



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

JOSÉ ARTHUR DO NASCIMENTO RAMALHO

**ANÁLISE DE SISTEMAS PILOTO COMPOSTO POR REATOR UASB SEGUIDO
POR LODO ATIVADO COM DECANTAÇÃO INTERMEDIÁRIA**

NATAL/RN

2022

JOSÉ ARTHUR DO NASCIMENTO RAMALHO

**ANÁLISE DE SISTEMAS PILOTO COMPOSTO POR REATOR UASB SEGUIDO
POR LODO ATIVADO COM DECANTAÇÃO INTERMEDIÁRIA**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Silvânia Lucas dos Santos.

NATAL/RN

2022

JOSÉ ARTHUR DO NASCIMENTO RAMALHO

ANÁLISE DE SISTEMAS PILOTO COMPOSTO POR REATOR UASB SEGUIDO POR
LODO ATIVADO COM DECANTAÇÃO INTERMEDIÁRIA

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dr(a). Silvânia Lucas dos Santos.

Orientador(a)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Prof. Diego Souza de Oliveira

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Profa. Amanda Bezerra de Sousa Pino

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Ramalho, José Arthur do Nascimento.

Análise de sistemas piloto composto por reator UASB seguido por lodo ativado com decantação intermediária / José Arthur do Nascimento Ramalho. - 2022.

29 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Natal, RN, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Silvânia Lucas dos Santos.

1. Saneamento básico - Monografia. 2. Tratamento de esgoto - Monografia. 3. Tratamento anaeróbio-aeróbio - Monografia. 4. Monitoramento - Monografia. 5. Decantador intermediário - Monografia. I. Santos, Silvânia Lucas dos. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628(813.2)

RESUMO

O nordeste brasileiro possui um grande potencial - que precisa ser mais explorado - devido ao seu clima quente, que é favorável ao tratamento de esgoto pela via biológica. Um método biológico que tem sido comumente utilizado nas grandes Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) utiliza reatores UASB seguidos por sistema de lodo ativado, justificado principalmente pela redução dos custos da ETE, baixa requisição de área e pela alta qualidade do seu efluente. Contudo, esta configuração pode apresentar certos problemas devido ao recebimento do lodo aeróbio no reator UASB no intuito de estabilizá-lo, como por exemplo a expulsão do lodo do reator anaeróbio para as etapas seguintes. Na perspectiva de analisar uma solução para os problemas citados, foi realizado o monitoramento e caracterização de dois sistemas piloto compostos por reator UASB e sistema de lodo ativado, sendo um deles com decantador intermediário, os quais recebiam uma vazão de 100 L/dia de esgoto doméstico. O monitoramento foi dividido em duas etapas: a fase 1 acompanhava a estabilização dos sistemas sem recirculação de lodo aeróbio de descarte para os UASB, enquanto a fase 2 consistiu no sistema em pleno funcionamento com a recirculação do lodo. Os dois sistemas realizaram tratamento de forma satisfatória, obtendo eficiências de remoção de DQO de 75% e 69% na fase 1 e de 68% e 70% na fase 2. Notadamente, o tratamento anaeróbio se destacou, na remoção de matéria orgânica, e baixa concentração de sólidos nos efluentes, próximo a 20 mg/L em ambos os reatores e para ambas as fases do monitoramento. Embora os sistemas tenham apresentado um bom desempenho inicial, não foi possível determinar a real influência do decantador intermediário, sendo necessário maior tempo de monitoramento. Desta forma, sugere-se que mais trabalhos sejam realizados nessa linha de pesquisa ainda pouco elucidada.

Palavras-chave: Saneamento básico; tratamento de esgoto; tratamento anaeróbio-aeróbio; monitoramento; decantador intermediário.

ABSTRACT

The Brazilian northeast has a great potential - which needs to be further explored - thanks to its hot climate, which is favorable to the biological sewage treatment. A biological method that has been commonly used in large Sewage Treatment Plants (STP) uses UASB reactors followed by an activated sludge system, justified mainly by the reduction of STP costs, the low area requirement and the high quality of its effluent. However, this configuration can present certain problems due to the reception of the aerobic sludge in the UASB reactor in order to stabilize it, for example, the expulsion of the sludge from the anaerobic reactor for the following steps. With a view to analyzing a solution to the aforementioned problems, the monitoring and characterization of two pilot systems composed of a UASB reactor and activated sludge system was carried out, one of them with an intermediate decanter, both receiving a flow of 100 L/day of domestic sewage. The monitoring was divided into two stages: stage 1 followed the stabilization of systems without recirculation of aerobic sludge disposal to the UASB, while stage 2 referred to the system in full operation with sludge recirculation. Both systems performed satisfactorily, obtaining COD removal efficiencies of 75% and 69% in phase 1 and 68% and 70% in phase 2. Notably, the anaerobic treatment stood out in terms of organic matter removal, and low concentration of solids in the effluents, close to 20 mg/L in both reactors and for both phases of monitoring. Although the system had a good initial performance, it was not possible to determine the real influence of the intermediate decanter, requiring more monitoring time of. In this way, it is suggested that more work be carried out in this line of research, which is still poorly elucidated.

Keywords: Sanitation; Sewage treatment; anaerobic-aerobic treatment; monitoring; intermediate decanter.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1	Área de Estudo	9
2.2	Sistema de Tratamento utilizado no experimento.....	10
2.3	Monitoramento do sistema piloto.....	12
2.4	Metodologia de ensaio.....	12
3	RESULTADOS.....	14
3.1	Esgoto Bruto.....	14
3.2	Reatores UASB.....	15
3.2.1	DQO.....	16
3.2.2	pH, Alcalinidade Total e de Ácidos Graxos Voláteis.....	17
3.2.3	Sólidos Suspensos.....	18
3.3	Sistemas de Lodo Ativado.....	19
3.3.1	DQO.....	20
3.3.2	pH, Alcalinidade Total e de Ácidos Graxos Voláteis.....	22
3.3.3	Nitrogênio.....	23
3.3.4	Sólidos Suspensos.....	23
3.4	Comparação dos Sistemas.....	24
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

INTRODUÇÃO

No Brasil, existem grandes disparidades regionais quando o assunto é saneamento básico. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2019 (PNAD), com relação ao acesso à rede geral de esgotamento sanitário, no qual a média nacional é 68,3% estima-se que a região Nordeste possui 47,2% de cobertura, enquanto a região Sudeste – região com os melhores índices - possui 88,9% (IBGE, 2019).

Segundo a mesma pesquisa, uma solução amplamente utilizada na região Nordeste são as fossas sépticas, utilizadas em 30,1% dos domicílios, entretanto sabe-se que o tratamento realizado por fossa séptica não é ideal (ALTVATER, 2008). Além disso, essa região também registra elevado percentual para outros tipos de destinação (22,1%), sendo eles, fossa rudimentar, vala, rio, lago ou mar, entre outros. Por outro lado, no Sudeste somente 5,5% dos domicílios possuem esta destinação (IBGE, 2019).

