

Desempenho do Tratamento de Esgoto Doméstico de uma ETE Nexus, Utilizando Análise Multivariada de Dados

Ludmila Zotele Azeredo
Universidade Federal do Espírito Santo
ludimila.za@gmail.com

Larissa bastos Paulino
Universidade Federal do Espírito Santo
larissa_paulino@gmail.com

Ricardo Franci Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo
rfg822@gmail.com

ABSTRACT

This article aims to analyze the performance of the liquid phase of a new type of wastewater treatment plant, which has the goal to improve the final quality of the effluent. The association of preliminary treatment step, UASB reactor, high rate algal pond and a solid-liquid phase separation with microalgae recirculation of, compose the treatment system. To determine the performance of the system, physical-chemical analyzes of the variables related to organic matter and nutrients were carried out for each of the processes that make up the system. A multivariate statistical analysis of the data was also performed through a Principal Component Analysis (PCA) to determine the directions that contain most of the variance, i.e, more useful information. From the statistical analysis of the data, the highest correlations related to organic matter were between COD and BOD (0.7596) and between COD and SSV (0.6931) and high correlations between NTK and N-NH₃ variables were achieved for the nutrients data. These results indicated that the new model of wastewater treatment plant suggested performs satisfactorily at the tertiary level of sewage treatment, including all aspects of the legislation regarding the discharge of this effluent into the receiving water bodies.

Keywords: UASB; high rate algal pond; microalgae.

1. INTRODUÇÃO

Os limites na disponibilidade de recursos estão impulsionando uma mudança nos atuais sistemas de produção da sociedade, mudando o foco do tratamento de resíduos, e, um exemplo disso é a recuperação de recursos no tratamento de águas residuárias. As estações de tratamento de esgoto (ETEs) convencionais não aproveitam esse potencial, que poderia não só aliviar a demanda desses insumos no ambiente, mas também gerar receitas importantes para as concessionárias de água e esgoto, fundamentais para a elevação dos índices de saneamento no país, pois essa visão reduziria de forma significativa a captação de água bruta nos mananciais bem como gasto com energia e insumos nesses setores. Novas ETEs estão sendo estudadas, alinhadas com os conceitos NEXUS, alimento-água-energia, que representa a interconexão entre os três recursos (GARCIA; YOU, 2016), e economia circular (do berço ao berço). Dessa forma, o esgoto passa a ser considerado como uma fonte de recursos, em que a energia, a água de reuso, os produtos orgânicos e outros recursos, são recuperados como valiosos produtos, em vez de dissipados ou destruídos (PUYOL et al., 2017).

A integração de estações de tratamento de esgoto a base de sistemas anaeróbios, com sistemas de microalgas está cada vez mais sendo pesquisada pois visa o aproveitamento de nutrientes derivados do esgoto sanitário doméstico e, principalmente, visa a geração de energia e bioprodutos provenientes da biomassa algácea, ou seja, converter um fator de desperdício em recursos rentáveis para a produção de energia e de água de reuso (MANGER-KRUG et al., 2012; AZEREDO, 2016). Neste sentido, o estudo em questão visa analisar o desempenho de um novo modelo de ETE nexus composta, basicamente, por uma associação em série de uma etapa de tratamento preliminar, tratamento anaeróbio por meio de um reator UASB, e pós tratamento em lagoa de alta taxa (LAT), seguida de uma etapa de separação sólido-líquido da biomassa produzida. Além disso, apresenta uma análise multivariada das variáveis do processo de tratamento de esgoto em relação à matéria orgânica e nutrientes, para cada etapa do processo.

