



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CLARA BANDEIRA DE CARVALHO

DIAGNÓSTICO DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS EM
FORTALEZA-CE E REGIÃO METROPOLITANA

FORTALEZA

2018

CLARA BANDEIRA DE CARVALHO

**DIAGNÓSTICO DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS EM
FORTALEZA-CE E REGIÃO METROPOLITANA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos
Coorientador: Ma. Silvio Luiz de Sousa Rollemberg

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C322d Carvalho, Clara Bandeira de.
Diagnóstico do reúso de águas residuárias tratadas em Fortaleza – CE e Região Metropolitana. / Clara Bandeira de Carvalho. – 2018.
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos.

Coorientação: Prof. Me. Silvio Luiz de Sousa Rollemberg.

1. Reúso de água. 2. Reúso de águas residuárias tratadas. 3. Reúso não potável. 4. Tratamento de esgoto. 5. Potencial de reúso. I. Título.

CDD 628

CLARA BANDEIRA DE CARVALHO

**DIAGNÓSTICO DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS EM
FORTALEZA-CE E REGIÃO METROPOLITANA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. André Bezerra dos Santos
Coorientador: Ma. Silvio Luiz De Sousa Rollemberg

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Bezerra dos Santos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Silvio Luiz de Sousa Rollemberg (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Erlon Lopes Pereira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, aos meus pais e aos meus familiares
que me impulsionaram em todos os momentos,
até naqueles em que nem eu tive fé em mim.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, por ser meu sustentáculo e motivador. É através do amor dEle que encontro forças para buscar espalhar o bem.

Aos meus pais, que me concedem uma vida repleta de amor, respeito e vontade de servir a Deus e aos outros. Serei eternamente grata por todos os ensinamentos e por toda a confiança que depositam em mim. Vocês me estimulam a evoluir e eu espero poder ser reflexo do que há de melhor em vocês.

À Universidade Federal do Ceará e a todos os bons professores que tive o prazer de ter como exemplo de profissionais e seres humanos. Em especial, ao Prof. Dr. André Bezerra dos Santos por me inspirar com sua dedicação ao trabalho e por todo o conhecimento passado.

Ao Me. Silvio Rollemberg, por toda a paciência e por abrir as portas de sua pesquisa para mim. Sou grata pela honra de trabalhar ao seu lado.

A minha família, em especial aos meus avós, Aurileda, Francisco (*in memorium*), Alba e Francisco, aos meus tios Kátia, Alan, Eduardo (*in memorium*), Beto, Henrique, Alderly, Suely (*in memorium*) e Adriana, e aos meus primos Camila, Mariana, Luis Eduardo, Adriano, André, Pedro e João Henrique, por toda a paciência e por todo o amor dedicados a mim. Essa conquista e os frutos que virão dela também são de vocês.

Ao querido Murilo, por partilhar das dificuldades e das alegrias desse período. Seu amor e amizade foram de fundamental importância no alcance das minhas metas, espero poder retribuir.

Às amigas de faculdade e de profissão, Indira e Rebeca, por todos os momentos em que pudemos ser apoio umas para as outras, por todas as alegrias compartilhadas e por me ajudarem a ser alguém melhor.

A todos os amigos que enchem minha vida de alegria e me inspiram a continuar, por serem apoio e conforto, em especial a Thaís, João Paulo, Jonathan, Jéssica e Sarah.

À Cagece por todos os dados concedidos, em especial ao Me. Carlos Adller por toda a ajuda.

