concentrações de NH_4^+ e PO_4^{3-} que condicionam as quantidades de magnésio adicionado no tratamento de Estruvita. A maior remoção de PO_4^{3-} 83,8%, em precipitados de MgSO_4 no sobrenadante, numa concentração de 20% de PO_4^{3-} . Forno Estruvita para recuperar o fósforo do sobrenadante da digestão anaeróbia com as matérias orgânicas empregadas.

Palavras-chave: Tratamento, Água, Estruvita, Fosforo, Fertilizante

Abstract

Recovery of PO_4^{3-} and NH_4^+ from the anaerobic digestion supernatant of sewage sludge and feed in the form of struvite using different concentrations of nutrients in two anaerobic digestion units submitted separately to the exclusive processing with sludge, as well as to the mixture between sludge sewage and crushed food. This process occurs in two stages: the first stage with three sources of magnesium MgSO_4 , MgCl_2 , MgOH_2 , and in the second stage added food crushed next to the sewage sludge in the anaerobic digester. For the increase in PO_4^{3-} and NH_4^+ concentration in the supernatant that upon reacting with magnesium precipitated during the mechanical mixing at different concentrations of NH_4^+ and PO_4^{3-} , which condition the amounts of magnesium added in the treatment of struvite. Further removal of PO_4^{3-} , 83.8%, in MgSO_4 precipitates in the supernatant, at a concentration of 20% PO_4^{3-} . Struvite form to recover the phosphorus from the supernatant of the anaerobic digestion with the organic materials used.

Keywords: Treatment, Water, Struvite, Phosphorus, Fertilizer

Introdução

As águas residuais apresentam alto risco tanto para a saúde pública como para o meio ambiente. Sendo necessário o tratamento adequado antes da disposição final em corpos receptores aquáticos. No entanto, o aumento de descargas de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, vem contribuindo para o processo de eutrofização de corpos hídricos, igualmente o nitrogênio amoniacal na forma de amônia livre resulta ser tóxico para a vida aquática, sendo que o processo de nitrificação promove a desoxigenação dos corpos de água, produzindo graves consequências tanto para a biota aquática como para o abastecimento de água disponível para uso doméstico e industrial (PASTOR *et al.*, 2008).

Neste sentido, o tratamento de esgoto deve considerar a presença de nutrientes, que devem ser removidos com eficiência, atendendo ao limite obrigatório imposto pela legislação ambiental vigente, ou seja, o tratamento a nível terciário (TRÉPANIÉ *et al.*, 2002; DIAS, 2014). No entanto, a resolução CONAMA N° 430/2011, embora não faça referência ao controle de lançamento de nitrogênio amoniacal através dos esgotos sanitários, a legislação anteriormente vigente fixava o valor máximo admissível em 20 mg/L. Entretanto, a norma técnica INEA NT 202 que determina os critérios e padrões de lançamento a efluentes vigentes no Estado do Rio de Janeiro, estabelece como limites máximos os valores de 5,0 mg/L, para o controle de Nitrogênio Amoniacal Total, 10,0 mg/L Nitrogênio Total e 1,0 mg/L o Fósforo Total (SNIS, 2014).

Dentre as diferentes estratégias empregadas para o tratamento de esgoto, o tratamento que visa a remoção de NH_4 e PO_4 pela precipitação de formação de Estruvita pode ser uma estratégia promissora, já que a simples precipitação de Estruvita induz a formação de incrustações nas tubulações e, conseqüentemente, o bloqueio da seção hidráulica disponível, provocando severas perturbações operacionais ao processo de tratamento como um todo. No entanto, a remoção de NH_4 e PO_4 via precipitação de Estruvita em operação unitária específica, pode além de evitar os problemas operacionais mencionados, promove a remoção desejada de nutrientes dos esgotos e de forma sustentável a recuperação de PO_4 como fonte de nutrientes para culturas agrícolas.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados preliminares da avaliação da formação de Estruvita a partir da parcela líquida sobrenadante descartada de um reator anaeróbio sujeito ao processo de digestão de lodo de esgotos, resíduos orgânicos triturados de alimentos; e alimento e glicerol no último ensaio. Nesta pesquisa, foi considerado que a formação de Estruvita na linha sobrenadante do efluente da etapa de digestão anaeróbia do lodo de esgotos, cujas vazões obrigatoriamente retornam para a cabeceira da ETE, se incorporando ao esgoto bruto afluente. Tendo em conta que a formação de sais de Estruvita depende do estabelecimento de condições molares ideais entre $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}:\text{NH}_4^+$, este trabalho compara as concentrações de PO_4^{3-} e NH_4^+ obtidas na linha sobrenadante da unidade de digestão, como mencionada, com aquelas usualmente obtidas em unidade de digestão anaeróbia dedicadas ao processamento exclusivo de lodo de esgotos.

Objetivo geral

De forma experimental em escada planta piloto de tratamento terciário de esgoto doméstico em um volume 70 Lts de sobrenadante do reator anaeróbio proveniente de lodo e alimento. Avaliar a remoção de fósforo de esgoto sanitário a partir da precipitação de Estruvita cujo sobrenadante procede do tratamento secundário por sistema de lodos ativados.

Objetivos específicos

Avaliar diferentes fontes de magnésio para precipitação de Estruvita: cloreto de magnésio $MgCl_2$; hidróxido de magnésio $Mg(OH)_2$ e sulfato de magnésio $MgSO_4$ mantendo a concentração. Avaliar a remoção de nitrogênio e fósforo do sobrenadante e a formação de precipitado linha sobrenadante da unidade de digestão anaeróbia de lodo de esgotos e resíduo alimentar a partir da manutenção de pH: 10 e fonte sulfato de magnésio e mediante 3 diferentes razões molares do $[PO_4^{3-}]$: $[NH_4^+]$.

Metodologia

Processos levados nesta pesquisa que conduzem a formação de Estruvita

Processo de tratamento primário

O esgoto passa por uma unidade de decantação primaria onde separa os sólidos grossos. Passa pelo decantador primário e impulsiona o esgoto para a reação onde a água recebe oxigênio.

Processo de tratamento secundário

Depois o esgoto é posto na unidade de decantação dentro dos digestores anaeróbios D_1 e D_2 onde a matéria orgânica sofre decomposição por bactérias anaeróbias as quais devem ser trocadas logo do tempo de sobrevivência por bactérias novas; isto se faz trocando o sobrenadante o qual é como resultado da remoção de grande parte dos sólidos, por que os Sólidos Voláteis se convertem em gás, ocorre também dentro do digestor anaeróbio a separação entre as partes líquida, sólida e gasosa; a parte líquida é a que segue para o reator aeróbio R_3 .

Processo do tratamento terciário

O sobrenadante, a parte líquida do digestor, contém fósforo e nitrogênio e mediante o tratamento com Mg^+ para a formação de Estruvita no reator anaeróbio R_3 com uso do agitador a 300 rpm durante uma hora a Estruvita formada decanta ao fundo do R_3 podendo separar-se a parte líquida e a sólida dando origem a dois produtos, o primeiro, água para re-uso e o segundo, o fertilizante. A formação de Estruvita é o resultante de três estágios, os tratamentos primário, secundário e terciário (SILVA, 2016).

Formação de Estruvita

O sobrenadante num volume de 70 Lts proveniente do D₂ em digestão anaeróbia passa para um reator aeróbio R₃ de volume 70 litros onde adiciona uma fonte de magnésio como catalisador em agitação 300 rpm durante uma hora em pH \geq 10 de modo a promover a formação por precipitado de cristalização de Estruvita, onde fósforo e nitrogênio são removidos como Estruvita, na escada de planta piloto de tratamento de águas de esgoto no CESA – UFRJ – BR.

A pesquisa se compõe por duas etapas com diferentes resultados:

Primeira parte:

Desta pesquisa se faz para descobrir a maior eficiência da fonte de Magnésio e o Mg⁺ que menos quantidade em gramas por litro pode precisar dependendo da concentração em Mg/Lts de fosfato presente no sobrenadante.

