



UEPB

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO QUÍMICA INDUSTRIAL

ANNA KELLVYA LEITE FILGUEIRA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAMPINA GRANDE - PB

2019

ANNA KELLVYA LEITE FILGUEIRA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz

Coorientador: Ms. Mateus Cunha Mayer

CAMPINA GRANDE - PB

2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F481a Filgueira, Anna Kellvy Leite.
Avaliação comparativa de dois sistemas de Tratamento de esgoto para reúso agrícola no semiárido brasileiro [manuscrito] / Anna Kellvy Leite Filgueira. - 2019.
46 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
"Coorientação: Prof. Me. Mateus Cunha Mayer, UEPB - Universidade Estadual da Paraíba"
1. Reator UASB. 2. Lagoa de polimento. 3. Filtro anaeróbio. 4. Tratamento de efluentes. I. Título
21. ed. CDD 628.3

ANNA KELLVYA LEITE FILGUEIRA

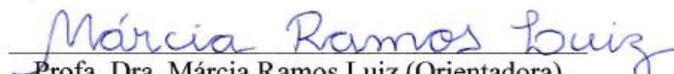
**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Trabalho de Conclusão de Curso em
Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial
à obtenção do Título de Bacharel em
Química Industrial.**

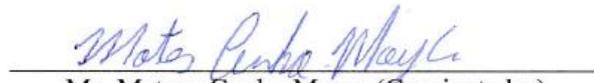
Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 03/12/2019

BANCA EXAMINADORA



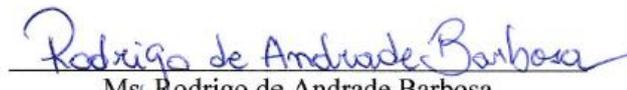
Prof.ª. Dra. Márcia Ramos Luiz (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Ms. Mateus Cunha Mayer (Coorientador)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)



Prof.ª. Dra. Neyliane Costa de Sousa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Ms. Rodrigo de Andrade Barbosa
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

*A minha mãe, que sempre me ensinou a sorrir
e ter fé nos momentos difíceis, DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por todas as bênçãos que me foram concedidas durante toda a caminhada para realização dessa conquista.

A Nossa Senhora, por iluminar e abençoar minha caminhada. Por toda intercessão nos momentos de provas.

A meus pais, Ana Flávia e José Cleanto, que sempre me ensinaram a agir com dignidade, honestidade, simplicidade e respeito. Em especial, minha mãe, meu maior exemplo de fé, paciência, luta e amor. Sem essa fé e amor incondicional a superação dos desafios da vida não seriam possíveis.

Aos meus irmãos, Kellssya e Kleanto, por todo carinho, união e companheirismo. Por sempre torcerem por mim e desejarem o meu sucesso. Vocês são a certeza que eu nunca estarei sozinha.

A minha família, pelo apoio, carinho, compreensão e amor que tem para comigo. Em especial, a Maria Auxiliadora e Gal, pelos incentivos e motivações para vencer as batalhas diárias. A Vinícius, pela cumplicidade sem igual e por acreditar em mim.

A Maria, minha madrinha e segunda mãe, por escolher se fazer tão presente em minha vida, por todo carinho, dedicação e ensinamentos. És preciosa para mim.

A Júnior, por tanto amor, carinho, dedicação, incentivo e compreensão. Por escolher ficar e ser sempre tão presente.

A Taís, companheira de estágio e aos colegas da EXTRABES, em especial a Isabella, Martina, Rodrigo, Carlos, Lincoln, Kamila, Sr. Diógenes, Camila e Sr. João por toda colaboração, incentivos, preocupações e bons momentos proporcionados.

Ao INSA e a EXTRABES pela oportunidade de ampliação dos meus conhecimentos e por apoiarem a realização desse trabalho.

A minha orientadora, Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, pela orientação, pelo seu incentivo, pela disponibilidade e apoio oferecidos. Por todo conhecimento compartilhado, minha eterna gratidão.

Ao meu coorientador, Ms. Mateus Cunha Mayer, por acreditar no meu potencial e estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas, por todo incentivo e conhecimento compartilhado.

A banca examinadora, por toda atenção e sugestões oferecidas, pela disponibilidade em contribuir com aperfeiçoamento desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que estiveram comigo, que acreditaram, torceram e rezaram, na vida ninguém consegue nada sozinho.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

*“Os grandes propósitos são sempre
atravessados por diversos obstáculos e
dificuldades.”*

(São Vicente de Paulo)

RESUMO

As crescentes preocupações com a escassez de água refletem a necessidade da criação de alternativas para um melhor aproveitamento desse recurso. Sendo a irrigação apontada como a atividade humana com maior demanda por água e principal responsável pelo déficit hídrico, a reutilização de efluentes domésticos tratados para fins agrícolas pode proporcionar benefícios econômicos e sustentáveis para determinadas regiões. Nessa perspectiva, o objetivo desse trabalho foi avaliar e comparar dois sistemas de tratamento de esgotos na produção de água para reúso agrícola no semiárido brasileiro. O presente trabalho relata a avaliação de dois sistemas de tratamento de efluentes, um compreendido por tanque séptico, filtro anaeróbio e lagoas de polimento, e outro por tanque séptico, reator UASB e lagoas de polimento. Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas, pH, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, DQO, fósforo total, sólidos suspensos e sólidos totais, turbidez, ovos de helmintos e *E. coli*. Os efluentes produzidos por ambos os sistemas de tratamento de esgotos apresentaram-se de acordo com os padrões previstos na legislação vigente, obtendo dessa forma, água de reúso segura do ponto de vista sanitário e com características de nutrientes.

Palavras-chave: Reator UASB, Lagoa de Polimento, Filtro Anaeróbio.

ABSTRACT

Growing concerns about water scarcity reflect the need to create alternatives for better use of this resource. Irrigation is the human activity with the highest demand for water and the main responsible for the water deficit. The reuse of domestic effluents treated for agricultural purposes can provide economic and sustainable benefits for certain regions. From this perspective, the objective of this work was to evaluate and compare two sewage treatment systems in water production for agricultural reuse in the Brazilian semiarid. The present work reports the evaluation of two effluent treatment systems, one comprised by septic tank, anaerobic filter and polishing ponds, and the other by septic tank, UASB reactor and polishing ponds. Physicochemical and microbiological analyzes were performed, pH, alkalinity, ammonia nitrogen, COD, total phosphorus, suspended solids and total solids, turbidity, helminth eggs and *E. coli*. The effluents produced by both sewage treatment systems were in accordance with the standards laid down in current legislation, thus obtaining safe reuse water from a sanitary point of view and with nutrient characteristics.

Keywords: UASB Reactor, Polishing Pond, Anaerobic Filter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da ETE do INSA	29
Figura 2 - Pontos de coleta ao longo do tratamento do efluente	30
Figura 3 - pH nos sistemas de tratamento de efluentes	32
Figura 4 - Alcalinidade total nos sistemas de tratamento de efluentes.....	33
Figura 5 - Concentração de nitrogênio amoniacal nos sistemas de tratamento de efluentes....	34
Figura 6 - DQO nos sistemas de tratamento de efluentes.....	35
Figura 7 - Concentração de fósforo nos sistemas de tratamento de efluentes.....	36
Figura 8 - Concentração de SSV nos sistemas de tratamento de esgotos.....	37
Figura 9 - Concentração de SST nos sistemas de tratamentos de efluentes	38
Figura 10 – Índices de turbidez nos sistemas de tratamento de efluentes.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diretrizes da OMS (2006), de qualidade microbiológica recomendada para o uso de águas residuais na agricultura.....	23
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados nas amostras da ETE. ...	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	SANEAMENTO AMBIENTAL E ESGOTO SANITÁRIO	15
2.2	TRATAMENTO DE EFLUENTES	16
2.3	TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTOS	16
2.3.1	Tratamento Anaeróbio do Esgoto	17
2.3.1.1	Tanque Séptico	17
2.3.1.2	Filtro Anaeróbio.....	18
2.3.1.3	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB).....	18
2.3.2	Tratamento Aeróbio de Esgoto	19
2.4	PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES	19
2.4.1	Lagoas de Polimento	19
2.5	PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	20
2.5.1	Características Físicas das Águas Residuárias	20
2.5.2	Características Químicas das Águas Residuárias.....	21
2.5.3	Características Biológicas das Águas Residuárias.....	21
2.6	LEGISLAÇÃO	23
2.7	ESCASSEZ E REÚSO DA ÁGUA.....	24
2.7.1	Classificações de Reúso	25
2.8	REÚSO NA AGRICULTURA.....	26
2.9	EXPERIÊNCIAS DE REÚSO NO BRASIL	27
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	DESCRIÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL.....	29
3.2	COLETA DE AMOSTRAS	30
3.3	PROCEDIMENTO DAS ANÁLISES.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	32
4.1.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	32

4.1.2 Alcalinidade	33
4.1.3 Nitrogênio amoniacal	34
4.1.4 Demanda Química de Oxigênio	35
4.1.5 Fósforo total	36
4.1.6 Sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais	37
4.1.7 Turbidez	39
4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	40
4.2.1 <i>Escherichia coli</i> e ovos de helmintos.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país beneficiado quanto à quantidade de água presente em suas bacias hidrográficas, contudo, a conjuntura da água é desproporcional no território e no decorrer do ano, bem como a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. A cultura da abundância hídrica tem sido gradualmente sucedida pela ideia da água como bem finito e atribuído de valor econômico, o que torna o monitoramento dos usos múltiplos e da oferta hídrica em quantidade e qualidade cada vez mais importantes (ANA, 2019).

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os usos múltiplos pode ser um fator limitante para o desenvolvimento regional. Diante disto, a gestão dos recursos hídricos vem se tornando cada vez mais importante, a qual prevê a utilização de águas menos nobres para usos menos exigentes, como na agricultura. Desta forma, o tratamento de esgoto para reúso agrícola é uma alternativa viável para atenuar a vulnerabilidade hídrica, aumentar a produção agrícola e contribuir para a conservação do meio ambiente (HESPANHOL, 2002).

A agricultura irrigada é o maior usuário de água no Brasil e no mundo. O crescimento da atividade no Brasil ocorreu desde as décadas de 1970 e 1980 e deve-se a algumas condições, principalmente: a ampliação da agricultura para regiões com o clima desfavorável, estímulos governamentais de desenvolvimento regional e disponibilidade de financiamentos. A grande maioria da área irrigada atualmente é privada e a atividade está espalhada por todo o território nacional, porém a maior produção se concentra nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do país, as quais possuem condições climáticas favoráveis (ANA, 2019).