“Pois sabemos que a tribulação produz a paciência, a paciência prova a fidelidade e a fidelidade comprovada produz a esperança. E a esperança não engana.” Romanos 5, 3-5

RESUMO

No atual cenário da crise hídrica brasileira, a oferta de água e sua qualidade passam a ser afetadas tanto pelos eventos de seca quanto pela poluição e pelo consumo desregrado deste recurso. Assim, a reutilização de água surge como parte do uso racional da água, abrangendo o controle de perdas, a redução do consumo e a diminuição da geração de efluentes. Nesse contexto, o presente estudo faz um diagnóstico do reúso de águas residuárias tratadas em Fortaleza-CE e Região Metropolitana (RMF). Para isso, alguns dos projetos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) foram acessados e o potencial do reúso de água para fins urbanos de algumas das estações de tratamento de esgoto (ETEs) foi estudado. Parâmetros de qualidade do efluente tratado em 26 ETEs foram analisados entre janeiro e junho de 2018 e comparados aos padrões de reúso para fins urbanos propostos pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), em 2012. Além disso, foi conduzida uma pesquisa sobre os potenciais consumidores do efluente tratado. Constatou-se que nenhuma das ETEs analisadas nesse estudo conseguiu atender a todos os parâmetros de reúso por mais de um mês, revelando problemas nas tecnologias utilizadas ou na operação dos sistemas de tratamento. No entanto, observou-se o interesse de consumidores para o reúso a partir da água residuária tratada. Ademais, a pesquisa concluiu que por mais que existam avanços no âmbito do reúso no município, ainda há muitos desafios a serem enfrentados para que haja a consolidação da prática dentro da iniciativa pública, fortalecendo o reúso de águas como ferramenta de gestão hídrica.

Palavras-chave: Reúso de água. Reúso de águas residuárias tratadas. Reúso não potável. Tratamento de esgoto. Potencial de reúso.

ABSTRACT

In the current scenario of the Brazilian water crisis, the water supply and its quality start to be affected by both drought and pollution and the unregulated consumption of this resource. Therefore, the water reuse appears as part of rational use of water, covering loss control, reduction of consumption and decrease of effluents generation. In this context, the present study aimed at analyze the reuse scenario in Fortaleza – CE and its metropolitan region. For this, some projects of the Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) were assessed and the potential of water reuse of some wastewater treatment plants (WWTP) for urban purposes was studied. Parameters of effluent quality of 26 WWTP were analyzed between January and June of 2018 and compared with some reuse guidelines for urban purposes, for instance those from the United States Environmental Protection Agency (USEPA), in 2012. Furthermore, a survey of potential consumers for a treated effluent was conducted. It was found that none of the WWTP analyzed in this study was able to accomplish all the reuse parameters, revealing problems in the technologies used or in the operation of the treatment systems. However, it was observed the public interest for reuse practicing. Moreover, the research observed that although there are advances in the field of reuse, there are still many challenges to be faced in order to consolidate such practice as a strong tool of water management.