Segunda parte:

Desta pesquisa consiste no incremento das concentrações de nutrientes presentes no sobrenadante PO₄ e NH₄, por meio da adesão de alimento junto ao lodo dentro do digestor anaeróbio D₂, para que aumente o fosfato e amônia presentes no sobrenadante usado no reator R₃ para fazer os testes de formação de Estruvita.

Os valores da concentração nesta pesquisa, normalmente do sobrenadante proveniente de lodo de esgoto, expressados em mg/Lts estes são de 10 mg/Lts, neste trabalho se avalia o acrescentamento da concentração de fosfato e nitrogênio presente no sobrenadante proveniente do digestor anaeróbio D₂ partindo de 10 mg/Lts até 20 mg/Lts, a concentração aumenta pela adesão de alimento triturado.

Materiais

Na tabela 1 aparecem os materiais usados nesta pesquisa, os mais importantes no tratamento de água de esgoto doméstico, que usados durante a digestão do lodo, o tratamento para a formação de estruvita e a secagem do produto cristalizado.

Tabela 1 - Principais materiais usados na pesquisa.

| Material | Nome do material | Especificações | Quantidades |
|----------|--|---|---|
| 1 | Tecido | Antefridos cor preto | 10C _m ² |
| 2 | Embudo cônico | Corta a ponta duma garrafa | Ø0,05 m ³ |
| 3 | Proveta | De plástico. | 10 _{ml} |
| 4 | Vaso de precipitado | Becker | 100 _{ml} |
| 5 | Hidróxido de sódio | NaOH | Na tabela 13 |
| 6 | Cloreto de magnésio | MgCL ₂ | Na tabela 13 |
| 7 | Hidróxido de magnésio | MgOH ₂ | Na tabela 13 |
| 8 | Sulfato de magnésio | MgSO ₄ | Na tabela 13 |
| 9 | Filtro biológico percolador | 3.0 _m profundidade X 1. _m Ø | |
| 10 | 2 módulos decantação secundaria | Sessão quadrada 1.60 _m | |
| 11 | Digestor de lodo maior | 4,5 _m X 1,2 _m Ø | Volume = 5,09 _m ³ |
| 12 | 2 Digestores | 1,70 X 0,60 Ø | Volume = 0,48 _m ³ |
| 13 | Reator de Estruvita; reator aeróbio R ₁ : | Ø0,21b +0,30 t x 1,35m | Volume =0,070 _m ³ volume 70 _{Lts} |
| 14 | Biodigestores anaeróbios D ₁ e D ₂ | H=170 _{cm} ; Ø 55 _{cm} | VT = 400 _{Lts} |
| 15 | Biodigestores para trabalho com alimentação semicontinua uma vez na semana com 15 _{dias} de digestão. | 135 _{cm} ; Ø 55 _{cm} ; H = 16 _{cm} | VU = 320 _{Lts} |
| 16 | Volume total alimentado por vez: | 10 litros de solução AC (2400 _{grms} de alimento +10 _{grms} bicarbonato de sódio+ 8.7 _{Lts} sobrenadante) +60 _{Lts} lodo | 70 _{Lts} . |

Materiais envolvidos durante a pesquisa dos principais tratamentos, são: a digestão anaeróbia como tratamento secundário de água de esgoto sanitário da ilha fundão, e o tratamento terciário em reator aeróbio preparado para os testes de formação de estruvita TFE.

O CESA da UFRJ, possui instalações com os materiais dispostos para o trabalho destinado a esta pesquisa, as análises da concentração de nutrientes presentes no esgoto foram feitas no laboratório LEMA pela pessoa encarregada do assunto, usando os materiais do laboratório, estes são nomeados na metodologia para determinar fosfato e nitrogênio amoniacal no sobrenadante.

Resumo do processo de tratamento de águas de esgoto doméstico na planta piloto CESA, UFRJ.

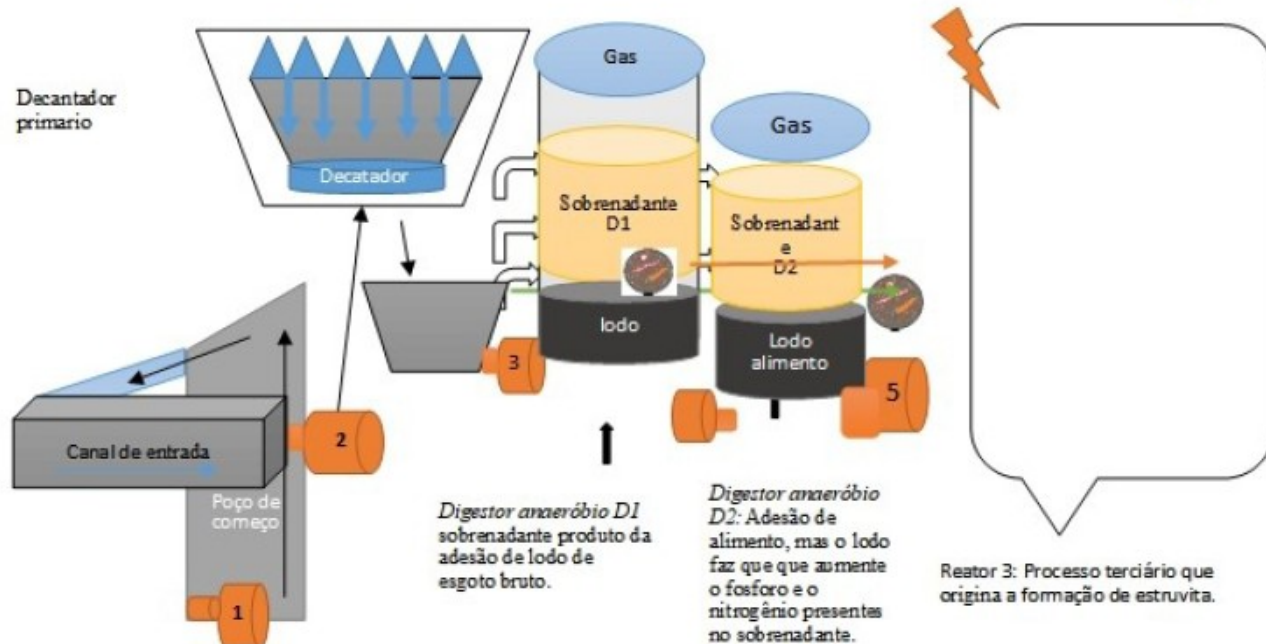


Figura 1 - Unidade piloto de tratamento de águas residuais:

Unidade piloto de tratamento de águas residuais ou lodo de esgoto doméstico conformada por: poço ou unidade de recepção de água de esgoto, bomba Cavalcante de entrada 1, a unidade de filtrado de sólidos grossos, bomba Cavalcante 2 decantador primário, unidade de recepção do lodo, 2 digestores anaeróbios de tratamento secundário D₁ e D₂ onde o lodo divide-se em três partes nomeadas de embaixo para acima: lodo, sobrenadante e gás. O sobrenadante passa para o reator aeróbio R₃ numa fração de 70 Lts usados para a formação de Estruvita com mistura impulsada por motor a 300 rpm durante 1 hora, no reator aeróbio R₃ como tratamento terciário de reaproveitamento de nutrientes presentes no esgoto doméstico para produzir fertilizante, a partir de 2 sobrenadantes dos reatores de digestão anaeróbio de lodo e alimento, tratamento secundário da estação de tratamento CESA na UFRJ.

Estas unidades piloto servem principalmente na linha de pesquisa em curso no CESA da UFRJ no Brasil e que objetiva avaliar o potencial de incremento da produção de biogás e Metano a partir da digestão de diferentes matrizes de substrato, a produção de estruvita e o tratamento de águas residuais (N. C. WOODS, 2010).

Compreende 2 Digestores anaeróbios que são dotados de dispositivos de controle *in-line* de temperatura, pH, vazão e composição de biogás. Conta com um reator aeróbio com um volume de 70Lts para tratamento terciário remoção de fósforo na forma de estruvita de 70Lts com mistura através de um motor de rotação 300 rpm. A Figura 1 ilustra a unidade piloto de tratamento. Descrição do processo do tratamento da água de esgoto.