Logo, é notório que ainda há um longo caminho para a diminuição dessa desigualdade regional e, portanto, se fazem necessários estudos e projetos de aperfeiçoamento de sistemas de esgotamento sanitário domiciliares. Este tipo de esgoto tem como característica a boa biodegradabilidade, o que torna os sistemas biológicos a opção ideal para tratá-lo. Somado a isso, o clima quente da região nordeste do Brasil oferece vantagens para sistemas biológicos, tanto aeróbios quanto anaeróbios e, por conseguinte, vantagens para o tratamento por essas vias (DIEGOLI, *et al*, 2015).

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) são sistemas amplamente difundidos na literatura e utilizados em inúmeras Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), em especial em países de clima quente (DIEGOLI, *et al*, 2015; FERRAZ, 2014; PAIVA, 2016; RIBAS; MORAES; FOREST, 2007; RODRIGUES; DE CEBALLOS; LOPES, 2019). Esta tecnologia apresenta fluxo ascendente do esgoto para assegurar o máximo contato entre a biomassa e o substrato, possui separador trifásico para separar e coletar o biogás, permitir a passagem da fase líquida e a retenção da parte sólida dentro do reator. Além disso, possui elevado tempo de residência celular (idade do lodo), superior a 30 dias (CHERNICHARO, 2007).

A ampla aceitação destes reatores anaeróbios ocorre devido às inúmeras vantagens que o sistema possui, como, o baixo custo de construção, operação e manutenção; baixa produção de lodo; baixo consumo de energia e eficiência satisfatória para remoção de DBO e DQO. Por outro lado, esse sistema possui algumas desvantagens, como a possibilidade de exalar odor fétido; baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas; grande intervalo de tempo para dar a “partida” no sistema e necessidade de uma etapa de pós-tratamento (CHERNICHARO, 2007).

Apesar de suas vantagens, o tratamento realizado pelos reatores UASB não é suficiente para garantir a qualidade do efluente final que atenda às exigências da legislação pertinente (CONAMA, 2011), sendo assim necessário realizar um pós-tratamento. Um dos sistemas que tem sido bastante utilizado em sequência aos reatores UASB em estações de tratamento, é o de lodos ativados, em especial quando é necessária uma boa qualidade do efluente com baixos requisitos de área. Além disso, para o sistema de lodos ativados a utilização dos reatores UASB substituem o decantador primário (VON SPERLING, 2016).

Usualmente, esse sistema é composto por: tanque de aeração, tanque de decantação e equipamentos para a recirculação do lodo. No tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas para a degradação da matéria orgânica (MO), e em certas condições a remoção da matéria nitrogenada. Já na unidade de decantação, mais conhecido como decantadores secundário, ocorre a separação sólido líquido, e o efluente clarificado pode ser destinado.

O diferencial do sistema de lodos ativados consiste na recirculação do lodo, a qual permite períodos consideráveis de retenção dos sólidos no sistema. É esta maior permanência do lodo no sistema que favorece a sua alta eficiência, bem como, os baixos tempos de detenção hidráulica, que por sua vez contribuem para a pequena demanda de área do tanque de aeração. Contudo, esses sistemas necessitam de uma operação mais especializada, de maior mecanização e elevado consumo de energia (VON SPERLING, 2016).

Esse método de tratamento anaeróbio-aeróbio sequencial explora as vantagens dos dois sistemas (KASSAB, *et al*, 2010) apresentando assim algumas vantagens, tais como a possibilidade de estabilização e adensamento do lodo excedente do sistema de lodo ativado dentro do reator anaeróbio e a redução considerável da produção total de lodo (50 a 60%). Isso implica na economia de energia e simplificação do sistema, devido a menor necessidade de equipamentos (adensamento e desaguamento do lodo). Além disso, no reator UASB é removido em torno de 70% da DBO, o que implica na melhora da qualidade do efluente que passa para lodo ativado e por conseguinte, há redução do consumo energético para aerar o sistema (VON SPERLING, 2016).

Todavia esta configuração pode apresentar alguns problemas devido ao recebimento do lodo aeróbio no reator UASB no intuito de estabilizá-lo, tais como, a mineralização incompleta do lodo, a expulsão do lodo do reator anaeróbio para as etapas seguintes, e a diminuição da eficiência de remoção da matéria orgânica (SILVA e VAN HAANDEL, 2014). Problemas esses ainda não totalmente elucidados.

Dessa forma, fica clara a importância de estudos que busquem entender esses problemas e encontrar soluções, nesta linha, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar sistema

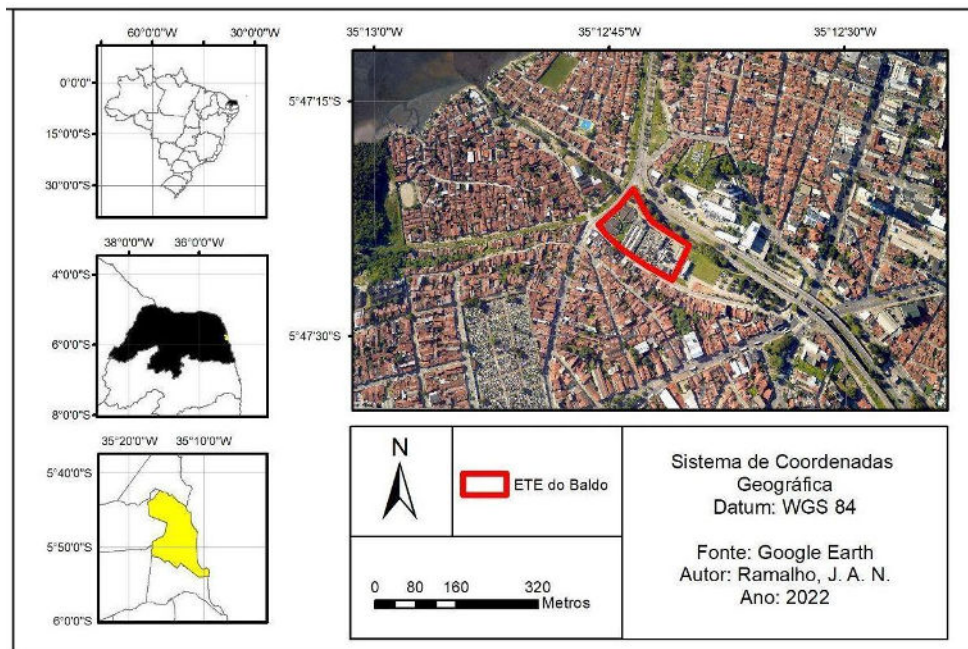
composto por reator UASB seguido por lodo ativado com decantação intermediária em escala piloto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O sistema de tratamento experimental foi implantado dentro dos limites da ETE Dom Nivaldo Monte, popularmente denominada ETE do Baldo, localizada no município de Natal, estado do Rio Grande do Norte, como representado na Figura 1, no bairro Cidade Alta. Esta ETE é operada e gerenciada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e tem por função tratar o esgoto doméstico de uma parcela da cidade do Natal, a nível terciário. Atualmente, a vazão média de operação da ETE é $406 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, contudo possui capacidade para tratar até $450 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ (SOUZA; DUARTE; TINÔCO, 2021). O dispositivo experimental foi instalado nesta área para obter continuamente o esgoto bruto necessário ao funcionamento dos sistemas experimentais.

