



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

MARCEL CHACON DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DO REÚSO COM ESGOTO TRATADO
EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO DO RIO
GRANDE DO NORTE.**

**Natal
2018**

MARCEL CHACON DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DO REÚSO COM ESGOTO TRATADO
EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO DO RIO
GRANDE DO NORTE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo
Coorientadora: Prof.^a Dr. Juliana Delgado Tinoco

Natal/RN - 2018

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

Souza, Marcel Chacon de.

Avaliação da prática do reúso com esgoto tratado em lagoas de estabilização no semiárido do Rio Grande do Norte / Marcel Chacon de Souza. - Natal, 2018.

66 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo.

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Juliana Delgado Tinoco.

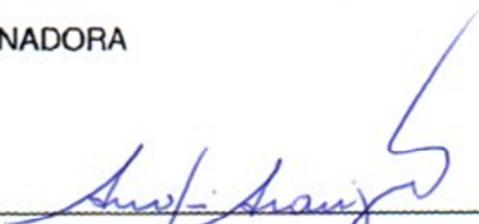
1. Esgotos - Tratamento - Dissertação. 2. Reúso agrícola - Dissertação. 3. Semiárido - Dissertação. 4. Lagoas de estabilização - Dissertação. I. Araújo, André Luis Calado. II. Tinoco, Juliana Delgado. III. Título.

Marcel Chacon de Souza

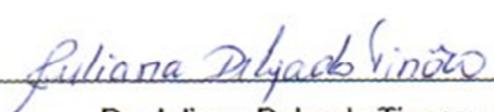
**AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DO REÚSO COM ESGOTO
TRATADO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO
SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE.**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação, em
Engenharia Sanitária, da Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, como
requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Sanitária.

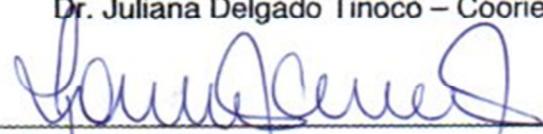
BANCA EXAMINADORA



Dr. André Luis Calado Araújo – Orientador



Dr. Juliana Delgado Tinoco – Coorientadora



Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha – Examinador UFRN



Dra. Dayana Melo Torres – Examinador Externo IFRN

Natal, 31 de agosto de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família, meus pais, Lionel Pessoa de Souza e Maria das Graças Chacon Sousa, à minha irmã, Marcele Chacon de Souza, aos meus sogros, Gerson Medeiros de Araújo e Maria José Dias de Araújo e a minha esposa e filha, Katayanna Medeiros de Araújo Souza e Mayana Araújo de Souza, por me fornecerem os elementos principais para a elaboração deste trabalho: amor, sábios conselhos, ensinamentos e por acreditarem em mim. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força, disposição e condições para cumprir mais esse passo em minha vida.

Agradeço a minha família por me apoiar e incentivar a seguir em frente, não somente a família de sangue, mas a minha nova família que foi consolidada durante esses anos de estudo e trabalho, principalmente a minha esposa que foi a que mais me incentivou a concluir esse mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de mestrado por 12 meses, ao IFRN (Instituto Federal do Rio Grande do Norte) por garantir as análises laboratoriais necessárias ao andamento da pesquisa.

Ao meu orientador Professor Dr. André Luis Calado Araújo, que me aceitou como seu orientando, mesmo após tamanha perca e com todas as adversidades encontradas, agradeço pelos aconselhamentos, correções, críticas e acima de tudo pelo seu tempo.

À minha Coorientadora, Professora Dra. Juliana Delgado Tinoco, que me acolheu na mudança de projeto, em meio à tamanha tribulação, pelos conselhos e observações durante esse trabalho.

À meu antigo orientador, Professor Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto (*in memoriam*), amigo que me recebeu de braços abertos na vida acadêmica.

A Professora Dra. Vanessa Becker, que se dedica tanto para o andamento promissor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN, que me incentivou a seguir em frente mesmo que sem perceber.

Aos doutores que compõem a banca examinadora, pelo tempo e contribuições.

Ao LARHISA (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) pelo espaço concedido para os estudos e elaboração desta pesquisa e a todos os colaboradores que fazem parte desse setor.

Ao amigo Pedro Celestino Dantas Junior, pela ajuda quando necessitei.

A todos os amigos novos e antigos que contribuíram para a conclusão desse trabalho, mesmo que de forma indireta.

RESUMO

O semiárido brasileiro é uma região que abrange 88% dos municípios do estado do Rio Grande do Norte, essa região é marcada por longos períodos de estiagem e chuvas irregulares, convivendo constantemente com o stress hídrico. Uma das alternativas para minimizar os efeitos da falta de chuvas é a utilização do esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola, produzindo alimento para os animais e para a população em geral. Mas para isso é importante conhecer as características do esgoto bruto (afluente) e do esgoto tratado (efluente). Com base nessa necessidade foi formulado um plano de monitoramento de quatro estações de tratamento de esgoto (ETE) no estado do Rio Grande do Norte, sendo três delas localizadas em cidades instaladas na região semiárida (Caiçara do Rio do Vento, Parelhas e Santana do Seridó) e uma instalada em uma região de transição entre o a região tropical e semiárida (Pedro Velho), todas com o reator principal sendo uma lagoa facultativa. O plano de monitoramento ocorreu ao longo com 12 meses, analisando-se afluente e efluente. Foram realizadas análises laboratoriais para quantificar a demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, sólidos suspensos, condutividade elétrica, pH, nitrogênio amoniacal total, fósforo total, sódio, cálcio, magnésio e coliformes termotolerantes. As visitas em campo subsidiaram além das coletas das amostras dados operacionais do reúso do esgoto tratado, momento em que se buscava entender a forma de utilização desse efluente. Durante as campanhas também foram coletadas imagens aéreas de alta definição dos sistemas com um drone possibilitando entender a área de reúso como um todo. A partir desses dados criou-se um perfil para cada município, o que possibilitou entender a prática do reúso. Buscou-se na literatura e em leis nacionais e internacionais, parâmetros que subsidiassem o reúso do efluente com segurança ambiental e sanitária. Foi concluído que os sistemas estudados mesmo promovendo boa eficiência na remoção de DBO e DQO, na ordem de 81% e 69% respectivamente, condizente com as configurações das ETE, não apresentam efluentes adequados ao reúso agrícola.

Palavras-chave: Reúso agrícola, Esgoto tratado, Semiárido, Lagoas de estabilização.

ABSTRAC

The Brazilian semi-arid region covers 88% of the counties of the state of Rio Grande do Norte, marked by long periods of drought and irregular rains, constantly living with water stress. One of the alternatives to minimize the effects of lack of rains is the use of domestic treated sewage in agricultural irrigation, producing food for animals and population in general. About this, it is important to know the characteristics of the raw sewage (influent) and treated sewage (effluent). Based on this need, a monitoring plan was formulated for four sewage treatment plants (STP) in Rio Grande do Norte's state, three of them located in cities of the semi-arid region (Caiçara do Rio do Vento, Parelhas e Santana do Seridó) and one installed in a region between tropical and semi-arid (Pedro Velho), all with the main reactor being a facultative lagoon. The monitoring plan was carried out over twelve months, analyzing influent and effluent. Laboratory analyzes were performed to quantify the Biochemical Oxygen Demand – BOD, Chemical Oxygen Demand – COD, suspended solids, electrical conductivity, pH, ammoniacal nitrogen, total phosphorous, sodium, calcium, magnesium and thermotolerant coliforms. The field visits subsidized, besides samples of collections, operational data on the reuse of the treated sewage, aiming to understand the use of this effluent. During the campaigns were also collected high-definition aerial images of the systems with a drone, allowing to understand the area of reuse as a whole. From these data, a profile was created for each county, which made it possible to understand the practice of reuse. It was sought in literature and in National and International laws parameters that would support the reuse of the effluent with environmental and sanitary safety. It was concluded that the systems studied, although promoting good efficiency in the removal of BOD and COD, in the order of 81% and 69%, respectively, according to the STP, do not present adequate effluents to the agricultural reuse.

Key words: *Agricultural reuse, Treated Sewage, Semi-arid, Stabilization ponds.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa do estado do RN, com delimitação da região semiárida e dos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas, Pedro Velho e Santana do Seridó. | 20 |
| Figura 2 – Vista aérea da zona urbana do município de Caiçara do Rio do Vento, com destaque para o sistema de lagoas de estabilização. | 21 |
| Figura 3 – Culturas irrigadas com água de reúso em Caiçara do Rio do Vento/RN, A) Capim elefante em 01/04/2018 e B) Capim elefante em 20/05/2018. | 22 |
| Figura 4 – Vista aérea da zona urbana do município de Parelhas, com vista das três ETE do município, com destaque para a ETE em estudo. | 23 |
| Figura 5 – Vista aérea da zona urbana do município de Santana do Seridó, nas proximidades da Estação do Cemitério. | 25 |
| Figura 6 – Vista aérea do ponto de lançamento dos esgotos tratados no Rio Curimataú, nas proximidades da Estação de Tratamento. | 26 |
| Figura 7 – Culturas irrigadas com água de reúso em Caiçara do Rio do Vento/RN, A) Capim elefante e B) Palma. | 30 |
| Figura 8 – Área de irrigação com esgoto tratado no município de Caiçara do Rio do Vento. | 31 |
| Figura 9 – Área de irrigação com água de reúso em Parelhas/RN, imagem do dia 09/04/2018, após forte chuva. | 33 |
| Figura 10 – Área de irrigação com água de reúso e localização do sistema de tratamento do município de Parelhas/RN. | 33 |
| Figura 11 – Esquema do pós-tratamento utilizado no sistema de Santana do Seridó/RN. | 35 |
| Figura 12 – Área de irrigação com água de reúso e localização do sistema de tratamento do município de Santana do Seridó/RN. | 36 |
| Figura 13 – Área de irrigação com água de reúso no município de Santana do Seridó/RN. | 36 |
| Figura 14 – Imagem de satélite georreferenciada, com delimitação da área urbana, sistema de tratamento de esgoto e área de irrigação com água de reúso, Pedro Velho/RN. | 39 |
| Figura 15 – Imagem aérea da estação de tratamento e área com irrigação com água reúso no município de Pedro Velho/RN. | 39 |
| Figura 16 – Área com plantio associado de feijão, milho e jerimum utilizando água de reúso de forma indireta ou direta no município de Pedro Velho/RN. | 40 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de DBO dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas. | 43 |
| Gráfico 2 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de DQO dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas. | 46 |
| Gráfico 3 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de sólidos suspensos totais dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas. | 48 |
| Gráfico 4 – Gráfico comparativo das concentrações de nitrogênio amoniacal total nos afluentes e efluentes dos sistemas estudados. | 50 |
| Gráfico 5 – Gráfico comparativo das concentrações de fósforo nos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados. | 52 |
| Gráfico 6 – Gráfico comparativo das concentrações de coliformes termotolerantes nos afluentes e efluentes dos sistemas estudados, com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas. | 54 |
| Gráfico 7 – Diagrama de classificação quanto à salinidade e sodicidade dos efluentes para irrigação. | 56 |
| Gráfico 8 – Gráfico tipo “boxplot” da condutividade Elétrica nos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados. | 59 |
| Gráfico 9 – Gráfico tipo “boxplot” do pH do afluente e efluente dos sistemas estudados. | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Características físicas da ETE de Caiçara do Rio do Vento/RN | 22 |
| Tabela 2 – Características físicas da estação de Parelhas/RN | 24 |
| Tabela 3 – Características físicas da ETE de Santana do Seridó/RN | 25 |
| Tabela 4 – Características físicas da ETE de Pedro Velho/RN | 27 |
| Tabela 5 – Parâmetros de análise efluente | 28 |
| Tabela 6 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluentes e efluentes da ETE de Caiçara do Rio do Vento/RN | 31 |
| Tabela 7 – Resumo estatístico das análises de metais realizadas no efluente da estação de Caiçara do Rio do Vento/RN, com a respectiva relação de adsorção de sódio (RAS). | 32 |
| Tabela 8 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluentes e efluentes da ETE de Parelhas/RN..... | 34 |
| Tabela 9 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Parelhas/RN, com as respectivas relações de adsorção de sódio (RAS)..... | 34 |
| Tabela 10 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluentes e efluentes da ETE de Santana do Seridó/RN | 37 |
| Tabela 11 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Santana do Seridó/RN, com a respectiva relação de adsorção de sódio (RAS)..... | 37 |
| Tabela 12 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluentes e efluentes da ETE de Pedro Velho/RN | 41 |
| Tabela 13 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Pedro Velho/RN, com as respectivas relações de adsorção de sódio (RAS). | 41 |
| Tabela 14 – Relação DBO/DQO no afluente e efluente. | 46 |
| Tabela 15 – Resumo das legislações internacionais referente a coliformes termotolerantes..... | 53 |
| Tabela 16 – Condutividade Elétrica média do esgoto tratado de cada ETE, seguida das respectivas classificações de risco para a salinização. | 56 |
| Tabela 17 – RAS do esgoto tratado de cada ETE e respectivas classificações e risco de sodificação do solo. | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 2.1. Área de Estudo..... | 20 |
| a) Caiçara do Rio do Vento | 21 |
| b) Parelhas..... | 22 |
| c) Santana do Seridó | 24 |
| d) Pedro Velho | 26 |
| 2.2. Caracterização do esgoto bruto e tratado | 27 |
| 2.3. Elaboração de imagens | 28 |
| 2.4. Caracterização dos sistemas..... | 29 |
| 3. RESULTADOS | 30 |
| 3.1. Caiçara do Rio do Vento..... | 30 |
| 3.2. Parelhas | 32 |
| 3.3. Santana do Seridó..... | 34 |
| 3.4. Pedro Velho..... | 38 |
| 4. DISCUSSÃO | 41 |
| 4.1. Remoção de Matéria Orgânica | 41 |
| 4.2. Remoção de Nutrientes | 49 |
| 4.3. Remoção de Microrganismos | 53 |
| 4.3. Riscos de Salinização e Sodificação | 55 |
| 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES..... | 62 |
| 6. REFERÊNCIAS | 63 |

1. INTRODUÇÃO

Por ser um país continental, o Brasil tem diversas regiões que enfrentam dificuldades de suprir as necessidades de água, até mesmo para abastecimento público, tornando-se um fator limitante ao seu desenvolvimento econômico. Além disso, a pouca atenção dada ao tratamento de águas residuárias tem resultado no lançamento de águas servidas não tratadas em corpos receptores, levando ao comprometimento da qualidade dos mananciais e tornado inviável o aproveitamento desses cursos d'água para o abastecimento público e mesmo para usos menos nobres. Esse panorama é mais visível nas proximidades dos grandes e médios centros urbanos, que gradativamente vêm substituindo suas fontes de águas mais próximas por mananciais mais distantes, a custos de tratamento e adução cada vez maiores ou mesmo por mananciais subterrâneos que, embora com melhor qualidade de água, nem sempre conseguem suprir as demandas (PINTO, FORESTI & MARQUES JÚNIOR, 2006). Uma das regiões brasileiras que mais sofre com a escassez hídrica é o semiárido.

O semiárido brasileiro é uma região que ocupa 11,5% do território brasileiro, abrange um total de 1.262 municípios e abriga 11,8% da população do país. Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, mais de 23,8 milhões de pessoas vivem nesta Região (IBGE, 2014).

A precipitação média da região semiárida brasileira está limitada pela isoietia 800 mm, sendo concentrada em poucos meses do ano e distribuída de forma irregular em toda sua extensão. Como é natural das regiões semiáridas, esse volume de chuva é menor do que o índice de evaporação que, no semiárido brasileiro, conforme a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, pode chegar até 3.000mm por ano (SUDENE, 2017). Isso provoca um déficit hídrico desafiador para quem vive da agricultura e da criação de animais na região.

Tanto a ausência e/ou escassez das chuvas, quanto a sua alta variabilidade espacial e temporal são responsáveis pela ocorrência das secas, um fenômeno natural e cíclico nas regiões semiáridas.

Contudo, não somente as condições climáticas explicam o déficit hídrico do semiárido, outros aspectos naturais tais como geológicos, geomorfológicos

e hidrológicos também contribuem para a escassez de água nessa região, associados ainda a fatores políticos e sociais que não contribuem para a preservação da qualidade da pouca água disponível (BARROSO; WOLFF, 2011). As perdas na distribuição nos sistemas de abastecimento contribuem para o déficit de abastecimento das cidades e comunidades rurais instaladas nessa região de clima tão severo.

A pequena profundidade do solo ganha destaque neste contexto. A presença de solos rasos na maior parte da região limita a formação de aquíferos subterrâneos com águas de qualidade para o consumo humano.

Os rios presentes na região semiárida brasileira são em sua maioria efêmeros ou intermitentes e na grande maioria das vezes represados, dando origem aos grandes reservatórios ou pequenos barreiros.

Em virtude destas características ambientais e climáticas, que proporcionam escassez hídrica na região semiárida do Brasil, o reúso de esgoto tratado na agricultura se apresenta como uma alternativa interessante, pois diminui o consumo de água potável pela irrigação e também de nutrientes e minerais, contribuindo para a sustentabilidade agrícola.

Souza *et al.* (2016) afirmam que reutilização de águas residuárias é uma alternativa diante dos impactos sobre a produção agrícola e distribuição de alimentos nas regiões semiáridas.

Muitas vezes, é necessário escolher a destinação final do esgoto tratado direcionando o efluente final para um corpo receptor ou para algum tipo de reúso. Para definir a melhor solução é necessário atentar para as exigências da legislação atual, as características do sistema de tratamento de esgoto adotado, os parâmetros que possam restringir o tipo de reúso pretendido, os requisitos ambientais e de saúde pública, aspectos sociais da população e as normas institucionais vigentes.