Na região semiárida do Brasil, que engloba quase todo o Nordeste, a produção agrícola é prejudicada, principalmente devido ao curto período chuvoso e distribuição irregular da precipitação, temperaturas elevadas, altas taxas de evaporação, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos, característicos da região (MONTENEGRO, 2012; SOUSA et al., 2005), o que configura à localidade uma elevada vulnerabilidade hídrica.

Estimular a agricultura é de grande relevância para a economia, principalmente, quando a água de reúso é capaz de realizar a fertirrigação, devido a presença de nutrientes provenientes do esgoto doméstico. Sendo assim, o tratamento de esgoto para reúso traduz-se como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável da região (SANTOS et al., 2006).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar comparativamente dois sistemas de tratamento de esgotos na produção de água para reúso agrícola no semiárido brasileiro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Monitorar dois sistemas de tratamento de esgoto visando produzir água de reúso para fins agrícolas.
- Analisar o desempenho de dois sistemas de tratamento, com relação aos aspectos técnicos e operacionais.
- Equiparar os resultados obtidos nas análises experimentais aos parâmetros estabelecidos pela legislação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SANEAMENTO AMBIENTAL E ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com o MMA (2006), conceitua-se saneamento ambiental como o conjunto de ações socioeconômicas que tem por finalidade alcançar a salubridade ambiental, através do abastecimento de água potável, coleta e distribuição de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, manejo e drenagem urbana e controle de doenças transmissíveis, com o objetivo de promover a melhoria nas condições de vida urbana e rural.

Em conformidade com os aspectos sanitários, o destino propício para dejetos humanos visa, sobretudo, o controle e a prevenção de doenças associadas a estes. Para solucionar essas problemáticas são adotados os seguintes objetivos:

- Prevenir a poluição do solo e dos mananciais de abastecimento de água;
- Prevenir o contato de vetores com as fezes;
- Oportunizar o estímulo de novos hábitos higiênicos na população;
- Proporcionar conforto e satisfazer o senso estético.

Para os efeitos da Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, Art 3º, considera-se:

Saneamento básico: conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição; b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas; d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

O esgoto sanitário, segundo a definição da NBR 9648 (1986) é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.

Segundo Miguel et al. (2004), de acordo com sua origem, os esgotos podem ser classificados em:

- a) Sanitário, comum ou doméstico: proveniente de quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, cozinhas, lavanderias ou qualquer mecanismo de utilização de água para fins domésticos;
- b) Industrial: proveniente de processos industriais;
- c) Pluvial: proveniente da coleta das precipitações atmosféricas.

Esgotos são definidos como águas que, após consumo humano (uso doméstico, comercial ou industrial), apresentam alterações nas suas condições naturais, sendo compostas de 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos dissolvidos e suspensos, bem como os microrganismos (VON SPERLING, 2006).

2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Atualmente existem diversas tecnologias e opções de sistemas para o tratamento de esgotos. Contudo, para escolha da opção mais adequada, é necessário considerar aspectos como o objetivo do tratamento, o nível de tratamento que se espera atingir e qual o impacto que a disposição do efluente pode produzir no corpo hídrico receptor (SCOTTÁ, 2015).

A remoção dos poluentes no tratamento, de maneira a adaptar o lançamento a uma característica desejada ou um parâmetro de qualidade vigente, está relacionada aos conceitos de nível e eficiência de tratamento. O tratamento de esgotos é classificado através dos seguintes níveis, segundo Von Sperling (1996):

O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes. O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos ou ainda, a remoção complementar de poluentes não removidos no tratamento secundário.

2.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTOS

A essência do tratamento biológico dos esgotos é a remoção da matéria orgânica, bem como se aplica a remoção de outros poluentes não menos relevantes, como fósforo, nitratos, nitritos e nitrogênio amoniacal (SANT'ANNA JR., 2010). Microrganismos diversos incumbem-se nesse processo de tratamento: bactérias, protozoários, fungos e algas.

Os processos de tratamento biológico são projetados de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos cursos d'água, o denominado

fenômeno da autodepuração. Desse modo, em uma estação de tratamento, a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é obtida, em condições controladas, em taxas elevadas e em menores espaços de tempo do que nos sistemas naturais (VON SPERLING, 1996).

O tratamento biológico subdivide-se em dois tipos: tratamentos aeróbios, onde o processo ocorre na presença de oxigênio, e tratamentos anaeróbios, que ocorre na ausência de oxigênio.

2.3.1 Tratamento Anaeróbio do Esgoto

Os sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos realizam a estabilização da matéria orgânica na ausência de oxigênio, através de bactérias que metabolizam as substâncias no interior das unidades de tratamento (SAMUEL, 2011).

As principais vantagens da utilização de processos anaeróbios para tratamento de esgotos domésticos são: baixo custo de implantação, operação e manutenção; baixa produção de sólidos; baixa demanda de área; elevada sustentabilidade do sistema; aplicabilidade em pequena e grande escala; elevada vida útil. Como desvantagens têm-se: possibilidade de geração de maus odores e de efluentes com aspecto desagradável; alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária; insatisfatória remoção de nutrientes e patógenos; ineficiência de atender os padrões ambientais (CHERNICHARO, 1997).

Para implantação de sistemas de tratamento anaeróbio próximo ao meio urbano, a eventual emanção de odores é uma preocupação crescente, com isso, além dos reatores anaeróbios, vem surgindo os reatores microaeróbios, capazes de manter as vantagens dos reatores anaeróbios, sem possuir suas principais desvantagens (BARBOSA, 2019).

Os principais sistemas de tratamento anaeróbios utilizados no Brasil são: tanques sépticos, filtros anaeróbios, lagoas anaeróbias e reatores de alta taxa, como os reatores UASB.

2.3.1.1 Tanque Séptico

Segundo Soccotá (2015), os tanques sépticos constituem o tratamento anaeróbio de esgotos mais utilizado no Brasil e são equipamentos de tratamento de esgotos capazes de tratar com eficiência satisfatória compatível com a sua simplicidade e custo (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os tanques sépticos geralmente são subterrâneos, de forma prismática retangular ou cilíndrica e de fluxo horizontal. Os processos mais significativos desenvolvidos no tanque são a sedimentação, a digestão e a flotação. Sendo assim, as principais funções do tanque séptico,

para o tratamento de esgoto doméstico, são a separação gravitacional dos sólidos em suspensão no fundo do tanque e a matéria com menor densidade na parte superior. O lodo aglomerado no fundo sofre digestão parcial e liquefação (HOYS, 2016).

2.3.1.2 Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio é um biorreator de leito fixo, que retém a biomassa por adesão a um suporte inerte. Para o meio de suporte, as principais características são: ser estruturalmente resistente, inerte biológica e quimicamente; suficientemente leve, dispor de uma grande área específica, haver porosidade elevada e custo reduzido (SANT'ANNA JR, 2010; METCALF e EDDY, 2003).

Em termos de limitações, os filtros demandam grandes volumes necessários para o tratamento e as ameaças de obstrução, devido ao entupimento dos interstícios, ocasionando perda de eficiência (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com Von Sperling (1996), o filtro anaeróbio demonstra similaridade conceitual com os filtros biológicos aeróbios, em ambos contextos, a biomassa cresce aderida a um meio de suporte, geralmente pedras. Todavia, o filtro anaeróbio apresenta diferenças importantes:

- Fluxo do líquido é ascendente.
- Filtro trabalha afogado, isto é, os espaços vazios são preenchidos com líquido.
- Carga de DBO por unidade de volume é elevada, garantindo assim condições anaeróbias e refletindo na redução de volume do reator.
- Unidade é fechada.

2.3.1.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)

O processo anaeróbio através de reatores de manta de lodo apresenta consideráveis vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, principalmente quando aplicado em locais de clima quente. Desse modo, pode-se esperar destaque dos reatores UASB como consequência de seu baixo custo de implantação e de operação, baixa produção de biomassa e baixo consumo de energia (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Sousa (2015), o processo de tratamento no reator UASB acontece de forma natural. Como em processos anaeróbios pode ocorrer a intensa formação de gás e como

grânulos ou flocos não tem dimensões uniformes, um separador trifásico foi acoplado ao reator, permitindo a retenção de sólidos arrastados, a fuga do gás e a saída do líquido clarificado (SANTANNA JR., 2010). O lodo produzido sedimenta e fica concentrado na parte inferior do reator, sendo mantido em suspensão pelo fluxo ascendente do aflente, que através dessa movimentação também permite a sua floculação, gerando uma camada formada por grânulos de lodo anaeróbio. O efluente segue para a zona de decantação, posicionada na parte superior do reator (SOUSA, 2015).

A concentração de biomassa no reator UASB é bastante elevada, devido esse fato, o volume proposto para os reatores anaeróbios de manta de lodo é reduzido, comparativamente com os demais sistemas de tratamento (VON SPERLING, 1996).

2.3.2 Tratamento Aeróbio de Esgoto

O tratamento aeróbio procura dispor de forma intensiva os processos de degradação de poluentes que sucedem nos sistemas aquáticos naturais. O metabolismo das bactérias é rápido em consequência da alta velocidade de assimilação e metabolização do substrato existente no meio, gerado em curtos períodos de tempo. Essa característica possibilita uma alta velocidade de degradação dos poluentes, porém, existe a importuna produção excessiva de biomassa, cujo processamento e destino apresentam problemas (SANTANNA JR, 2010).

2.4 PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os reatores anaeróbios são, na maioria das vezes, insuficientes na remoção de carga poluidora, não se adequando aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental (CARMO et al., 2004). Sendo assim, é de fundamental importância submeter os efluentes dos reatores anaeróbios ao pós-tratamento, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e garantir a proteção dos corpos d'água receptores para o lançamento dos esgotos (PINTO et al., 2014).

Para Von Sperling (2002), entre as alternativas de pós-tratamento, destaca-se o uso das lagoas de polimento, devido à simplicidade, proporcionando condições favoráveis para a remoção de nutrientes e patógenos.

2.4.1 Lagoas de Polimento

As lagoas de polimento são reatores dimensionados considerando critérios que contribuem para o decaimento de organismos patogênicos. O emprego de lagoas como unidades de finais do sistema de tratamento objetiva dar polimento a qualquer tipo de efluente, seja em termos de remoção de patógenos e de nutrientes, ou mesmo um polimento em termos de DQO (CHERNICHARO, 1997).