Figura 1 - Mapa da localização geográfica da ETE do Baldo



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2022)

Dentre as tecnologias para o tratamento do esgoto da estação, são utilizados reatores UASB e sistemas de lodos ativados, compostos por tanques de aeração, câmaras anóxicas e decantadores secundários, como pode ser observado na Figura 2, que mostra a localização de

cada unidade de tratamento da estação. O sistema piloto instalado e monitorado apresenta unidades semelhantes à da ETE descrita acima, com exceção da câmara anóxica.

Figura 2 - Unidades de tratamento do esgoto da ETE do Baldo



Fonte: SOUZA; DUARTE; TINÔCO (2021)

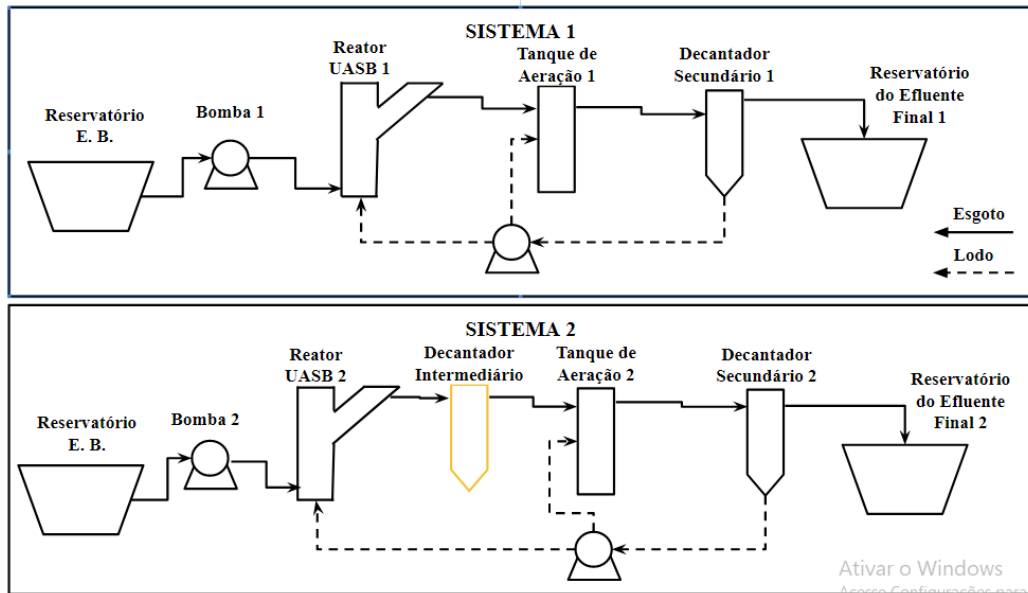
2.2 Sistema de Tratamento utilizado no experimento

O experimento utilizou o esgoto afluyente a ETE do Baldo, sendo este captado após passar pelas unidades de tratamento preliminar. Este esgoto chega ao sistema por meio de uma derivação na saída do tratamento preliminar da ETE supracitada e abastece uma caixa d'água com capacidade para 1000 L, o primeiro componente dos sistemas piloto.

O experimento é composto por dois sistemas de tratamento. No Sistema 1, o esgoto é bombeado do reservatório do esgoto bruto para o reator UASB, em seguida, por gravidade o efluente do reator UASB 1, é encaminhado diretamente para o sistema de Lodo Ativado. Entrando inicialmente no Tanque de Aeração 1, em seguida é encaminhado para o Decantador Secundário 1, e por fim tem-se o efluente final tratado.

No Sistema 2, o esgoto também é bombeado do reservatório do esgoto bruto para o reator UASB, em seguida, o efluente do reator UASB 2 é encaminhado, por gravidade, para o decantador intermediário (este dispositivo, pode ser observado na Figura 3, em destaque na cor amarelo), seu efluente, passa para o sistema de Lodo Ativado 2, composto pelo Tanque de Aeração 2 e Decantador Secundário 2, e por fim, tem-se o efluente tratado. Na Figura 3 pode-se observar o desenho esquemático dos sistemas apresentados.

Figura 3 - Desenho esquemático do sistema piloto em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Cada reator UASB foi dimensionado para receber a vazão de 100 L/dia. Consiste em reatores UASB tipo “Y” construídos em tubos de PVC, assim como, os tanques de aeração e decantadores secundários construídos também de tubos de PVC, as dimensões dessas estruturas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características gerais do sistema UASB – lodo ativado em escala piloto.

Variável	Reator UASB	Tanque de Aeração	Decantador secundário	Decantador intermediário
Diâmetro (m)	0,15	0,10	0,10	0,10
Altura total (m)	1,40	1,00	1,00	1,00
Volume total (L)	25,00	10,00	10,00	10,00
TDH (h)	6	3	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, os tanques de aeração possuem um sistema para injetar bolhas de ar no fundo dos reatores. Ademais, o sistema de lodo ativado será operado para manter idade do lodo de 10 dias. Pode-se observar o sistema piloto montado e em operação na Figura 4.

Figura 4 - Sistema de Tratamento do experimento, já instalado na estação



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

2.3 Monitoramento do sistema piloto

O monitoramento do sistema foi dividido em duas etapas: fase 1, referente a partida do sistema; e fase 2, referente ao sistema em pleno funcionamento. Para acelerar a partida do sistema, os reatores UASB e os tanques de aeração foram inoculados com o lodo dos respectivos sistemas da ETE do Baldo. Deste modo, a fase 1 ocorreu em 258 dias.

O sistema de lodo ativado teve seu monitoramento iniciado após a estabilização dos reatores UASB. Até atingir seu pleno funcionamento foram realizadas algumas inoculações no tanque de aeração, devido a problemas recorrentes de retenção e recirculação do lodo no tanque, o que provocou um atraso no monitoramento oficial desta fase. Começando o mesmo a ter seu monitoramento definitivo após a última reinoculação, dessa forma, para os sistemas de lodo ativado, foram utilizados, da fase 1, apenas os 20 dias finais. Após isso, deu-se o início do descarte de lodo dos sistemas aeróbios nos reatores UASB e o controle rigoroso da idade de lodo. Por fim, a fase 2 ocorreu em um período de 20 dias.