A escolha do sistema a ser utilizado, não se deve prezar apenas pelo fator econômico, mas também pela qualidade do efluente e no que é disposto nas normas que estabelecem critérios de lançamento de efluente, como, por exemplo, a resolução nº430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

É importante enfatizar que, segundo a Lei Federal nº 11.445/2007, deve ser estimulado o uso de tecnologias modernas e eficientes, compatíveis com os níveis exigidos de qualidade, continuidade e segurança na prestação dos serviços, melhoria na qualidade de vida e das condições ambientais e de saúde pública e minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços de saneamento básico, e assegurar que sejam executadas de acordo com as normas relativas à proteção do meio ambiente, ao uso e ocupação do solo e à saúde.

Foram encontrados os seguintes tipos de padrão ou diretriz de interesse direto no que tange à qualidade da água em corpos hídricos e ao reúso de efluentes tratados: padrões de lançamento no corpo receptor, padrões de qualidade do corpo receptor e padrões de qualidade para determinado uso do esgoto tratado (VON SPERLING, 2017).

Os padrões de lançamento de efluentes são estabelecidos na Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

A Lei Federal nº 11.445/2007 estabelece que os municípios sejam responsáveis pelo planejamento do sistema de esgotamento sanitário de forma a atender aos requisitos estabelecidos para lançamento dos efluentes, bem como atender as normas vigentes de disposição final dos efluentes tratados e do lodo gerado no processo de tratamento dos esgotos. Para que esse planejamento seja eficiente é primordial o monitoramento do sistema de tratamento assim como a análise contínua da disposição final do efluente.

Neste sentido, Von Sperling (2014) ressalta que as características técnicas mínimas necessárias para o dimensionamento de qualquer sistema de tratamento de esgoto, com vistas à utilização de água de reúso, são:

- Caracterização quantitativa dos esgotos afluentes à estação de tratamento de esgoto (ETE);
- Caracterização qualitativa dos esgotos afluentes à ETE;
- Requisitos de qualidade do efluente e nível de tratamento desejado.

Após o levantamento das características técnicas mínimas devem ser analisadas as diversas alternativas de tratamento passíveis de aplicação na situação em análise.

Para a utilização de efluentes domésticos tratados na irrigação, deve-se primeiro avaliar suas características microbianas e bioquímicas segundo as normas de saúde pública.

É importante levar em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto.

A Organização Mundial da Saúde – OMS, concluiu que o tratamento primário das águas que recebem esgotos sanitários é suficiente para sua utilização na irrigação de culturas que não sejam de consumo direto. Já o tratamento secundário e, provavelmente, a filtração e desinfecção, são considerados necessários quando estas águas forem utilizadas na irrigação das culturas para consumo direto (NUVOLARI, 2003).

Estudos em diversos países mostraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos, desde que sejam adequadamente administrados. Entretanto, este não é o único benefício, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, podem-se efetuar colheitas múltiplas praticamente o ano todo (BRAGA, 2005). É importante ressaltar a necessidade do acompanhamento de um especialista na utilização desse esgoto tratado como meio de irrigação, já que a cultura a ser irrigada deve ser cuidadosamente estudada.

Andrade Neto (2011) mostra que o reúso controlado de água reduz a necessidade de retirada das águas de mananciais, promovendo o uso dessas águas para usos mais restritivos. Uma quantidade menor de efluente final minimiza a poluição ambiental, que é uma das grandes responsáveis pela escassez de água, pela degradação da qualidade. O reúso da água apresenta justificativas econômicas e sociais, pois os custos ligados ao manejo dos efluentes são geralmente elevados.

No Brasil pode-se citar o exemplo de São Paulo, onde a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP investe em tratamento de esgoto para irrigar canteiros e limpeza urbana e ainda proporciona o abastecimento de industriais com água de reúso. A água de reúso é vendida para limpeza pública a um preço menor que a do sistema de abastecimento público, já que não necessita de um tratamento menos oneroso. O mais

importante é que esse reúso evita a poluição de grandes quantidades de água dos mananciais, favorecendo assim o meio ambiente e a sociedade (SABESP, 2018).

Aplicação da água de reúso é um fato recorrente em todo o mundo, nos Estados Unidos no estado da Califórnia, em 1918, foi emitida a primeira regulação oficial sobre a utilização agrícola de esgoto sanitário que se tem conhecimento, após isso essas técnicas só vêm se aprimorando e conquistando cada vez mais espaço no planejamento urbano. Países como Israel, Japão, Estados Unidos, México, África do Sul e China vem adotando técnicas de reúso adaptadas as suas realidades (SANTOS, 2006).

Kumar, Hiremath e Asolekar (2014) mostram em seu estudo de caso, realizado na cidade de Karnal, Índia, a utilização de efluentes tratados por serie de lagoas, para a irrigação de culturas acículas com: arroz, trigo, milho, cevada algodão, cana-de-açúcar e sementes oleaginosas. Nesse sistema ainda é associada à criação de peixes nas lagoas de maturação, melhorando a eficiência do sistema de tratamento, além disso, a utilização desse efluente na irrigação reduziu a aplicação de ureia e fosfato em até 50 kg.ha/ano.

Na Espanha, mas especificamente na bacia hídrica de Segura, existe um grande déficit hídrico e por isso a reúso de águas na agricultura tem grande importância, já que garante uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos. Na Espanha no ano de 2010 já eram utilizados 346 hm³/ano de água de reúso, sendo concentradas principalmente na costa do Mediterrâneo. As ilhas Valência, Múrcia, Canárias e Baleares chegaram a concentrar 80% do reúso de esgoto tratado de toda a Espanha (PEDRERO, 2010).

Em muitos países da região do Mediterrâneo, caracterizados por frequentes períodos de seca, a produção agrícola ocorre com déficit de água ou em condições que causam o esgotamento dos recursos hídricos existentes. Nestas áreas, a reutilização de águas residuárias recuperadas para irrigação de culturas é uma alternativa que contribui para mitigar ou diminuir a escassez hídrica, apoiar o setor agrícola e proteger as águas subterrâneas (LIBUTTI, 2018).

Na região norte da Grécia tem-se a utilização de águas residuárias tratadas no cultivo do algodão, mas não de forma rotineira, buscando mitigar os

impactos da seca que aparecem na região a cada cinco ou sete anos. Ainda na Grécia Ocidental ocorreu a implantação do manejo planejado dos esgotos tratados em áreas agrícolas, mas ainda é necessário estabelecer critérios para a reutilização de águas residuárias em toda a Grécia (PEDRERO, 2010).

Em Israel o reúso já é uma realidade desde o século passado. No ano de 2015, algo em torno de 87% dos esgotos tratados era reutilizado para a agricultura, representado quase a metade da água consumida pelo setor. Uma grande proporção de águas residuárias recebe tratamento terciário e pode ser usada para qualquer cultura sem restrições. A reutilização das águas servidas é benéfica em um quadro de escassez hídrica, mas pode apresentar custos elevados. Atualmente em Israel o governo subsidia o tratamento do efluente e o armazenamento da água de reúso enquanto os agricultores pagam o transporte para a irrigação (MARIN, *et al.*, 2017).

Os nutrientes presentes nos esgotos domésticos, principalmente nitrogênio e fósforo, devem ser considerados na destinação final dos efluentes tratados, já que as concentrações desses nutrientes em corpos hídricos podem promover o crescimento da biomassa e posteriores problemas ambientais e queda da qualidade das águas. Sendo o reúso na irrigação uma forma de utilização dos nutrientes, minimizando os efeitos da eutrofização.

A eutrofização dos corpos hídricos pode trazer como consequências problemas estéticos, queda da qualidade da água, elevação do custo do tratamento da água, frequentes florações das algas, crescimento excessivo da vegetação, distúrbio com mosquitos e insetos, eventuais maus odores, mortandades de peixes e conseqüentemente prejuízos ambientais.

São medidas de controle da eutrofização: o lançamento dos esgotos tratados após um barramento, construção de estações de tratamento de esgoto que retirem nutrientes, exportar o esgoto tratado para outra bacia ou o reúso dos esgotos tratados.

Inúmeras são as vantagens do reúso na agricultura. Bastos *et al.* (2003), apresenta várias, são elas:

- redução da demanda e conseqüentemente a preservação da oferta de água para outros usos;

- é uma prática de ciclagem dos nutrientes, proporcionando uma redução significativa de insumos, como fertilizantes e ração animal;
- contribui para o aumento da produção agrícola;
- recuperação de áreas improdutivas e ampliação de áreas irrigadas;
- contribui para a preservação do meio ambiente, minimizando o lançamento de esgoto em corpos hídricos, prevenindo a contaminação e a eutrofização;
- contribui para a conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas;
- contribui para a amenização do clima, melhoria das condições estéticas e ampliação de áreas de lazer em zonas urbanas (irrigação e fertilização de áreas verdes como parques públicos, campos de prática esportiva, jardins e arborização urbana).

Uma grande parcela da população ainda não tem o conhecimento da aplicabilidade dos efluentes tratados como água de reúso, o que impacta em resistência na utilização desse recurso tão importante para a região semiárida.

A conscientização é a melhor alternativa para promover o crescimento e a sustentabilidade das populações que vivem a realidade da seca. Existem exemplos de aplicabilidade com segurança sanitária o que garante ainda mais a ideia da viabilidade econômica e social das técnicas de reúso. Nos estados unidos desde 1938, uma fazenda em Lubbock, Estado do Texas, utiliza efluentes secundário para irrigação e em Monterey County, Estado da Califórnia, água que passa por filtração e desinfecção em uma ETE com capacidade de 110 mil m³/dia é usada para irrigar culturas que são comidas cruas (alface, brócolis, morangos), depois que sua segurança foi comprovada por estudos (KUBLER, FORTIN e MOLLETA, 2015). A aplicabilidade das técnicas de reúso deve ser adaptada à realidade de cada localidade.

Já é conhecido que a implantação de barreiras sanitárias aplicadas ao reúso agrícola pode garantir as condições de saúde necessárias para o consumo de alimentos irrigados com água de reúso. Bastos *et al.* (2003) mostram que uma série de medidas implantadas no percurso do agente etiológico garante proteção contra as doenças de veiculação hídrica e que essa

sequencia de cuidados deve ser observada desde a estação e operação do sistema de esgotamento sanitário, passando pela restrição de culturas a ser irrigadas e o tipo de irrigação adotado até o controle da exposição humana.

Bastos e Bevilacqua (2006) sugerem que o reúso controlado garante a segurança sanitária, a sustentabilidade ambiental e a produção agrícola. Durante a discussão dos critérios de qualidade da água para reúso, devem ser considerados os diversos parâmetros físicos, químicos, e biológicos de interesse para as distintas modalidades de reúso urbano, industrial, agrícola e para produção animal.

Como consequências da falta de planejamento e projetos para o tratamento e a destinação final dos esgotos, uma série de possíveis soluções mais adequadas não é avaliada e propicia a destinação final para rios, promovendo a diluição desse efluente ou o acúmulo de nutrientes no solo, o que pode acarretar problemas para as regiões semiáridas, já que nessa região a predominância é de rios intermitentes ou de corpos hídricos lânticos e isso pode promover a concentração de nutrientes nessas áreas e posteriores problemas ambientais.

O planejamento do manejo das águas residuárias nas esferas municipais, regionais e nacionais, para a reutilização do esgoto tratado em áreas agrícolas, deve ser realizado de acordo com princípios científicos sólidos e com base nas boas práticas agrícolas, com o consentimento dos agricultores, organizações e setores sociais envolvidos. Naturalmente, esse esforço precisaria de sensibilização dos agricultores e da sociedade em geral. Em última análise, a reutilização deve ser vista como uma metodologia científica, e só como tal poderia ser explorada com benefícios observáveis para a agricultura, a qualidade ambiental e para a sociedade.

Os riscos envolvidos na prática do reúso estão ligados primeiramente ao risco sanitário associado ao manuseio do efluente, durante o tratamento, bem como durante as colheitas das áreas irrigadas. Um segundo tipo de risco está ligado a saúde, já que os bens produzidos com o esgoto tratado podem ser contaminados com bactérias patogênicas, vírus e metais tóxicos. Contudo essa prática deve ser incentivada já que a disponibilidade hídrica é fator de crescimento econômico e social. Entretanto Kumar, Hiremath e Asolekar (2014)

ressaltam a necessidade de adoção de precauções para minimizar os riscos a saúde da população, considerando o sistema produtivo envolvido.

A sensibilização e a conscientização da população, bem como adoção de planejamento estratégico para o saneamento é a melhor forma de minimizar os problemas de uma região com tantos problemas históricos. O saneamento traz à saúde e a qualidade de vida a população, tornando as cidades mais atrativas para os investidores e para um futuro propiciando o crescimento econômico e social. Para que isso ocorra é necessário entender a realidade dos municípios e buscar o melhor planejamento possível.

Neste sentido o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de quatro ETE no Rio grande do Norte e as práticas de reúso de seus efluentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Como áreas de estudo foram selecionadas quatro ETE no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, localizadas nos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas, Pedro Velho e Santana do Seridó. As localidades estudadas estão inseridas na região semiárida e ressalta-se que o município de Pedro Velho está situado em uma área de transição entre a região tropical e a região semiárida (Figura 1).

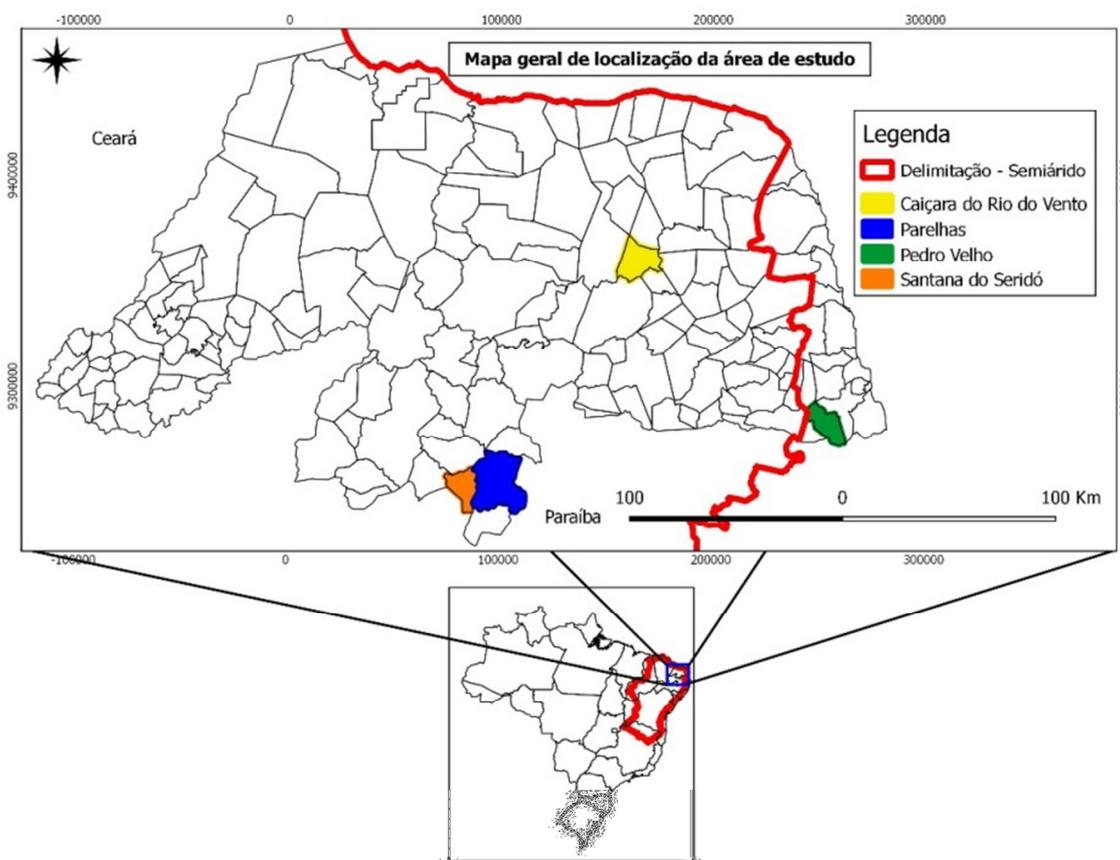


Figura 1 – Mapa do estado do RN, com delimitação da região semiárida e dos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas, Pedro Velho e Santana do Seridó.

Fonte: Autor (2018)

Os sistemas de tratamento foram escolhidos por suas semelhanças na utilização da lagoa facultativa como reator principal do sistema de tratamento e pelo histórico de reúso não controlado dos efluentes dessas ETE.

a) Caiçara do Rio do Vento

O município de Caiçara do Rio do Vento pertence à microrregião de Angicos, com vegetação predominante pertencente ao bioma caatinga e está sobre a formação cristalina. A população estimada de 3.680 pessoas, segundo projeção populacional do IBGE para o ano de 2017 (IBGE, 2018). A EMPARN (2018) apresenta para o município uma precipitação anual média de 487,6 mm, se enquadrando no clima semiárido brasileiro. A parte urbana do município é cortada pelo Rio do Vento, que na maior parte do tempo se encontra seco, podendo ser enquadrado como intermitente.

Os esgotos sanitários do município são encaminhados por meio de uma estação elevatória até a estação de tratamento de esgoto localizada próxima ao Rio do Vento e ao lado da BR-304 (Figura 2). A estação elevatória ainda conta com gradeamento e medidor de vazão. O ponto de lançamento do esgoto tratado é o leito Rio do Vento, enquadrando-se como corpo receptor do efluente.