O uso de lagoas de polimento é muito atrativo do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, uma vez que demandam menor área para implantação quando comparada a lagoas de estabilização. Como o esgoto é submetido previamente a um tratamento, que remove DBO e Sólidos Suspensos, diminuindo a concentração destes poluentes, o tratamento em lagoas é mais fácil e pode ser realizado com um tempo de detenção hidráulica (TDH) menor. Dessa forma, o fator determinante deixa de ser a matéria orgânica e passa ser a remoção de organismos patogênicos (CHERNICHARO et al., 2001 apud SCOTTÁ, 2015).

2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

A definição da qualidade da água faz referência ao tipo de uso ao qual se destina e parâmetros de qualidade são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes, de acordo com o uso da água (PIRATOBÁ et al., 2007).

Os critérios fundamentais de qualidade de despejos são: turbidez, cor, odor, concentração de oxigênio dissolvido, pH, dureza, alcalinidade, concentração de material tóxico, temperatura, nitrogênio, fósforo e microrganismos patogênicos (DEZOTTI, 2008).

2.5.1 Características Físicas das Águas Residuárias

De acordo com a FUNASA (2004), as principais características físicas dos esgotos domésticos são: temperatura, cor, odor, turbidez e matéria sólida.

- a) **TEMPERATURA:** considerado um parâmetro físico de grande importância, em razão da saturação de oxigênio dissolvida nos corpos d'água, as taxas das reações biológicas e as reações químicas. É sobretudo importante no tratamento biológico, onde os parâmetros típicos do projeto devem ser corrigidos de acordo com a temperatura (JORDÃO; PESSOA, 2011).
- b) **COR:** a cor indica o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade cinza acompanhada de alguma turbidez caracteriza o esgoto fresco, já a tonalidade preta ou cinza escuro é característica do esgoto séptico, velho (VON SPERLING, 1996).

- c) **ODOR:** os odores são provenientes dos gases formados no processo de decomposição da matéria orgânica biodegradável. O esgoto fresco possui o odor de mofo, oleoso, relativamente desagradável. Já o esgoto séptico confere odor fétido, devido a presença do gás sulfídrico, ácidos orgânicos e nitrogenados (SOUSA, 2014). Despejos industriais contendo fenol, apresentam odores característicos (FUNASA, 2004).
- d) **TURBIDEZ:** é causada por uma grande quantidade de sólidos em suspensão; esgotos mais concentrados ou mais frescos geralmente apresentam maior turbidez, uma vez que os esgotos sépticos sofreram processo de autodepuração (VON SPERLING, 2006).

2.5.2 Características Químicas das Águas Residuárias

De acordo com a FUNASA (2004), as principais características químicas dos esgotos domésticos são: matéria orgânica e matéria inorgânica.

- a) **Matéria Orgânica:** cerca de 70% dos sólidos presentes nos esgotos são de origem orgânica, compostos geralmente formados pela combinação de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e algumas vezes Nitrogênio. Os compostos constituem proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, e em uma fração menor de surfactantes, ureia, fenóis e pesticidas. Quanto a biodegradabilidade, a matéria orgânica carbonácea classifica-se em biodegradável ou inerte (VON SPERLING, 2006).
- b) **Matéria Inorgânica:** nos esgotos a matéria inorgânica é formada basicamente por areia e substâncias minerais dissolvidas. A remoção deste material não é comum, visto que é um material inerte e pouco influenciará em uma estação de tratamento de esgoto (SOUSA, 2014).

2.5.3 Características Biológicas das Águas Residuárias

A FUNASA (2004) estabelece os microrganismos de águas residuárias e os indicadores de poluição como as principais características biológicas dos esgotos domésticos.

O maior grupo de organismos patogênicos existentes numa água residual tratada, resultante de tratamento secundário e terciário, inclui bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários. Usualmente a presença de organismos patogênicos em águas residuais é monitorada através de análises com indicadores microbianos. Estes indicadores são

empregados na detecção de poluição da água residual a nível de matéria fecal, acusando a presença de organismos patogênicos (SANTOS, 2008).

De acordo com Bastos (2000), os coliformes são utilizados como indicadores da remoção de bactérias patogênicas. Assim sendo, na aferição da qualidade bacteriológica da água tratada, a ausência de coliformes totais é um indicador adequado e suficiente na eficiência do tratamento, visto que apresentam taxa de decaimento similar ou superior a todos os coliformes termotolerantes e a *E.coli*. Quanto a avaliação da qualidade virológica e parasitológica da água tratada, torna-se necessário o emprego de indicadores complementares não-biológicos, a exemplo do cloro residual e turbidez.

Os esgotos domésticos contêm uma grande variedade de organismos patogênicos encontrados principalmente na forma de ovos. Os principais indicadores da qualidade higiênica de efluentes tratados são os ovos de helmintos e os coliformes fecais; esses indicadores tem grande importância por possuírem maior capacidade de sobrevivência que outros organismos patogênicos de origem fecal e, dessa forma, se a concentração do organismo indicador apresenta-se abaixo do valor estabelecido nos padrões, pode-se esperar que a concentração de outros organismos patogênicos também se apresente baixa. Os mecanismos de remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos em lagoas são totalmente diferentes. Os ovos de helmintos são removidos pelo mecanismo físico de sedimentação devido a sua alta densidade. Já a concentração de coliformes fecais diminui com o tempo de decorrência de sua morte (CALVACANTI, 2009).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomendou diretrizes que estabelece os critérios básicos para a proteção de grupos de riscos, relacionados a técnicas de reúso agrícola. As diretrizes para o uso seguro dos esgotos, são estabelecidas com base em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos (HESPANHOL, 2002).

Conforme a OMS, as diretrizes estabelecidas para o reúso agrícola de esgotos sanitários tratados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Diretrizes da OMS (2006), de qualidade microbiológica recomendada para o uso de águas residuais na agricultura

Categoria de Irrigação	Opção ⁽¹⁾	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (log ₁₀) ⁽²⁾	Qualidade do efluente	
			<i>E.coli</i> por 100 mL ⁽³⁾	Ovos de helmintos/L
Irrestrita	A	4	≤ 103	
	B	3	≤ 104	
	C	2	≤ 105	
	D	4	≤ 103	
	E	6 ou 7	≤ 10 ¹ ou 10 ⁰	≤ 1 (4) ⁽⁵⁾
Restrita	F	4	≤ 104	
	G	3	≤ 105	
	H	<1	≤ 106	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde (ver Figura 1). (A): cultivo de raízes e tubérculos; (B): cultivo de folhosas; (C): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; (D): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; (E): qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo, turbidez, SST, cloro residual); (F): agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; (G): agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; (H): técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) Remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia à uma carga de doenças virais tolerável ≤ 10⁻⁶ DALY pppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente (média geométrica durante o período de irrigação) correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes: ≤ 0,1 ovo por L, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log₁₀ na higiene dos alimentos pode-se admitir ≤ 10 ovos por L. (5) Média aritmética em pelo menos 90 % do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log₁₀) depende a concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas de estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo, turbidez ≤ 2 uT) pode dispensar a verificação do padrão ovos helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo, opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

Fonte: WHO (2006 apud BASTOS, 2008).

2.6 LEGISLAÇÃO

Não somente no Brasil, mas em diversos países, a legislação sobre reúso é illusória, muito branda ou muito restritiva. Tal fato deve-se a escassez de estudos que evidenciem quais

as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que os contaminantes podem ocasionar ao sistema solo-água-plantas (BERTONCINI, 2008).

No Brasil, a legislação vigente estabelece padrões e normas para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos, através de Resoluções, Decretos e Leis de âmbito nacional, estadual e municipal (SCOTTÁ, 2015).

Os principais textos legais de âmbito nacional empregados são:

- a) Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.
- b) Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997, que institui a política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- c) Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as Leis nº 6.766/1979, 8.036/1990, 8.666/1993 e 8.987/1995, revoga a Lei nº 6.528/1978 e dá outras providências.
- d) Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.
- e) Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357/2005.
- f) Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 28 de junho de 2017, que disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.

2.7 ESCASSEZ E REÚSO DA ÁGUA

O reúso de águas residuárias tratadas e não tratadas são práticas utilizadas em todo o mundo há muitos anos. Relatos apontam o uso dessas práticas na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e a sua utilização na irrigação. Contudo, a crescente demanda por água tem tornado o reúso planejado da água um tema atual e de extrema importância (CETESB, 2019).

A escassez crescente de água, em diversos países, acarreta a aplicação de variados tipos de tecnologias para a obtenção de outras fontes de água, a exemplo da dessalinização de águas e o tratamento de esgotos para reúso, principalmente, em irrigação e em recarga de aquíferos (DUARTE, 2006).

A água tornou-se um fator restritivo para o crescimento urbano, industrial e agrícola nas regiões áridas e semiáridas. Embora haja abundância de recursos hídricos em algumas regiões, esses tornam-se insuficientes para atender as excessivas demandas, acarretando assim, conflitos de usos e limitações de consumo, que acabam por afetar a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico (HESPANHOL, 2008).

2.7.1 Classificações de Reúso

A classificação adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), devido sua praticidade e facilidade, é a mesma proposta por Westerhoff (1984 apud BREGA FILHO; MANCUSO, 2003), na qual o reúso de água é dividido em duas grandes categorias: potável e não potável. O reúso potável pode ser classificado como direto e indireto, sendo o reúso potável direto caracterizado quando as águas residuárias recuperadas, por meio de tratamentos avançados, são de modo direto reutilizadas no sistema potável e o reúso potável indireto é caracterizado quando as águas residuárias, após tratamento, são dispostas nos cursos de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e utilização como água potável. Já o reúso não potável é destinado a atividades consideradas menos nobres, tal como a agricultura.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973) as formas de reúso podem ser classificadas em: reúso indireto, onde a água utilizada é descartada em meio aquático, passando pelo processo de autodepuração para ser utilizada novamente; reúso direto, refere-se ao uso direto e planejado dessas águas para fins específicos, como por exemplo, irrigação, indústria, recarga de aquífero e uso potável; e reciclagem interna, que trata da aplicação da água para reúso interno visando seu uso original.