2.4 Metodologia de ensaio

Para o monitoramento do sistema foram realizadas análises físicas e químicas do esgoto, com periodicidade de 2x por semana, em particular, no esgoto bruto, no efluente de cada reator

UASB e nos efluentes finais, para que fosse possível analisar cada etapa do tratamento, bem como de cada um dos dois sistemas e assim compará-los. Foram realizados os seguintes ensaios: Sólidos Suspensos totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e Voláteis (SSV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Alcalinidade Total e de Ácidos Graxos Voláteis (AGV), pH, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-) e Fósforo.

A metodologia de cada um destes ensaios seguiu os procedimentos descritos na Tabela 2, que contém a metodologia do ensaio, os pontos de amostragem, bem como, a periodicidade e a referência bibliográfica da metodologia.

Tabela 2 - Metodologias dos ensaios realizados para o monitoramento do sistema.

Parâmetro	Metodologia de ensaio	Pontos de Amostragem	Referência Bibliográfica
Sólidos Suspensos Totais (fixos e voláteis)	Gravimétrico	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
Fósforo Total (P total)	Colorimétrico	Esgoto Bruto	APHA; AWWA; WEF, 2017
Nitrito (NO_2^-)	Colorimétrico	Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
Nitrato (NO_3^-)	Colorimétrico	Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
Nitrogênio Total Kjeldahl	Kjeldahl - Titulométrico – Digestão seguida de Destilação	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
Nitrogênio Amoniacal (NH_3)	Kjeldahl - Titulométrico – Destilação	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
Alcalinidade Total	Titrimétrico Kapp	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	CAVALCANTI e VAN HAANDEL, 2000.
Alcalinidade para Ácidos Graxos Voláteis.	Titrimétrico Kapp	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	CAVALCANTI e VAN HAANDEL, 2000.
pH	-	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017

Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Refluxação Fechada	Esgoto Bruto, UASB 1 e 2, Efluente Final 1 e 2	APHA; AWWA; WEF, 2017
-----------------------------------	--------------------	--	-----------------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, foram realizados ensaios de ST com amostras do lodo dos reatores UASB, para determinar o seu perfil de lodo, e de SST e SSV no licor misto dos tanques de aeração.

Ademais, vale salientar que os parâmetros pH, alcalinidade total, AGV, NTK, Nitrito e Nitrato foram utilizados para caracterizar o esgoto bruto e acompanhar a estabilidade dos sistemas. Já os parâmetros SST, SSV, DQO e sedimentabilidade foram parâmetros monitorados semanalmente para acompanhar o desempenho dos sistemas, sobretudo quando o lodo ativado estava funcionando plenamente.

3 RESULTADOS

3.1 Esgoto Bruto

O esgoto bruto foi monitorado ao longo de todo o período de estudo e a Tabela 3 contém a caracterização deste esgoto bruto. Com base nestes dados pode-se dizer que o esgoto possui características de um esgoto médio a fraco com base na classificação apresentada por Jordão e Pessoa (2011), para os parâmetros físico-químicos analisados.

Tabela 3 - Caracterização do Esgoto Bruto.

	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Suspensos Voláteis	DQO	pH	Alcalinidade Total	Alcalinidade de Ácidos Graxos voláteis	Nitrogênio Amoniacal	NTK	Fósforo
Média	185	163	405	7,79	221	22	34	36	7
Máximo	484	412	678	8,10	364	70	45	49	9
Mínimo	76	72	222	7,13	168	8	19	20	5
Desvio Padrão	93	79	109	0,23	35	13	6	6	1
Número Amostral (N)	20	20	42	36	36	36	37	37	11

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, um bom parâmetro para indicar a viabilidade do tratamento biológico é a proporção DQO/N/P, tendo como usual aceitar a proporção 100/5/1 (JORDÃO E PESSOA, 2011). No caso, o esgoto bruto utilizado possui a proporção em média de 56/5/1, que segundo

Campos (1999) implica dizer que há nutrientes em excesso. Ademais, o pH está acima do comum para esgoto doméstico, que seria na faixa de 6,5 a 7,5 (JORDÃO E PESSOA, 2011).

3.2 Reatores UASB

Quanto ao reator UASB, que é o primeiro componente de tratamento do sistema, foram realizadas análises de sólidos em alguns níveis do reator, sendo o R4 o registro da parte inferior e o R1 o registro superior, de forma a se obter o perfil de lodo dos reatores. As médias dos valores coletados em cada registro encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Caracterização do Perfil de Lodo do reator UASB 1.

UASB 01		
Registro	ST (g/L)	m ST (g)
R1	2,3	10,4
R2	19,4	77,3
R3	28,2	114,6
R4	32,7	121,7
TOTAL	19,8	321,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

*As alturas explicitadas no esquema do reator são as distâncias entre os registros e a altura total do reator, contudo a altura utilizada para calcular o “m ST” é a altura de influência de cada registro.

Tabela 5 - Caracterização do Perfil de Lodo do reator UASB 2

UASB 02		
Registro	ST (g/L)	m ST (g)
R1	0,7	3,3
R2	11,1	44,3
R3	28,1	111,6
R4	25,1	108,5
TOTAL	15,4	260,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

*As alturas explicitadas no esquema do reator são as distâncias entre os registros e a altura total do reator, contudo a altura utilizada para calcular o “m ST” é a altura de influência de cada registro.

As análises de Sólidos mostraram que em ambos os reatores a quantidade de sólidos era maior na parte inferior, referente ao registro R4 no UASB 1 e ao registro R3 no UASB 2, ambos com uma diferença pequena entre as concentrações de SST nas amostras do R4 e R3, deste modo, como o R4 está na parte inferior e contém alta concentração de sólidos, pode-se dizer que o lodo deste registro corresponde a camada do leito de lodo dos reatores.

Nas amostras dos registros R3 e R2 foram observadas boas quantidades de sólidos, já no registro R1 o valor de sólidos foi bem próximo a zero em ambos os reatores, o que demonstra que a manta de lodo corresponde aos registros R2 e R3. Já para o registro R1, é interessante que essa quantidade de sólidos seja baixa para que não haja a perda de sólidos para o próximo componente.

Segundo Campos (1999) após alguns meses de operação deve-se desenvolver um leito de lodo bastante concentrado, no qual, junto ao fundo do reator esteja em torno de 40 a 100 g/L e nas camadas superiores de 15 a 30 g/L. Os reatores monitorados ainda não haviam atingido essas concentrações, para o leito de lodo, embora o acúmulo de biomassa dependa de vários fatores, inclusive das características do esgoto bruto com baixa carga orgânica, tempo de operação, entre outros. Contudo cabe destacar que esse não deve ser considerado um fator de mal desempenho do sistema, uma vez que o mesmo manteve boa eficiência de remoção de material orgânico ao longo do monitoramento e observou-se elevada relação de sólidos suspensos voláteis.