Keywords: Water reuse. Wastewater reuse. Non potable water reuse. Wastewater treatment. Reuse potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coleta e tratamento de esgoto no Brasil em 2016.....	15
Figura 2 – Distribuição da utilização de água de reúso no mundo de acordo com uso.....	20
Figura 3 – Sistema de Tratamento da ETE Guadalajara - Filtros de Carvão.....	30
Figura 4 – ETE com reúso de água do Complexo Beach Park.....	31
Figura 5 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	40
Figura 6 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para <i>E. coli</i> em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	40
Figura 7 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	41
Figura 8 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	41
Figura 9 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para <i>E. coli</i> em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	42
Figura 10 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)	42
Figura 11 – <i>Box-plot</i> da distribuição dos valores do parâmetro DBO.....	45
Figura 12 – <i>Box-plot</i> da distribuição dos valores do parâmetro <i>E. coli</i>	45
Figura 13 – <i>Box-plot</i> da distribuição dos valores do parâmetro SST	46
Figura 14 – Georreferenciamento da ETE Centro de Eventos	50
Figura 15 – Georreferenciamento da ETE SIDI	51
Figura 16 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	52
Figura 17 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para <i>E. coli</i> em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	52
Figura 18 – Resultados das ETES de lagoas de estabilização para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	53
Figura 19 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	53
Figura 20 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para <i>E. coli</i> em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	53
Figura 21 – Resultados das ETES de reatores anaeróbios para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da aplicação do reúso de água de acordo com o uso	16
Tabela 2 – Utilização das águas residuárias tratadas para fins não potáveis	23
Tabela 3 – Vazões médias e tratamentos empregados nas ETEs avaliadas	32
Tabela 4 – Parâmetros específicos para reúso urbano estabelecidos pela Resolução COEMA nº 02/02/17	34
Tabela 5 – Diretrizes da USEPA para usos urbanos de esgotos sanitários	34
Tabela 6 – Diretrizes da USEPA, SABESP e PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários	37
Tabela 7 – Principais problemas encontrados nas Estações de Tratamento de Esgoto de Fortaleza em 2013	47
Tabela 8 – Informações para cálculo de consumo de água em atividades de hidrojetamento realizadas pelas Unidades de Negócio de Fortaleza	49
Tabela 9 – Volume de água consumido por dia para atividades de hidrojetamento em Unidades de Negócio da Cagece	49
Tabela 10 – Investimentos em reúso de água previstos para a Cagece	55
Tabela 11 – Iniciativas da Cagece para adoção de práticas de reúso de águas residuárias	58
Tabela 12 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em janeiro de 2018	67
Tabela 13 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em fevereiro de 2018	68
Tabela 14 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em março de 2018	69
Tabela 15 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em abril de 2018	70
Tabela 16 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em maio de 2018	71
Tabela 17 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em junho de 2018	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E. COLI	Escherichia coli
EPA	Environmental Protection Agency
EPC	Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto
EPAR	Estação de Produção de Água para Reúso
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEB	Estações de Tratamento de Efluentes Biológicos
FBAS	Filtro Biológico Aerado Submerso
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal do Ceará
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LABOSAN	Laboratório de Saneamento Ambiental
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Policloreto De Alumínio
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PSI	Porcentagem de sódio intercambiável
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

RAS	Relação de adsorção de sódio
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiental do Estado do Ceará
SEUMA	Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente
SINGREH	Sistema Integrado para a Gestão dos Recursos Hídricos
SGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações do Saneamento no Brasil
SST	Sólidos em Suspensão Totais
UNBSI	Unidade de Negócio da Bacia da Serra da Ibiapaba
UNMTL	Unidade de Negócio Metropolitana Leste
UNMTN	Unidade de Negócio Metropolitana Norte
UNMTO	Unidade de Negócio Metropolitana Oeste
UNMTS	Unidade de Negócio Metropolitana Sul
URBFOR	Autarquia de Paisagismo e Urbanismo de Fortaleza
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

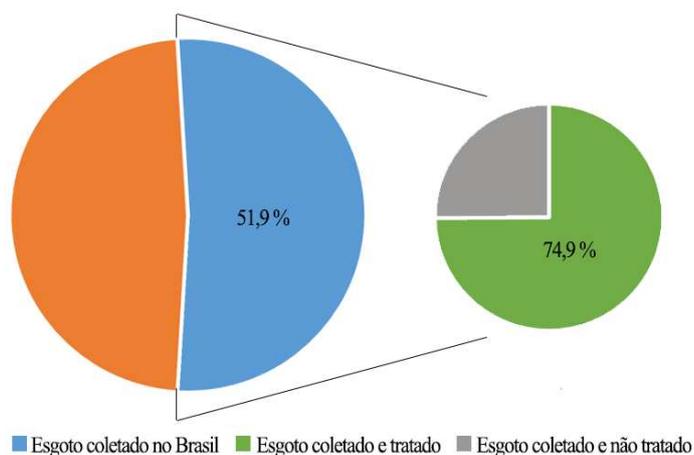
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 GERAL.....	19
2.2 ESPECÍFICOS.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 REÚSO DE ÁGUA.....	20
3.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS.....	24
3.2.1 Reutilização de águas residuárias para fins urbanos.....	24
3.2.2 Reutilização de águas residuárias para fins agrícolas.....	25
3.2.3 Reutilização de águas residuárias para fins industriais.....	26
3.2.4 Reutilização de águas residuárias na aquicultura.....	26
3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE REÚSO DE ÁGUA.....	27
3.4.1 Legislação no Brasil.....	27
3.4.2 Legislação no Ceará.....	28
3.5 EXEMPLOS DE REÚSO DE ÁGUA NO CEARÁ.....	29
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 LEVANTAMENTOS DE DADOS.....	32
4.2 PÂRAMETROS DE QUALIDADE PARA REÚSO.....	33
4.3 REMOÇÃO DE <i>OUTLIERS</i>	35
4.4 IDENTIFICAÇÃO DE CONSUMIDORES DA ÁGUA DE REÚSO.....	36
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE PARÂMETROS NACIONAIS E INTERNACIONAIS.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5.1 REÚSO A PARTIR DAS ETES.....	39
5.1.1 Problemas de infraestrutura e operação.....	46
5.1.2 Utilização da água de reúso das ETES.....	48
5.2 COMPARAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA USEPA E DA SABESP.....	51
5.3 PROJETOS DE REÚSO DE ÁGUA.....	55
6 CONCLUSÃO.....	59
ANEXOS.....	66