Segundo Lavrador Filho (1987 apud BREGA FILHO; MANCUSO, 2003) sugere a seguinte classificação para as formas de reúso: reúso indireto não planejado da água, quando a água, já utilizada em alguma atividade humana, é descartada no meio ambiente e novamente utilizada à jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada; reúso planejado de água, quando o reúso da água é resultado de uma ação humana consciente, a partir de uma descarga de efluentes, sendo utilizado de forma direta ou indireta. Assim, pressupõe-se a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade exigidos para o novo uso da água; e reúso direto planejado de água, quando os efluentes posteriormente ao tratamento são descartados de forma planejada, nos corpos d'água

superficiais ou subterrâneos, para serem reutilizados a jusante de forma diluída e de modo controlado com o propósito de algum uso.

2.8 REÚSO NA AGRICULTURA

O reúso da água é um fator muito importante para a gestão dos recursos hídricos. A capacidade de purificação do solo é muito maior que o poder de purificação das águas, pois o solo atua como filtro, além de promover a decomposição da matéria orgânica ainda presente em efluentes tratados. O uso de efluentes na agricultura, além de água, fornece nutrientes para as plantas. Contudo, para que não aconteça contaminação do sistema solo-água-plantas, a qualidade da água de reúso e sua forma de aplicação devem ser regularmente monitorados (BERTONCINI, 2008).

A agricultura irrigada, nos últimos anos, vem se transformando em uma das atividades econômicas mais significativas no Brasil. A drenagem dos campos irrigados e a irrigação são atividades que proporcionam uma compensação dos efeitos negativos causados pela má distribuição, temporal e espacial, das águas de precipitação. Através da irrigação a produção agrícola pode se fortalecer, regularizando, no decorrer do ano, os estoques e a disponibilidades de alimentos, dado que essa técnica propicia a produção na contra estação (HESPANHOL, 2008).

O desempenho da aplicação de águas residuárias, tratadas na agricultura, demonstra diversas vantagens, dentre elas a economia de água e de fertilizante mineral, além de evitar a contaminação orgânica e microbiológica do meio ambiente. Em conformidade com a Organização Mundial da Saúde, o tratamento primário de esgotos domésticos já é satisfatório para torná-los adequados à irrigação de culturas de consumo indireto (SANTOS, et al, 2006).

De acordo com Hespanhol (2008), os sistemas de reúso implantados com bom planejamento e administrados devidamente propiciam melhorias para a saúde pública, principalmente em áreas rurais. Dentre os fatores extremamente positivos no uso de águas residuárias tratadas na agricultura, tem-se: a diminuição do descarte de esgotos em corpos hídricos. Preservação dos recursos hídricos subterrâneos. Por meio da acumulação do “humus”, possibilita a conservação do solo, intensificando a resistência à erosão e habilidade de retenção de água nos solos. Cooperação para o crescimento da produção de alimentos, promovendo elevados níveis de saúde, qualidade de vida associadas a técnicas de reúso.

Ainda segundo o mesmo autor, impactos ambientais negativos podem ocorrer, caso utilizem o esgoto não tratado para irrigação. Os principais efeitos são associados à poluição,

causada principalmente por material orgânico, nitrogênio, fósforo e patógenos que degradam a qualidade das águas superficiais e dos aquíferos subterrâneos, utilizados para abastecimento de água.

O reúso agrícola resulta na redução de custos, sobretudo se for implantado em associações com novos projetos de sistemas de tratamento, visto que os padrões de qualidade de água de reúso agrícola, comparado aos padrões de lançamentos contidos na Resolução CONAMA Nº 430/2011 são menos restritivos. Principalmente, referentes aos nutrientes, que são substâncias que aumentam o custo do tratamento de esgoto. Porém, para uso na irrigação, são desejadas no efluente, permitindo um tratamento mais simples e de menor custo. Os efluentes de esgotos sanitários usados na agricultura, também oportunizam uma expressiva economia de fertilizantes industrializados, além de diminuir a demanda por água de melhor qualidade. Considerando toda a prudência necessária e reprimindo as dificuldades de natureza cultural, o reúso revela-se como uma atividade economicamente viável, sanitariamente segura e ambientalmente sustentável (TSUTIYA, 2001).

2.9 EXPERIÊNCIAS DE REÚSO NO BRASIL

No cenário nacional, as práticas e políticas direcionadas ao reúso de águas vem demonstrando avanços, desde a promulgação da Lei nº 9.433/97 que elaborou a Política Nacional dos Recursos Hídricos, bem como o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil (SOUSA 2014).

Estima-se que o Brasil pratique reuso direto equivalente a menos de 1% do esgoto produzido. A falta de conhecimento dos benefícios que o reúso oportuniza, o desinteresse para buscar recursos para o desenvolvimento da prática e a implantação de regulamentos restritivos são as prováveis causas para a pouca prática do reúso (HESPANHOL, 2019).

O reúso agrícola de efluente sanitário no Brasil limita-se, praticamente, a experiências controladas em sistemas-pilotos, coordenados pela Rede PROSAB (Programa de Saneamento Básico) e financiadas pelo CNPq, FINEP e Caixa Econômica Federal, envolvendo pesquisadores de universidades e Institutos de pesquisa de todo o Brasil (BERTONCINI, 2008).

Apesar das manifestações de reúso agrícola não planejado ou inconsciente em várias regiões brasileiras, até mesmo em regiões metropolitanas, a prática do reúso de água ligada ao setor público ainda é principiante no Brasil. Alguns estados do Nordeste, principalmente, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, implantaram projetos com o objetivo de usar

efluentes domésticos para a irrigação de capim elefante, sem tratamento adequado e sem nenhuma proteção à saúde pública dos grupos de riscos envolvidos (HESPANHOL, 2002).

3 METODOLOGIA

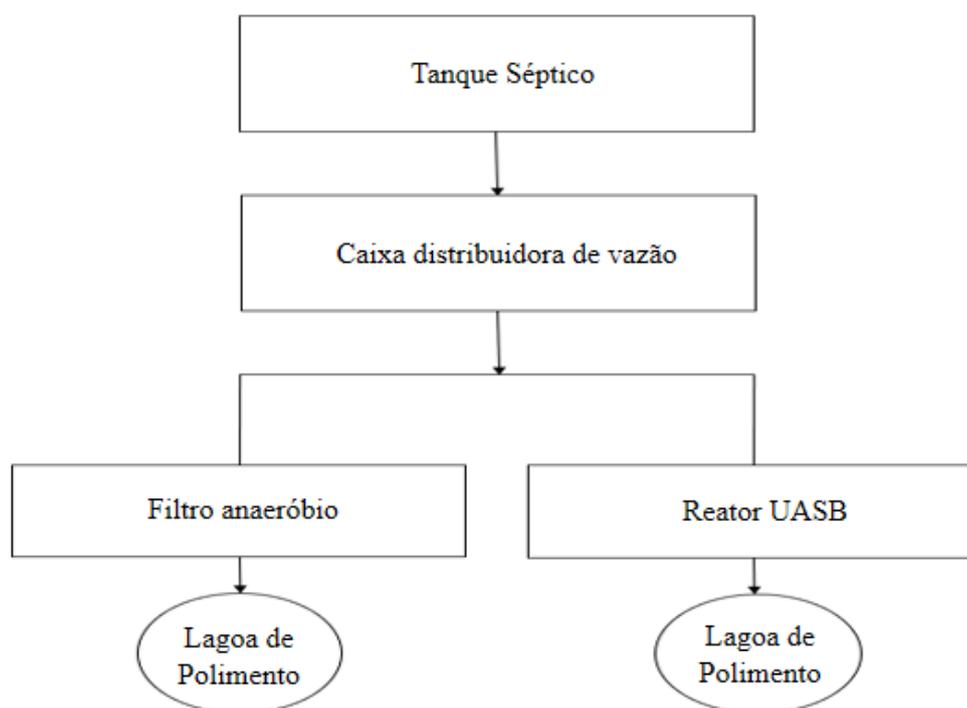
3.1 DESCRIÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) implantada na sede administrativa do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado na cidade de Campina Grande, Paraíba. A unidade de tratamento, a princípio, era formada por um tanque séptico seguida de filtro anaeróbio.

Diante da necessidade de se produzir água para reúso agrícola e realizar estudos comparativos com outras tecnologias de tratamento de esgoto, optou-se pela implantação de dois sistemas de tratamento de esgoto em paralelo, um compreendido por tanque séptico, filtro anaeróbio e lagoas de polimento, e outro por tanque séptico, reator UASB e lagoas de polimento.

Na idealização do novo sistema de tratamento, foi construída uma caixa de distribuição de vazão, contendo uma placa em fibra de vidro com vertedores, onde a vazão do efluente do tanque séptico é igualmente distribuída para o filtro anaeróbio e o reator UASB. Na Figura 1 pode-se observar um esquema dos dois sistemas de tratamento operados em paralelo durante a realização deste estudo.

Figura 1 - Esquema da ETE do INSA



3.2 COLETA DE AMOSTRAS

O monitoramento dos sistemas propostos foi realizado por meio de análises dos parâmetros físico-químicos das amostras coletadas na saída das cinco unidades ao longo do tratamento: (1) tanque séptico; (2) filtro anaeróbio; (3) lagoa de polimento posterior ao filtro anaeróbio; (4) Reator UASB; (5) Lagoa de polimento posterior ao reator UASB. Com relação aos parâmetros microbiológicos, apenas os efluentes das unidades 3 e 5 foram monitorados. Todas as unidades de tratamento estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Pontos de coleta ao longo do tratamento do efluente



Fonte: Lavorato (2019).

As coletas das amostras para os parâmetros físico-químicos foram realizadas semanalmente entre os meses de maio e julho de 2019, sempre priorizando coletar os efluentes das lagoas de polimento quando as mesmas estavam com um tempo de detenção hidráulica entre 5 e 7 dias.

As amostras foram coletadas e transferidas diretamente para frascos de polietileno. Os frascos contendo as amostras foram acondicionados para transporte em caixa de isopor, para preservar as condições coletadas. As amostras foram submetidas às análises de pH, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, DQO, fósforo total, sólidos suspensos voláteis, sólidos totais, turbidez, ovos de helmintos e *E.coli*. As análises foram realizadas no Laboratório da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário (EXTRABES), enquanto as análises de *E.coli* foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do INSA.

3.3 PROCEDIMENTO DAS ANÁLISES

As análises foram realizadas de acordo com o manual *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos e suas respectivas metodologias empregadas nas análises, bem como suas referências bibliográficas, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados nas amostras da ETE.