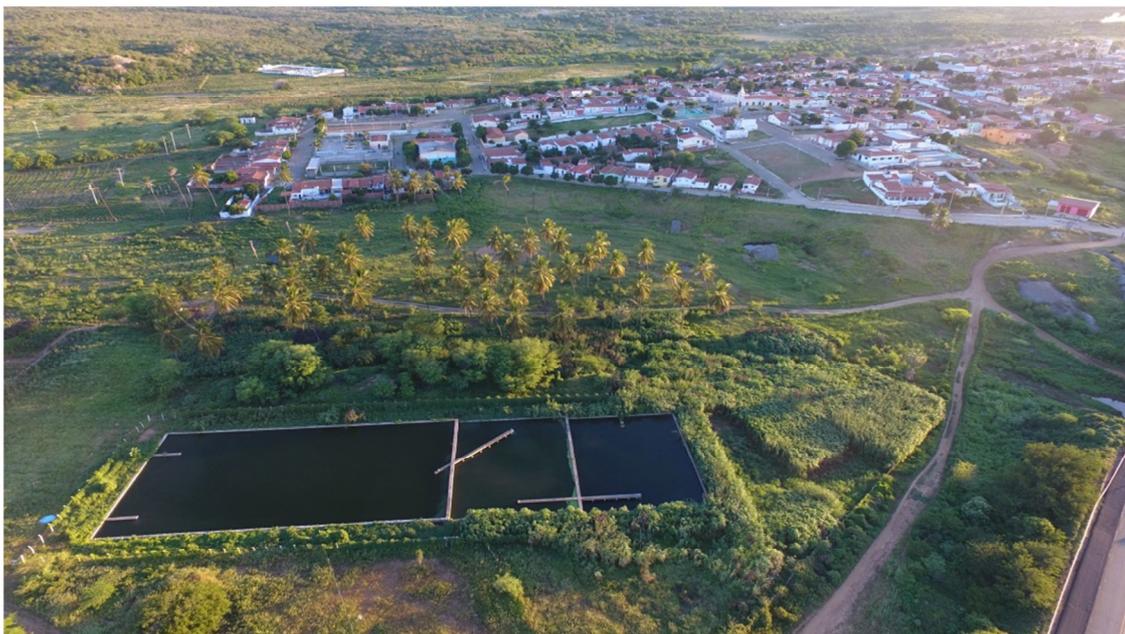


Figura 2 – Vista aérea da zona urbana do município de Caiçara do Rio do Vento, com destaque para o sistema de lagoas de estabilização.

Fonte: Autor (2018)

Após a estação elevatória o afluente é direcionado para uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação em serie. Na Figura 3 pode-se visualizar as lagoas de tratamento e a área de capim elefante irrigada com esgoto tratado.



Figura 3 – Culturas irrigadas com água de reúso em Caiçara do Rio do Vento/RN, A) Capim elefante em 01/04/2018 e B) Capim elefante em 20/05/2018.

Fonte: Autor (2018).

Com base nos estudos realizados por Araújo *et al.* (2011), elaborou-se a Tabela 1, onde são apresentados os aspectos físicos dos sistemas. No mesmo estudo a ETE apresentou, uma remoção para DBO na ordem de 75% e para DQO de 72%.

Araújo *et al.* (2011) em seu estudo encontrou concentrações médias de DBO no afluente e efluente do sistema de Caiçara do Rio do Vento de 446mg/L e 189mg/L, respectivamente.

Tabela 1 – Características físicas da ETE de Caiçara do Rio do Vento/RN

| ETE – CAIÇARA | | | |
|--|--------|-------|-------|
| Características físicas e operacionais | LFP | LM1 | LM2 |
| Comprimento (m) | 53,3 | 26,0 | 26,0 |
| Largura (m) | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| Profundidade (m) | 1,5 | 1,4 | 1,4 |
| Área (m ²) | 1119,3 | 546,0 | 546,0 |
| Volume (m ³) | 1679,0 | 764,4 | 764,4 |
| TDH (dias) | 15,5 | 7,1 | 7,1 |
| Relação Comprimento Largura (C/L) | 2,5 | 1,2 | 1,2 |

Fonte: Araújo *et al.* (2011)

b) Parelhas

O município de Parelhas pertence à Região Seridó, estando inserido sobre a formação cristalina e com vegetação predominante do bioma caatinga.

O Rio Seridó, que margeia o município é represado próximo ao setor urbano, local que recebeu o nome de Açude Boqueirão de Parelhas, o qual contribui com uma vazão de regularização na ordem de 0,38m³/s (ANA, 2014). Essa contribuição garante a continuidade do rio até a zona urbana, ponto em que recebe os efluentes gerados na sede do município.

Parelhas apresenta população estimada de 21.669 pessoas, segundo projeção populacional do IBGE para o ano de 2017 (IBGE, 2018). A EMPARN (2018) apresenta para o município uma precipitação anual média de 606,7 mm, se enquadrando no clima semiárido brasileiro.

O sistema de esgotamento sanitário de Parelhas conta com três ETE, com uma lagoa facultativa em cada. O objeto de estudo na cidade de Parelhas é a maior ETE instalada na zona urbana do município. O sistema de tratamento possui tratamento preliminar composta por gradeamento, caixa de areia e medidor de vazão.

Na Figura 4 pode-se ver a localização das estações de tratamento na zona urbana do município e próximas as margens do Rio Seridó.



Figura 4 – Vista aérea da zona urbana do município de Parelhas, com vista das três ETE do município, com destaque para a ETE em estudo.

Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 2 são apresentados os dados físicos obtidos em campo, onde estão representadas as lagoas facultativas (LF) do sistema de tratamento. As vazões de afluentes foram obtidas junto ao operador da ETE. O sistema atende aproximadamente 82% da população urbana do município e espera-se uma eficiência de 75% de remoção da carga orgânica (ANA, 2017).

Tabela 2 – Características físicas da estação de Parelhas/RN

| ETE– PARELHAS | |
|--|---------|
| Características físicas e operacionais | LF |
| Comprimento (m) | 100,0 |
| Largura (m) | 46,0 |
| Profundidade (m) | 1,5 |
| Área (m ²) | 4.600,0 |
| Volume (m ³) | 6.900,0 |
| TDH (dias) | 13,4 |
| Relação Comprimento Largura (C/L) | 2,2 |

Fonte: Autor (2018)

c) Santana do Seridó

O município de Santana do Seridó, pertence à Região Seridó, estando inserido sobre a formação cristalina e a vegetação predominante é a do bioma caatinga. O município apresenta população estimada de 2.701 pessoas, segundo projeção populacional do IBGE para o ano de 2017 (IBGE, 2018). A EMPARN (2018) apresenta para o município uma precipitação anual média de 562,7 mm, se enquadrando no clima semiárido brasileiro.

O sistema de tratamento de esgoto do município é dividido em duas estações de tratamento, ambas utilizando a tecnologia de lagoas facultativas. A ETE monitorada apresenta tratamento preliminar com gradeamento e caixa de areia, seguida de uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação em série.

O sistema de esgotamento sanitário da zona urbana do município produz um volume estimado em 258,0 m³/dia.

No sistema conhecido como Estação do Cemitério ocorre o reúso controlado dos efluentes tratados na irrigação de palma por gotejamento. Na Figura 5 pode-se visualizar a zona urbana do município, na proximidade da ETE conhecida como Estação do Cemitério.



Figura 5 – Vista aérea da zona urbana do município de Santana do Seridó, nas proximidades da Estação do Cemitério.
Fonte: Autor (2018)

Com base nos estudos realizados por Araújo *et al.* (2011) elaborou-se a, Tabela 3. No mesmo estudo foi verificado a remoção de DBO e DQO, na ordem de 55% e 58% respectivamente e de coliformes termotolerantes de 99,1%. O efluente final lançado no meio ambiente apresentava concentrações médias de 166 mg/L, 580 mg/L e $2,9 \times 10^6$ UFC/100 ml, respectivamente para DBO, DQO, e coliformes termotolerantes.

Tabela 3 – Características físicas da ETE de Santana do Seridó/RN

| ETE - SANTANA DO SERIDÓ | | | |
|--|--------|-------|-------|
| Características físicas e operacionais | LFP | LM1 | LM2 |
| Comprimento (m) | 71,0 | 38,0 | 38,0 |
| Largura (m) | 38,0 | 18,5 | 14,5 |
| Profundidade (m) | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| Área (m ²) | 2698,0 | 703,0 | 551,0 |
| Volume (m ³) | 3507,4 | 843,6 | 661,2 |
| TDH (dias) | 20,6 | 5,0 | 3,9 |
| Relação Comprimento Largura (C/L) | 1,9 | 2,1 | 2,6 |

Fonte: Araújo *et al.* (2011)

d) Pedro Velho

O município de Pedro Velho/RN, faz parte da microrregião Litoral Sul do Estado do Rio Grande do Norte, estando localizado sobre a formação barreiras, apresentando vegetação com características variando entre plantas do bioma da mata atlântica e outras com características do bioma da caatinga. A EMPARN (2018) apresenta para o município uma precipitação anual média de 1142,9 mm. Localizada em uma zona de transição entre a região tropical e a região semiárida. O município apresenta população estimada de 14.954 pessoas, segundo projeção populacional do IBGE para o ano de 2017 (IBGE, 2018).

O município contava com duas estações de tratamento de esgoto, mas atualmente só se encontra uma em funcionamento. A ETE monitorada recebe o esgoto coletado após tratamento preliminar seguido de estação elevatória. O tratamento biológico ocorre em uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação em série. O corpo receptor dos esgotos tratados é o Rio Curimataú, como observado na Figura 6.

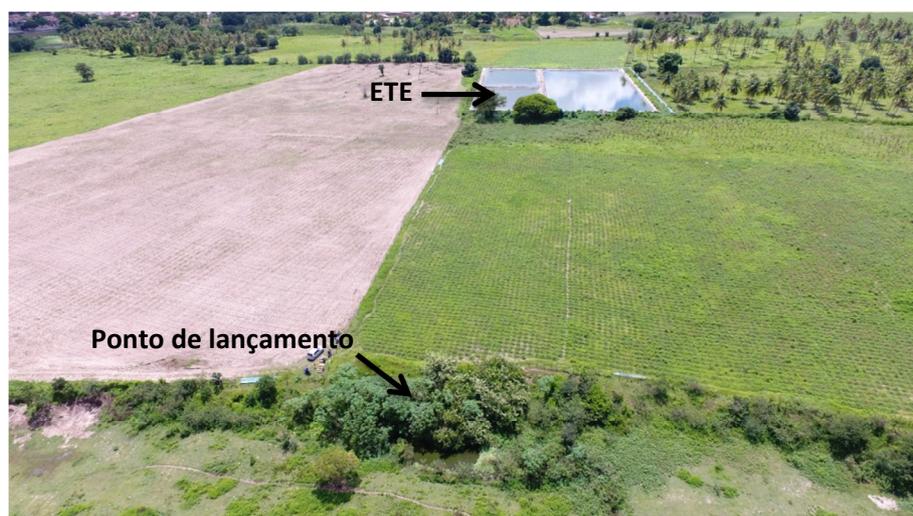


Figura 6 – Vista aérea do ponto de lançamento dos esgotos tratados no Rio Curimataú, nas proximidades da Estação de Tratamento.

Fonte: Autor (2018)

Com base nos dados coletados em campo, resumiu-se os parâmetros físicos obtidos para o sistema na Tabela 4. A vazão de efluente foi obtida junto a CAERN referente aos dados de projeto. O sistema atende aproximadamente 60% da população urbana do município e uma eficiência esperada de 80% de remoção da carga orgânica.

Tabela 4 – Características físicas da ETE de Pedro Velho/RN

| ETE - PEDRO VELHO | | | |
|--|--------|--------|--------|
| Características físicas e operacionais | LFP | LM1 | LM2 |
| Comprimento (m) | 102,0 | 49,0 | 49,0 |
| Largura (m) | 49,0 | 32,0 | 32,0 |
| Profundidade (m) | 1,8 | 1,5 | 1,5 |
| Área (m ²) | 4998,0 | 1568,0 | 1568,0 |
| Volume (m ³) | 8996,4 | 2352,0 | 2352,0 |
| TDH (dias) | 25,0 | 6,5 | 6,5 |
| Relação Comprimento Largura (C/L) | 2,1 | 1,5 | 1,5 |

Fonte: Autor (2018)

2.2. Caracterização do esgoto bruto e tratado

O plano de monitoramento conta com um total de 12 campanhas, por ETE, uma a cada mês iniciando em Julho de 2017 e finalizando em Junho de 2018. Em cada estação foi monitorada, a entrada e a saída do sistema, caracterizando o esgoto bruto e tratado, respectivamente.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Análises de Águas e Efluentes do IFRN. Para as coletas foram utilizados frascos estéreis fornecidos pelo laboratório, devidamente etiquetados, e acondicionados em caixa térmica a fim de preservar seus constituintes físicos, químicos e biológicos.

As coletas foram realizadas pela manhã, no intervalo entre 8:00h e 12:00h. Com o intuito de otimizar as coletas haviam duas equipes, uma responsável por coletar as amostras das ETE de Caiçara do Rio do Vento e Pedro Velho, e a segunda responsável por coletar as amostras em Santana do Seridó e Parelhas.

Os parâmetros quantificados em cada uma das amostras, juntamente com a metodologia de análise e unidade de medida são apresentados na Tabela 5, seguindo como referência para os métodos de análise APHA *et al.* (2012).

Tabela 5 – Parâmetros de análise efluente

| Parâmetro | Método Utilizado | Unidade de medida |
|--|------------------|-------------------|
| Condutividade Elétrica | Potenciometria | μS/cm |
| pH | Potenciometria | - |
| Sólidos Suspensos Totais | Gravimetria | mg/L |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio Total - (DBO) | Winkler – Azida | mg/L |
| Demanda Química de Oxigênio – (DQO) | Refluxo fechado | mg/L |
| Nitrogênio Amoniacal Total | Titulometria | mg/L |
| Fósforo Total | Digestão ácida | mg/L |
| Sódio | Fotometria | mg/L |
| Cálcio | Titulometria | mg/L |
| Magnésio | Titulometria | mg/L |
| Coliformes Termotolerantes | Tubos múltiplos | NMP/100 ml |

Fonte: Autor (2018)

A Razão de Adsorção de Sódio – RAS foi quantificada conforme a fórmula:

$$RAS = Na^+ \div \sqrt{((Ca^{2+} + Mg^{2+}) \div 2)}$$

Com os resultados das análises foram elaborados resumos estatísticos apresentando a média, desvio padrão, mínimo e máximo, para cada parâmetro analisado. Confeccionou-se gráficos tipo “Box Plot” e durante a sua confecção extraiu-se os valores atípicos, calculando o limite superior pela fórmula: $Lim.Sup=Q3+(Q3-Q1)*1,5$ e o limite inferior usando $Lim.Inf=Q1-(Q3-Q1)*1,5$, onde Q1 é o valor do primeiro quartil e Q3 o valor do terceiro quartil.

2.3. Elaboração de imagens

Neste trabalho foi utilizado um drone, modelo Phantom IV, para obtenção de imagens aéreas, melhorando a percepção da área de estudo, visualizando áreas de difícil acesso e mostrando uma visão ampla da área de influência do reúso.

Com a ajuda de imagens de satélite obtidas no Google Earth, criou-se imagens georreferenciadas que auxiliaram a melhorar o entendimento da influência do reúso nas regiões estudadas. Por meio dessas imagens e com o auxílio softwares, calculou-se as áreas de irrigação de cada cultura.

2.4. Caracterização dos sistemas

Com base em visitas de campo caracterizou-se cada um dos sistemas de tratamento de esgoto, buscando dados na literatura, empíricos e junto ao operador do sistema.

As estratégias de reúso encontrados em cada uma das estações de tratamento foram descritas de forma a entender a funcionalidade e a operacionalidade, caracterizando a forma de reúso dos efluentes tratados.

Com os dados das amostras, a caracterização dos sistemas de tratamento e de reúso, promoveu-se discussões considerando as legislações nacionais e internacionais. Fará parte ainda dessa discussão as produções científicas atuais e aplicáveis ao objeto de estudo.

3. RESULTADOS

3.1. Caiçara do Rio do Vento

Nesse sistema verificou-se a utilização do esgoto tratado na irrigação de capim elefante e palma. Os agricultores fazem reúso do esgoto tratado de forma setorizada, armazenando o efluente em um tanque com volume aproximado de 1,5m³ e distribuindo por meio de mangueiras e valas de irrigação no caso do capim elefante, e por meio de mangueiras de gotejamento para a irrigação da palma. Cada setor é dividido por família e cada família tem dias específicos para a utilização do efluente, contudo sem controle da vazão de irrigação. O projeto de irrigação de palma segue orientação de professores da Escola Agrícola de Jundiáí.

Na Figura 7 pode-se visualizar a aérea de irrigação com água de reúso, uma grande parte da área cultivada com capim elefante fica nas margens do Rio do Vento. Na Figura 8 pode-se observar o sistema de Caiçara do Rio do Vento e as delimitações da área de reúso.