Adesão de alimento no digestor anaeróbio D₂.

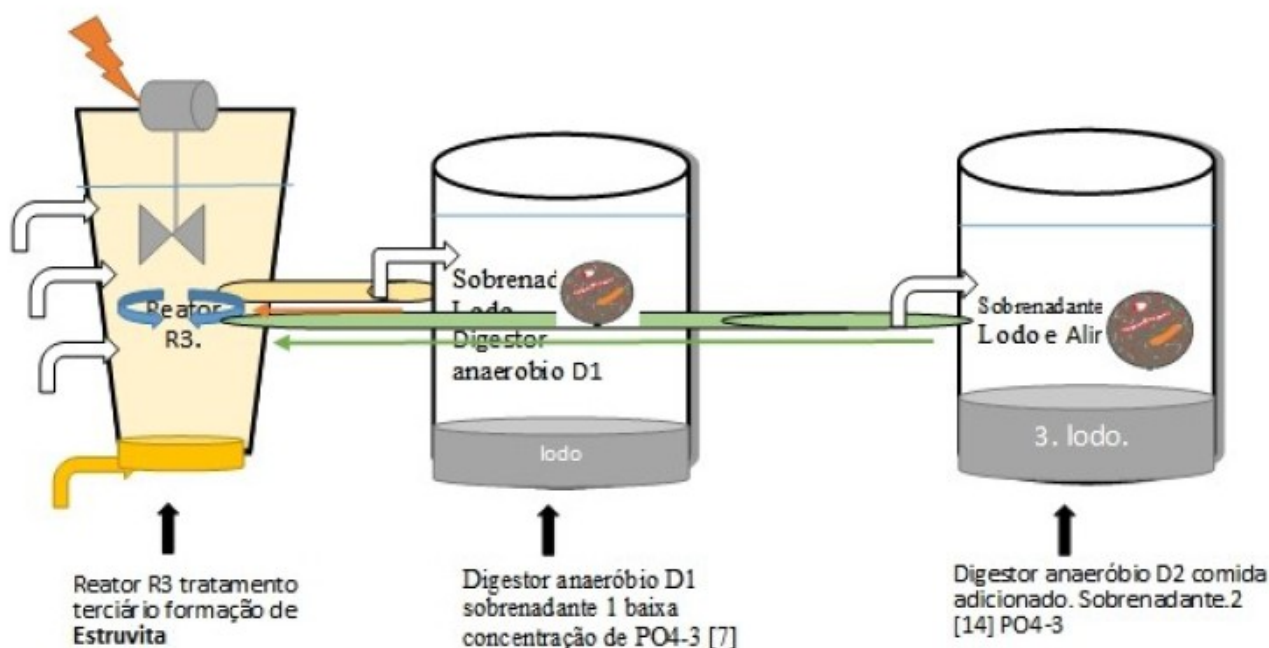


Figura 2 - Digestores anaeróbios D₁ e D₂ para o processo de digestão:

Digestores anaeróbios D₁ e D₂ para o processo de digestão, onde o lodo divide-se em três partes nomeadas de embaixo para acima: lodo, sobrenadante e gás. O sobrenadante passa para o reator aeróbio R₃ numa fração de 70 Lts usados para a formação de Estruvita, no CESA na UFRJ.

Nos testes com o sobrenadante do digestor anaeróbio D₂ na mistura de lodo e alimento, se utilizam várias constantes as quais são: pH=10, Temperatura: 28°C, tempo de mistura 1 hora, revoluções por minuto 300 rpm, mencionadas como melhor condição nos testes de Luciano Dias Xavier 2012.

Com respeito das primeiras análises da segunda parte, mudam para usar como constante, a fonte de magnésio escolhida por estar num termo meio entre as outras, meia concentração e meio preço no mercado; MgSO₄ que aplicado na reação em quantidades variáveis dependendo das concentrações de nitrogênio na forma de amônia NH₄ e o fósforo na forma de fosfato PO₄, presentes na linha de sobrenadante do digestor anaeróbio D₂.

Para interferir nas concentrações de nutrientes presentes no sobrenadante foram adicionadas entre 1.5 kg a 2,5 kg de alimento triturado proveniente dos resíduos do restaurante central universitário da ilha fundão, a adesão de alimento feita a cada 8 dias tendo 120 horas como tempo de digestão, a cada 5 dias e depois incrementou-se a adesão de alimento para cada 3 dias sendo assim diminuído o tempo de digestão do alimento (MD RAHAMAN, 2014).

Depois troca-se o sobrenadante do digestor anaeróbio D₂ num volume de 70 Lts de sobrenadante e adiciona um volume de 70 Lts de lodo, durante um tempo de digestão de 62 h, os 70 Lts de sobrenadante tirado do D₂ passam para o reator aeróbio R₃, onde se faz o teste para a formação de estruvita TFE.

Descrição do processo de formação de Estruvita

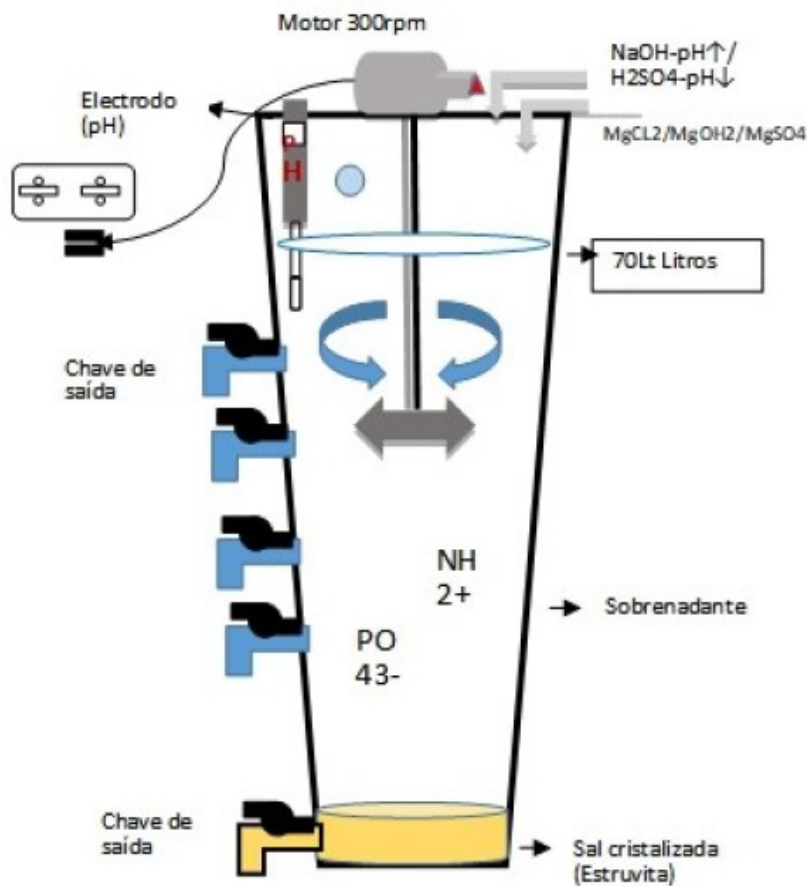


Figura 3 - Processo de formação de Estruvita:

Reator aeróbio número 3 para o procedimento químico que da formação de sais como a estruvita junto ao motor de mistura. A formação de Estruvita acontece no reator aeróbio R₃ de volume de 70 Lts usado para o tratamento terciário TFE com mistura impulsada por motor a 300 rpm durante 60 min, depois da mistura o líquido tornasse com uma consistência viscosa. Após uma hora a mistura fica com flocos que começa a descer ao fundo do reator cristalizado a estruvita. Os testes se fazem a partir de 2 sobrenadantes dos reatores D₁ e D₂, de digestão anaeróbia de lodo tratamento secundário da estação de tratamento CESA na UFRJ (EV MUSVOTO, 2000).