Parâmetros	Metodologias	Referência
*pH	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
Alcalinidade (mg. L ⁻¹)	Kapp	BUCHAUER (1998)
Nitrogênio Amoniacal (mg. L ⁻¹)	Titulação pós destilação	APHA <i>et al.</i> (2012)
*DQO (mg. L ⁻¹)	Titulométrico de refluxação fechada	APHA <i>et al.</i> (2012)
Fósforo Total (mg. L ⁻¹)	Digestão de persulfato	APHA <i>et al.</i> (2012)
*SSV (mg. L ⁻¹)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
*SST (mg. L ⁻¹)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
Turbidez (NTU)	Turbidímetro	APHA <i>et al.</i> (2012)
Ovos de Helmintos	<i>Bailenger</i> modificado	BAILENGER (1979) modificado por AYRES E MARA (1996)
<i>Escherichia coli</i>	Colilert	APHA <i>et al.</i> (2012)

*pH – Potencial Hidrogeniônico; *DQO – Demanda Química de Oxigênio; *SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; *SST – Sólidos Suspensos Totais.

Fonte: Autor (2019)

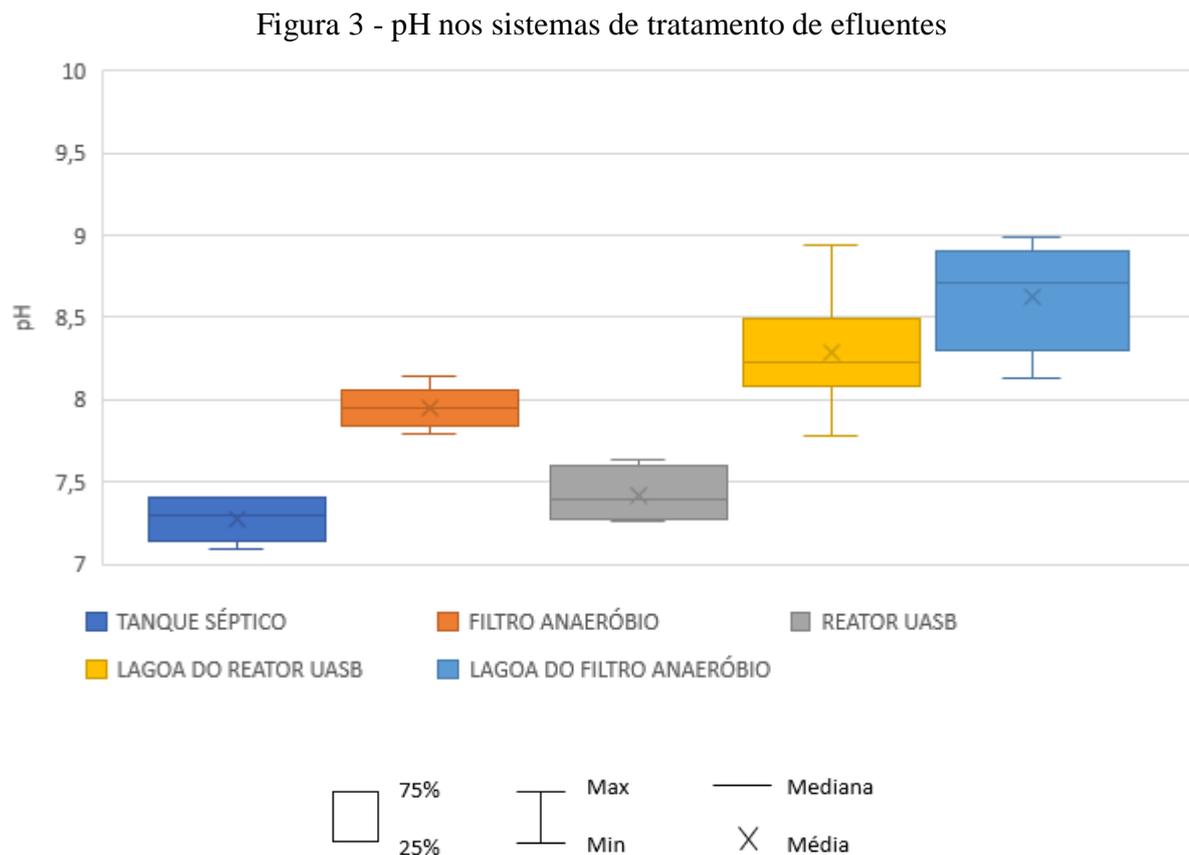
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os gráficos gerados estão apresentados na forma de *boxplot*, que é uma ferramenta gráfica que visa a aplicação e interpretação de dados quantitativos. O *boxplot* tradicionalmente apresenta medidas de tendência central não-paramétrica (mediana), de dispersão (*quartis* 25% e 75%), forma de distribuição ou simetria da amostra (valores pontuais mínimo e máximo), valores atípicos (*outliers*) e extremos (VALLADARES NETO et al., 2017).

4.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os resultados das análises de pH, monitorados ao longo dos sistemas de tratamento de efluentes, são apresentados na Figura 3.



Fonte: Autor (2019).

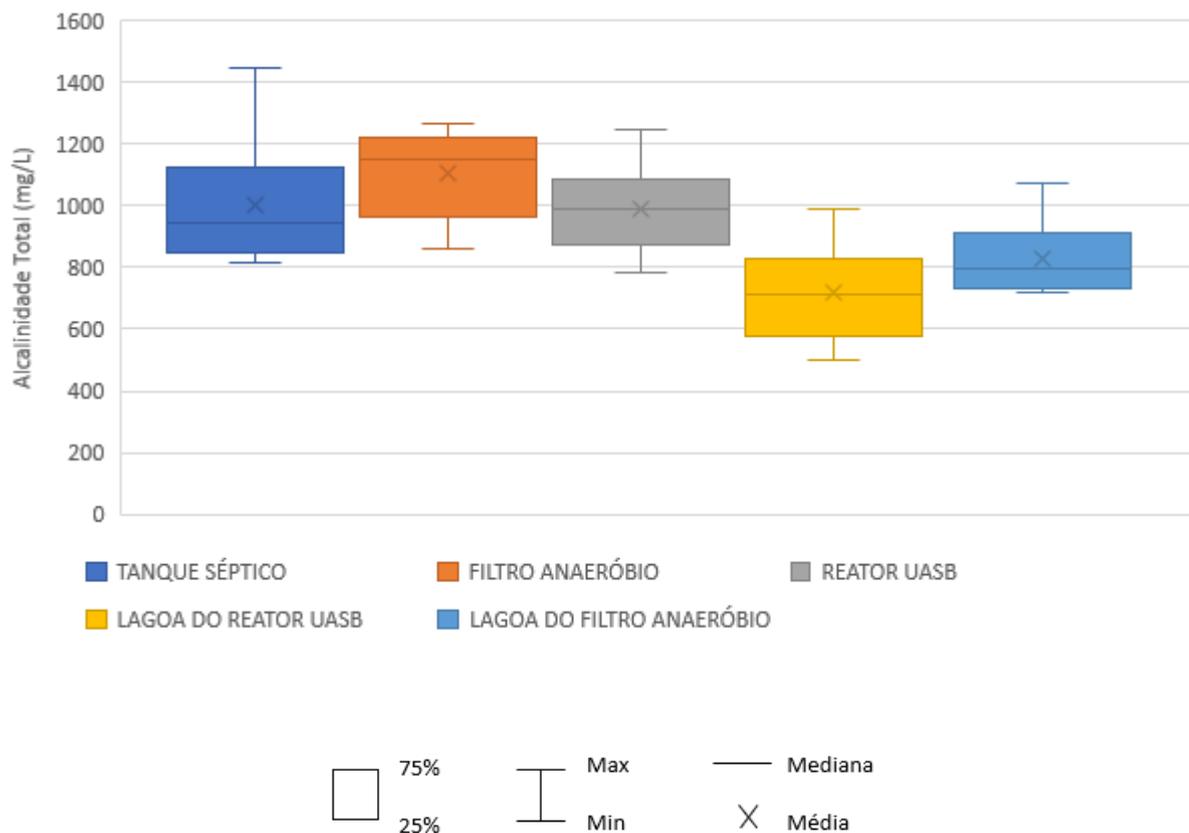
Nota-se pouca alteração entre os valores de pH do tanque séptico e do reator UASB, com valores tendendo sempre a neutralidade entre 7,0 e 7,5, enquanto que no filtro anaeróbio, o pH apresenta valores próximos de 8,0. Já nas lagoas de polimento, observa-se um aumento dos valores de pH, o que está diretamente relacionado a atividade fotossintética, na qual ocorre o consumo de dióxido de carbono (CO_2) presente no efluente e a liberação de radicais hidroxila (OH^-). De acordo com Ribeiro et al (2005), águas com baixo índice de pH propõem risco de entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento.

Os valores de pH do efluente de ambas lagoas de polimento encontram-se dentro da faixa de pH adequado para a irrigação, a qual determina que, o pH deve estar entre 6,5 e 8,4 ((SOUSA et al., 2005 apud AYRES; WESTCOT, 1991).

4.1.2 Alcalinidade

Na Figura 4 são apresentados os dados referentes aos valores de alcalinidade total.

Figura 4 - Alcalinidade total nos sistemas de tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2019).