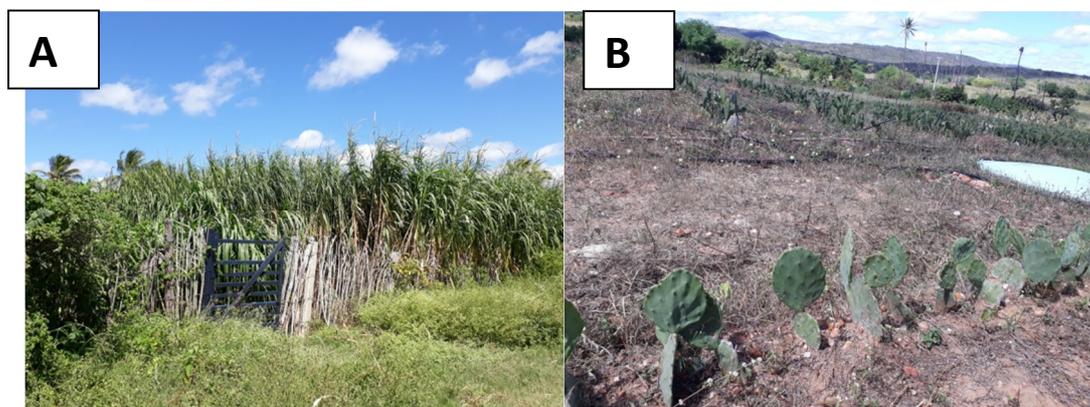


Figura 7 – Culturas irrigadas com água de reúso em Caiçara do Rio do Vento/RN, A) Capim elefante e B) Palma.

Fonte: Autor (2018)

Todo o esgoto tratado é utilizado na irrigação dessas áreas, totalizando aproximadamente 8.250 m², sendo 6.970 m² com o cultivo de capim elefante e 1.280 m² com o cultivo de palma.

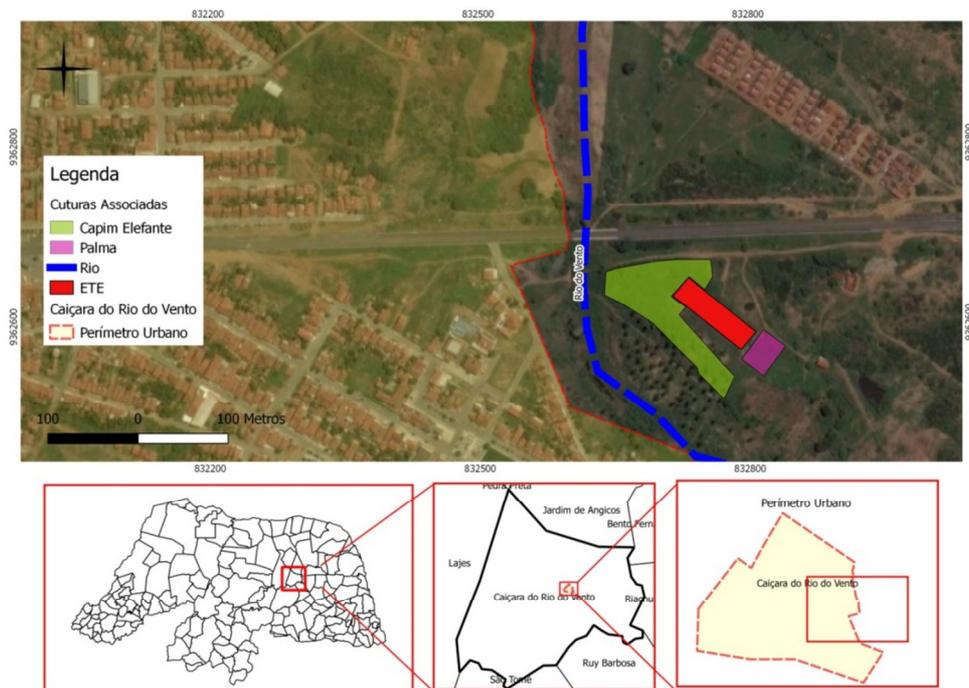


Figura 8 – Área de irrigação com esgoto tratado no município de Caiçara do Rio do Vento.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2018)

A Tabela 6 apresenta o resumo estatístico das análises realizadas no afluente e efluente da ETE de Caiçara do Rio do Vento, com um total de onze amostras coletadas.

Tabela 6 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluente e efluente da ETE de Caiçara do Rio do Vento/RN

| PARÂMETROS | ESGOTO BRUTO | | ESGOTO TRATADO | |
|---|--|------|---|------|
| | MÉDIA | ±DV | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | | (MIN - MÁX) | |
| CONDUTIVIDADE (µS/cm) | 1786 | 186 | 1669 | 215 |
| | (1480 - 2120) | | (1421 - 2080) | |
| pH | 6,89 | 0,19 | 7,32 | 0,32 |
| | (6,60 - 7,22) | | (6,75 - 7,79) | |
| SST (mg/L) | 689 | 273 | 160 | 73 |
| | (385 - 1200) | | (40 - 295) | |
| DBO (mg/L) | 666 | 247 | 159 | 92 |
| | (241 - 1059) | | (65 - 354) | |
| DQO (mg/L) | 1466 | 779 | 493 | 142 |
| | (818 - 2113) | | (199 - 694) | |
| NAT (mg/L) | 49,6 | 8,9 | 37,2 | 8,3 |
| | (40,2 - 65,8) | | (21,6 - 51,5) | |
| PT (mg/L) | 13,4 | 3,0 | 12,6 | 2,4 |
| | (9,1 - 20,0) | | (9,0 - 17,5) | |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ml) * | 5,40x10 ⁷ | | 7,90x10 ⁴ | |
| | (1,70x10 ⁵ - 1,70x10 ⁸) | | (2,00x10 ¹ - 3,5x10 ⁶) | |

*Mediana

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 7 apresenta o resumo estatístico das análises necessárias para o cálculo do RAS realizadas no efluente da ETE de Caiçara do Rio do Vento, com um total de dez amostras. O resumo estatístico do RAS está inserido na mesma tabela.

Tabela 7– Resumo estatístico das análises de metais realizadas no efluente da estação de Caiçara do Rio do Vento/RN, com a respectiva relação de adsorção de sódio (RAS).

| PARÂMETROS | ESGOTO TRATADO | |
|------------|----------------|-------------------------|
| | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | |
| Na (mg/L) | 184,0 | 45,9 (140,0 - 299,0) |
| Ca (mg/L) | 32,1 | 5,9 (20,4 - 42,5) |
| Mg (mg/L) | 29,5 | 14,5 (4,2 - 48,6) |
| RAS | 5,8 | 1,3 (4,1 - 8,1) |

Fonte: Autor (2018)

3.2. Parelhas

Todo o esgoto tratado do município é direcionado para o leito do Rio Seridó. Os agricultores aproveitando a disponibilidade desse efluente, promovendo a irrigação de capim por meio de sulcos no solo, sem controle da vazão utilizada, sendo o sistema de reúso enquadrado como não controlado.

A área irrigada com o esgoto tratado é estimada em aproximadamente 122.000 m². O excesso de efluente não absorvido na irrigação corre no leito do Rio Seridó. Dessa forma, outros agricultores promovem o reúso indireto do esgoto tratado, seja na agricultura, recreação ou dessedentação animal. Na Figura9 é possível observar o ponto de lançamento e a área utilizada para o plantio de capim de diferentes espécies.



Figura 9 – Área de irrigação com água de reúso em Parelhas/RN, imagem do dia 09/04/2018, após forte chuva.
Fonte: Autor (2018)

O sistema monitorado é a maior ETE do município, destacada na Figura 10. Através da figura pode ser observado que ao longo do leito do Rio Seridó ocorre o plantio de capim aproveitando a disponibilidade do efluente.

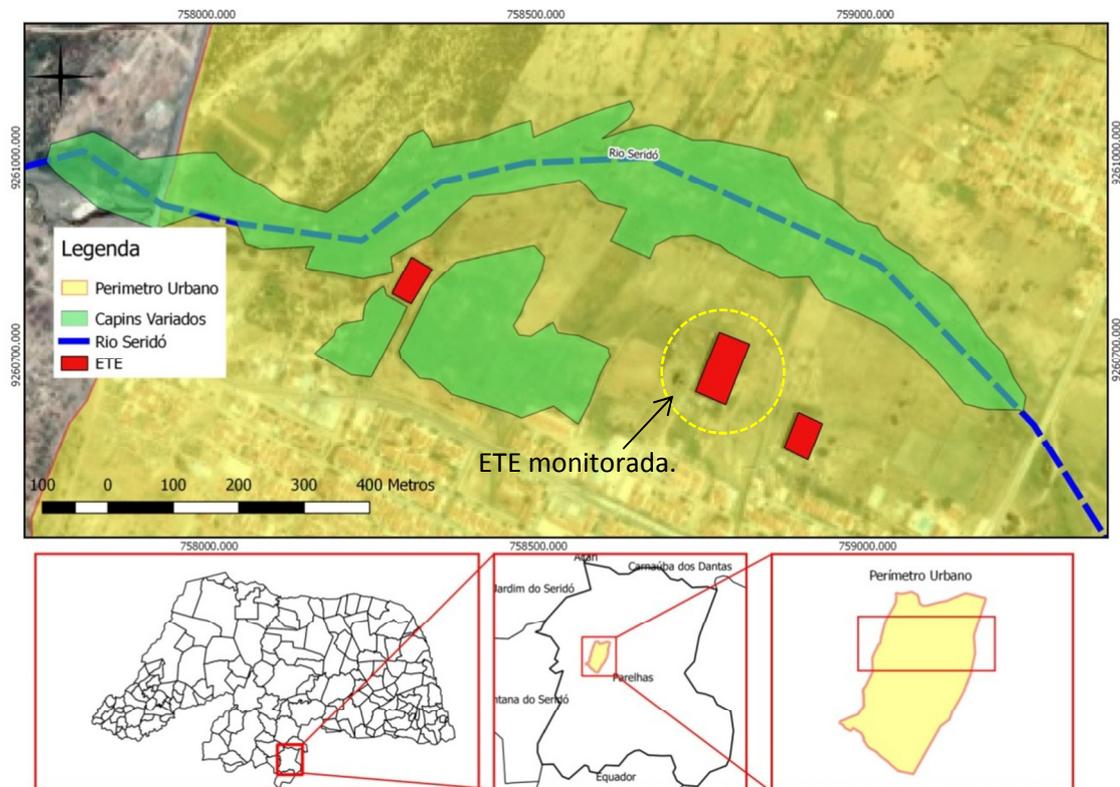


Figura 10 – Área de irrigação com água de reúso e locação do sistema de tratamento do município de Parelhas/RN.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2018)

A Tabela 8 apresenta o resumo estatístico das análises realizadas no afluente e efluente da estação de ETE de Parelhas, com um total de sete amostras coletadas.

Tabela 8 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluente e efluente da ETE de Parelhas/RN

| PARÂMETROS | ESGOTO BRUTO | | ESGOTO TRATADO | |
|---|---|------|--|------|
| | MÉDIA | ±DV | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | | (MIN - MÁX) | |
| CONDUTIVIDADE (µS/cm) | 2614 | 500 | 2916 | 385 |
| | (1887 - 3310) | | (2270 - 3270) | |
| pH | 6,80 | 0,08 | 7,42 | 0,02 |
| | (6,66 - 6,92) | | (7,39 - 7,45) | |
| SST (mg/L) | 419 | 111 | 93 | 22 |
| | (300 - 640) | | (72 - 130) | |
| DBO (mg/L) | 621 | 113 | 120,00 | 19 |
| | (472 - 842) | | (87 - 145) | |
| DQO (mg/L) | 1061 | 147 | 357 | 17 |
| | (889 - 1344) | | (334 - 389) | |
| NAT (mg/L) | 47,4 | 7,9 | 59,6 | 13,0 |
| | (36,2 - 59,2) | | (38,2 - 73,5) | |
| PT(mg/L) | 8,50 | 2,50 | 10,0 | 0,9 |
| | (6,0 - 13,7) | | (8,3 - 11,3) | |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ml) * | 7,90x10 ⁷ | | 1,60x10 ⁷ | |
| | (2,30 x10 ⁷ - 3,5 x10 ⁸) | | (2,30 x10 ⁷ - 3,50 x10 ⁷) | |

*Mediana

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 9 apresenta o resumo estatístico das análises necessárias para o cálculo do RAS realizadas no efluente da ETE de Parelhas, com um total de seis amostras. O resumo estatístico do RAS está inserido na mesma tabela.

Tabela 9 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Parelhas/RN, com as respectivas relações de adsorção de sódio (RAS).

| PARÂMETROS | ESGOTO TRATADO | |
|------------|-----------------|-------|
| | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | |
| Na (mg/L) | 302,0 | 124,8 |
| | (194,0 - 371,0) | |
| Ca (mg/L) | 38,1 | 13,9 |
| | (32,2 - 42,5) | |
| Mg (mg/L) | 68,5 | 27,1 |
| | (39,9 - 82,4) | |
| RAS | 6,7 | 2,6 |
| | (4,2 - 7,8) | |

Fonte: Autor (2018)

3.3. Santana do Seridó

Oito por cento do volume destinado à estação do cemitério são utilizados na irrigação controlada de palma, atendendo a uma área de um hectare e

produzindo 400 toneladas de matéria verde por ano, consumindo 4,3m³ de esgoto tratado por dia.

Para que o efluente seja utilizado como água de reúso é utilizado um processo de pós-tratamento onde inicialmente o efluente é armazenado em uma cisterna enterrada. Por bombeamento o efluente armazenado passa por um filtro de areia e é novamente estocado em reservatórios de concreto aberto. Por fim o efluente é bombeado e filtrado em filtro de cartucho, sendo direcionado para a irrigação (Figura 11). Na Figura 12 pode-se visualizar o sistema de tratamento e a área de irrigação. O projeto foi assessorado pelo Instituto Nacional do Semiárido – INSA e desenvolvido em parceria com a prefeitura do município, o campo de plantio foi implantado no ano de 2014.



Figura 11 – Esquema do pós-tratamento utilizado no sistema de Santana do Seridó/RN.

Fonte: Autor (2018)

A utilização de todo o esgoto do município na agricultura poderia irrigar uma área um pouco superior a 60 hectares, considerando a taxa de irrigação aplicada atualmente no cultivo da palma de 4,3 m³/ha.dia.

O efluente excedente é encaminhado para o solo, que por gravidade segue até o Rio Santana, um rio intermitente. Antes de chegar ao rio o efluente ainda irriga uma área de 0,3 hectares, plantado com capim elefante, caracterizando o reúso não controlado.



Figura 12 – Área de irrigação com água de reúso e locação do sistema de tratamento do município de Santana do Seridó/RN.
Fonte: Autor (2018)

Na figura 13 pode-se visualizar a área da ETE estudada, o Rio Santana e as áreas de irrigação e lançamento do esgoto tratado.

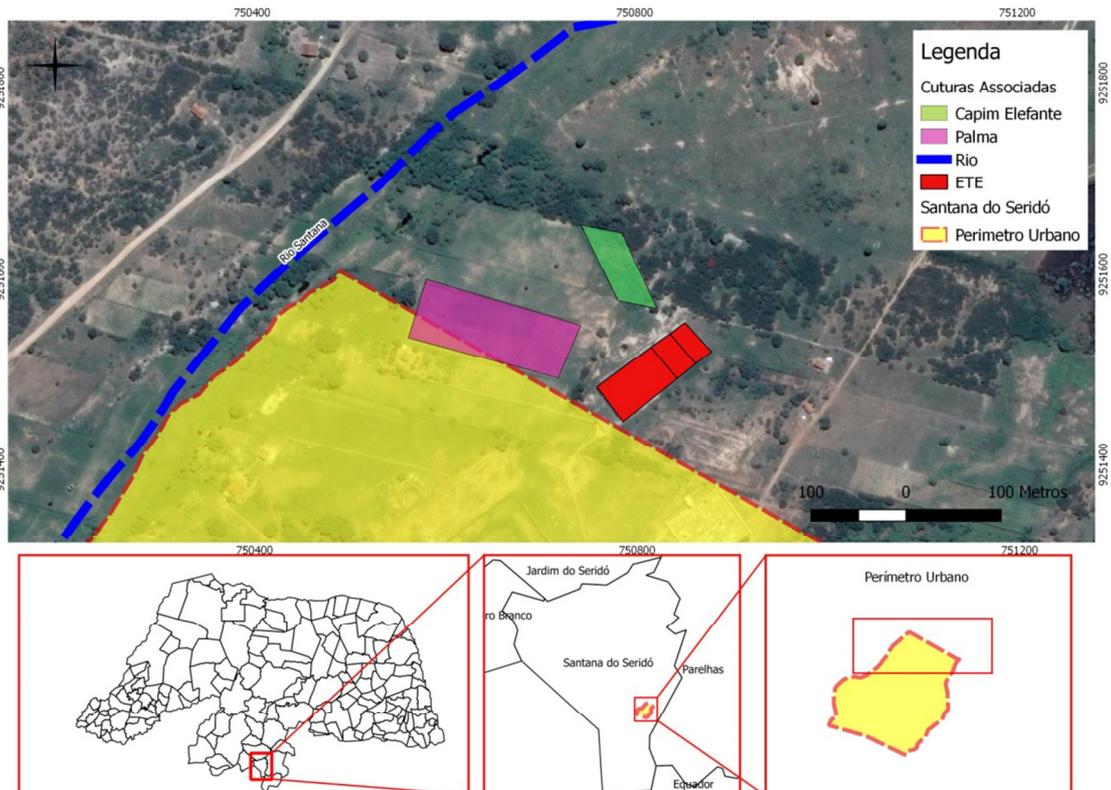


Figura 13 – Área de irrigação com água de reúso no município de Santana do Seridó/RN.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2018)

A Tabela 10 apresenta o resumo estatístico das análises realizadas no afluente e efluente da estação de tratamento de Santana do Seridó, com um total de sete amostras coletadas.