3.2.1 DQO

Com base nos dados apresentados na Tabela 6 o esgoto bruto que entra nos sistemas tem uma DQO média de 405 mg/L. Na fase 1, observa-se que o reator UASB 1 possui uma eficiência média total 70% e o reator UASB 2 de 69%, o que não difere muito na fase 2, a qual a eficiência do UASB 1 e do UASB 2 são de 67%. O que indica que a remoção da carga orgânica nessa etapa foi satisfatória, tanto com a estabilização do lodo aeróbio quanto sem a estabilização do lodo de descarte nestes reatores, cabe salientar que com a quantidade de dados obtidos no monitoramento da fase 2 seria necessário período de monitoramento maior para validar tal condição. Ademais, mesmo com a proporção de DQO/N/P com excesso de nutrientes, não há comprometimento do desenvolvimento da biomassa, nem do desempenho dos reatores.

Tabela 6 - Remoção de DQO dos efluentes dos reatores UASB.

Esgoto Bruto	UASB 1					UASB 2			
	Fase 1			Fase 2		Fase 1		Fase 2	
	DQO	DQO	Eficiência	DQO	Eficiência	DQO	Eficiência	DQO	Eficiência
Média	405	122	70	134	67	125	69	132	67
Máximo	678	249	–	155	–	228	–	164	–
Mínimo	222	33	–	83	–	62	–	85	–
Desvio Padrão	109	43	–	29	–	37	–	30	–
Número Amostral (N)	42	35	–	5	–	35	–	5	–

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.2.2 pH, Alcalinidade Total e de Ácidos Graxos Voláteis

São exemplos de Ácidos Graxos Voláteis os seguintes compostos: ácido acético, ácido propiônico, ácido isobutírico, ácido butírico, ácido isovalérico, ácido valérico. Estes ácidos são produzidos na etapa de acidogênese da digestão anaeróbia, e consomem a alcalinidade do líquido, e dessa forma se a digestão anaeróbia não estiver em equilíbrio, resulta na diminuição do pH (RODRIGUES; DE CEBALLOS; LOPES, 2019).

Pode-se analisar com base nos dados apresentados na Tabela 7, que há um ligeiro aumento do pH comparando-se ao pH do esgoto bruto com o efluente dos reatores UASB o que indica que os ácidos gerados no processo anaeróbio estão sendo consumidos (RIBAS; MORAES; FOREST, 2007), além disso, a alcalinidade por ácidos graxos voláteis nos efluentes dos UASB é baixa, o que indica que no processo anaeróbio eles foram transformados eficientemente em acetato e depois em metano, que é o principal produto da reação anaeróbia.

Tabela 7 - pH e Alcalinidade dos efluentes dos reatores UASB.

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N	
A.T. (mg CaCO₃/L)	221	364	168	35	36	
AAV (mg CaCO₃/L)	22	70	8	13	36	
Esgoto Bruto	pH	7,79	8,10	7,13	0,23	36
	A.T. (mg CaCO₃/L)	279	381	211	25	33
UASB 1	AAV (mg CaCO₃/L)	6	11	1	3	35

	pH	8,04	8,52	7,37	0,23	35
	A.T. (mg CaCO3/L)	285	377	204	49	34
	AAV (mg CaCO3/L)	5	12	0	2	34
UASB 2	pH	8,10	8,59	7,44	0,23	34

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dessa maneira pode-se afirmar que o processo de digestão anaeróbia está ocorrendo de forma satisfatória e estável nos dois reatores UASB, sem comprometimento da estabilidade do mesmo, o que é um excelente indicativo do seu funcionamento.

3.2.3 Sólidos Suspensos

Os resultados de sólidos suspensos obtidos nos efluentes dos reatores UASB são consideradas baixas concentrações, visto que, estudos apontam normalmente uma faixa de 20 a 100 mg/L de SST a depender do tempo de detenção hidráulica (Campos, 1999). Segundo a Tabela 8 os efluentes dos reatores apresentaram em média concentrações dentro desta faixa independente da etapa, sendo o maior valor obtido de 44 mg/L, porém os valores mínimos observados na Tabela 8 estão a baixo da faixa, sendo o menor de 5 mg/L. Essa baixa concentração de sólidos pode ser atribuída ao bom desempenho de separador de fases que compõem as unidades de tratamento, o que é fator fundamental para a boa retenção de biomassa em reatores UASB.

Tabela 8 - Sólidos Suspensos Totais e Voláteis dos efluentes dos reatores UASB.

		Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N	Eficiência (%)
UASB 1 - fase 1	SST (mg/L)	20	44	5	11	19	89
	SSV (mg/L)	17	38	4	10	19	89
UASB 1 - fase 2	SST (mg/L)	24	33	14	10	4	87
	SSV (mg/L)	21	29	12	9	4	87
UASB 2 - fase 1	SST (mg/L)	21	37	8	8	17	89
	SSV (mg/L)	18	30	7	7	17	89
UASB 2 - fase 2	SST (mg/L)	21	30	10	9	4	88
	SSV (mg/L)	19	28	8	9	4	89

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

É notório que os resultados obtidos nesta análise de sólidos são bem similares comparando os dois reatores, em ambas as fases do monitoramento, o que mostra que ambos os reatores obtiveram desempenho satisfatório, e que mesmo com a recirculação do lodo aeróbio para os UASB, estes conseguiram reter e estabilizar este lodo, tendo em vista que o desempenho se manteve similar entre as fases 1 e 2, de forma que as concentrações de sólidos nos efluentes do UASB 1 e UASB 2 quase que não aumentaram. Além disso, a eficiência apresentada pelos reatores foi superior ao dos trabalhos realizados por Paula (2018) e Ferraz (2014).

3.3 Sistemas de Lodo Ativado

O desenvolvimento da biomassa do reator aeróbio está intimamente relacionado à disponibilidade de oxigênio, como também à disponibilidade de alimento, dessa forma, ao receber um esgoto já digerido, ou seja, com uma concentração baixa de MO, e sendo ela de difícil assimilação espera-se que os sistemas apresentem dificuldade quanto ao desenvolvimento da biomassa.

No presente experimento foram realizados testes de SST no licor misto de cada um dos tanques de aeração, no qual a média dos resultados das análises pode-se observar na Tabela 9. Na fase 1 o Tanque de Aeração 1 obteve uma concentração média de 1592 mg/L de SST e 1396 mg/L, o que não foi muito diferente da fase 2, a qual concentração média de SST foi 1460 mg/L e de SSV foi 1320 mg/L, já o Tanque de Aeração 2, na fase 1 obteve uma concentração média de 2370 mg/L de SST e 2014 mg/L de SSV, contudo houve uma boa redução na fase 2, que o licor misto passou a ter 1013 mg/L de SST e 920 mg/L de SSV. Os dados de sólidos obtidos em ambas as fases, embora tenha demorado a estabilizar são compatíveis com o esperado para este tipo de sistema, segundo a teoria de lodo ativado de van Haandel e Marais (1999). E superou as concentrações obtidas no experimento de Paiva (2016) mesmo tendo menos DQO afluente.

Tabela 9 - Sólidos suspensos totais no Licor Misto dos tanques de aeração.