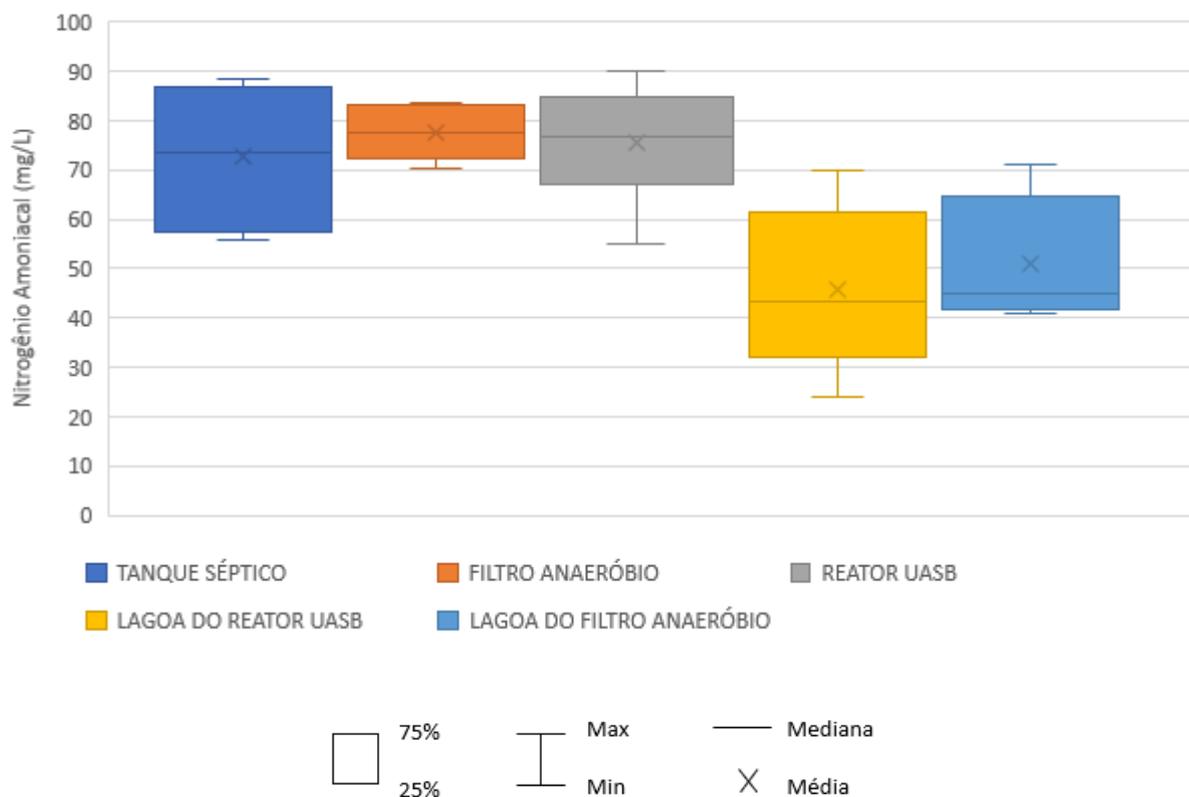
Observa-se, a partir da Figura 4, um aumento dos valores de alcalinidade total no filtro anaeróbio e no reator UASB, quando comparados ao tanque séptico, indicando que a capacidade tampão apresentou melhoria nessas unidades. Observou-se, também, decréscimo dos valores de alcalinidade total no efluente das lagoas. A elevada remoção de amônia e intensa atividade fotossintética nos sistemas explicam a redução da concentração de alcalinidade total e o aumento de pH nas lagoas de polimento (BASTOS *et al.*, 2010).

Foi verificado que, de acordo com a CONAMA 430/2011, não se estabelece uma concentração mínima de alcalinidade total para parâmetros de reutilização de efluente tratado.

4.1.3 Nitrogênio amoniacal

A Figura 5 apresenta as concentrações de nitrogênio amoniacal dos efluentes do sistema.

Figura 5 - Concentração de nitrogênio amoniacal nos sistemas de tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2019).

Observa-se que ao longo dos sistemas há uma redução da quantidade de amônia. Nas unidades de pré-tratamento, as concentrações de nitrogênio amoniacal permaneceram altas,

porém no efluente final das lagoas de polimento houve uma diminuição nos valores dessas concentrações. Desta forma, o sistema apresentou baixa remoção de amônia, com valores acima de 20mg/L, o que causa efeitos positivos para as plantas.

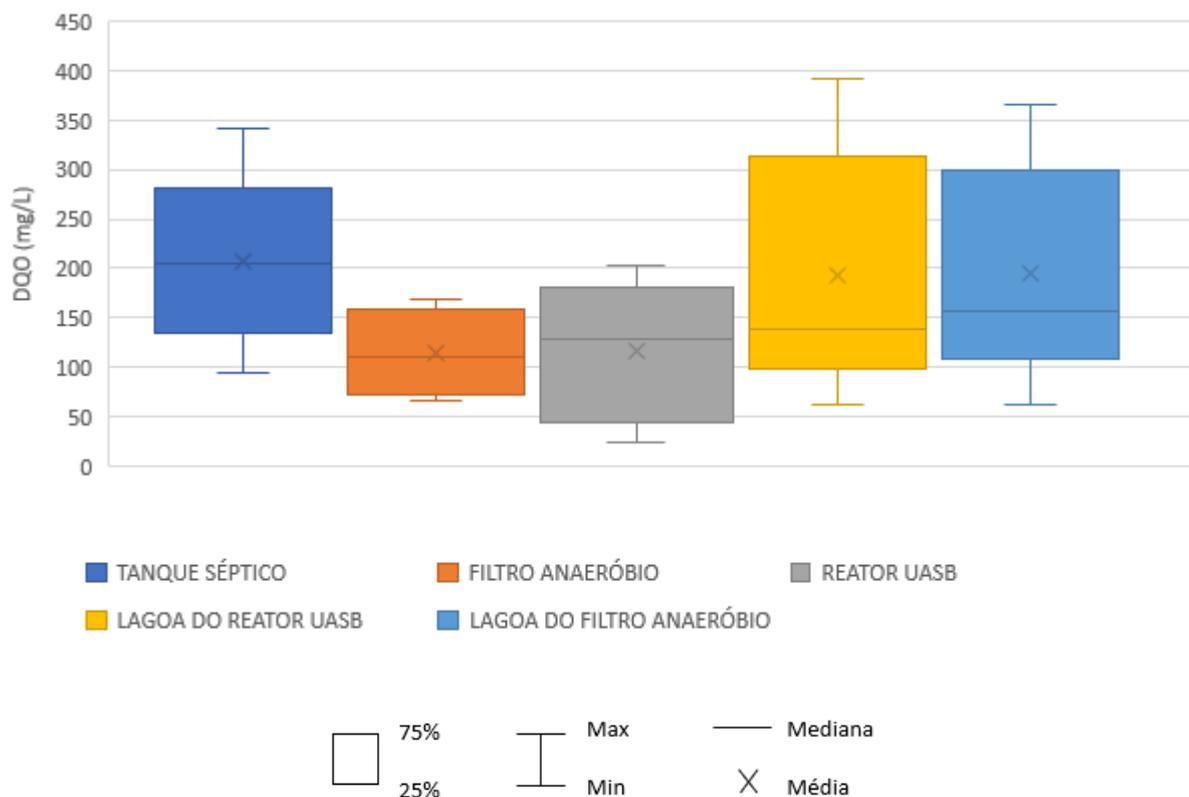
De acordo com Von Sperling (1986 apud CARVALHO JÚNIOR, 2018), o principal mecanismo de remoção de nitrogênio em lagoas de polimento é através da volatilização da amônia, que dar-se-á em altos valores de pH, em razão da grande quantidade de amônia livre – NH_3 . Quando os valores de pH se encontram próximos do neutro, a maior parte da amônia é NH_4^+ , dificultando assim a remoção. Por conseguinte, a remoção de nitrogênio amoniacal em lagoas de polimento não é maior que 50%.

As lagoas de polimento apresentaram uma média de remoção de nitrogênio amoniacal menor que 50%, atendendo dessa forma os padrões estabelecidos pela literatura.

4.1.4 Demanda Química de Oxigênio

Na Figura 6 são apresentados os dados referentes as concentrações de DQO no sistema de tratamento de efluentes.

Figura 6 - DQO nos sistemas de tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2019)

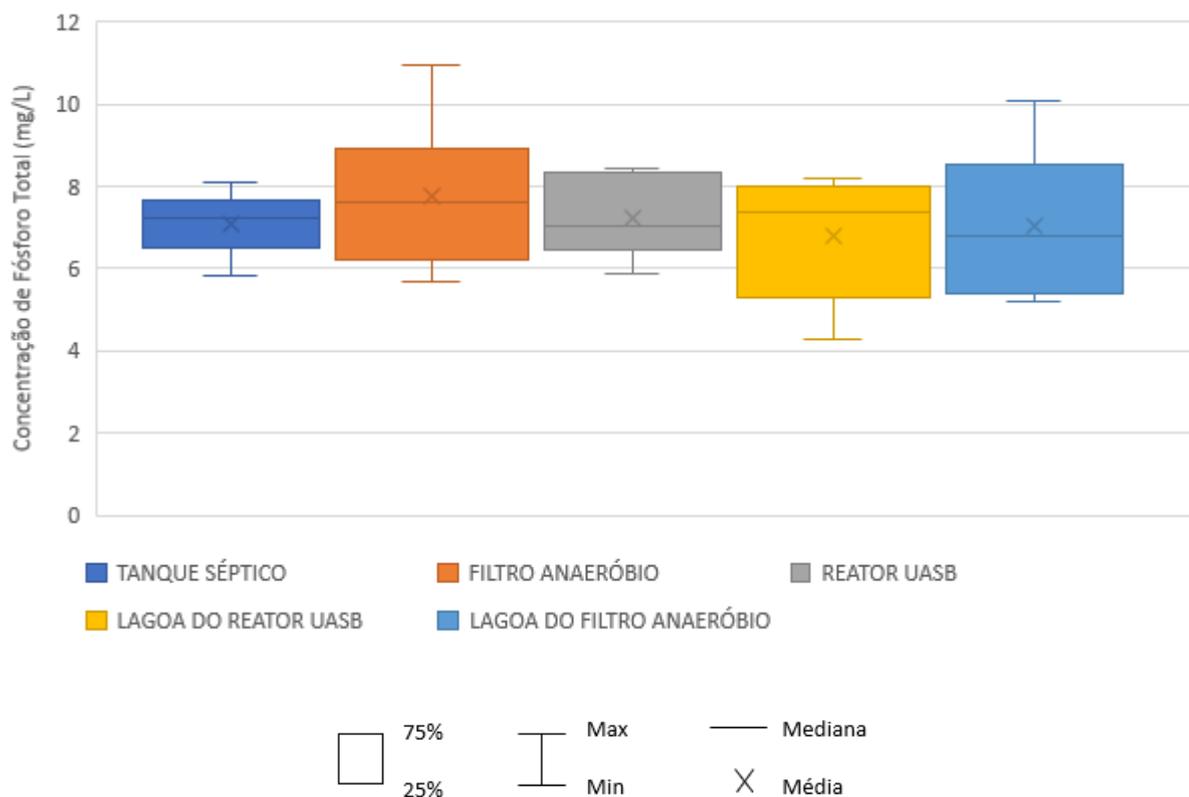
Os efluentes provenientes das unidades de tratamento anaeróbio apresentaram DQO relativamente mais baixas, indicando boa qualidade para fertirrigação, posto que a matéria orgânica estabilizada se torna propícia fonte de energia para os microrganismos, causando efeitos positivos sobre as propriedades físicas e químicas do solo, quando apresentada em forma de *húmus* (SOUSA et al., 2005 apud PRIMAVESI, 2002; BRADY,1989).