Tabela 10 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluente e efluente da ETE de Santana do Seridó/RN

| PARÂMETROS | ESGOTO BRUTO | | ESGOTO TRATADO | |
|---|--|------|--|------|
| | MÉDIA | ±DV | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | | (MIN - MÁX) | |
| CONDUTIVIDADE (µS/cm) | 2569 | 652 | 2861 | 476 |
| | (1603 - 3650) | | (2270 - 3270) | |
| pH | 6,97 | 0,06 | 7,61 | 0,26 |
| | (6,88 - 7,04) | | (7,35 - 8,01) | |
| SST (mg/L) | 233 | 172 | 84 | 47 |
| | (8 - 550) | | (36 - 170) | |
| DBO (mg/L) | 587 | 168 | 66 | 25 |
| | (363 - 886) | | (33 - 109) | |
| DQO (mg/L) | 1014 | 449 | 267 | 50 |
| | (606 - 1944) | | (205 - 354) | |
| NAT (mg/L) | 60,0 | 25,7 | 26,8 | 3,5 |
| | (32,1 - 112,3) | | (21,5 - 32,1) | |
| PT (mg/L) | 11,1 | 5,0 | 11,4 | 3,5 |
| | (5,9 - 19,0) | | (6,6 - 17,3) | |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ml) * | 3,30x10 ⁷ | | 2,00x10 ⁵ | |
| | (1,70 x10 ⁷ - 1,60 x10 ⁸) | | (1,70 x10 ¹ - 1,30 x10 ⁷) | |

*Mediana

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 11 apresenta o resumo estatístico das análises necessárias para o cálculo do RAS realizadas no efluente da ETE de Santana do Seridó, com um total de seis amostras. O resumo estatístico do RAS está inserido na mesma tabela.

Tabela 11 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Santana do Seridó/RN, com a respectiva relação de adsorção de sódio (RAS).

| PARÂMETROS | ESGOTO TRATADO | |
|------------|-----------------|-------|
| | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | |
| Na (mg/L) | 333,8 | 145,9 |
| | (179,5 - 434,0) | |
| Ca (mg/L) | 78,3 | 28,9 |
| | (63,7 - 93,5) | |
| Mg (mg/L) | 77,2 | 30,9 |
| | (51,5 - 103,0) | |
| RAS | 6,3 | 2,6 |
| | (3,6 - 7,9) | |

Fonte: Autor (2018)

3.4. Pedro Velho

Os esgotos tratados do município são direcionados para o Rio Curimataú e uma parcela desses é aproveitada para irrigação. Agricultores da região promovem o reúso do efluente trado captando água no ponto de lançamento no leito do Rio Curimataú ou na segunda lagoa de maturação, de forma clandestina. A captação no leito do rio caracteriza um reúso indireto já a retirada do efluente da segunda lagoa de maturação é caracterizada por reúso direto e sem controle.

As áreas utilizadas para a irrigação pertencem a agricultores distintos, indicadas na Figura 14. Um agricultor já fazia uso da efluente na irrigação antes da construção da cerca que delimita a área da ETE. Retirando o efluente da segunda lagoa da maturação com a ajuda de uma bomba acoplada a um motor a diesel.

A irrigação utilizada nessa área não obedece a critérios técnicos, mas instintivamente o agricultor aplica técnicas de manejo para minimizar o risco de contaminação dos frutos das culturas irrigadas. Dessa forma o agricultor lança o efluente no solo na primeira fase do plantio, antes da abertura das covas, para proporcionar umidade e nutrientes ao solo arenoso. Em uma segunda fase o esgoto tratado é direcionado ao terreno uma semana após o plantio das sementes, garantindo assim a fonte de água necessária para o desenvolvimento das plantas. Na Figura 14 tem-se uma imagem georreferenciada da área delimitando as áreas de plantio, sendo possível visualizar a área urbana e o Rio Curimataú. A Figura 15 mostra uma imagem aérea onde é possível visualizar as áreas irrigadas por essa técnica.

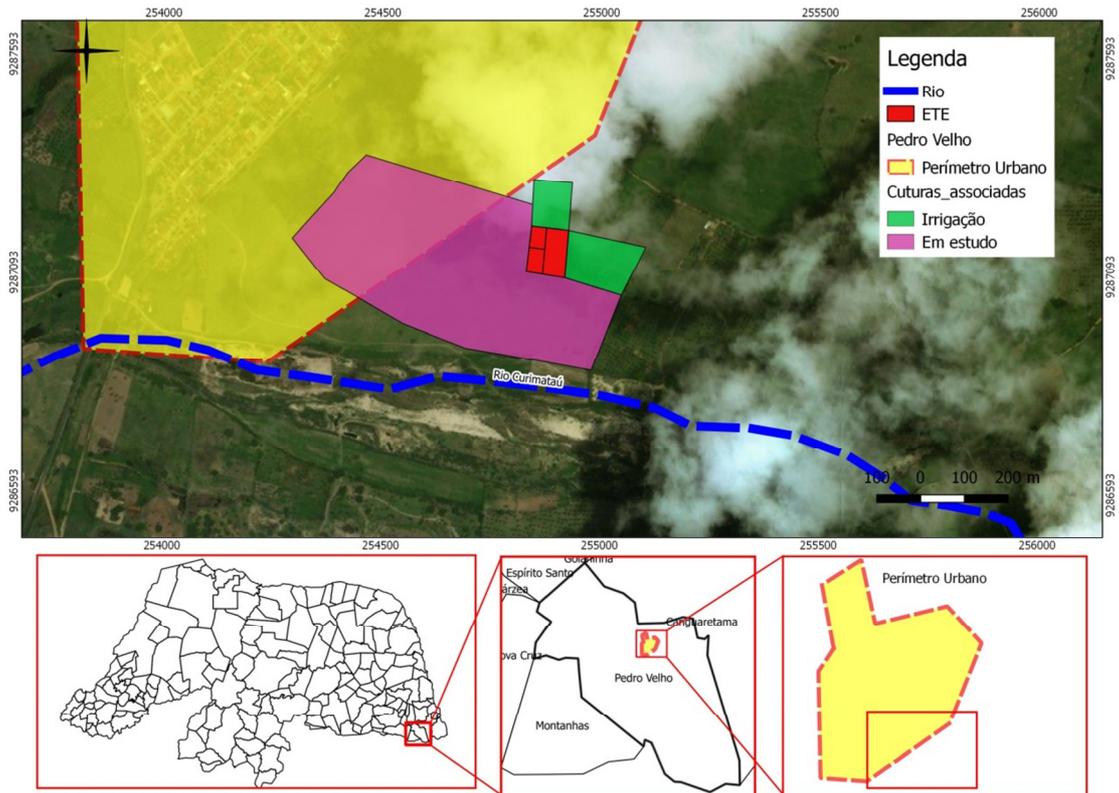


Figura 14 – Imagem de satélite georreferenciada, com delimitação da área urbana, sistema de tratamento de esgoto e área de irrigação com água de reúso, Pedro Velho/RN.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2018)



Figura 15 – Imagem aérea da estação de tratamento e área com irrigação com água reúso no município de Pedro Velho/RN.
Fonte: Autor (2018)

A irrigação das áreas indicadas na Figura 15 ocorre com o lançamento direto do efluente no solo quase que inundando a área na primeira e segunda

fase da irrigação. A área irrigada por esse agricultor é de aproximadamente dois hectares.

Como a região de Pedro Velho está em uma área de transição entre a zona da mata e o semiárido, nem sempre é necessária a utilização do esgoto tratado já que as chuvas apresentam certa regularidade. Os meses de maior necessidade hídrica são os meses de outubro e novembro, segundo agricultor da região.

O proprietário da área indicada na Figura 16 ainda está avaliando a irrigação com água de reúso. Inclusive já fez alguns testes captando o esgoto tratado no ponto de lançamento, nas margens do Rio Curimataú, caracterizando, como mencionado anteriormente, o reúso indireto do efluente.

O sistema de irrigação é semelhante ao utilizado na área vizinha, mas as culturas utilizadas são mais variadas já que a área de cultivo é maior.



Figura 16 – Área com plantio associado de feijão, milho e jerimum utilizando água de reúso de forma indireta ou direta no município de Pedro Velho/RN.

Fonte: Autor (2018)

Esse agricultor investe em milho, feijão e jerimum, utilizando o sistema associado de cultivo, onde é intercalado o plantio das culturas de milho e feijão por linha e o jerimum entre os pés de milho. O volume de água não é controlado e a área passível de ser irrigada chega próxima a nove hectares.

A Tabela 12 apresenta o resumo estatístico das análises realizadas no afluente e efluente da ETE de Pedro Velho, com um total de onze amostras coletadas.

Tabela 12 – Resumo estatístico dos resultados das análises dos afluentes e efluentes da ETE de Pedro Velho/RN

| PARÂMETROS | ESGOTO BRUTO | | ESGOTO TRATADO | |
|---|---|------|---|------|
| | MÉDIA | ±DV | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | | (MIN - MÁX) | |
| CONDUTIVIDADE (µS/cm) | 1082 | 153 | 761 | 112 |
| | (834 - 1282) | | (603 - 982) | |
| pH | 6,69 | 0,35 | 6,95 | 0,31 |
| | (6,27 - 7,29) | | (6,49 - 7,31) | |
| SST (mg/L) | 251 | 60 | 56 | 19 |
| | (195 - 370) | | (30 - 90) | |
| DBO (mg/L) | 409 | 137 | 75 | 42 |
| | (310 - 789) | | (6 - 143) | |
| DQO (mg/L) | 695 | 148 | 214 | 71 |
| | (513 - 940) | | (119 - 352) | |
| NAT (mg/L) | 41,1 | 16,7 | 21,0 | 5,9 |
| | (15,1-72,8) | | (13,5-34,9) | |
| PT (mg/L) | 7,4 | 2,5 | 4,0 | 2,1 |
| | (3,7 - 11,3) | | (0,3 - 8,2) | |
| COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ml) * | 1,60x10 ⁸ | | 1,70x10 ⁵ | |
| | (2,30 x10 ⁵ - 2,30x x10 ⁸) | | (4,5 x10 ³ - 7,90 x10 ⁶) | |

*Mediana

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 13 apresenta o resumo estatístico das análises necessárias para o cálculo do RAS realizadas no efluente da ETE de Pedro Velho, com um total de dez amostras. O resumo estatístico do RAS está inserido na mesma tabela.

Tabela 13 – Resultado das análises de metais realizadas no efluente da ETE de Pedro Velho/RN, com as respectivas relações de adsorção de sódio (RAS).

| PARÂMETROS | ESGOTO TRATADO | |
|------------|----------------|------|
| | MÉDIA | ±DV |
| | (MIN - MÁX) | |
| Na (mg/L) | 70,6 | 21,4 |
| | (47,9 - 96,6) | |
| Ca (mg/L) | 21,4 | 2,1 |
| | (17,0 - 25,5) | |
| Mg (mg/L) | 18,5 | 8,6 |
| | (6,2 - 31,2) | |
| RAS | 2,7 | 0,4 |
| | (2,1 - 3,3) | |

Fonte: Autor (2018)

4. DISCUSSÃO

4.1. Remoção de Matéria Orgânica

Com a caracterização do afluente das ETE identificou-se uma elevada concentração de DBO e DQO, principalmente nas cidades inseridas na região

semiárida. Essa concentração elevada é consequência de ações culturais do uso da água em municípios do interior do nordeste brasileiro, onde a população utiliza ao máximo esse recurso hídrico antes do descarte na rede coletora. Esse fato é comum já que a intermitência no abastecimento é uma realidade dessa região que convive com o stress hídrico constantemente. Ainda é comum a utilização de águas salobras para as tarefas diárias, para preservar o máximo a água potável disponível.

Na cidade de Pedro velho encontrou-se a menor concentração média de DBO (409 mg/L), já nas demais cidades o esgoto bruto tem concentrações médias bem semelhantes, entre 587 mg/L e 666 mg/L. É importante saber que o município de Pedro Velho é abastecido por um manancial superficial de boa qualidade possibilitando baixa intermitência no abastecimento de água.

A grande variabilidade da concentração de DBO e DQO pode indicar ligações não domésticas na rede de esgotamento. Em Caiçara do Rio do Vento foi identificado à contribuição de esgoto proveniente de açougue/matadouro, esse mesmo fato deve ocorrer nas demais cidades.

Verificou-se que as taxas de aplicação superficiais médias utilizadas nas ETE de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas e Santana do Seridó variou de 370 a 650 Kg.DBO/ha.dia, apresentando valores superiores ao sugerido por Von Sperling (2017) para o dimensionamento de lagoas facultativas primária, valor que deveria ser no máximo 350 Kg.DBO/ha.dia, para cidades com características do semiárido nordestino. O sistema de tratamento de Parelhas recebe uma taxa de aplicação superficial média de 85% superior à taxa de projeto já mencionada. Com as elevadas concentrações de DBO no afluente os reatores podem operar com sobrecarga orgânica, modificando as características de tratamento das lagoas facultativas. A ETE de Pedro Velho apresenta taxa de aplicação superficial de 295 Kg.DBO/ha.dia condizente com o valor sugerido por Von Sperling (2017).

Apesar da sobrecarga orgânica nos sistemas de tratamento as eficiências médias na remoção da DBO apresentam um valor, condizente com os sistemas de tratamento implantados, com eficiência entre 70 e 85% (VON SPERLING, 2017), mas as elevadas concentrações médias de DBO do afluente no período de coleta mostra a necessidade de maior atenção aos

parâmetros de entrada. No Gráfico 1 é apresentada a eficiência média na remoção de DBO de cada ETE e as concentrações desse parâmetro no afluente e efluente.

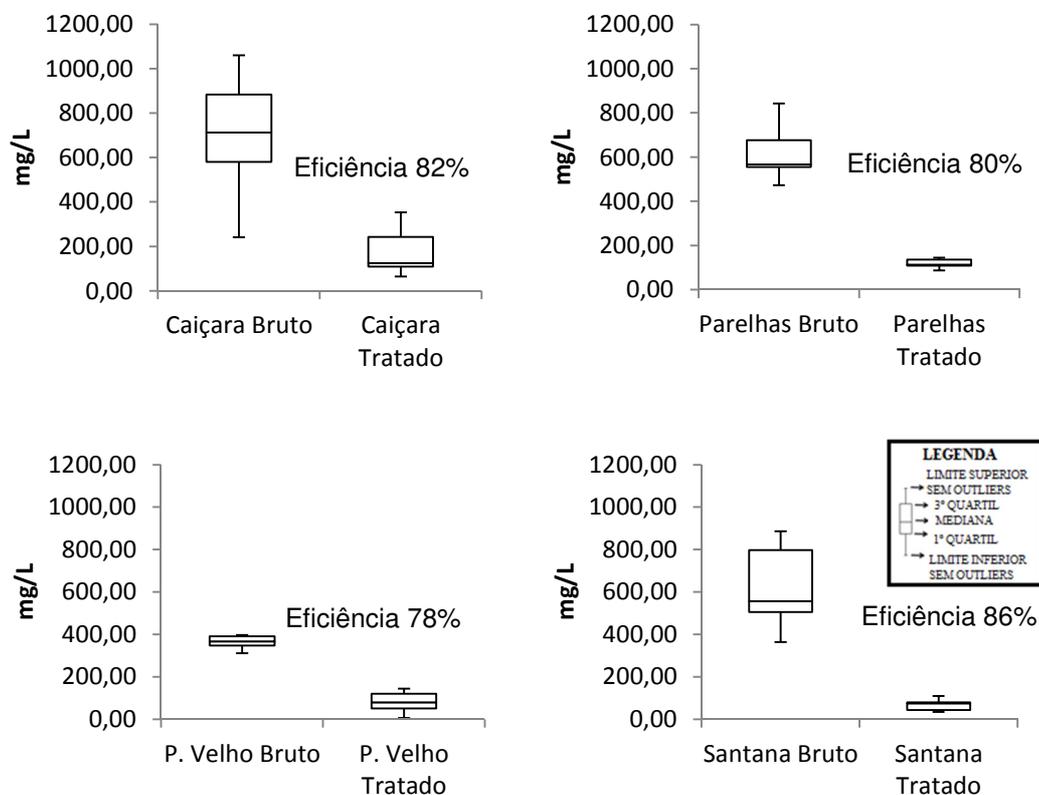


Gráfico 1 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de DBO dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas.

Fonte: Autor (2018)

É necessária uma melhor avaliação nos parâmetros de projeto, para que ocorra uma maior regularidade nos padrões do esgoto tratado, possibilitando uma aplicação de reúso com maior segurança.

Para lagoas de estabilização a resolução CONAMA nº430/2011, exige uma remoção mínima de 60% de DBO, e concentração final máxima para lançamento de 120 mg/L, com base na DBO filtrada. A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) nº 13.969 de 1997 aponta como valor menos restritivo para o lançamento em corpo hídrico uma concentração de DBO inferior a 60 mg/L e como valor mais restritivo 20 mg/L. A lei nº 4.593 de 19 de Junho de 2013, do Município de Caicó/RN, define como padrão máximo de 30 mg/L para o reúso paisagístico e urbano dos efluentes tratados, não definindo parâmetro

para irrigação agrícola. Bastos e Bevilacqua (2006) sugerem até 10 mg/L para os usos agrícolas mais restritivos e até 30 mg/L para os usos menos restritivos.

Na legislação internacional é perceptível uma grande variabilidade dos padrões de reúso considerando concentração da DBO. Nos Estados Unidos a Agência de Proteção Ambiental (EPA, 2012) define padrão máximo de 10 mg/L. Os estados de Nevada e Washington restringem a concentração máxima para reúso a 30mg/L, já o estado do Texas com adota o valor de 5 mg/L. A Austrália, o estado americano da Califórnia, países da região mediterrânea e a OMS não apresenta padrões de restrição para esse parâmetro. (VOULVOULIS, 2018)

Vale ressaltar que a não utilização da DBO como parâmetro restritivo para o reúso, não indica necessariamente o menor nível de tratamento, em alguns casos os outros parâmetros adotados garantem a remoção da DBO como uma consequência do tratamento.