Um motor que conectado a energia 120 W faz girar a hélice dentro do reator a 300 rpm provocando a mistura do sobrenadante coletado proveniente do estado de tratamento secundário digestor anaeróbio D₁ e D₂ em diferentes tempos de digestão e experimentos, com volume de 70 Lts, durante 1 hora de mistura.

Nos primeiros minutos de mistura se introduz-se o eletrodo no sobrenadante para medir o pH e se estiver ácido, adiciona-se o dióxido de sódio NaOH para subir o pH: 10, caso esteja maior que 10, abaixa-se com H₂SO₄ até que fique em pH: 10; quando estiver estabilizado o pH, adiciona-se a fonte de magnésio na quantidade que se precisa para a reação fazer o efeito, a cristalização das sais Estruvita, as fontes de magnésio são: MgCl₂, Mg(OH)₂, MgSO₄, a de baixo custo e a de maior

efetividade será a preferida revelada nos resultados dos experimentos o $MgSO_4$ (WAN, GUO, VAN LOOSDRECHT, 2010).

A quantidade a usar depende de conhecer as variáveis: volume, molaridade dos elementos químicos PO_3 e NH_4 , concentração dos nutrientes fósforo e nitrogênio diluídos no sobrenadante. Aplicar a *equação 1*. Iniciar o cronometro para 1 hora, coletar amostras pequenas para os 15", 30", 45", 60". De tempo em mistura para saber a mudança da concentração do nitrogênio amoniacal e fósforo.

Toma-se as amostras aos 30" e a 60" e espera-se a formação de cristais Estruvita e deixa-se secar ao sol para fazer a análise qualitativo por refração de raios – X, que permite identificar se o tipo de sal formado é Estruvita.

Resultados e discussão da primeira parte

Período de realização deste trabalho

Foram feitas as coletas da linha sobrenadante da unidade de digestão anaeróbia da unidade piloto do CESA, entre os meses de novembro de 2016 a julho de 2017, analisando-se os teores de fosfato e nitrogênio amoniacal presentes no sobrenadante.

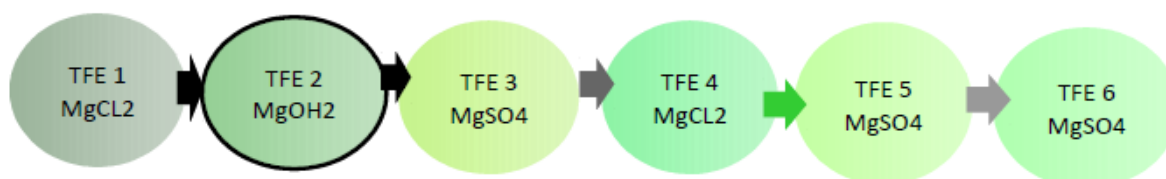
Testes para formação de Estruvita em sobrenadante com lodo de esgoto

Avaliando as Eficiências de 3 fontes de magnésio $MgCl_2$, $MgOH_2$, $MgSO_4$ em remover o fosfato

Os resultados a seguir apresentados foram obtidos a partir de campanha de monitoramento das concentrações de PO_4^{3-} e NH_4^+ presentes na linha sobrenadante da unidade de digestão anaeróbia, denominada D_2 , e cujos substratos afluentes correspondem, respectivamente, exclusivamente ao lodo de esgotos.

As análises para a caracterização do sobrenadante do laboratório LEMA na UFRJ, se fazem para conhecer a concentração inicial dos nutrientes presentes no sobrenadante dentro do digestor anaeróbio D_2 , estes são o fosfato e amônia, os dados tomados durante uma mesma semana, para saber o comportamento durante esse tempo de digestão.

O que permite ter uma ideia do comportamento da concentração dos nutrientes durante o tempo de digestão no digestor anaeróbio D_2 . Conhecer a concentração de fósforo e nitrogênio no sobrenadante D_2 permite poder saber a quantidade do reagente $MgSO_4$ a aplicar no tratamento para a formação de Estruvita.



- ✓ (TFE). Teste para formação de estruvita
- ✓ Ensaios 1,2,4,3,5,6
- ✓ Fonte de magnésio usada como reagente.

Ensaio para formação de estruvita usando diferentes fontes de magnésio, para avaliar a eficiência em remoção de fosfato, comparativamente. Tendo em conta o importante que é o PH: 10 durante os ensaios, os resultados do ensaio 5 com PH em 8 o comprovam, estes dados e outros podem se analisar na tabela 2. A remoção de fósforo precisa ter características de pH: 10 e quantidade exata da fonte de magnésio para que a formação de estruvita eficiente maior ao 90%.

Comparação da caracterização do sobrenadante

Nos digestores anaeróbios D₁ e D₂, avaliação das concentrações de fósforo na forma de fosfato e a concentração de nitrogênio amoniacal, características dos experimentos no reator aeróbio R₃ de volume 70 Lts nos dias 04 – 27 de novembro do 2016.

Tabela 2 - Resultados dos 6 testes de Estruvita.

| TESTE n°: | Data da realização | Fonte Mg+ | Quantidade reagente | PH R3 | [PO ₄] D1 | [NH ₄] D1 | [PO ₄] no D ₂ | [NH ₄] D ₂ | [PO ₄] R ₃ | [NH ₄] R ₃ |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|-------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 04/11/2016 | MgCl ₂ | 51,46 _{gr} | 9.9 | 11,894 | 41,972 | 10,09 | 64,0 | 0,5 | 47,3 |
| 2 | 08/11/2016 | MgSO ₄ | 40,83 _{gr} | 10.0 | 10,358 | 33,094 | 9,8 | 56,9 | 1,2 | 43,9 |
| 3 | 11/11/2016 | Mg(OH) ₂ | 84,48 _{gr} | 10.3 | 9,583 | 25,895 | 9,2 | 50,9 | 0,9 | 45,4 |
| 4 | 16/11/2016 | MgCl ₂ | 51,46 _{gr} | 10.5 | 8,119 | 48,634 | 8,9 | 57,4 | 0,57 | 47,3 |
| 5 | 25/11/2016 | MgSO ₄ | 40,83 _{gr} | 8.4 | 9,099 | 25,783 | 7,91 | 45,7 | 7,3 | 42,4 |
| 6 | 27/11/2016 | MgSO ₄ | 40,83 _{gr} | 10.2 | 7,453 | 14,805 | 9,2 | 50,9 | 1,24 | 43,9 |

Resultados das análises do sobrenadante dos digestores anaeróbios D₁ e D₂ feitos durante o mês de novembro do ano 2016 em condições normais de funcionamento com lodo, referentes às concentrações de PO₄³⁻ e NH₄⁺ na linha sobrenadante de ambas as unidades.

Produto da tabela 2 é criado a figura 4 para a comparação visual dos dados. Na figura 4 se comparam as concentrações de nitrogênio e fósforo antes e depois do tratamento para remoção de nutrientes e formação de estruvita.