Nas lagoas de polimento, os efluentes apresentaram concentrações de DQO superiores aos valores dos efluentes das unidades de tratamento aeróbio, justificado pela elevada produção de algas.

4.1.5 Fósforo total

A Figura 7 apresenta os resultados das concentrações de fósforo total encontrados ao longo dos sistemas.

Figura 7 - Concentração de fósforo nos sistemas de tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2019).

Verifica-se que as altas concentrações de fósforo encontradas ao longo dos sistemas devem-se ao consumo de detergentes e outros produtos químicos de uso doméstico, utilizados

frequentemente para a higienização da sede do INSA, onde encontram-se localizados os sistemas de tratamento.

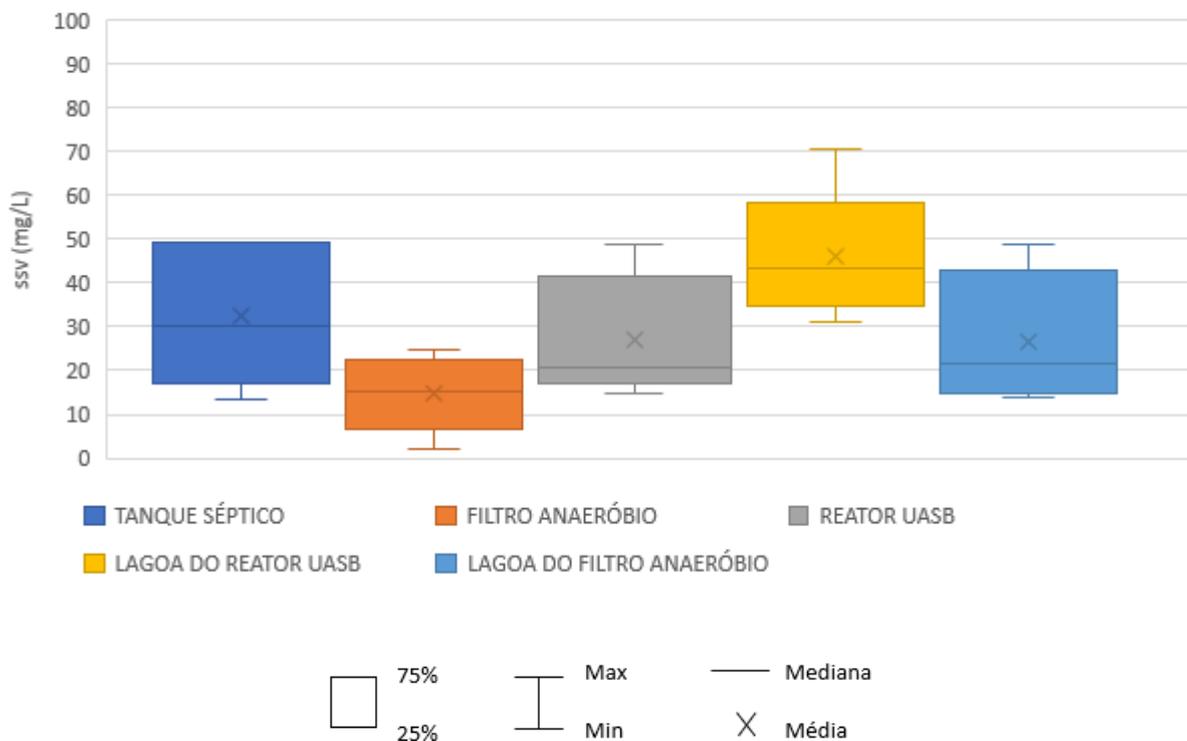
As concentrações de fósforo nas lagoas de polimento se mantêm consideráveis, o que favorece a técnica de fertirrigação com efluentes tratados, visto que o fósforo é um macronutriente fundamental para o desenvolvimento de plantas, responsável por transferir e armazenar energia para a planta.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011, não é estabelecida uma concentração mínima de fósforo total para reutilização de efluente tratado ou lançamento de efluente em corpos hídricos.

4.1.6 Sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais

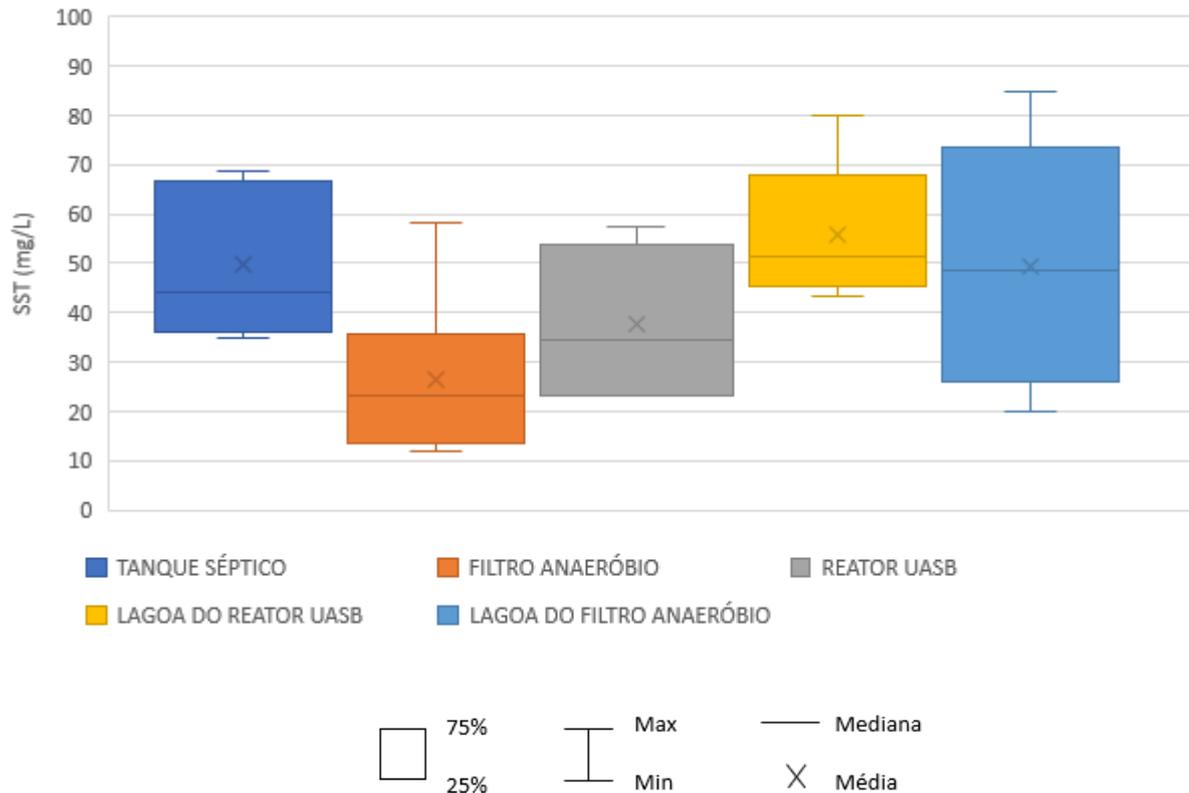
Nas Figuras 8 e 9 estão apresentados os resultados obtidos para sólidos suspensos voláteis e totais, respectivamente.

Figura 8 - Concentração de SSV nos sistemas de tratamento de esgotos



Fonte: Autor (2019).

Figura 9 - Concentração de SST nos sistemas de tratamentos de efluentes



Fonte: Autor (2019).

As concentrações médias de SSV e de SST no efluente do filtro anaeróbio foram de 26,43 mg/L e 14,57 mg/L, obtendo eficiência de remoção de 55% e 47%, respectivamente. Já para o reator UASB, houveram concentrações de SSV e SST de 37,57 mg/L e 27,08 mg/L, com eficiência de remoção de 25% e 17%, respectivamente.

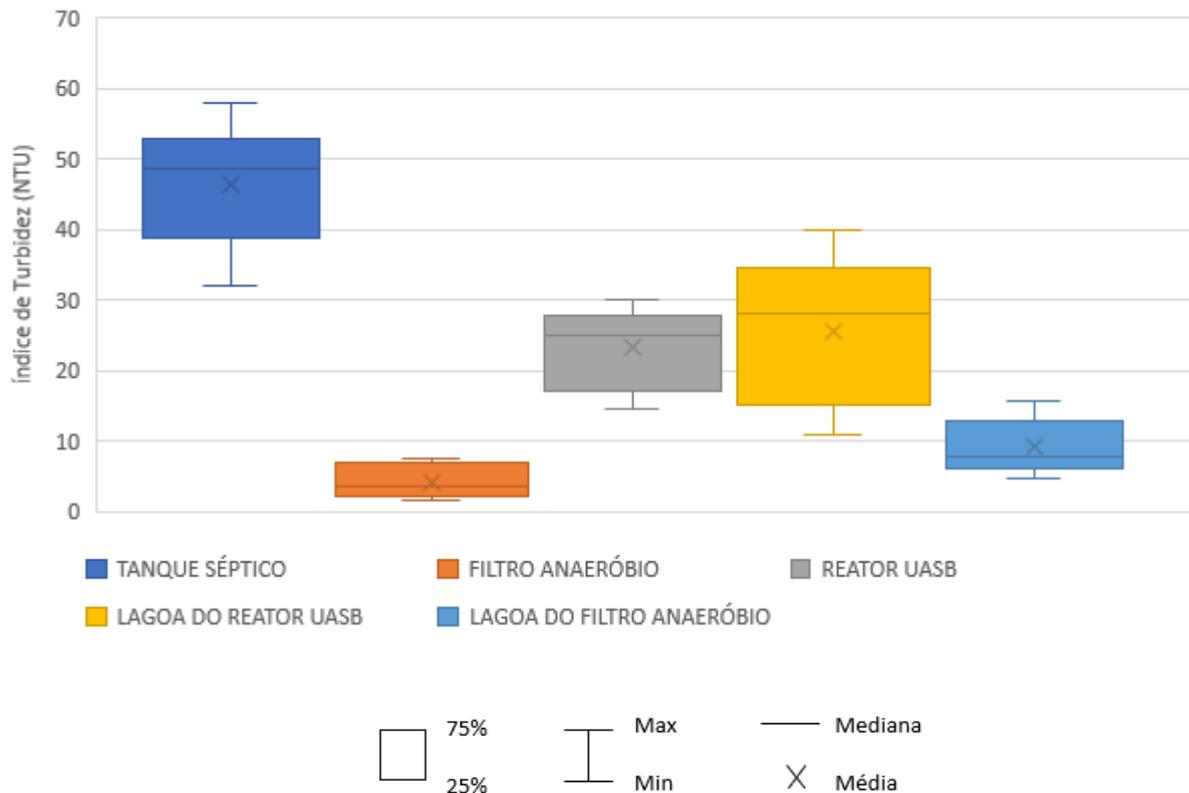
As concentrações de SSV e SST no efluente das lagoas do reator UASB foram de 55,58 mg/L e 45,86 mg/L, e de 26,50 mg/L e 49,48 mg/L para as lagoas do filtro anaeróbio, respectivamente. Levando em consideração que o ambiente das lagoas de polimento é favorável à proliferação de algas, é justificável o aumento da concentração de sólidos nas mesmas.