O monitoramento dos efluentes mostrou que as médias de DBO apresentam valores superiores a 66mg/L, não atendendo as legislações e recomendações estudadas para reúso agrícola. A aplicabilidade, com segurança, do efluente dos sistemas de tratamento deve estar associada a um dimensionamento adequado das ETE e operação dos sistemas de tratamento, garantindo um efluente de boa qualidade.

A remoção da DBO é um dos parâmetros mais perceptíveis para a avaliação de eficiência de uma ETE, mas sempre deve ser associada a outras variáveis para garantir uma qualidade final adequada do efluente. Em termos de aplicabilidade, no Brasil, pode-se utilizar os padrões de DBO apresentados por Bastos e Bevilacqua (2006).

Os sistemas que utilizam lagoas de maturação têm grande influência das algas na quantificação da DBO do efluente final. Sistemas de filtração após o tratamento por lagoas podem melhorar as concentrações da DBO final.

A média de DQO do esgoto bruto variou de 1014 a 1466mg/L para os municípios instalados na região semiárida, bem acima da faixa apresentada por Von Sperling (2014) de 450 a 800 mg/L. O município de Pedro Velho teve a média de 695 mg/L dentro da faixa apresentada anteriormente. A relação

DQO/DBO apresentou valores médios dentro da faixa recomendada para a adoção de tratamento biológico (1,7 – 2,4).

As características locais do uso da água e as fontes de abastecimento interferem nesse parâmetro, já que os mananciais de abastecimento dessas três cidades inseridas na região semiárida são reservatórios superficiais onde a concentração de sais e nutrientes são cada vez maiores e a características regionais do uso da água, faz com que a população gaste o mínimo possível desse recurso, tornando a concentração dos esgotos maior.

Considerando as eficiências médias encontradas nas ETE estudadas constatou-se que a remoções da DQO é condizentes com as configurações dos sistemas de tratamento implantados, considerando os valores de 65 a 80%, apresentados por Chernicharo *et al.* (2006). Apenas a ETE de Caiçara do Rio do Vento apresentou uma remoção média um pouco abaixo dos valores presentes na literatura (62%). No Gráfico 2 é apresentada a eficiência na remoção de DQO de cada ETE e as concentrações desse parâmetro no afluente e efluente.

Na Tabela 14 é representada a relação média da DQO/DBO do afluente e efluente dos sistemas de tratamento monitorados, como forma de avaliar a eficiência das ETE. Verificaram-se assim efluentes com relação variando de 2,85 a 4,05. Comparando a relação encontrada no afluente com a do efluente pode-se notar um aumento, fato esperado pela estabilização da matéria biodegradável e a fração inerte por sua vez sem modificação expressiva. Von Sperling (2014) mostra que valores dessa relação no efluente final do tratamento biológico são usualmente superiores a 2,5 e quanto maior essa relação melhor à remoção da matéria biodegradável, podendo chegar até 4,0 ou 5,0. Seguindo essa afirmativa a estação de tratamento que melhor apresentou remoção de matéria biodegradável foi a de Santana do Seridó, condizente com a eficiência na remoção de DBO encontrada anteriormente.

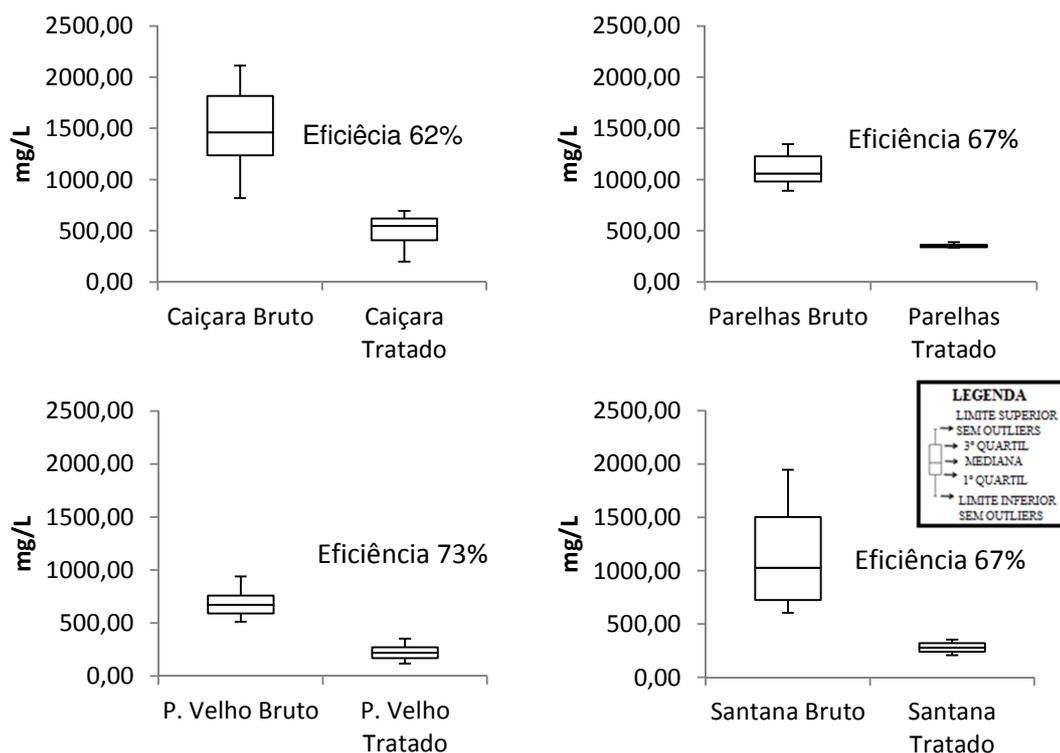


Gráfico 2 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de DQO dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas.

Fonte: Autor (2018)

Tabela 14 – Relação DBO/DQO no afluente e efluente.

| ETE - Município | Caiçara do Rio do Vento | Parelhas | Santana do Seridó | Pedro Velho |
|--------------------------|-------------------------|----------|-------------------|-------------|
| Afluente relação DQO/DBO | 2,20 | 1,71 | 1,73 | 1,70 |
| Efluente relação DQO/DBO | 3,10 | 2,97 | 4,05 | 2,85 |

Fonte: Autor (2018)

O sistema de Parelhas apresentou pequena variação das concentrações finais de DQO, com o coeficiente de variação de 0,05, assim como ocorreu com a DBO, com coeficiente de variação de 0,16.

A DQO não é um parâmetro usual para definir padrões de reúso, mas pode ser utilizada como um parâmetro operacional dos sistemas de tratamento. A Resolução CONAMA nº 430/2011, não apresenta índices mínimos ou máximos de DQO para a disposição final.

Em análise a padrões de reúso estudados na literatura internacional, utilizando dez normas como referencia apenas três apresentam critérios para a aplicabilidade da DQO como parâmetro limitante para o reúso agrícola. Países

como a França apresenta limite máximo de DQO de 60 mg/L, para uso irrestrito, já Israel e Itália apresentam limite de 100 mg/L (JEONG, KIM e JANG, 2016).

Os sólidos suspensos totais, onde se apresenta uma grande fração de matéria orgânica, é um parâmetro importante a ser abordado quando se fala em reúso, sendo uma variável na avaliação do método escolhido para a irrigação. A quantidade excessiva de sólidos pode vir a prejudicar a microaspersão ou o sistema de gotejamento, ou ainda obstruir o sistema radicular da planta, causando a morte da cultura.

A maior concentração média de sólidos suspensos foi observada no afluente da ETE de Caiçara do Rio do Vento (689mg/L) enquanto a menor foi verificada em Santana do Seridó (233 mg/L), esses dois valores são bastantes discrepantes, mas podem ser associados a qualidade do pré-tratamento. Em Caiçara do Rio do Vento, durante as visitas de campo, visualizou-se o acúmulo de sólidos excessivos na área adjacente ao sistema preliminar. Já em Santana do Seridó encontrou-se um sistema limpo e aparentemente bem operado.

O efluente que apresentou a maior concentração média de sólidos suspensos foi o de Caiçara do Rio do Vento, com 159mg/L e a menor foi encontrada no efluente de Pedro Velho, com a concentração média de 56 mg/L. O sistema de Santana do Seridó apresentou a maior variabilidade na concentração, com o coeficiente de variação igual a 0,56, e a coloração na segunda lagoa de maturação normalmente era bastante esverdeada com uma nata densa de microalgas o que pode justificar os sólidos no efluente final. Por sua vez o sistema de Parelhas é que apresenta menor variabilidade desse parâmetro, com coeficiente de variação de 0,24.

No Gráfico 3 é apresentado a eficiência média na remoção de sólidos suspensos totais de cada ETE monitorada e as concentrações desse parâmetro no afluente e efluente.

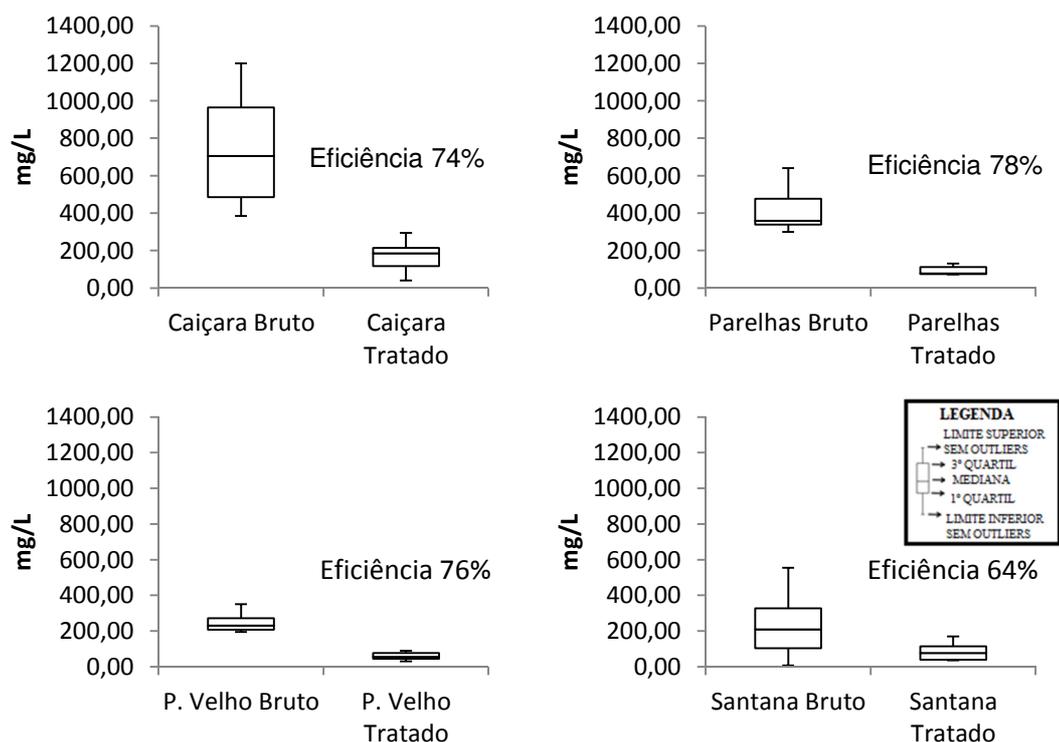


Gráfico 3 – Gráfico tipo “boxplot” da concentração de sólidos suspensos totais dos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas.

Fonte: Autor (2018)

Em consulta aos parâmetros de sólidos suspensos mais adotados foi encontrado valores entre 10 e 60 mg/L, com Israel adotando o parâmetro de menor ou igual a 10 mg/l de sólidos suspensos e Portugal com parâmetro de menor igual a 60 mg/L (JEONG, KIM e JANG, 2016). Fator limitante a utilização dos sólidos suspensos está ligado à cultura irrigada e a forma de irrigação já que os sólidos presentes no efluente das ETE podem obstruir o sistema de irrigação ou comprometer o sistema radicular das culturas irrigadas.

A quantificação da matéria orgânica presente o afluente é fundamental para o dimensionamento das ETE, garantindo projetos mais eficientes e consequentemente melhores alternativas para reúso. Mas não menos importante é o monitoramento dos efluentes das estações já implantadas, pois a utilização com segurança depende dessa avaliação constante.

Na visita inicial a ETE de Parelhas suspeitava-se que o sistema apresentaria sinais de déficit de operação, já que não ocorria um controle regular da entrada de efluente no sistema, as caixas de areia operavam sem a limpeza periódica, a lagoa facultativa possui ilhas de lodo em algumas épocas

do ano, e em períodos chuvosos a estação de tratamento fica submersa, devido ao grande volume de água pluvial ligado à rede de esgotamento. Mesmo com todas essas características negativas e ainda operando com sobrecarga orgânica A ETE ainda apresenta uma eficiência mediana de remoção na ordem de 80, 67, e 78%, para DBO, DQO e SST, respectivamente. Mesmo não atendo os padrões de reúso estudados esses dados mostram a robustez do sistema de lagoas facultativas, que mesmo sem operação adequada e em sobrecarga apresenta bons índices de eficiências na remoção de matéria orgânica.

4.2. Remoção de Nutrientes

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são dois nutrientes importantíssimos para o crescimento vegetal. O fósforo encontrado nas águas residuárias normalmente está em concentrações inferiores à necessidade dos vegetais e mesmo o seu excesso não apresenta problemas para os mesmos. Normalmente é necessário suplementação desse nutriente para o pleno desenvolvimento das culturas irrigadas. O nitrogênio por sua vez é responsável pelo crescimento dos vegetais. Valores elevados desse nutriente aumenta a velocidade de desenvolvimento das plantações podendo prejudicar a qualidade e reduzir a massa final da cultura. Concentrações elevadas de nitrogênio na água de irrigação de plantações forrageiras podem prejudicar os animais que se alimentam dessa forragem (BLUM, 2003).

Os nutrientes presentes nas águas provenientes de estações de tratamento podem contribuir para o crescimento das culturas, mas é necessário o monitoramento periódico para evitar o fornecimento desequilibrado de nutrientes (PEDRERO, *et al*, 2013).

No Gráfico 4 estão representados os valores das concentrações de nitrogênio amoniacal total do afluente e efluente das estações de tratamento estudadas. Observou-se valores semelhantes da concentração média do nitrogênio no afluente, mas em algumas cidades as amostras apresentam grande variabilidade, com o coeficiente de variação na ordem de 0,43 e 0,41, para Santana do Seridó e Pedro Velho, respectivamente, o que pode vir a ser um problema para a padronização do esgoto tratado.

Encontrou-se a menor concentração média de nitrogênio no efluente da estação de Pedro Velho com 21,0 mg/l, já a maior foi identificada na estação de Parelhas com 59,6 mg/L.

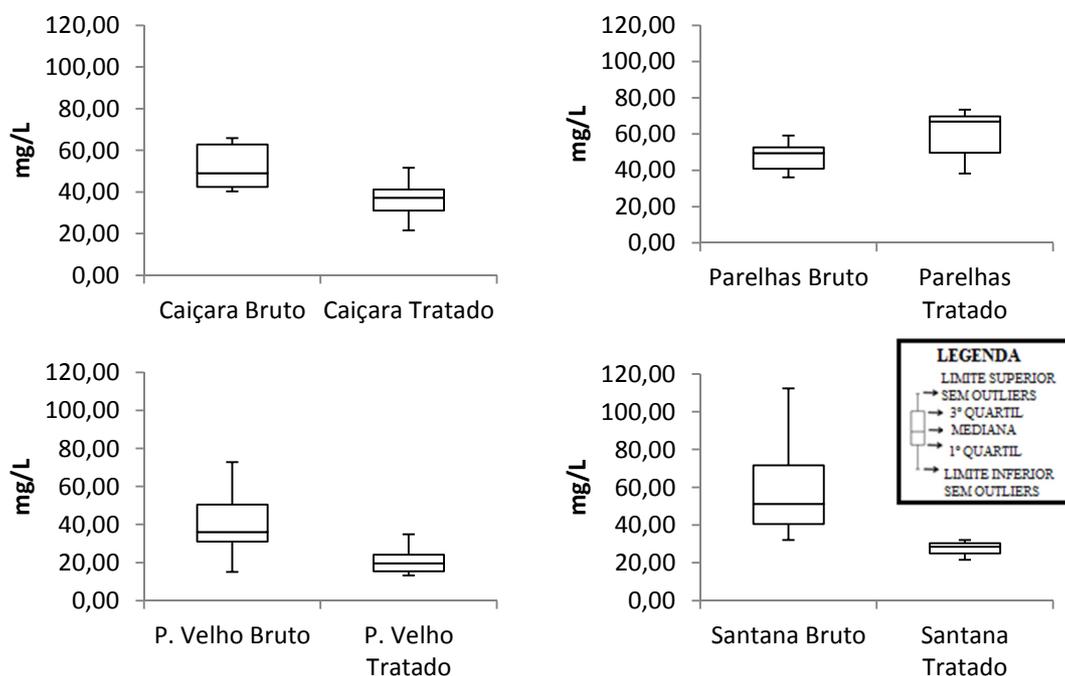


Gráfico 4 – Gráfico comparativo das concentrações de nitrogênio amoniacal total nos afluentes e efluentes dos sistemas estudados.

Fonte: Autor (2018)

Após o tratamento as amostras apresentaram dois comportamentos distintos, a estação de tratamento de Parelhas apresentou uma elevação do nitrogênio e as demais localidades apresentou um decaimento expressivo desse nutriente. Esse resultado já era esperado já que o sistema de Parelhas consta com somente uma lagoa facultativa, enquanto as demais contam com uma lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação.