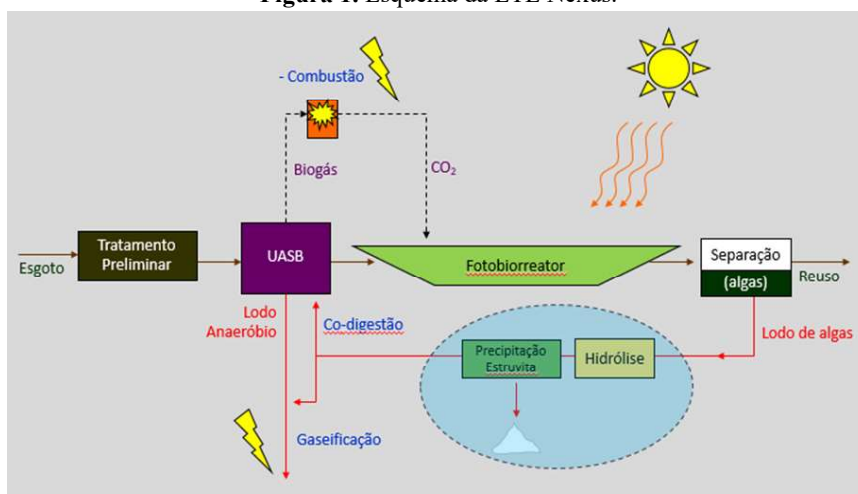
2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do sistema

A ETE Nexus piloto estudada, foi montada na Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) da CESAN localizada no bairro Araçás no município de Vila Velha – ES. O parque experimental foi projetado para uma população de 302 habitantes e opera a uma vazão média de 0,14 L/s. O foco desse estudo será a fase líquida do sistema, ou seja, o efluente do reator UASB e da LAT.

No sistema analisado, a princípio, o esgoto bruto é captado e submetido a um tratamento preliminar com o objetivo de remover sólidos grosseiros e em suspensão. Em seguida, é direcionado ao reator UASB para a digestão anaeróbia de grande parte da matéria orgânica dissolvida. O efluente proveniente do UASB é encaminhado para uma etapa de pós-tratamento em fotobiorreatores. Neste caso, foram utilizadas duas lagoas de alta taxa subsequentes, que tem como objetivo a degradação da matéria orgânica remanescente e, principalmente, a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo). Nesta etapa, o efluente anaeróbio, rico em nutrientes, atua como substrato para o crescimento das microalgas, combinado com a incidência da radiação solar, bem como o gás carbônico proveniente da combustão do biogás, produzido na digestão anaeróbia, que age como fonte de carbono. Prosseguindo, na etapa seguinte tem-se o processo de separação sólido líquido, o qual visa a obtenção de uma biomassa de microalgas e um efluente final que atenda aos padrões de reuso e lançamento nos corpos hídricos. A biomassa algácea obtida é encaminhada para a etapa de lise celular, por meio do processo de hidrólise, para que assim ocorra o rompimento da parede celular e, conseqüentemente, o aumento da biodegradabilidade anaeróbia no processo de codigestão no reator UASB. O fluxograma do sistema proposto está descrito na **Figura 1**.

Figura 1. Esquema da ETE Nexus.



Fonte: Adaptado de Azeredo 2016.

A qualidade do efluente foi avaliada seguindo metodologias adequadas para caracterização físico-química das seguintes variáveis, Sólidos Suspenso Totais (SST), Sólidos Suspenso Voláteis (SSV), DQO, DBO₅, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Fósforo Total (Ptotal). A coleta foi realizada por meio de amostragem simples durante o período de setembro de 2017 a março do ano de 2018, duas vezes por semana nos seguintes pontos: i) efluente bruto de esgoto sanitário; ii) efluente tratado do reator UASB; iii) efluente tratado da LAT 1 e iv) efluente tratado da LAT 2. As metodologias de análises utilizadas obedeceram aos procedimentos recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – 22ª Edição (APHA, 2012). As análises foram realizadas nas dependências do Laboratório montado na CESAN em Araçás.

Para a caracterização do efluente final quanto ao tratamento terciário do efluente de esgoto sanitário, foi realizada em escala de bancada, uma etapa de separação sólido-líquido das microalgas, por meio de um processo de filtração. O efluente filtrado foi caracterizado de acordo com as mesmas análises, citadas anteriormente, realizadas para o efluente antes do processo de separação.

2.2 Análise estatística dos dados

Para análise estatística dos resultados, realizou-se uma análise multivariada dos dados, utilizando a técnica de Análise por Componentes Principais (PCA). O PCA aplicado ao conjunto de dados tem como ideia central diminuir seu tamanho e preservar a maior parte da variância, o que é obtido através da transformação das variáveis iniciais em variáveis não correlacionadas, as componentes principais (PCs). As PCs são as direções que contêm a maior parte da variância presente nas variáveis originais (JOLLIFFE, 2002). Segundo Wold (1987), os principais objetivos da PCA são: simplificação, redução de dados, modelagem, identificação de outliers, seleção de variáveis, classificação, predição e desmembramento.