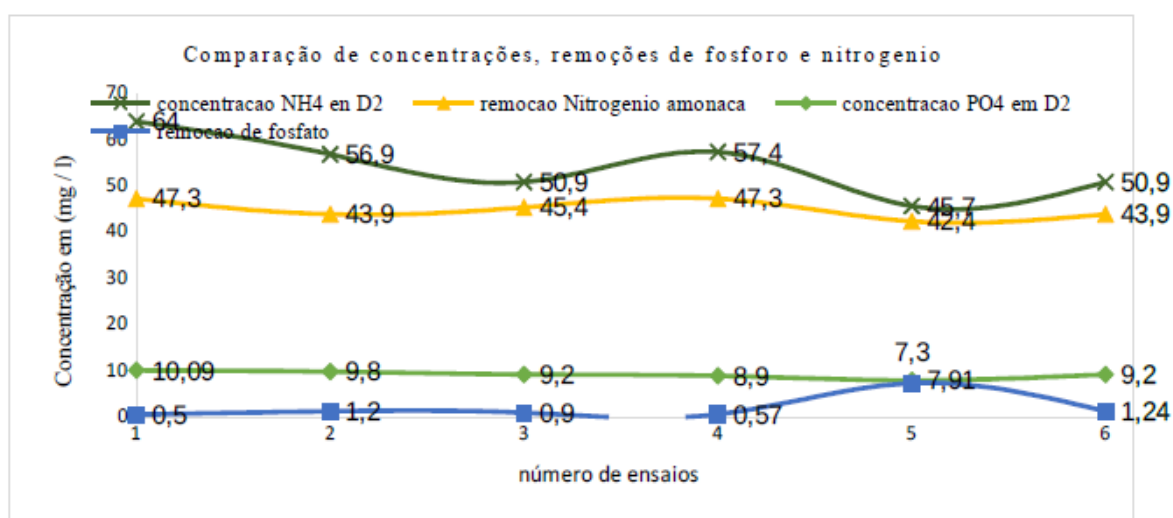


Figura 4 - Remoção de nutrientes:

Valores das remoções de nutrientes, obtidos nos experimentos com adesão de diferentes fontes de magnésio em concentrações similares, os valores mais altos são os de nitrogênio e menor os valores das concentrações de fosfato.

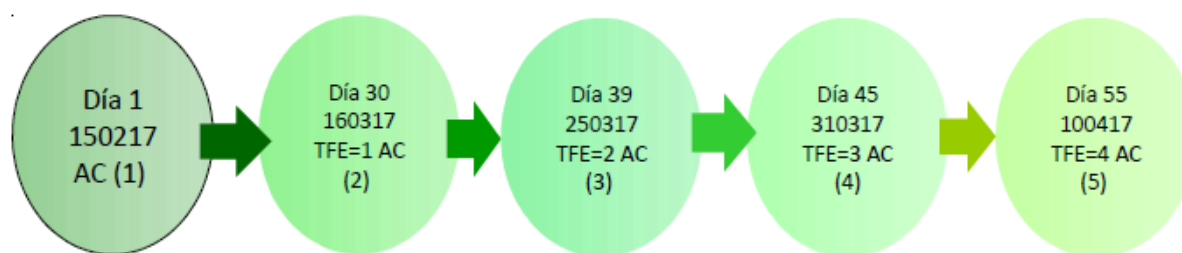
O fósforo aparece como parâmetro limitante em comparação ao nitrogênio, porque as quantidades de fósforo são menores do que o nitrogênio e para a formação de Estruvita precisa duma relação molar de 1:1, entre PO_3 e NH_4 . Durante a digestão, a concentração do fósforo presente na linha de sobrenadante do digestor anaeróbio D₂, aumenta por enquanto o nitrogênio na forma de amônia livre, diminui, isso pode acontecer por que tem íons de nitrogênio amoniacal que volatizam, ficando diluída outra quantidade de nitrogênio, que pode-se recuperar através da formação de Estruvita, junto com o fosforo (PW ANTON PERERA, 2007).

Percebeu-se tendência da eficiência de remoção de fósforo aumentar. É importante ressaltar que as eficiências encontradas neste trabalho se referem à fase inicial do tratamento.

Resultados da segunda parte

Incrementar as concentrações PO_4 e NH_2 com adesão de alimento no digestor anaeróbio. Para formar a cristalização da estruvita, a fonte de magnésio escolhida foi o $MgSO_4$ como eficiente e de preço menor no mercado.

Os resultados foram obtidos a partir de campanha de monitoramento das concentrações de PO_4^{3-} e NH_2^+ presentes nas linhas sobrenadantes de ambas as unidades de digestão anaeróbia, denominadas D₁ e D₂, e cujos substratos afluentes correspondem, respectivamente, exclusivamente ao lodo de esgotos e a combinação entre lodo de esgotos, resíduos orgânicos de alimentos e glicerol.



- ✓ Teste para formação de estruvita (TFE)
- ✓ Solução de alimentação no digestor 2, para aumentar as concentrações de PO_4 e NH_2 (AC).
- ✓ Datas em que se adicionou alimento e lodo.

Volume de Renovação: 70 Lts, dos quais 60 Lts de lodo, mas 10 Lts de sobrenadante para dissolver 2.4 kg de alimento triturado e 30 gr de bicarbonato, usado para manter o pH básico, necessário por que durante o tempo de digestão do alimento, o pH se acidifica pela decomposição do alimento e assim alguns microrganismos morrem.

- $60/10 = 6$. Alimentação em D_2 .
- 450 = volume total do digestor anaeróbio D_2
- $70/450 = 6_{\text{dias}}$ de digestão mínimos de digestão para cada alimentação em D_2 .

No processo de renovação de lodo ocorre três fatores altamente essenciais que são: Fornecimento de oxigênio – necessário para o crescimento das bactérias aeróbias e formação de lodo ativado, Microrganismos – os microrganismos presentes no lodo ativado, que se nutrem da matéria orgânica, transformando-a em produtos estáveis ou inertes, e Nutrientes – serão necessários para estabilização do processo, e estes estão no próprio esgoto bruto.

Tempo de digestão: Depois de cada adesão de alimento mas lodo ($10+60 = 70$ Lts) dentro do digestor anaeróbio D_2 , para incrementar as concentrações de nutrientes dissolutos na fração líquida que se usa para o tratamento formação de estruvita, processo se faz da forma em que sejam diminuídos paulatinamente os tempos de digestão até o tempo mínimo de 6 dias. A continuação o desenvolvimento da pesquisa.

O equilíbrio destes fatores fornece a possibilidade da redução da carga orgânica por meio de um processo natural, onde os microrganismos presentes no sistema de tratamento se encarregam de transformar a matéria orgânica em substâncias estáveis.

Durante a cristalização da Estruvita ocorre a formação de flocos que enlaçam os nutrientes presentes no sobrenadante o fósforo e nitrogênio e também a matéria orgânica diluída no sobrenadante, fazendo com que o tom escuro da água desapareça quando se formam os flocos que decantam como sinalizado na figura 5.

Trazendo como resultado desta pesquisa dois produtos; 1º - água para re-uso não potável e 2º - fertilizante usando o cristalizado de Estruvita que possui nutrientes como fósforo e nitrogênio, o sulfato de magnésio e a matéria orgânica contidos dentro.

Este tipo de tratamento é efetivo sempre que cumpra todos os requerimentos para gerar a formação de Estruvita, estes são as variáveis fixas como pH:10, mistura 1 hora, a 300 rpm, temperatura ambiente e cumprindo com variável quantidades da fonte de magnésio a adicionar, para a concentração dos nutrientes presentes no sobrenadante, sem importar que o sobrenadante possui matéria orgânica em decomposição dissoluta.

A matéria orgânica produto do alimento não impede a formação de Estruvita, durante a cristalização a matéria orgânica se junta para a formação dos flocos, ficando no fertilizante.

Imagens da formação de Estruvita



Figura 5 - Processo em que a água fica limpa após TFE:

3 fotos que apresentam o processo do tratamento para a formação de estruvita usando o sobrenadante proveniente da digestão de lodo de esgoto e alimento. Na primeira mistura o sobrenadante escuro durante 1 hora, na segunda foto após que desliga o motor formam-se flocos que decantam pela ação da gravidade, e na terceira foto o sobrenadante em R₃, limpo água para re-uso e no fundo o cristalizado em forma de estruvita.

Imagens da segunda parte desta pesquisa caracterizado pela digestão de lodo e alimento no digester anaeróbio D₂, quando o sobrenadante esta da cor preto com matéria orgânica dissolvida em decomposição, e escuro se faz o teste para a formação de Estruvita da forma apresentada na primeira foto da figura 5, usando-se o método descrito nesta pesquisa.