Von Sperling (2014) mostra que os principais mecanismos para a remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização são: a volatilização da amônia (NH_3), assimilação da amônia pelas algas, assimilação dos nitratos pelas algas, nitrificação-desnitrificação e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. Tradicionalmente a volatilização é considerado o mecanismo mais importante e para isso a atividade fotossintética das algas é primordial já que eleva o pH do meio líquido favorecendo o desprendimento da amônia livre para a atmosfera. No entanto outros alguns autores vem questionando a importância

da volatilização da amônia, dando maior destaque para a assimilação pelas algas, sedimentação ao fundo das lagoas e da nitrificação e desnitrificação em algumas certas condições de temperatura. Seguindo esses princípios é entendido que as lagoas de maturação oferecem as condições para a redução da concentração do nitrogênio

A remoção de fósforo nos sistemas foi muito discreta, inclusive mostrando um aumento da concentração desse nutriente nos efluentes de saída nas cidades Santana do Seridó e Parelhas. O sistema de lagoas não mostra grande eficiência na remoção de nutrientes. O fósforo presente no esgoto é composto por fósforo orgânico e fosfato, sendo esse último em maior quantidade. O principal mecanismo para a retirada desse nutriente, em lagoas de maturação, é a precipitação dos fosfatos em condições de elevado pH. Em lagoas muito rasas a remoção de fósforo pode ser melhorada (VON SPERLING, 2014).

Encontrou-se a menor concentração média de fósforo no efluente da estação de Pedro Velho com 4,0 mg/l, já a maior foi identificada na estação de Caiçara do Rio do Vento com 12,6 mg/L. No Gráfico 5 pode-se observar o comportamento do fósforo no afluente e do efluente, onde a mediana dos efluentes apresentaram valores menores do que o afluente nas cidades de Pedro Velho e Caiçara do Rio do Vento, já em Parelhas e Santana do Seridó esses valores foram superiores a concentração afluente, indicando que o fósforo não está precipitando, em geral o pH médio de Parelhas e Santana do Seridó são respectivamente 7,42 e 7,61, valores muito baixo para propiciar a sedimentação do fósforo.

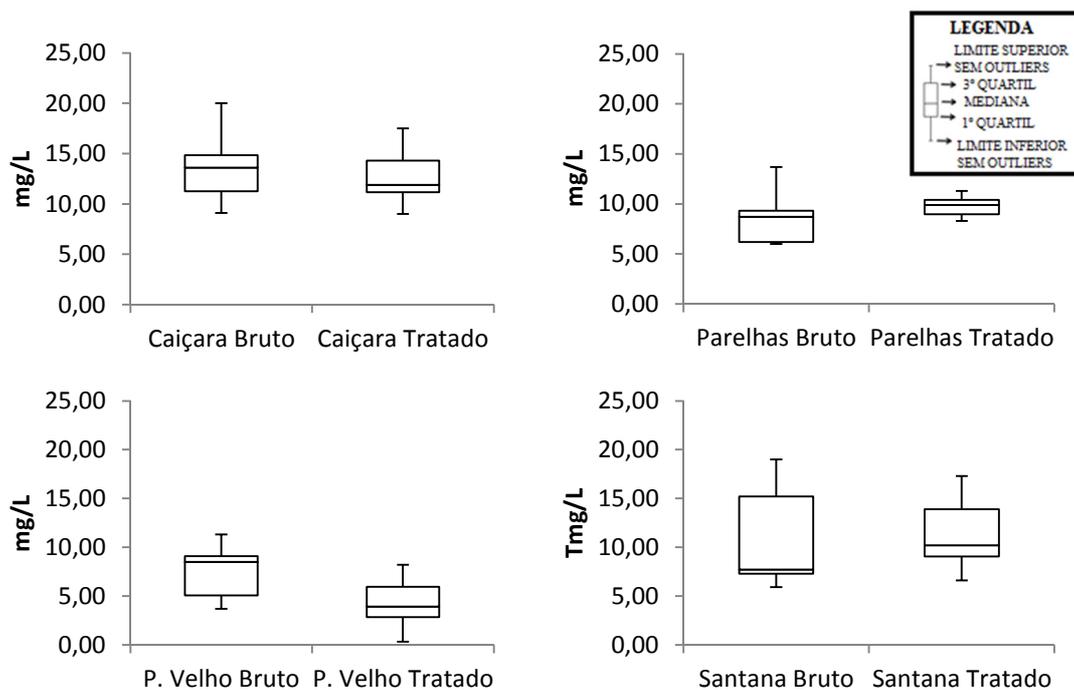


Gráfico 5 – Gráfico comparativo das concentrações de fósforo nos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados.

Fonte: Autor (2018)

Foi encontrada nas legislações internacionais valores bastante restritivos para os nutrientes, Israel estabelece padrões de 25,0 e 5,0 mg/L, para nitrogênio e fósforo, respectivamente, a Itália ainda mais restritiva adota padrão de 15,0 mg/L de nitrogênio e 2,0 mg/L de fósforo. (JEONG, KIM e JANG, 2016)

A maioria das legislações voltada para o reúso não apresentam índices fechados para esses nutrientes visto que a necessidade do aporte de nutriente vai depender do uso programado. A Resolução CONAMA nº 430/2011 apresenta valores para lançamento em corpos hídricos de 20,0 mg/L de nitrogênio e deixa a cargo dos órgãos ambientais estaduais definir os parâmetros praticáveis para o fósforo. Para irrigação a necessidade de nitrogênio e fósforo vai depender da cultura a ser irrigada e das técnicas utilizadas, dessa forma entende-se que não se pode limitar um valor restritivo para os nutrientes, mas se somente se, o reúso for empregado utilizando parâmetros técnicos adequados, principalmente com o acompanhamento da qualidade final do efluente.

Os valores observados nas análises desse estudo mostram que em poucas situações os sistemas de tratamento estão produzindo efluente com

níveis de nutrientes compatíveis com as legislações nacionais e internacionais, seja para lançamento em corpo receptor ou reúso.

4.3. Remoção de Microrganismos

A remoção de coliformes termotolerantes do esgoto tratado está ligada principalmente à preservação da saúde humana, já que essas bactérias são os bioindicador mais utilizados para garantir a remoção de bactérias patogênicas da água. Em todo mundo existem normas que buscam quantificar valores seguros de concentração dessas bactérias para diferentes usos. A WHO (2006) indica o valor de 1.000 UFC/100ml de *Escherichia Coli* (*E. coli*), para o uso irrestrito na agricultura.

Bastos e Bevilacqua (2006) em um estudo desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) propõem como valores na faixa de 1.000 NMP/100ml a 100.000 NMP/100ml, dependendo do uso e da forma de irrigação.

Buscando resumir as principais legislações quanto aos parâmetros de controle dos coliformes termotolerantes, foi adaptado na Tabela 15 as principais legislações internacionais que limitam a quantidade de bactérias termotolerantes na água de irrigação (JEONG, KIM & JANG, 2016).

Tabela 15 – Resumo das legislações internacionais referente a coliformes termotolerantes.

| Coliformes termotolerantes/100ml | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|---------------|--|---|
| WHO | US-EPA | França | Grécia | Israel | Espanha | Coreia do Sul |
| 1.000 <i>E. coli</i> (UFC) Irrestrita | CF - ND (UFC) Culturas agrícolas | <i>E. coli</i> (UFC) ≤ 250 Irrestrita | <i>E. coli</i> (UFC) ≤ 5 (80%) ≤ 50 (95%) Irrestrito | CF (UFC) ≤ 10 | FC (UFC) ≤ 100 - Vegetais consumidos crus | CT - ND Culturas agrícolas |
| 10.000 <i>E. coli</i> (UFC) Restrita | CF ≤ 200 (UFC) Culturas agrícolas processadas | <i>E. coli</i> (UFC) ≤ 10.000 Todas exceto aquelas que são ingeridas cruas. | <i>E. coli</i> (UFC) ≤ 200 | | FC (UFC) ≤ 1000 - Vegetais para consumo humano | CT ≤ 200 (NMP) Culturas agrícolas processadas |

CF - Coliformes Termotolerantes, CT - Coliformes Totais, ND - Não detectável, NMP – Numero mais provável, UFC- Unidade Formadora de Colônia.

Fonte: Adaptado de Jeong, Kim e Jang (2016).

O Gráfico 6 mostra as variações das concentrações de coliformes termotolerantes no afluente e efluente dos sistemas estudados. Os valores representam o número mais provável de coliforme termotolerantes por 100 ml (NMP/100 ml). A concentração média do afluente está na ordem de 10^7 , dentro das características dos esgotos brutos de vários municípios do Rio Grande do Norte, conforme monitoramento realizado por Araújo *et al.* (2011). A concentração média do esgoto tratado na faixa de 10^6 , não se enquadrando na faixa recomendada para reúso agrícola.

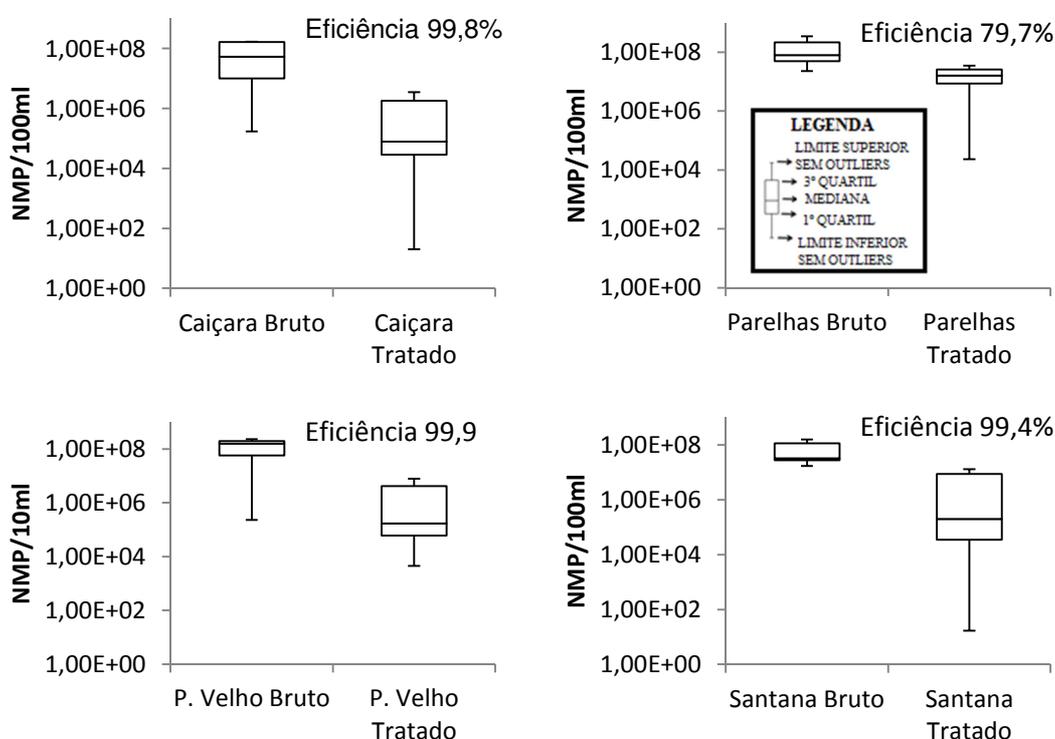


Gráfico 6 – Gráfico comparativo das concentrações de coliformes termotolerantes nos afluentes e efluentes dos sistemas estudados, com as respectivas eficiências, com base nas concentrações medianas.

Fonte: Autor (2018)

O reúso agrícola sendo uma atividade com acesso restrito e com possibilidade de implantação de medidas de segurança que minimizam os riscos de contaminação das culturas irrigadas e das pessoas envolvidas no processo produtivo pode apresentar parâmetros menos restritivos quanto a presença de coliformes termotolerantes. A carência hídrica e a necessidade das populações do semiárido promover alternativas de reúso é fato impactante

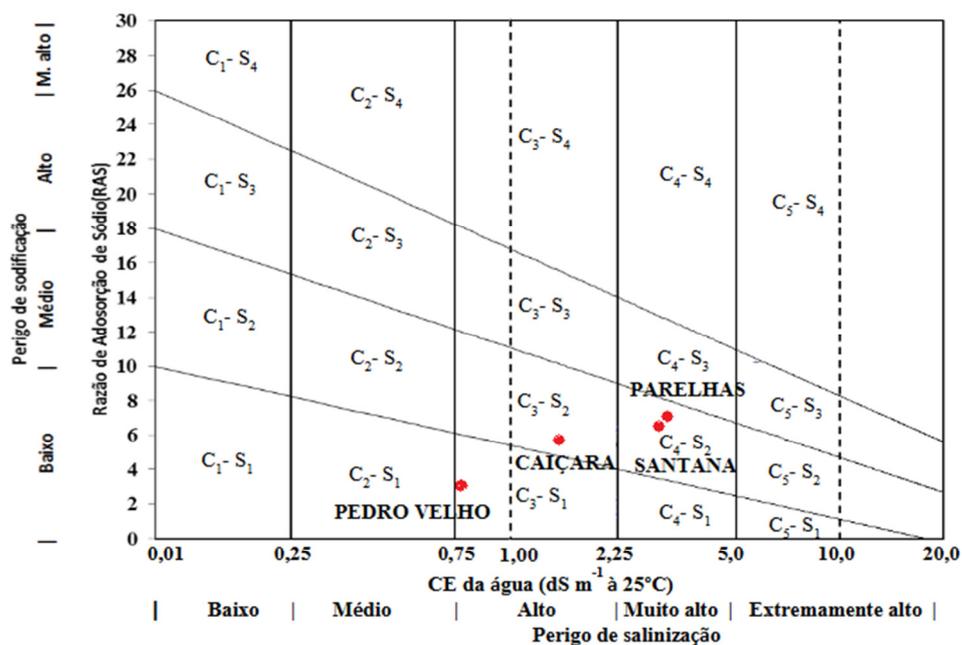
nos limites de aceitabilidade desse parâmetro. Assim pode-se fazer uso das recomendações apresentadas por Bastos e Bevilacqua (2006). Associado a isso a gestão e utilização consciente do esgoto tratado é fato que vai promover maior segurança sanitária.

As irrigações de plantas forrageiras minimizam o risco de contaminação humana. Nesse estudo três das quatro ETE utilizam o efluente para irrigação de culturas agrícolas destinadas a alimentação animal. Apenas no sistema de Parelhas o reúso não obedece a manejo ou rotação já que o capim é plantado nas margens do rio. Medidas simples de manejo podem garantir a segurança do agricultor e do rebanho. Cuidados na retirada das hastes de capim ou das raquetes de palmas minimizam a contaminação por contato direto e a interrupção da irrigação dez dias antes da colheita são alternativas que viabilizam a produção com esgoto tratado.

O sistema de reúso empregado em Pedro Velho é simples e minimizam os riscos de contaminação, já que é limitada ao período de desenvolvimento da planta. Na fase de frutificação a irrigação é paralisada possibilitando a segurança sanitária dos frutos, mesmo com a utilização de culturas rasteiras como o feijão e jerimum. Contudo o processo é manual, colocando em risco a saúde do trabalhador enquanto que o ideal seria minimizar o contato do operador com o efluente.

4.3. Riscos de Salinização e Sodificação

A classificação do efluente para os riscos de salinidade e sodificação do solo segue método proposto por Telles (1984) e CETESB (2005) sendo usada a condutividade elétrica e a Razão de Adsorção de Sódio (RAS). A condutividade é dividida em faixas com mostrada No Gráfico 7, variando de C1 a C5 e a RAS dividida entre S1 e S4. Na mesma figura estão apresentadas as faixas de risco para a salinização e sodificação.



CE- Condutividade Elétrica; C1 - Águas de baixa salinidade; C2 - Águas de salinidade média; C3 - Águas de alta salinidade; C4 - Águas de salinidade muito alta; C5 - Águas de salinidade extremamente alta; S1 - Águas fracamente sódicas; S2 - Águas medianamente sódicas; S3 - Águas altamente sódicas; S4 - Águas extremamente sódicas.

Gráfico 7 – Diagrama de classificação quanto à salinidade e sodicidade dos efluentes para irrigação.

Fonte: Adaptado de CETESB (2005)

Dessa forma os efluentes foram enquadrados pela condutividade elétrica média seguindo a classificação proposta e apresentou-se os valores encontrados e sua respectiva classificação e risco de salinização na Tabela 16.

Tabela 16 – Condutividade Elétrica média do esgoto tratado de cada ETE, seguida das respectivas classificações de risco para a salinização.

| ETE - Município | Caiçara do Rio do Vento | Parelhas | Santana do Seridó | Pedro Velho |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Condutividade Elétrica | 1.689µS/cm | 3.023µS/cm | 2.956µS/cm | 766µS/cm |
| Classificação | C3 – Risco Alto | C4 – Risco Muito Alto | C4 – Risco Muito Alto | C3 – Risco Alto |

Fonte: Autor (2018)

A classificação C3 sugere risco de salinização do solo alta e, portanto, o solo de aplicação dessa água residuária deve possuir boas condições de drenagem, além de requerer acompanhamento constante e utilização de culturas que se adaptem bem ao nível de salinidade da água de irrigação.

A classificação C4 indica um risco de salinização muito alto, geralmente não sendo indicada a irrigação com águas com essas características, mas excepcionalmente pode-se utilizar esses efluentes desde que o solo seja arenoso e com irrigação abundante além de escolher uma cultura resistente à salinidade.

Jeong, Kim e Jang (2016), em sua revisão bibliográfica, identificaram padrões de condutividade elétrica aceitáveis nas legislações internacionais, encontrando valores restritivos variando de $\leq 700 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $\leq 3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. A Lei nº 4.593 do município de Caicó/RN apresenta padrões para a condutividade elétrica variando de $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ e RAS inferior a 12, acompanhando os valores de referencia propostos por Bastos e Bevilacqua (2006).