	Licor misto - TA 01		Licor misto - TA 02	
	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
*Fase 1	1592	1396	2370	2014
Fase 2	1460	1320	1013	920

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

*Na fase 01 não havia descarte nem recirculação de lodo, foram dias de aclimação do sistema de lodo ativado.

Porém, com base nos resultados, estima-se que a introdução do lodo de descarte nos reatores UASB afetou a concentração de lodo, uma vez que sob essas circunstâncias deu-se início ao descarte para manutenção da idade de lodo e o sistema começa a partir de então a sua real estabilização.

Paiva (2016) em seu experimento, que monitorou um sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais (RBS) como pós-tratamento de reator UASB, com entrada média de 249 mg/L de DQO no RBS, obteve uma concentração média de 700 mg/L SST no licor misto, além disso, descreve em seu trabalho que seu reator apresentou dificuldades em reter os sólidos, o qual após diminuir a idade do lodo de 8 para 5 dias houve uma tendência de queda na concentração de sólidos e que devido a isso o experimento foi interrompido.

O sistema composto por reator UASB, seguido por sistema de lodo ativado com pré-desnitrificação estudado por Paula (2018) também apresentou problemas operacionais quanto à concentração de sólidos no tanque de aeração. Ela explica que na fase inicial do experimento a biomassa era preponderantemente de microrganismos nitrificantes, e que isso ocasionava a má sedimentação do lodo. No entanto, nas fases subsequentes, quando foi realizado o *by-pass* de parte do esgoto bruto direto para o tanque de aeração e se desenvolveu uma biomassa desnitrificante a concentração de sólidos no licor misto aumentou, mesmo com a diminuição da DQO do efluente do UASB.

3.3.1 DQO

Com base nos dados da Tabela 10, observa-se que na fase 1 o sistema 1 apresentou eficiência média total de 75%, sendo removido 20% no sistema de lodo ativado. Já no sistema 2 a eficiência total é 69%, sem remoção de MO após passar pelo decantador intermediário e pelo sistema de lodo ativado. Já com base nos dados da Tabela 11, a fase 2 do sistema 1 apresentou eficiência média total de 68%, com remoção de 5% no sistema de lodo ativado e o sistema 2 apresentou remoção total de 70%, sendo 8% removido no sistema de lodo ativado.

Tabela 10 - Valores de DQO e eficiência na remoção de Matéria Orgânica na fase 1

	Esgoto Bruto		UASB 1		UASB 2		Efluente Final 1		Efluente Final 2		Sistema 1	Sistema 2
	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	ia Total	ia Total
Média	405	70	122	70	125	69	100	20	125	0	75	69
Máximo	678	–	249	–	228	–	139	–	177	–	–	–
Mínimo	222	–	33	–	62	–	71	–	11	–	–	–

Desvio Padrão	109	43	–	37	–	28	–	37	–	–	–
Número Amostral (N)	42	35	–	35	–	4	–	37	–	–	–

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 11 - Valores de DQO e eficiência na remoção de Matéria Orgânica na fase 2

	Esgoto Bruto		UASB 1		UASB 2		Efluente Final 1		Efluente Final 2		Sistema 1	Sistema 2
	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	DQO	Efficiênc	ia Total	ia Total
Média	405	134	67	132	67	128	5	121	8	68	70	
Máximo	678	155	–	164	–	200	–	156	–	–	–	
Mínimo	222	83	–	85	–	84	–	95	–	–	–	
Desvio Padrão	109	29	–	30	–	45	–	30	–	–	–	
Número Amostral (N)	42	5	–	5	–	5	–	5	–	–	–	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Todavia, é difícil realizar uma comparação da eficiência com os dados obtidos nas fases 1 e 2, visto que na fase 1 não houve descarte de lodo do sistema de lodo ativado, ou seja, o mesmo não estava funcionando plenamente e na fase 2, uma vez que a concentração de sólidos no efluente final é alta, elevando as concentrações de DQO no mesmo.

No trabalho de Paiva (2016) o RBS obteve eficiência na remoção de DQO de 70% para idade do lodo de 8 dias e 64% para idade do lodo de 5 dias, contudo o esgoto que entrava no sistema operado por Paiva era mais concentrado que o esgoto que entrava no sistema de lodo ativado analisado neste trabalho, de modo que a DQO no efluente do sistema de Paiva foi em média de 96 mg/L, valor bem próximo aos obtidos neste experimento.

Já na fase 1 e 2 no sistema de Paula (2018) o qual a DQO afluente era 324 e 210 mg/L, respectivamente, devido a intensa flotação de lodo no decantador secundário a concentração de DQO no efluente atingiu valores superiores a 1000 mg/L. Porém nas fases 3 e 4, quando o sistema passou a realizar a remoção de nitrogênio, o lodo melhorou a sua sedimentabilidade, desta maneira, parou de flotar no decantador secundário e nas quais a DQO afluente era 218 e 200 mg/L, foram alcançadas em média, remoções de 59% e 51% respectivamente.

No geral, observa-se com base nesse e em outros trabalhos que sistemas de lodos ativados como unidades de pós-tratamento de reatores UASB se não forem bem operados e

monitorados podem facilmente apresentar baixa remoção de MO, embora tem-se observado que sistemas desse tipo operando em escala real, a exemplo da ETE do Baldo (FERRAZ, 2014), apresentam altas eficiências globais, e atendem aos padrões de lançamento.

3.3.2 pH, Alcalinidade Total e de Ácidos Graxos Voláteis

Observa-se na Tabela 12, que o pH de cada um dos pontos analisados foi superior a neutralidade durante todo o monitoramento, contudo demonstraram boa estabilidade visto que a média obtida em todos eles encontram-se próximos a 8, bem como o desvio padrão, em todos eles são inferiores a 0,25. São encontrados resultados nesta faixa de valores no trabalho realizado por Pereira, Campos e Moterani (2009), no qual o pH afluente ao sistema permaneceu na faixa de 6,8 a 7,9 e pH no efluente na faixa de 7,2 a 8,8.

Tabela 12 - Valores de pH e Alcalinidade no Esgoto Bruto e nos Efluentes Finais.

		Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N
	A.T. (mg CaCO3/L)	221	364	168	35	36
	AAV (mg CaCO3/L)	22	70	8	13	36
Esgoto Bruto	pH	7,79	8,10	7,13	0,23	36
	A.T. (mg CaCO3/L)	220	302	88	49	35
	AAV (mg CaCO3/L)	5	9	0	2	35
Efluente Final 1	pH	8,20	8,41	7,82	0,15	35
	A.T. (mg CaCO3/L)	201	301	79	55	35
	AAV (mg CaCO3/L)	7	55	0	9	33
Efluente Final 2	pH	8,19	8,43	7,50	0,19	35

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, segundo SOARES (2020), bactérias nitrificantes preferem pH superiores a 7,2, e bactérias desnitrificantes preferem entre 6,5 e 7,5, o que indica que o sistema de tratamento favorece a nitrificação, e não a desnitrificação, o que pode ser observado nos dados da Tabela 9.