A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que os sólidos em suspensão totais devem alcançar eficiência mínima de remoção de 20%, além de ausência de materiais flutuantes.

4.1.7 Turbidez

Os índices de turbidez ao longo das unidades de tratamento dos sistemas estão apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Índices de turbidez nos sistemas de tratamento de efluentes.



Fonte: Autor (2019).

Os valores de turbidez encontrados na lagoa de polimento do reator filtro anaeróbio foram em média de 9,12 NTU, e de 25,46 NTU para a lagoa de polimento do Reator UASB. Nas unidades de tratamento anaeróbio, a eficiência alcançou uma média de 91% e 50% para o filtro anaeróbio e reator UASB, respectivamente.

O índice de turbidez no efluente dos reatores anaeróbios influencia diretamente na eficácia do polimento nas lagoas. Associado a isto, verificou-se que a baixa concentração de sólidos suspensos e DQO, encontrados no efluente das unidades anaeróbicas, contribuíram para que as lagoas apresentassem elevada atividade fotossintética, devido a proliferação de algas.

4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

4.2.1 *Escherichia coli* e ovos de helmintos

Não foi verificada a presença de ovos de helmintos no efluente final das lagoas de polimento. As mesmas unidades avaliadas apresentaram uma concentração média de *Escherichia coli* abaixo de 104 /100mL, sendo 5,98 /100mL e 1,09 /100mL para a lagoa de polimento de reator UASB e lagoa de polimento do filtro anaeróbio, respectivamente.

Dessa forma, avaliando o desempenho das lagoas de polimento na remoção de helmintos e *E.coli* e confrontando esses dados com os dados apresentados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), conclui-se que o efluente final produzido pelos sistemas estudados está de acordo com as recomendações da OMS para os padrões de irrigação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de efluentes de estações de tratamento de esgotos para o reúso agrícola é uma relevante estratégia de gestão, colaborando para o aumento da oferta de recursos hídricos; porém, há a necessidade iminente que Leis específicas sobre reúso sejam criadas no país, para combater o reúso incorreto ou fora dos padrões, de modo a assegurar o bem-estar das pessoas e promover a conservação do meio ambiente. Desta forma, a problemática dos esgotos pode transformar-se em um mecanismo de conservação ambiental e desenvolvimento econômico, assim como ocorre em vários países.

Os efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto operados vêm sendo monitorados, e seus resultados analíticos comprovam que os mesmos seguem os padrões previstos para reúso agrícola.

As concentrações de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) se mantiveram altas tanto no reator UASB, quanto no filtro anaeróbio, contudo ocorreu uma pequena redução das mesmas no efluente final das lagoas. Sendo assim, fica favorecida a fertirrigação com os efluentes tratados.

Com relação ao parâmetro de alcalinidade total, observou-se um aumento de sua concentração no filtro anaeróbio, enquanto que no reator UASB aconteceu uma diminuição, ambas as unidades operando com o mesmo afluente.

O filtro anaeróbio apresentou melhor eficiência de remoção de SSV, SST e de DQO comparado com o reator UASB, obtendo-se valores de 75%, 65% e 56% para o filtro anaeróbio e 53%, 51% e 44% para o reator UASB. O índice de turbidez mostrou-se proporcional a remoção desses parâmetros, sendo assim, quanto menor as concentrações de sólidos e DQO, menor o índice de turbidez na unidade.

Realizando um comparativo entre o sistema composto de filtro anaeróbio + lagoa de polimento e o sistema composto de reator UASB + lagoa de polimento, constatou-se que ambos possuem boa funcionalidade e correspondem as expectativas na obtenção de um bom efluente final para reúso agrícola restrito. Contudo, avaliando-se os aspectos construtivos, o reator UASB apresenta maior viabilidade, já que possui concepção mais econômica, é de simples construção, operação e manutenção, e não necessitam de grandes áreas de ocupação.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em: <https://www.ana.gov.br/>. Acesso em 12 de junho de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater Washington DC, 22TH ed. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: NBT, 1986.

AYRES, R. M., MARA, D.D. Analysis of Wastewater for Use in Agriculture. A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. World Health Organization, Finland, 1996.

BARBOSA, R.A.; SOUSA, J.T.; LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; CABRAL, L.L.B. Suphide removal in microaerated UASB reactors treating sanitary sewage. REVISTA DAE, 2019. V 216, p.5 a p.19 . <DOI: 10.4322/dae.2019.011> ISSN 0101-6040.

BASTOS, R. K. X.; Bevilacqua, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M.; Silva, C. V. Coliformes com Indicadores da Qualidade da água: Alcance e Limitações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, AIDIS. Américas y la Acción por el Medio Ambiente em el Milenio, 2000. p 1-11.

BASTOS, R. K. X.; RIOS, E. N.; RUAS, D. B.; OKANO, W. Y. Dinâmica da Qualidade da Água e da Comunidade Planctônica em Lagoas de Polimento. Revista AIDIS de Engenharia e Ciências Ambientais, Vol. 3, N.1, p. 97 – 107, 2010.

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; KIPERSTOK, Asher; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; *et al.* Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil: utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, São Paulo, Sabesp, v. 71, n. 177, 2008. DOI: 10.4322/dae.2014.016.

BERTONCINI, E.I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v. junho, p. 152-169, 2008.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3 ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

_____. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

_____. Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

_____. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

_____. Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.

_____. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357/2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Capítulo 2 – Conceito de reúso de água. In: REÚSO DE ÁGUA. Barueri, SP: Manole, 2003.

BUCHAUER, K. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment process. *Water SA*, v.24, n. 1, p. 49-56. 1998.

CARMO, F.R.; CAMPOS, C.M.M.; BOTELHO, C.G.; COSTA, C.C. Uso de lagoa aerada facultativa como polimento do reator anaeróbio de manta de lodo UASB no tratamento de dejetos de suínos em escala laboratorial. *Cienc. Agrot.*, v.28, p.600-607, 2004.

CALVACANTI, P. F. F. Aplicação de reatores UASB e lagoas de polimento no tratamento de esgotos domésticos. 1ª. ed. João Pessoa: Gráfica Santa Marta, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, R. P. Avaliação de eficiência do sistema de lagoas de alta taxa como pós-tratamento dos reatores UASB para garantia da quantidade do efluente final – ETE Paranoá/DF. Monografia do Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.68, 135-149, 2004.

CETESB. Reúso da água. São Paulo. SP. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: agosto de 2019.

CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. v. 5.

DEZOTTI, M. Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ, E-papers Serviços Editoriais Ltda., v.5, 2008.

DUARTE, Anamaria de Sousa. Reuso da água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.). 2007. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil
Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos v. 7, n.4 Out/Dez 2002, p. 75-95.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a
gestão de recursos hídricos. Estudos avançados v. 22, n. 63, São Paulo, 2008.

HESPANHOL, I. Reúso – A única solução para resolver simultaneamente os problemas de abastecimento de água e de saneamento. Disponível em: <<http://biton.uspnet.usp.br/cirra/wp-content/uploads/2013/08/Artigo-Re%C3%BAso.pdf>>. Acesso em: setembro de 2019.

HOYS, N.L.M. Análise comparativa do desempenho de reator anaeróbio híbrido e reator de manto de lodo de fluxo ascendente (UASB) aplicados ao tratamento de esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

METCALF e EDDY. Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse. 4ª ed. Nova Iorque: McGraw - Hill, International Editions, 2003.

MIGUEL, A.R; BEVILACQUA, N; GUERRA, P.A.D.V; BAPTISTELLI, S. C. Tratamento de águas residuárias domésticas. In: ROMÉRO, M.A.; PHILIPPI JR.; BRUNA, G.C. Panorama ambiental da metrópole de São Paulo. São Paulo: Signus, 2004.

MMA. Caderno setorial de recursos hídricos: Saneamento/Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: Recursos hídricos em regiões semiáridas. GHEYI, H.R.; PAZ, V.P.S. da; MEDEIROS, S.S.; GALVÃO, C. O. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 258p.

PINTO, A.C.A.; Rodrigues, L.S.; Oliveira, P.R.; Sperling, M.V.; Crisóstomo, C.M.; Silva, I.J. Eficiência de lagoas de polimento no pós-tratamento de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, vol.66, n.2, p.360-366, 2014.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, PA, Brasil. *Rev. Ambient. Água* vol. 12 n. 3 Taubaté – May / Jun. 2017.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.9, n.13, p. 295-301, 2005.

SAMUEL, P. R. S. Alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos sanitários urbanos, através de sistemas descentralizados, para municípios de pequeno porte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SANTOS, K. D.; HENRIQUE, I. N.; SOUSA, J. T. de; DUARTE, V. L. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.1, p.1-8, 2006.

SANTOS, M. M. C. dos. Reutilização de águas residuárias urbanas tratadas. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2008.

SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.

SCOTTA, J., Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da serra gaúcha. Monografia de conclusão de curso, UNIVATES, 2015.

SOUSA, M. U. Análise físico-química e microbiológica do esgoto de uma universidade pública com proposta de tratamento biológico para reúso na própria instituição. TCC (Graduação e Engenharia Sanitária e Ambiental), UEPB, Campina Grande, 2014.

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. *Eng. Sanit. Ambient.* 2005, vol.10, n.3, pp.260-265.

SOUSA, T. A. T. Pós-Tratamento de Efluente Anaeróbico em Lagoa de Polimento. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

SANT'ANNA JR., G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro. Interciência, 2010.

TSUTIYA, M.T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

VALLADARES NETO, JOSE; SANTOS, CB; DE TORRES, ÉRICA MIRANDA; ESTRELA, CARLOS. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. ROBRAC (ONLINE) (GOIÂNIA), v. 26, p. 1-6-6, 2017.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. edição. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.3. 2. edição. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. edição. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WHO. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.