Nesse trabalho foram plotados os scores das duas primeiras componentes principais com o objetivo de identificar o comportamento das variáveis em relação às 38 amostras colhidas do esgoto bruto, do efluente do UASB e das LAT's. Além disso, através da matriz de correlação, foi analisado como as variáveis se correlacionam.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo geral, as características médias do esgoto sanitário bruto obtidas, 364 mg/L de DQO, 162 mg/L de Sólidos Suspensos Totais (SST) e 115 mg/L de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), estão abaixo da concentração típica de 600 mg/L, 350 mg/L e 320 mg/L, respectivamente encontradas por Von Sperling (2007). Com relação aos nutrientes, foi considerado que a parte de nitrogênio que foi oxidada no esgoto, ou seja, nitritos e nitratos, foi igual a zero. Neste sentido, o valor médio de 57,3 mg/L de NTK está acima do valor típico de 45 mg/L e o valor médio de 6,3 mg/L de fósforo total está abaixo do valor típico de 7 mg/L (VON SPERLING, 2007).

Essas características médias do esgoto sanitário apresentadas podem estar relacionadas ao aumento da pluviosidade e mudanças de temperatura que ocorreram durante o período da pesquisa, pois altos índices pluviométricos podem ter acarretado a diluição do esgoto afluente da ETE.

3.1 Desempenho do tratamento anaeróbio

O efluente do UASB, apresentou valor médio de 179 mg/L de DQO, valor considerado comum para efluente de reatores anaeróbios (COUTO, 2016; SANTIAGO, 2013). As concentrações de DQO no efluente do UASB apresentaram uma redução de 22 a 38% em relação à concentração afluente. Este fato como mencionado anteriormente, pode ter relação com o aumento da pluviosidade durante o período da pesquisa. As cargas orgânicas médias afluente e efluente do UASB, utilizando como indicativo principal a DQO, foram, respectivamente, de $4,3 \pm 1,4 \text{ KgDQO.d}^{-1}$ e $1,7 \pm 1,2 \text{ KgDQO.d}^{-1}$, e a carga orgânica volumétrica média (COV) aplicada ao reator foi de $1,14 \text{ KgDQO/m}^3.\text{d}^{-1}$, o que corresponde uma remoção média de DQO de 60%. Estudos verificaram que a eficiência de remoção de DQO no reator UASB pode variar de 40 a 79% (CHERNICHARO, 2007; VERONEZ, 2001; VON SPERLING, 2007; MASCARENHAS et al., 2004; KHAN et al., 2015), o que demonstra que os valores apresentam-se dentro da faixa de remoção de matéria orgânica.

Por outro lado, processos anaeróbios apresentam desempenho limitado na remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto. As características médias da fase aquosa na saída do reator UASB, em termos de NTK (mg/L), foram de $51,8 \pm 4,4$. O resultado de NTK encontrado foi semelhante a concentração média de NTK encontrada por Tose (2017), 49,8 mg/L, após o tratamento do esgoto em reator UASB, valor similar aos obtidos por Santiago (2013) que apresentou concentração média de NTK igual a 48 mg/L. A remoção de NTK em reatores UASB pode variar de 10 a 50%, o que indica que o valor encontrado (12%) está dentro da faixa descrita na literatura. (CHERNICHARO et al., 2007; e VAN HAANDEL e LETINGA, 1994; VON SPERLING, 2005; ASSIS, 2017; LOPES, 2017).

Com relação ao fósforo, a concentração média de fósforo total foi de $6,7 \pm 1 \text{ mg/L}$ para o afluente anaeróbio, e $5,6 \pm 0,5 \text{ mg/L}$ para o efluente. Os valores encontrados estão condizentes com os valores relatos pela literatura, visto que Santiago (2013), obteve concentração média de 4,1 mg/L, enquanto Lopes (2017), por sua vez, encontrou valores em torno de 4 a 5,6 mg/L.