Tabela 3. Resultados da segunda parte da pesquisa

| | <i>Amostras</i> | <i>Fosforo Mg/Lts</i> | <i>Nitrogênio Mg/Lts</i> | <i>Unidade.</i> | <i>% [P]</i> | <i>%[N]</i> | <i>COD</i> |
|----|-----------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| 1 | 15- fev-17 | 13,353 | 88,32 | D ₂ | | | 1502 _{D2} |
| 2 | 19-Fev-17 | 19,038 | 61,226 | D ₂ | 30% | -31% | 1902 _{D2} |
| 3 | 20- fev-17 | 20,28 | 92,088 | D ₂ | (36) 6% | 31% | 2002 _{D2} |
| 4 | 13-mar-17 | 11,4 | 78,01 | D ₂ | -44% | -15% | 1303 _{D2} |
| 5 | 14-mar-17 | 6,06 | 26,15 | D ₁ | -47% | -66% | 1403 _{D1} |
| 6 | 14-mar-17 | 9,5 | 61,2 | D ₂ | 17% | -21% | 1403 _{D2} |
| 7 | 16-mar-17 | 1,53 | 47,11 | R ₃ | -84% | -23% | 1603 _{R3} |
| 8 | 17-mar-17 | 14,68 | 44,44 | D ₂ | 89% | -27% | 1703 _{D2} |
| 9 | 27-mar-17 | 13,41 | 80,07 | D ₂ | 9% | 44.4% | 2703 _{D2} |
| 10 | 29-mar-17 | 12,76 | 88,23 | D ₂ | -5% | 53(9%) | 2903 _{D2} |
| 11 | 30-mar-17 | 3,84 | 77,09 | R ₃ | -70% | -13% | 3003 _{R3} |
| 12 | 03-abr-17 | 15,02 | 103,38 | D ₂ | 15% | 15% | 0303 _{D2} |
| 13 | 07-abr-17 | 5,87 | 35,22 | D ₁ | -61% | -66% | 0704 _{D1} |
| 14 | 07-abr-17 | 14,56 | 142,24 | D ₂ | -3% | 75% | 0704 _{D1} |
| 15 | 07-abr-17 | 5,34 | 141,26 | R ₃ | -63% | -0,7% | 0704 _{D1} |
| 17 | 18-abr-17 | 10,73 | 93,27 | D ₂ | -26% | -34% | 1804 _{D2} |

Suma dos resultados da segunda parte desta pesquisa, onde se adiciona alimento triturado no digestor D₂ para aumentar os valores das concentrações de fósforo e nitrogênio, e comparar o comportamento das concentrações durante diferentes tempos de digestão e depois do tratamento para a formação de Estruvita.

Na tabela 3 aparecem compilados os dados dos resultados da segunda parte desta pesquisa, onde é adicionado junto com o lodo, alimento triturado a fim de aumentar as concentrações de nutrientes nitrogênio e fósforo presentes no sobrenadante, para observar as variações das concentrações produzidas 1° para aumento de nutrientes com adesão de alimento triturado, mas o lodo no digestor anaeróbio D₂ e 2° para remoção de fósforo por meio do tratamento para a formação de Estruvita.

Para fazer mais notório a variabilidade nas concentrações, os resultados expressaram-se em percentagem, onde os resultados de remoção de fósforo aparecem como valores negativos porque se resta a concentração de nutrientes presentes no sobrenadante, e os resultados positivos são os de adesão de alimento e lodo dentro do digestor anaeróbio.

Na tabela 3 particulariza os dados de cada unidade digestora os quais contém a informação de concentração de nutrientes fósforo PO₄ e nitrogênio NH₄ presentes no sobrenadante, assim na unidade digestora R₃ contém as informações depois do tratamento para formação de estruvita, os dados de remoção de fósforo, a concentração final resta com a concentração da unidade digestora D₂ que são os dados das concentrações iniciais.

A degradação biológica de compostos orgânicos ocorre em vários estágios bioquímicos consecutivos, cada qual realizado por diferentes grupos de microrganismos específicos. Vários produtos intermediários são continuamente gerados e imediatamente processados, havendo a necessidade dos vários estágios ocorrerem na mesma velocidade. O monitoramento das variáveis é importante para o controle da digestão anaeróbia como, temperatura, pH, nutrientes, taxa de carregamento orgânico e produção de metano por microrganismos (RAJESHWARI *et al.*, 2000).

Suma de concentrações

Fósforo e nitrogênio nas unidades de tratamento durante a segunda parte da pesquisa; adesão de alimento para incrementar as concentrações de PO_4 e NH_4 .

Gráfico da suma das concentrações de PO_4 e NH_4 em mg/Lts.

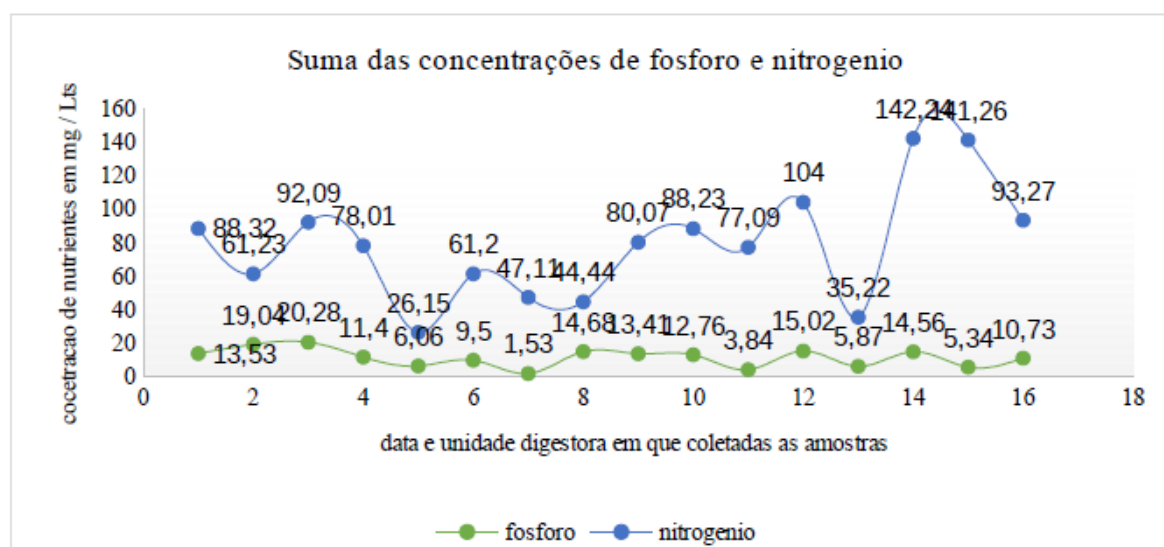


Figura 6 - Resultados da segunda parte desta pesquisa:

Nutrientes PO_4^{3-} e NH_4 em mg/Lts que sofrem variações das concentrações depende da adesão de alimento no digestor anaeróbico D_2 , em comparação com os valores para remoção de nutrientes dos dados do reator aeróbico R_3 para a formação de estruvita. O digestor anaeróbico D_1 em operação normal com lodo.

Na figura 6 desenhados os resultados da segunda parte desta pesquisa, podendo levar numa trajetória as variabilidades de aumento e diminuição de concentração de fósforo e o nitrogênio, os valores altos são as concentrações de nitrogênio representados na linha maior, e as concentrações de fósforo expressada na linha baixa por estar presente no sobrenadante em quantidades menores.

Na figura 6 numa linha contínua a segunda parte desta pesquisa; a linha diminui por que 1º concentração de nutrientes durante o tempo de digestão diminui, e 2º depois do tratamento de formação de Estruvita a linha diminui, a linha aumenta quando se adiciona no digestor anaeróbico o lodo e o alimento triturado, ocorre durante a digestão do alimento a representação da distribuição normal onde concentração sobe e desce durante a digestão.

Comprovado desde o experimento da alimentação 1º desta pesquisa, com tempo de digestão de 30 dias, que o comportamento da concentração de nutrientes fósforo e nitrogênio está representado pela distribuição normal estatística.

Como a digestão anaeróbia é um processo de tratamento biológico, os parâmetros de carga são mais significativos se forem expressos em termos de cargas orgânicas. Em relação aos lodos, as cargas são baseadas em sólidos voláteis (SV), convencionalmente expressa em um digestor em kg de SV por dia e por metro cúbico de volume de digestor $\text{kgSV}/\text{m}^3.\text{d}$, a estabilidade do processo anaeróbico e a taxa de produção de gás são dependentes desta carga orgânica volumétrica (TARICKSKA *et al.*, 2009).