Nas ETE estudadas identificou-se efluentes com nível médio de condutividade elétrica que promovem riscos de salinização de alto a muito alto. Esse dado deve ser considerado no momento da avaliação da utilização do efluente, incluindo valores não aceitáveis em países com legislação mais restritiva como Coréia do Sul, Israel, Itália e Portugal.

Alternativas podem ser utilizadas para garantir a segurança do uso de efluentes salinos, escolher uma cultura resistente que suportem a salinidade e utilize os sais dissolvidos como forma de crescimento, como por exemplo, a planta forrageira conhecida como erva-sal (*atriplexnumulária*). Promover critérios de irrigação que possibilitem a recuperação do solo, não sobrecarregando com taxas excessivas de irrigação e a divisão das áreas agrícolas em lotes intercalando os períodos de irrigação são uma ótima alternativa.

Outro parâmetro que pode oferecer riscos ao meio ambiente e Conseqüentemente as culturas irrigadas com esgoto tratado é o RAS, esse fator avalia o risco de sodificação do solo baseado na relação entre os íons de sódio, magnésio e cálcio, valores mais elevados dessa relação torna maior o risco de impermeabilização do solo. Na Tabela 17 apresentamos os valores médios do RAS dos efluentes estudados.

Tabela 17 – RAS do esgoto tratado de cada ETE e respectivas classificação e risco de sodificação do solo.

| ETE - Município | Caiçara do Rio do Vento | Parelhas | Santana do Seridó | Pedro Velho |
|-----------------|-------------------------|----------------|-------------------|----------------|
| RAS | 5,8 | 6,7 | 6,3 | 2,7 |
| Classificação | S2-Risco Médio | S2-Risco Médio | S2-Risco Médio | S1-Risco Baixo |

Fonte: Autor (2018)

A classificação S1 está ligada a uma água fracamente sódica um baixo risco de impermeabilização do solo, podendo ser usada em quase todas as culturas vegetais.

A classificação S2 representa uma água mediamente sódica, não devendo ser usada para irrigação em solos com muita fração fina, mas é adequada a irrigação de solos com grande quantidade de matéria orgânica ou com granulometria de média a grossa.

As amostras analisadas em geral mostraram efluentes dentro da faixa de média a baixa sodicidade, possibilitando o emprego do esgoto tratado em uma grande variabilidade de solos, mas esse dado não descarta o monitoramento constante das condições de aplicação da água de reúso nas culturas agrícolas.

O Gráfico 8 mostra a variação em $\mu\text{S}/\text{cm}$, quanto à condutividade elétrica, dos afluentes e efluentes das estações de tratamento monitoradas. Visualiza-se que a condutividade elétrica média é maior nas cidades inseridas no semiárido potiguar, e ainda mais elevada na Região do Seridó, fato explicado pela característica do abastecimento dessas cidades, onde os mananciais de abastecimentos são açudes, que acumulam sais e sofre constantemente com a eutrofização, associado a isso a intermitência do abastecimento de água faz com que a população adote medidas de redução de consumo, ou ainda a utilização de fontes alternativas, na maioria das vezes com água de pior qualidade, salobras ou de barreiros, contribuindo com o aumento da condutividade elétrica do efluente.

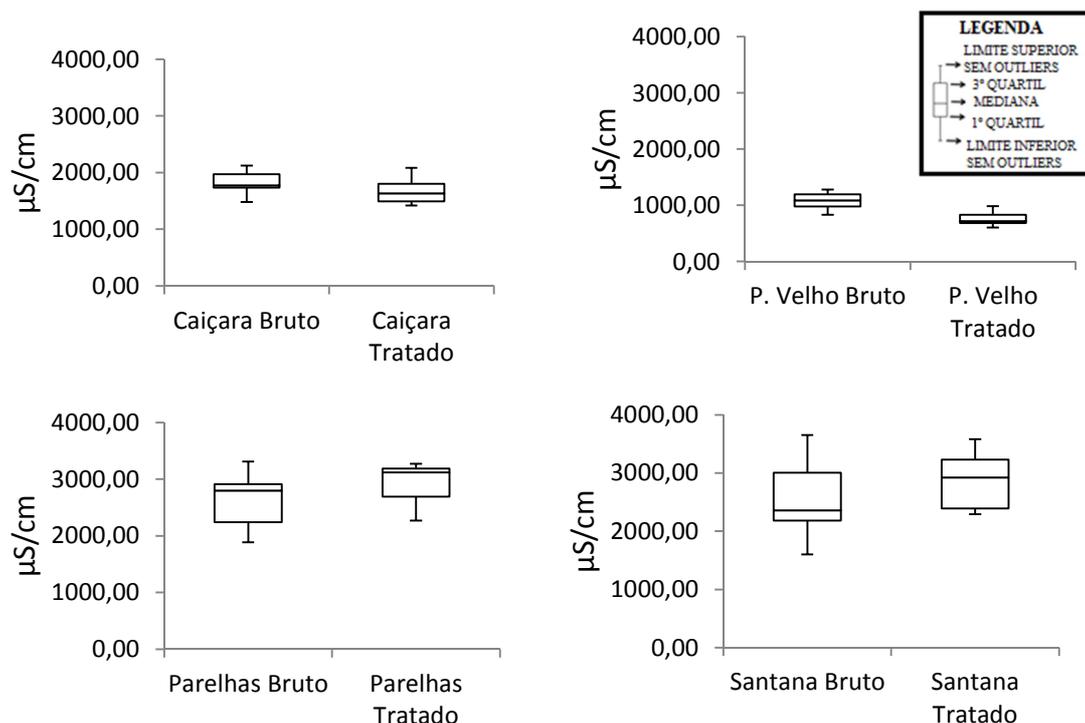


Gráfico 8 – Gráfico tipo "boxplot" da condutividade Elétrica nos esgotos brutos e tratados dos sistemas estudados.

Fonte: Autor (2018)

Outro fator observado foi que, após o tratamento dos sistemas a condutividade elétrica média do efluente se tornou maior do que o afluente. Verificou-se esse fato nos sistemas de Parelhas e Santana do Seridó.

O uso de esgoto sanitário depende do manejo adequado da irrigação, do monitoramento das características do solo e da cultura. Os efeitos da salinidade, da sodicidade e da alcalinidade consistem em limitantes para o uso continuado de águas residuárias na irrigação de culturas agrícolas (BARROSO; WOLFF, 2011, p.234).

A condutividade elétrica deve ser avaliada como um fator de risco a salinização do solo, mas deve ser sempre associado ao RAS para que possibilite uma análise mais criteriosa, adequando o tipo de cultura mais indicada considerando essas duas variáveis.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, indica padrões de pH para lançamento em corpo receptor variando de 5 a 9. Valores idênticos aos sugeridos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2012). A revisão bibliográfica realizada por Jeong, Kim e Jang (2016), que abordou dez legislações internacionais, encontrou limites de pH entre 5,8 e 9,5,

mas apenas cinco das dez legislações estudadas apresentou valores estabelecidos.

Durante o processo de tratamento em lagoas de estabilização ocorre a proliferação de microalgas e estas são responsáveis por parte do tratamento do esgoto. Durante o processo da fotossíntese as algas promovem uma elevação natural do meio líquido, fato esse que torna esperado um efluente com pH mais elevado do que o afluente. No Gráfico 9 visualiza-se a variação do pH no afluente e efluente.

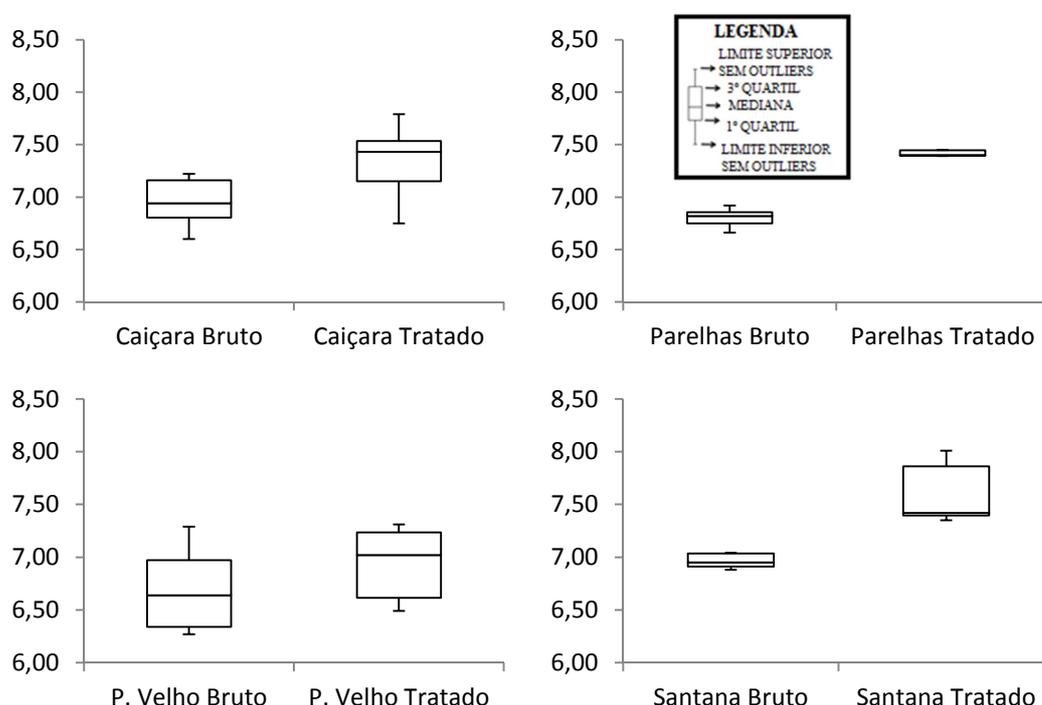


Gráfico 9 – Gráfico tipo "boxplot" do pH do afluente e efluente dos sistemas estudados.
Fonte: Autor (2018)

No efluente tratado encontrou-se como valor mínimo 6,5 na cidade de Pedro Velho e com valor máximo 8,0 na cidade de Santana do Seridó.

A análise do pH sugere padrões normais e aceitáveis para o esgoto bruto e tratado, se mostrando adequados para a disposição final em rios ou para a prática do reúso.

É importante entender que valores baixos de pH favorecem a mobilidade de metais no solo, podendo promover a contaminação de fontes hídricas ou das culturas irrigadas. A disponibilização de metais como o ferro pode ser vantajoso para o cultivo de algumas culturas. Já o pH mais elevado pode

favorecer a atividade bacteriana, importantes para o tratamento do esgoto e para a manutenção da microbiota do solo.

5. CONCLUSÃO

Os sistemas estudados mesmo promovendo boa eficiência na remoção de DBO e DQO, na ordem de 81% e 69%, respectivamente, condizente com as configurações das ETE, não apresenta efluente adequado ao reúso agrícola. Tomando por base as melhores médias obtidas por ETE, dos parâmetros analisados obteve-se: DBO média $\geq 66\text{mg/L}$, DQO média $\geq 240\text{ mg/L}$, coliformes termotolerantes médio $\geq 1,01 \times 10^6$ NMP/100ml, sólidos suspensos totais médio $\geq 61\text{ mg/L}$, nitrogênio médio $\geq 21,0\text{ mg/L}$ e condutibilidade elétrica $\geq 766\mu\text{S/cm}$.

Os afluentes dos municípios de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas e Santana do Seridó apresentam uma concentração de DBO superior as recomendadas na literatura e usadas como parâmetros de projeto, conseqüentemente as ETE estão operando com sobrecarga orgânica.

O reúso do esgoto tratado é utilizado nas cidades de Caiçara do Rio do Vento, Parelhas e Santana do Seridó por falta de alternativa hídrica para a subsistência das populações agrícolas. Os sistemas de irrigação dessas cidades são criados pelos próprios usuários gerando risco a saúde e ao meio ambiente ou assessorado por instituições de pesquisa e ensino, possibilitando a minimização dos impactos adversos do reúso.

O sistema de reúso aplicado no município de Pedro Velho foi desenvolvido localmente oferecendo risco de contaminação microbiológica ao operador, pelo contato direto com o efluente, mas apresenta boa prática de manejo na irrigação, minimizando o risco de contaminação do solo e a potencialidade de contaminação dos frutos.

Os efluentes classificados com risco para a salinização do solo de alto a muito alto são utilizados na irrigação de culturas agrícolas por vários anos consecutivos nos municípios Caiçara do Rio do Vento e Parelhas, não apresentando prejuízos perceptíveis para a produtividade das culturas de capins irrigadas.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969: **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/** Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. 88 p. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.** Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <<http://piranhasacu.ana.gov.br/produtos/sinteseDiagnostico.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

ANDRADE NETO, Cicero Onofre de. **O que vamos fazer com os esgotos tratados.** Artigo, Infraestrutura Urbana, São Paulo, v. 2011, n. 9, p.80-80, nov. 2011. Mensal. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/9/o-que-vamos-fazer-com-os-esgotos-tratados-especialista-241105-1.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

APHA *et al.* **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22 ed. American Public Health Association, American Water Works Association, WaterFederation. Washington, DC., USA, 2012.

ARAÚJO, André Luís Calado *et al.* **Avaliação Operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no Estado do RN.** Programa de Pesquisa em saúde e saneamento. Fundação Nacional de Saúde. Natal, 2011.

BARROSO, Lidiane Bittencourt; WOLFF, Delmira Beatriz. **Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, 2011, v. 8. n. 3: p. 225-236.

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; ANDRADE NETO, Cícero Onofre de; CORAUCCI FILHO, Bruno; MARQUES, Marcos Omir. Cap. 1 - Introdução. In: BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier *et al.* **Nutriente de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 1-22.

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; BEVILACQUA, Paula Dias. Cap. 2 - Normas e Critérios de Qualidade para Reúso de Água. In: SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos *et al.* **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 17-61.

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; BEVILACQUA, Paula Dias; ANDRADE NETO, Cícero Onofre de; VON SPERLING, Marcos. Cap. 2 - **Utilização de Esgotos Tratados em Irrigação - Aspectos Sanitários.** In: BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier *et al.* **Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 23-59.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2.ed. São Paulo: Ed. Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>> Acesso em: 31 jan. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 31 jan. 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 31 jan. 2018.

BRASIL. SUDENE. Nota Técnica nº 05/2017/CGDS/DPLAN/SUDENE, 18 de abril de 2017. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/images/2017/arquivos/NOTA_T%C3%89CNICA_n%C2%BA__05_-_2017.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.

BLUM, José Roberto Coppini. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos (Ed.). **Reúso de água.** São Paulo: Editora Manole Ltda., 2003. Cap. 5. p. 125-174. (Coleção Ambiental).

CAICÓ/RN (Município). Lei nº 4.593, de 19 de junho de 2013. **Recomenda critérios e padrões de qualidade para água de reúso a ser utilizada nas seguintes atividades: produção agrícola, fins urbanos, piscicultura e dá outras providências.** Disponível em: <<http://caico.rn.gov.br/wp-content/uploads/2013/08/Portarias-do-dia-26.08.2013.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

CETESB. Instrução técnica nº 31. **Irrigação com Água de Reúso Proveniente de Esgoto Sanitário Tratado.** São Paulo. 2005. 17p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos *et al.* Cap. 3–Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reúso da Água. In: SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos *et al.* **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 17-61.

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>>. Acesso em: 05 set. 2018.

EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Monitoramento Pluviométrico.** 2018. Disponível em: <<http://189.124.130.5:8181/monitoramento/monitoramento.php>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

EPA, **Guidelines for Water Reuse 600/R-12/618;** Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2012. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

JEONG, Hanseok, KIM, Hakkwan e JANGTaeil. "Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea." *Water* 8.4, 169, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/8/4/169/htm>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

KUBLER, Helene.; FORTIN, Alex.; MOLLETA, Lucas. **Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/pdf/Reuso_nas_Crises.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.

KUMAR, Dinesh; HIREMATH, Anand M.; ASOLEKAR, Shyam R. **Integrated management of wastewater through sewage fed aquaculture for resource recovery and reuse of treated effluent: a case study**. *APCBEE procedia*, v. 10, p. 74-78, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670814001699>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

LIBUTTI, Angela *et al.* **Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions**. *Agricultural Water Management*, v. 196, p. 1-14, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377417303347>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

MARIN, Philippe, *et al.* **Water Management in Israel**. 2017. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28097>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

NUVOLARI, Ariovaldo, *et al.* **Esgotos Sanitários: coleta, transporte, tratamento e Réúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

PEDRERO, Francisco *et al.* **Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece**. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 9, p. 1233-1241, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410001009>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

PINTO, Marcelo Antônio Teixeira; FORESTI, Eugênio; MARQUES JÚNIOR, José. Cap 10 - Réúso das Águas Residuárias. Uma Análise Crítica. In: SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos *et al.* **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 394-403.

SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos; AISSE, Miguel Mansur; BASTOS, Rafael Kopschitz; PIVELI, Roque Passos. Cap 1 - Utilização de Esgotos Sanitários - Marcos Conceituais e Regulatórios. In: SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos *et al.* **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-15.

SOUZA, Nadja Gláucia de Melo *et al.* **Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro**. *Revista Biofarm*, Volume 12, Número 03, 2016. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/biofarm/article/view/3214>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

TELLES, Dirceu D'Alkmin, **Capacitação Básica em Irrigação – DAEE**. ABID – Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 4ª Edição, São Paulo, 542p., 1984.

VOULVOULIS, Nikolaos. **Water Reuse from a Circular Economy Perspective and Potential Risks from an Unregulated Approach**. Current Opinion in Environmental Science & Health, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584417300193>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006. 213p.