3.3 Desempenho das lagoas de alta taxa

Os valores de eficiência abordados serão as médias das eficiências das duas lagoas (LAT 1 e LAT 2). A DQO afluente das lagoas de alta taxa apresentou variação entre 130 e 210 mgO_2/L . O que implicou em um aumento da concentração nitrogênio, representando uma eficiência global do sistema em torno

de 80%. Azeredo (2016) estudou o desempenho da ETE nexus e verificou em sua estimativa que a lagoa de alta taxa promoveu a remoção adicional de matéria orgânica e nutrientes, em 81% para DQO, 88% para N e 85% para P, comprovando que o pós-tratamento por lagoa de alta taxa complementou a eficiência do reator UASB na remoção de matéria orgânica remanescente e nutrientes. Além disso, as lagoas atuaram como tratamento terciário do efluente anaeróbio aumentando a eficiência global do sistema.

A partir dos resultados encontrados, a remoção de DQO remanescente, N e P apresentaram eficiências pertinentes as encontradas por outros autores que avaliaram o desempenho do sistema de lagoas de alta taxa como pós-tratamento do efluente anaeróbio, como demonstrado na **Tabela 1**.

Tabela 1. Caracterização do sistema UASB+LAT no tratamento de esgoto sanitário.

Parâmetro	UASB + LAT	Autor
Sólidos Suspensos (mg/L) ^[1]	200 – 300	Park et al., (2010)
Remoção de DQO (%) ^[1]	53 - 66 ^l	Godos et al., (2010)
Remoção de NTK (%)	62 - 86 ^l	Hamouri (2008)
Remoção de Amônia (%)	63 - 85 ^l	Hamouri (2008)
Remoção de Fósforo (%) ^[1]	66 - 71 ^l	Narasimhan (2010)

3.4 Qualidade final do efluente

A avaliação da qualidade do efluente final do sistema proposto indica que a integração do UASB ao sistema a base de microalgas é uma solução tecnológica eficiente, devido às eficiências significativas de remoção de DQO (80%) e principalmente, N (86%) e P (45%), após a separação sólido líquido. Esse aumento nas eficiências ocorre devido ao pós-tratamento que as microalgas fazem no efluente anaeróbio através da assimilação algácea, e da volatilização da amônia, por exemplo. A qualidade do efluente em termos de DQO, NTK e P, está descrita na **Tabela 2**.

Tabela 2. Concentrações após o processo de separação sólido-líquido finais de DQO, N e P e a eficiência global do sistema.

Parâmetro	Concentração inicial	Concentração final	Eficiência global do sistema (%)
DQO	364±78	74±11	80
NTK	57,3±13	8±3	86
P Total	6,3±2	3,5±0,7	45

Com relação aos padrões ambientais para o lançamento de efluente nos corpos d'água no Brasil, são utilizados os padrões de lançamento previstos pela Resolução CONAMA 430/2011, e, tendo em vista a possibilidade de reuso desse efluente final utiliza-se a NBR 13969 (ABNT, 1997), que descreve acerca do reuso de esgoto doméstico tratado, indicando os seus usos e a qualidade exigida de água potável e sanitariamente segura.

O efluente final proveniente do sistema proposto atende aos quesitos de lançamento, pois possui um baixo teor de matéria orgânica (a tecnologia obteve como resultado uma remoção de matéria orgânica acima de 80%), bem como baixos índices de nitrogênio (abaixo de 20 mg/L de nitrogênio amoniacal). Por outro lado, avaliando o sistema quanto a possibilidade de reuso, o efluente final não atende aos padrões de qualidade proposto pela NBR 13.969 (ABNT, 1997). Entretanto, torna-se importante explicitar que apesar do não atendimento em alguns casos previstos pela NBR 13969

(ABNT, 1997), estas concentrações poderiam ser facilmente reduzidas com o emprego de um filtro de areia após as LATs, no qual seria uma alternativa eficiente, de baixo custo e com simplicidade operacional para integrar a ETE nexus.

Está em vias de aprovação um conjunto de ações, que visam estabelecer um arcabouço normativo (ABNT) e legal (Governo Federal) para a prática do reuso de água no Brasil. Uma nova Norma específica que além do reuso na agricultura, a iniciativa contempla as diferentes opções de reuso nos ambientes urbanos, e deverá propor um conjunto de normas e procedimentos que regerão a prática no país tanto no setor público quanto no privado.