Por fim, o pH do Efluente Final está dentro do padrão da Resolução CONAMA 430/2011, porém mais próximo ao limite máximo, que indica que o pH para lançamento em corpos d'água deve estar dentro da faixa de 6 a 9 (CONAMA, 2011).

3.3.3 Nitrogênio

O sistema não foi projetado para realizar a remoção de nitrogênio, tendo em vista que não há câmara anóxica no sistema de lodo ativado. Porém devido as condições favoráveis de clima e outros fatores, como pH observa-se na Tabela 13, que houve nitrificação parcial nos sistemas.

Tabela 13 - Valores de Nitrogênio no Esgoto Bruto e nos efluentes dos componentes

		Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N
Esgoto Bruto	N-NH3 (mg N/L)	34	45	19	6	37
	NTK (mg N/L)	36	49	20	6	37
Efluente Final 1	N-NH3 (mg N/L)	28	38	16	7	22
	NTK (mg N/L)	29	39	17	7	22
	Nitrito (mg NO₂-/L)	9	53	0	13	28
	Nitrato (mg NO₃-/L)	1	4	0	1	23
Efluente Final 2	N-NH3 (mg N/L)	26	41	15	8	22
	NTK (mg N/L)	27	41	15	8	22
	Nitrito (mg NO₂-/L)	11	45	0	11	30
	Nitrato (mg NO₃-/L)	1	6	0	2	23

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.3.4 Sólidos Suspensos

Em geral o efluente de sistemas de lodo ativado apresentam concentrações entre 20 a 30 mg/L de SST (JORDÃO e PESSOA, 2011), contudo, observa-se na Tabela 14, que o

experimento em questão obteve as concentrações de SST mais elevadas que citado na literatura, o que pode ser devido à dificuldade de retenção de sólidos no tanque de aeração, baixa sedimentabilidade do lodo (PAULA, 2018), bem como, o fator do mesmo receber efluente já digerido, em alguns casos específicos desnitrificação na unidade de decantação, decantador mal projetado, etc, o que implicou na expulsão do lodo para o efluente final.

Tabela 14 - Valores de Sólidos Suspensos no Esgoto Bruto e nos efluentes dos componentes

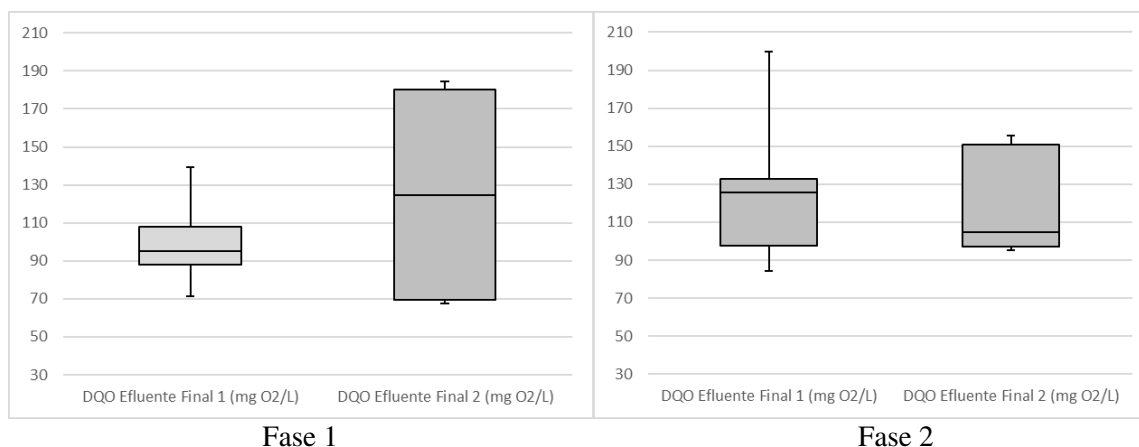
		Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N
Esgoto Bruto	SST (mg/L)	185	484	76	93	20
	SSV (mg/L)	163	412	72	79	20
Efluente Final 1 - fase 1	SST (mg/L)	47	69	29	19	5
	SSV (mg/L)	42	61	26	16	5
Efluente Final 1 - fase 2	SST (mg/L)	74	133	32	37	5
	SSV (mg/L)	67	117	31	37	4
Efluente Final 2 - fase 1	SST (mg/L)	69	128	25	49	5
	SSV (mg/L)	64	120	21	46	5
Efluente Final 2 - fase 2	SST (mg/L)	63	87	46	19	5
	SSV (mg/L)	52	78	40	18	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.4 Comparação dos Sistemas

É possível visualizar no Figura 5 as distribuições de valores da DQO, em gráfico de box-plot, no efluente final de cada sistema. Infere-se que na fase 1, o sistema 1, conseguiu manter a DQO em concentrações mais baixas no efluente final que o sistema 2, no entanto, quando o lodo aeróbio excedente passou a ser destinado para o reator UASB (fase 2) o sistema 2, que possui o decantador intermediário, apresentou uma eficiência melhor.

Figura 5 – Gráficos Box-plot do parâmetro DQO nos efluentes finais nas fases 1 e 2.

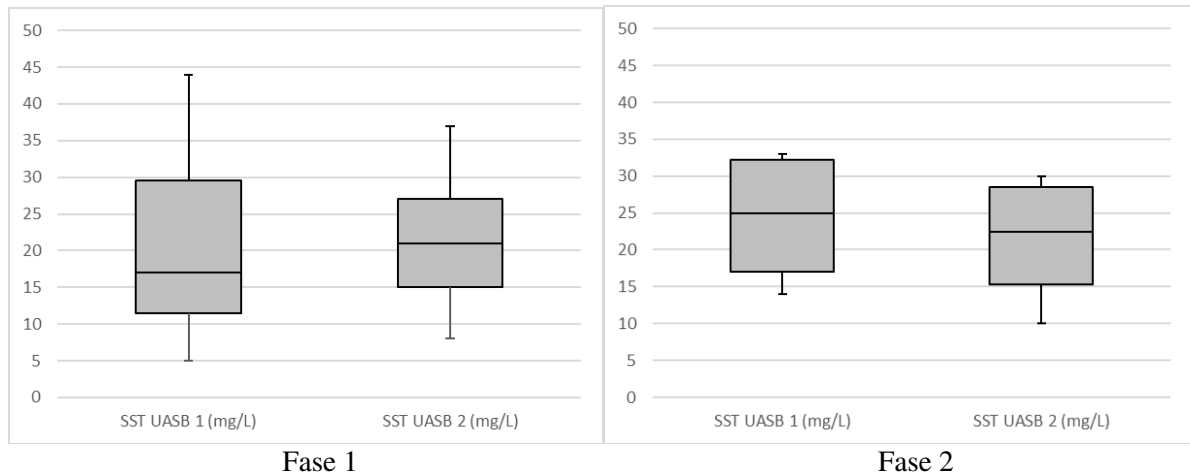


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Entretanto, o parâmetro mais importante para essa análise são os sólidos suspensos, o qual tanto na fase 1, quanto na fase 2 do monitoramento a quantidade de sólidos no efluente dos reatores UASB foi baixa e muito similar, comparativamente entre os dois reatores (Figura 6), reitera-se que devido ao baixo período de monitoramento não é possível verificar com precisão a influência do decantador intermediário. Todavia, ao analisar o Figura 7 é possível observar que o sistema 1 manteve a concentração de sólidos relativamente baixa na fase 1, porém na fase 2 a concentração de sólidos no efluente final aumentou. Em contrapartida, no sistema 2 o qual a fase 1 possui valores bem dispersos e relativamente altos, na fase 2 os resultados de SST são menos dispersos e mais satisfatórios.