A digestão anaeróbia pode promover redução da concentração de sólidos voláteis na faixa de 35% a 60%, dependendo da natureza do lodo de esgoto e das condições de operação do sistema (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Discussão da segunda parte

Alimentação 1

Durante a digestão as concentrações de fosfato e amônia presentes no sobrenadante aumentam pela adesão do alimento e lodo, se adiciona o bicarbonato para manter o pH Básico por que devido a decomposição do alimento, o meio se acidifica impedindo a sobrevivência dos microrganismos que digerem o alimento e a matéria orgânica. A tabela 3 apresenta os resultados dos sobrenadantes de D₂ dando comparação entre antes e depois da alimentação nos dias sinalizados e as concentrações em mg/Lts.

Também notou-se que ao princípio da digestão imediatamente aumenta de forma rápida o fosfato dentro do sobrenadante, aparecendo, mas diluído, o nitrogênio ao princípio não aumenta de forma significativa, depois, com os dias de digestão o NH₄ aumenta e se mantêm alto. Depois da digestão os nutrientes PO₄ e NH₄ aumentam.

Alimentação 2

Adicionar o lodo com os microrganismos dentro do digestor anaeróbio D₂, estes consumiram a matéria orgânica e a digeriram, volatilizando algumas partículas convertendo-as em gás, e produzindo sobrenadante da cor clara, a água transparente pronta para re-uso, enquanto ao número das baterias anaeróbias encontrasse maior em comparação das bactérias aeróbias, pelo processo no digestor anaeróbio D₂.

O valor a ressaltar da concentração de fósforo na água depois do tratamento para formação de Estruvita, o valor indica que: 1º; a remoção de fósforo, o resultado se obtêm restando o número da concentração final com o número da concentração inicial do sobrenadante, e 2º; os padrões de lançamento de fósforo no ambiente diminuem.

Para analisar a remoção de nitrogênio se compara as remoções sabendo que a remoção percentual 1:1 molar é 90% de fosforo e 90% de nitrogênio que corresponde igual a maior porção de fosforo 9,5 mg/Lt consumiria 9,5 mg/Lt de nitrogênio que é a fração percentual de 15% pelo que se consumiu 23% de nitrogênio 14,4 mg/Lt significa que consumiu mais nitrogênio na reação.

Alimentação 3

Durante o tempo de digestão depois da alimentação, a decomposição da matéria orgânica produz o sobrenadante da cor escura dentro do digestor D₂, caracterizado por ter muitos sólidos suspensos totais SST, constituído por pedacinhos de alimento triturado que foram adicionados anteriormente em D₂ que decompostos pela ação dos microrganismos presentes no lodo, 70 Lts a cada 49 horas, fica escuro o sobrenadante de cor preto passa para o Reator R₃, onde recebe o tratamento de cristalização de Estruvita.

Os flocos da cor branca quando no caso são Estruvita, sem importar o sobrenadante escuro pela MO matéria orgânica em decomposição presente no sobrenadante, depois do teste para a formação de Estruvita forma uns flocos que se precipitam para o fundo do R₃ ocupando o espaço de embaixo do cristalizado de Estruvita, ocorre por que a MO é mais pesada do que a sal de Estruvita, se vê através da transparência das paredes do reator aeróbio R₃, se reconhece por que a parte escura fica colada no solo do reator e os flocos claros se acumulam acima. A formação de Estruvita influencia para que a água seja clara, transparente depois do processo o cristalizado fica no fundo do R₃ processo o que ocupa um tempo de 4 horas decantando.

Tira-se a água para re-uso como por exemplo; Regagem de plantas, lavagem de carros, descarga de banheiros; em conclusão, o uso não potável.

Alimentação 4

Para o teste de formação de Estruvita no sobrenadante escuro, quando as concentrações dos nutrientes fosfato e amônia são altas, o teste foi concebido nas características antes descritas, observou-se que ao finalizar do TFE se consegue a decantação de sólidos suspensos; a matéria orgânica produto da alimentação e os nutrientes fosfato e amônia, ficando assim um líquido sobrenadante em R₃ claro e possivelmente livre para re-uso não potável, a parte que decanta é a cristalização da Estruvita misturada com a MO com potencialidade de uso para fertilizante.

Na adesão de lodo, também se adicionam os microrganismos que fazem o trabalho de digerir a matéria orgânica e converter em gás alguns componentes presentes e também os nutrientes no sobrenadante, o volume de troca de sobrenadante em D₂, escolhido por ser o mesmo volume na unidade R₃, para ter a parte líquida ou sobrenadante de D₂ num volume de 70 Lts, para encher o R₃ no dia em que precisa o experimento, o que acontece quando volume de troca de sobrenadante é 35 Lts, precisa de 2 vezes troca de sobrenadante do digestor anaeróbio para encher o R₃ e fazer o experimento.

O primeiro experimento de alimentação no tempo de digestão de 30 dias que produz a digestão completa quando o sobrenadante em D₂ fica claro, em comparação quando o tempo de digestão em D₂ é de 6 dias, os sólidos produto do alimento triturado, permanecem na fração líquida os quais dão ao sobrenadante a coloração preta.

Alimentação 5

Com a alimentação sem glicerol, a concentração do fosfato aumento em 14,56 mg/Lts, a concentração do nitrogênio amoniacal aumentou em 142,24 mg/Lts, e com a alimentação com glicerol o sobrenadante em D₂ aumentou para fosfato em 10,73 mg/lts e para N-amônia 98,27 mg/Lts menor em comparação da adesão de alimento sem glicerol, o que indica que o glicerol aumenta concentrações de nutrimentos presentes no digestor D₂. Com uma diferença de aumento das concentrações em fosfato de 26% e de nitrogênio 34%, a alimentação com o glicerol é menor do que alimentação sem glicerol.

Adicionando o glicerol na mistura de alimento e lodo seguidamente os três elementos e sem intervalos de somente lodo, poderia incrementar em maiores níveis as concentrações de nutrientes diluídos no sobrenadante do digestor anaeróbio D₂, porque o glicerol consegue manter a

concentração constante sem abaixar rapidamente, os incrementos das concentrações de nutrientes dependem da digestão da adesão de alimento e lodo.

Conclusões

Comparadas as diferentes fontes de Magnésio em eficiência encontrou-se que o $MgSO_4$ – Sulfato de Magnésio como a fonte de magnésio usada porque segundo os testes feitos possui boa efetividade gastando menor quantidade em gramas. Contudo, a formação de Estruvita compensaria o investimento realizado na medida em que a Estruvita tem importante função como condicionador de solos ou fertilizante, sendo possível a sua comercialização.

As variabilidades das concentrações apresentadas para a adesão da solução AC = Alimento + lodo aumenta a concentração dos nutrientes PO_4 e NH_4 ao de 10 mg/Lts a mais do estado inicial isso na primeira adesão de alimento 2.4 kg e durante o tempo de retenção hidráulica de 30 dias; o sobrenadante em D_2 fica claro.

Durante o tempo de digestão a concentração de PO_4 e NH_4 de P20%. Passo a ser de P11%, diminuiu, permitiu a solubilização de cerca de 62% de seu conteúdo de fósforo por isto apareceu a necessidade de não esperar o tempo de digestão total, fazer os testes com sobrenadante escuro e alto percentagem de concentração de nutrientes.

Os sólidos suspensos totais (SST) podendo-se remover do esgoto em cristalização de Estruvita junto com o fósforo e nitrogênio, quando o sobrenadante estiver de cor preto com a maior carga de matéria orgânica produto da adição de alimento triturado no digestor anaeróbio. Depois do tratamento de formação de Estruvita, se limpa o sobrenadante ficando claro. Água para re-uso não potável.