3.5 Análise estatística dos dados

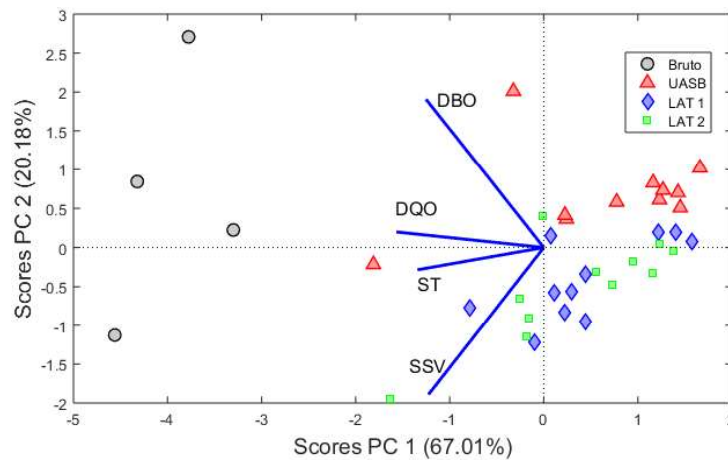
A partir da análise estatística dos dados, as maiores correlações foram entre DQO e DBO (0,7596) e entre DQO e SSV (0,6931). O resultado obtido mostra-se coerente já que a DBO e a DQO são medidas indiretas de consumo de carbono orgânico biodegradável, sendo que a DBO é a quantidade de oxigênio requerido para estabilizar a matéria orgânica carbonácea via processos bioquímicos, enquanto a DQO é a quantidade de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica por meio da oxidação química. Os dois parâmetros quando correlacionados através da razão DQO/DBO₅ indicam a biodegradabilidade do esgoto e podem indicar o melhor tipo de tratamento a ser empregado, se por processos químicos, físicos ou biológicos. Para águas residuais de origem doméstica, as relações entre DQO/DBO variam de 1,7 a 2,4 (VON SPERLING, 2005). Já a correlação entre DQO e SSV pode ser explicada pelo fato de que no reator UASB, o metabolismo bacteriano utiliza o material orgânico (SSV) como fonte de energia para as diversas atividades inerentes à realização do processo (van Haandel & Lettinga, 1994). No geral, o processo de digestão anaeróbia tem início quando os sólidos suspensos voláteis alimentados ao sistema são hidrolisados, produzindo demanda química de oxigênio (DQO) solúvel. A DQO solúvel serve de alimento às bactérias e, por conseguinte, à síntese celular, dando origem a uma biomassa microbiana relativamente densa (lodo). A correlação entre os parâmetros da qualidade do esgoto em relação à matéria orgânica está descrita na **Tabela 3**.

Tabela 3. Correlação entre as variáveis do processo em relação a matéria orgânica.

Parâmetros	DBO	DQO	ST	SSV
DBO	1,0000	0,7596	0,4986	0,1994
DQO	0,7596	1,0000	0,6202	0,6931
ST	0,4986	0,6202	1,0000	0,5390
SSV	0,1994	0,6931	0,5390	1,0000

A **Figura 2** mostra os scores do PCA para as duas componentes principais que representam, respectivamente, 67,01 e 20,18% da variância total (informação útil), totalizando em 87,19%. As variáveis do processo estão presentes no segundo e terceiro quadrante, dito isso, observa-se que a primeira componente principal é influenciada principalmente pelas variáveis DQO e ST. Entretanto, para a segunda componente, as variáveis de maior influência são a DBO e SSV.

Figura 2. Scores do PCA das variáveis em relação à matéria orgânica das amostras do efluente bruto, UASB, LAT 1 e LAT2.



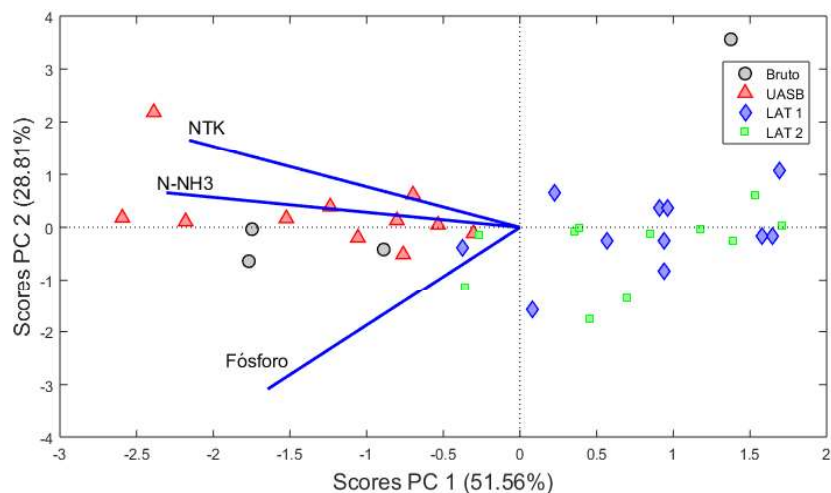
Fonte: produzido pelo autor.