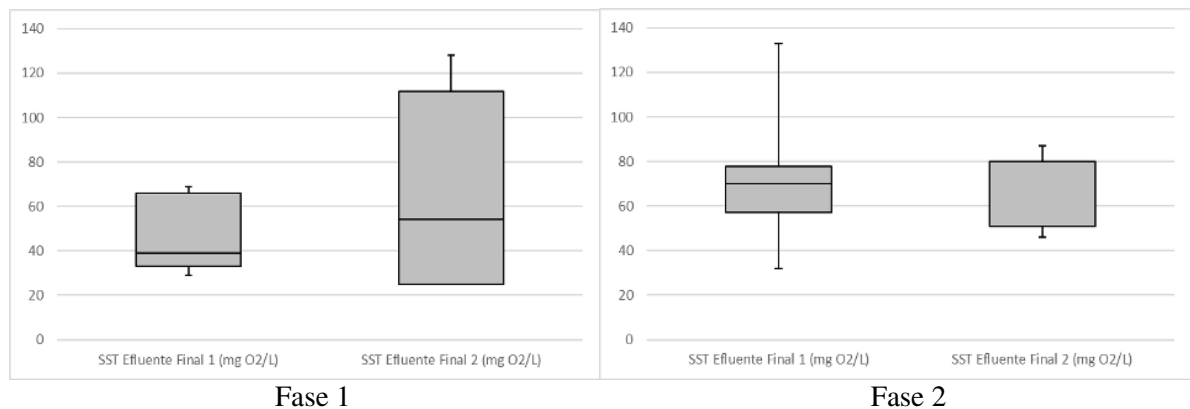
Nota-se essa diferença também na Tabela 14, ao comparar a fase 1 e a fase 2 do efluente final 1, no qual a média e o máximo quase dobram. Já para o efluente final 2 da fase 1 para a fase 2 a média e o máximo diminuem.

Figura 6 - Box-plot do parâmetro SST nos efluentes dos UASB nas fases 1 e 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 7 - Box-plot do parâmetro SST nos efluentes finais nas fases 1 e 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Devido ao curto período de monitoramento do sistema na sua concepção original fica complicado verificar a real influência do decantador intermediário, contudo, com base nos dados é possível analisar que o sistema sem o decantador intermediário (sistema 1) sofreu certo impacto com a recirculação do lodo aeróbio para o reator UASB, visto que tanto na análise de sólidos, quanto para a DQO seu desempenho apresentou uma queda, ficando abaixo do sistema com decantação intermediária (sistema 2), que na fase 2, apresentou certa melhora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- No geral os dois sistemas obtiveram resultados satisfatórios para todas as análises realizadas no monitoramento.

- Mesmo com a pequena quantidade de dados na fase 2, a caracterização dos sistemas foi realizada de forma satisfatória, sendo a fase 1 melhor caracterizada devido ao maior período de monitoramento.
- Os sistemas anaeróbios mantiveram excelente desempenho tanto para remoção de material orgânico com baixas concentrações de sólidos no efluente, quanto a estabilidade operacional do mesmo.
- Devido ao tempo de monitoramento não foi possível analisar a real interferência do decantador intermediário, entretanto esse trabalho está associado a um mestrado que irá aprofundar mais o tema.
- Sugere-se que mais trabalhos sejam realizados nessa linha de pesquisa ainda pouco elucidada.

REFERÊNCIAS

ALTVATER, P. K. **Avaliação do desempenho de um tanque séptico modificado e tratamento complementar**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT ASSOCIATION - WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed. Washington D C. 2017.

CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro, ABES, p. 464. 1999.

CAVALCANTI, P. F. F; VAN HAANDEL, A. **Comparação entre os métodos titrimétricos Kapp e DiLallo para determinação da alcalinidade e AGV**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 47-52. 2000.

CHERNICHARO, C. A. L. de. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v. 5, 379 p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA n° 430**, de 13 de maio de 2011 – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF, p. 89, 2011.

DIEGOLI, S. B.; BARROS, V. G.; SILVA, J. C. S.; MOREIRA, N. M.; MEDEIROS S. H.W. **Otimização da remoção biológica de nitrogênio a partir do controle de condições ambientais com a utilização de Reator UASB seguido de Reator SBR a ciclos alternados.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Outubro, 2015, Rio de Janeiro.

FERRAZ, D. L. de M. **Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019.** 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnadcontinua.html?edicao=27258>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 6. Ed, Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KASSAB, G.; HALALSHEH, M.; KLAPWIJK, A.; FAYYAD, M.; VAN LIER, J.B. **Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater - A review.** Bioresource Technology, v. 101, n. 10, p. 3299-3310, 2010.

PAIVA, L. A. L. **Viabilidade de pós-tratamento aeróbio de efluentes de reatores UASB visando reúso.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, 2016.

PAULA, C. T. **Avaliação do desempenho de sistema de lodo ativado com pré-desnitrificação como pós-tratamento de reator UASB em região de clima quente.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. **Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura.** *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FOREST, E. **Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios.** *Rev. Eng. Sanit. Ambient.* Vol.12, nº 3, p. 240-246. jul/set 2007.

RODRIGUES, R. M. M.; DE CEBALLOS, B. S. O.; LOPES, W. S. **Validação de método para determinação de ácidos graxos voláteis em efluentes de biorreatores anaeróbios por meio de cromatografia gasosa.** *Revista DAE*. n. 215, vol. 67, jan, 2019.

SILVA, J.A.; VAN HAANDEL, A. **Estabilização de lodo de pós-tratamento aeróbio na unidade de pré-tratamento anaeróbio.** *Revista DAE*, n. 194, p. 86-102, 2014.

SOARES, L. A.; SALEH, B. B.; SANTOS, M. S.; MANSO R. T.; FELIX, M. V.; BORGES, L. M. **Avaliação do pH no tratamento de esgoto doméstico com fossa séptica e lagoa de aguapés.** *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15586-15591, mar. 2020.

SOUZA, B. M.; DUARTE, M. A. C.; TINÔCO, J. D. **Custos de operação e manutenção de estação de tratamento de esgotos por reator anaeróbio e lodos ativados.** *Eng Sanit Ambient.* vol. 26, n. 3, p. 505-515. maio/jun, 2021.

VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações.** 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.