No caso, lodo alimento, libera mais NH_4 e PO_4 do que somente lodo e ainda o fato de que quanto mais NH_4 e PO_4 , mais Estruvita porque a concentração de fósforo aumentou dentro do digestor D_2 durante os dias da digestão enquanto os dias da digestão o nitrogênio tende de abaixar. Isso por que existem bactérias nitrificantes que consomem o nitrogênio. Pelo que a concentração não permanece constante.

Na melhor condição escolhida na segunda parte desenvolvida foi o ensaio 2 apresentado na tabela 2 deste trabalho onde teve remoção de fósforo de 83,8%, foram precipitados 49 gr de $MgSO_4$ para 70 Lts de sobrenadante em pH: 10 tendo em conta a tabela 3 para concentração de fosfato em 20%.

A diferença entre o aumento nas concentrações que gerou o glicerol e alimento é menor do que somente alimento com uma diferença percentual em fósforo do 26% e em nitrogênio de 34%.

Referências bibliográficas

ADNAN, A., MAVINIC, D. S., KOCH, F. A. Pilot scale study of phosphorus recovery through struvite crystalization, examing the process feasibility. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2, pp. 315-324, 2003.

AIDAR, F. N. *Fatores intervenientes na cristalização da Estruvita para a recuperação do fósforo de esgoto*. Universidade de São Paulo, Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo: Escola Politécnica, 2012.

ALICE WATTE SCHWINGEL, A. C. Desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com glicerina bruta. **Revista Ciência Agronômica**, 47(4), 778-783. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n4/1806-6690-rca-47-04-0778.pdf>, 2006.

AMERICA, M. S. **Handbook of Mineralogy** (Vol. IV). Retrieved from [http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/struvite-\(K\).pdf](http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/struvite-(K).pdf), 2000.

BRITTON, G. **Wastewater Microbiology**. In R. M. Series (Ed.), while series in ecological and applied microbiology (Vol. III, p. 746). Nova Jersey: John Wiley & Sons. Retrieved 2017, from <http://test1.bicpu.edu.in/ebooks/Biology/MicroBiology/Wastewater%20Microbiology%20-%20Gabriel%20Bitton.pdf>, 2004.

C. DA SILVA, L. G. **Cinética de precipitación de Estruvita**. In X. S. DDAAL (Ed.). Habana, Cuba: epto. de ingeniería Química y Ambiental, Universidad Técnica a)Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez, Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/276208145_L_Guerrero_C_Da_Silva_J_Campos_Cinetica_de_precipitacion_de_estruvita_POSTER_XI_Simposio_Latinoamericano_de_Digestion_Anaerobia_DAAL_La_Habana_Cuba, 2014.

CASTRO, S. R. **PRECIPITAÇÃO DE ESTRUVITA RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO UTILIZANDO FONTES ALTERNATIVAS DE REAGENTES**. UFMG, Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG. Retrieved from <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1027D.PDF>, 2014.

DIAS XAVIER, L. **Recuperação de fósforo a partir da precipitação de Estruvita na linha sobrenadante do digestor anaeróbio de lodo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Química e Ambiental, 2014.

EDUARDO P. JORDAO, C. A. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (Vol. 11). (E. S. Ambient., Ed.) Rio de Janeiro: ABES. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000100001, 2006.

ELISABETH V. MUNCH, K. **Controlled struvite crystallization for removing phosphorus from anaerobic digester sidestreams**. *elsevier science*, 35(1), 151-159. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11257869>, 2001.

EV MUSVOTO, G. E. **Extension and application of the three-phase weak**. (R. 7701, Ed.) Retrieved from http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/2000/04/WaterSA_2000_04_1182.pdf, 2000.

FORREST. A. L, F. K. Optimizing struvite Production for Phosphate recovery in WWTP. **Journal of Environmental Engineering**, 134(5), pp. 395-402, 2008.

INSTITUTE, E. C. **Info Escola**. Retrieved from navegando e aprendiendo: <https://www.infoescola.com/ecologia/digestao-anaerobica/>, 2018.

JAMES D. DOYLE, S. A. **Struvite formation, control and recovery**. 36, 3925-3940. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12405401>, 2002.

KAREN ZAUNER GIMENES, M. B. S. **DECOMPOSIÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA ALÓCTONE E AUTÓCTONE EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS**. **Oecologia Australis**, 14(4), 1036-1073, 2010.

LIRA, L. F. **Recuperação de fósforo por cristalização de Estruvita**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia de Engenharia Sanitária, Brasil. Retrieved from http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15995/1/LilianeFGL_DISSERT.pdf, 2012.

MARÍA MOLINOS. SENANTE, R. S. **Fosforo contenido en las aguas residuales: una aproximacion economica**. *Asepuma*, 11, 179-195. Retrieved from http://www.revistarecta.com/n11/recta_11_13.pdf, 2010.

MD. SAIFUR RAHAMAN, D. S. Modeling phosphorus removal and recovery from anaerobic digester supernatant through struvite crystallization in a fluidized bed reactor. **Water Research**, 51, 1-10, 2014.

MEYER, P. W. United States of America, Patent No. US7182872B2, 2007.

MUSTER T. H, D. G. **Towards effective phosphorus recycling from wastewater: Quantity and Quality**. 91, 676-684. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23453605>, 2013.

N. C. WOODS, S. M. Recuperación del fósforo de las aguas residuales urbanas. Modelo para la evaluación de la viabilidad económica de su implantación en la edars. **Ingeniería Química**, Tratamiento de aguas residuales, 117-128, 2000.

N. C. WOODS, S. M. Phosphorus Recovery Technology Modeling and Feasibility Evaluation for Municipal Wastewater Treatment Plants. **Journal Environmental Technology**, 20(7), 663-679. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09593332008616862>, 2010.

OHLINGER K. N, Y. T. Predicting Struvite Formation in digestion. **Water Research**, 32, 14-3607. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135498001237>, 1998.

OSVALDO LUÍS VIEIRA FARIA, P. R. **REMOÇÃO DE FÓSFORO DE EFLUENTES DA PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ POR absorção biológica e em reator em batelada sequencial (RBS)**1, 309-3017. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n2/30178.pdf>, 2006.

P. W. ANTON PERERA, Z. Recovery of Nitrogen and Phosphorous as Struvite From Swine Waste. **Biomedical and Environmental Sciences**, 20, pp. 343-350. Retrieved 2017, from <http://www.besjournal.com/Articles/Archive/2007/No5/200906/P0200906047018890320568620072051495.pdf>, 2007.

RAW A. M, P. B. Multiple stage sewage digestion. *Trans Am Soc Agric Eng*, 105, 93-132. Sanchez, I. F. (2016, April 7). Insights into microbial diversity in wastewater treatment systems: How far have we come? **Biotechnology Advances**, 33. doi:10.1016/j.biotechadv.2016.04.003, 1989.

SILVA, M. M. **Remoção de fósforo do percolado de lodo sintético por precipitação de Estruvita em reator de leito fluidificado**. Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia de Engenharia Sanitária, Natal, RN, Brasil. Retrieved from <https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/3363/3/Remo%C3%A7%C3%A3o-f%C3%B3sforo-percolado-SILVA-Monografia.pdf>, 2016.

SNIS - Sistema Nacional de Informacoes de Saneamento. **Diagnostico dos servicios de agua de esgotos**. (p. 164). Brasilia: SNSA/MCIDADES. Retrieved from http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf, 2014.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In EDUFMG (Ed.). Brasil: Série Princípios do Tratamento Biológico de Águas. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/308203110/Von-Sperling-Introducao-a-Qualidade-Das-Aguas-e-Ao-Tratamento-de-Esgotos-Capitulo-3>, 2005.

VALDERI D. LEITE, W. S. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(2), 190-196. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n2/v13n02a13.pdf>, 2009.

WANG, C. C., GUO, G. S., VAN LOOSDRECHT, M. C. Formation of pure Struvite at neutral pH by electrochemical deposition. **Journal of Chemical Engineering**, 159(1), pp. 280-283. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894710001385?via%3Dihub>, 2010.

Recebido em 22/06/2018

Aceito em 03/07/2018