A Figura 2 mostra grandes associações entre as variáveis DBO e DQO, localizadas no segundo quadrante, e também entre ST e SSV, localizados no terceiro. Ambas as correlações estão associadas à biodegradabilidade da amostra. Em um tratamento biológico, a tendência é essas relações aumentarem, devido a redução da fração biodegradável a medida que ocorre o processo de depuração da matéria orgânica. As amostras referentes ao efluente do UASB obtiveram maiores valores em média de DQO e DBO, enquanto as amostras das lagoas de alta taxa, apresentaram maiores teores médios de SSV e ST, devido à presença de algas nas lagoas, e baixos valores de DBO. À medida que o tratamento prossegue, a matéria orgânica vai sendo consumida biologicamente e, conseqüentemente, as concentrações de DBO e DQO diminuem. Portanto, a última tecnologia de tratamento biológico do sistema, as LATs, apresentam menores valores das variáveis em relação a matéria orgânica, pois as microalgas atuam como tratamento terciário desse efluente por meio da assimilação e oxidação da matéria orgânica remanescente, melhorando a qualidade final do efluente. Não foi apresentada diferença significativa de remoção de matéria orgânica em relação a LAT 1 e a LAT 2.

Ambas as amostras do UASB e das lagoas apresentaram scores positivos para a primeira componente principal, sendo diferenciadas, portanto, pela segunda componente no qual as amostras do UASB também apresentam score positivo, já as amostras das LATs obtiveram valores negativos de score.

Os resultados da PCA em relação aos nutrientes demonstrado na **Figura 3** indicaram que as duas componentes principais representam uma variância total de 80,37%. A primeira componente principal que representa 51,56% da variância total, é fortemente influenciada pelo nitrogênio amoniacal. A segunda componente principal, é influenciada, primeiramente, pela variável NTK, seguida da variável Fósforo.

Figura 3. Scores do PCA das variáveis em relação ao nutrientes das amostras do efluente bruto, UASB, LAT 1 e LAT2.



Fonte: produzido pelo autor.

A análise mostra maiores correlações entre as variáveis NTK e N-NH₃. Essa alta correlação também foi encontrada por Wang et al. (2017) e ocorre devido ao fato que o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) é determinado pela soma do nitrogênio amoniacal (N-NH₃) ao nitrogênio orgânico, correspondente aos grupos amina. A correlação entre as variáveis do processo em relação aos nutrientes está descrita na **Tabela 4**.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis do processo em relação aos nutrientes.

Variáveis	NTK	N-NH ₃	Fósforo
NTK	1,0000	0,3992	0,1574
N-NH ₃	0,3992	1,0000	0,2429
Fósforo	0,1574	0,2429	1,0000

As amostras referentes ao efluente do UASB, localizadas em maior parte no segundo quadrante, apresentaram maiores teores médios de NTK e N-NH₃. Esse resultado é devido ao fato que o reator UASB não apresenta altas remoções de nitrogênio e no esgoto bruto as formas predominantes de nitrogênio são nitrogênio orgânico e amoniacal que são determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, constituindo assim o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl. A medida que o tratamento vai evoluindo, as concentrações de NTK, N-NH₃ e Fósforo vão diminuindo, sendo o motivo da obtenção de baixas concentrações médias destes nas amostras das duas lagoas (primeiro e quarto quadrante da Figura 3). Essa redução das concentrações de Fósforo, NTK e N-NH₃ nas amostras da LAT 1 e LAT 2 em relação às amostras do UASB são decorrentes do processo de assimilação e/ou volatilização que ocorre nas lagoas. Tal fato é explicado pela conversão destes nutrientes, durante o metabolismo, em biomassa algácea.

4. CONCLUSÃO

A análise do desempenho da ETE nexus, composta, em sua fase líquida, pela associação em série de uma etapa de tratamento preliminar, reator UASB, lagoas de alta taxa e de uma etapa de separação sólido - líquido, apresentou vantagens significativas no que se refere ao tratamento em si. Beneficiada pela abundância de nutrientes, o efluente anaeróbico atua como fonte nutritiva, eficiente e de baixo custo

para o cultivo de microalgas, que por sua vez atua no tratamento terciário desse efluente. A ETE Nexus obteve um efluente final com características satisfatórias para atender todos os aspectos da legislação vigente para lançamento em corpos d'água receptores.

O PCA foi utilizado para analisar 38 amostras colhidas ao longo dos processos da ETE Nexus. Os dois componentes principais dos modelos PCA construídos em relação à matéria orgânica e aos nutrientes explicaram 87,19 e 80,37% respectivamente, da variabilidade total. A análise do PCA mostrou que a concentração de DQO e DBO tende a diminuir a medida que o tratamento da água residuária vai mudando de nível de tratamento, devido ao processo de depuração da matéria orgânica. A concentração de SST e SV aumenta, devido a alta concentração de microalgas presentes nas LAT's. Apesar do efluente do UASB ter apresentado um alto teor de nitrogênio, a eficiência de remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio, tende a aumentar à medida que o tratamento terciário é realizado nas lagoas de alta taxa.

5. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

APHA, 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22nd edition edited by E. W. Rice, R. B. Baird, A. D. Eaton and L. S. Clesceri. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington, D.C., USA.

ASSIS, T. I. **Codigestão anaeróbia de esgoto sanitário e lodo algáceo em um reator UASB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

AZEREDO, L.Z. **Potencial energético da co-digestão da biomassa de microalgas no tratamento de esgoto sanitário em reatores UASB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

CHENICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380p. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.5.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). (2011) Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, nº 92, de 16 de maio de 2011, p.89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 8 julho 2018.

COUTO, E. de A. **Produção de biomassa em lagoas de alta taxa com diferentes profundidades e seu aproveitamento para geração de energia via liquefação hidrotérmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2016.

GARCIA, D.; YOU, F. Systems engineering opportunities for agricultural and organic waste management in the food-water-energy nexus. **Current Opinion in Chemical Engineering**. 2017, 18:23-31.

JOLLIFFE, I.T. **Principal Component Analysis**. 2 ed., Springer, New York, 2002.

KHAN, A. A., MEHROTRA, I., KAZMI, A. A. Sludge profiling at varied organic loadings and performance evolution of UASB reactor treating sewage. **Biosystems Engineering**. 2015.v.131 p. 32– 40.

LOPES, N.T. **Influência do Tempo de Detenção Hidráulica e da Profundidade no Desempenho de Lagoas de Alta Taxa Aplicadas ao Pós-Tratamento de Efluente e Reatores UASB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

MANGER-KRUG E. B.; HOLLENBERG J. N.; ILLENBRAND T.; HIESSL H. Integration of microalgae systems at municipal wastewater treatment plants: implications for energy and emission. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 11505-11514, 2012.

MASCARENHAS L. C. A., M. VON SPERLING CHERNICHARO M., C. A. L., Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental** 2004. v.9 p.45-54.

PUYOL, D.; BATSTONE, D.; HÜLSEN, T.; ASTALS, S.; PECES, M.; KRÖMER, J. Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. **Frontiers in Microbiology**, v.7, 2016.

SANTIAGO, A. F. **Avaliação do desempenho de Lagoas de Alta Taxa no tratamento de esgoto pré-desinfestado submetidas a diferentes níveis de radiação solar**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SOUZA, C. L. **Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB**. 2010. 147 p. Dissertação (Doutorado em Sanamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**. Campina Grande: Epgraf, 1994. 240p.

VERONEZ, F. A. **Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos**. 2001. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

WANG, X.; RATNAWEERA, H.; HOLM, J.A. Statistical monitoring and dynamic simulation of a wastewater treatment plant: A combined approach to achieve model predictive control. **Journal of Environmental Management**. v. 193, p. 1-7,2017.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal Component Analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.2, p.37-52, 1987.