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância para vários aspectos da vida humana, sendo facilmente reconhecida sua importância biológica, econômica, cultural e ecossistêmica. Todavia, sabe-se que a disponibilidade desse recurso é cada vez menor, enquanto 70% da superfície do planeta é coberta por água, apenas 2,5% são água doce (incluindo geleiras, águas subterrâneas, calotas polares e águas superficiais), o que significa que menos de 1% da água da Terra está disponível com fácil acesso para uso humano (USGS, 2016 *apud* SAPKOTA, 2018).

O cenário mundial de aumento demográfico, aliado ao uso desregrado de água por aqueles que têm acesso, aumentam consideravelmente o consumo deste recurso. Os esgotos que não são tratados, assim como o descarte inadequado de resíduos sólidos e industriais, contribuem com a contaminação de aquíferos superficiais e subterrâneos, diminuindo o acesso e a disponibilidade da água (CAIXETA, 2010). No Brasil, em 2016, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) registrou para o país uma população total de aproximadamente 205 milhões de habitantes. Nesse mesmo ano, segundo dados do Sistema Nacional de Informações do Saneamento no Brasil (SNIS), 83,3% da população do país possuía atendimento total por rede de água tratada e apenas 51,9% dos habitantes brasileiros possui atendimento total com rede de esgotos. Do esgoto coletado, apenas 74,9% é tratado, sendo o restante destinado inadequadamente. A Figura 1 apresenta uma representação gráfica dos dados de coleta e tratamento de esgoto para o Brasil em 2016.

Figura 1 – Coleta e tratamento de esgoto no Brasil em 2016



Fonte: Elaborado pela autora (2018), baseado em SNIS (2017).

A partir desse cenário é possível refletir sobre a importância da busca por alternativas que reduzam o consumo de água com qualidade para abastecimento e também a

disposição inadequada de efluentes, o que coloca a reutilização de águas residuárias tratadas como parte do uso racional da água, atividade que também abrange o controle de perdas, a redução do consumo de água e a diminuição da geração de efluentes (MORELLI, 2005).

O planejamento, a implantação e a operação de sistemas de reúso de água trazem uma série de melhorias, sendo comum à todas as modalidades a minimização das descargas de esgotos em corpos de água e a conservação dos recursos subterrâneos. Na Tabela 1 são apresentadas outras vantagens e também algumas das desvantagens da aplicação das práticas de reutilização de águas residuárias tratadas.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da aplicação do reúso de água de acordo com o uso

<i>Fins do reúso</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Urbanos	Redução de despesas com água e esgoto; Menos riscos de contaminação; Descentralização do tratamento de esgotos.	Custos elevados de sistemas duplos de distribuição; Dificuldades operacionais; Riscos potenciais de conexões cruzadas.
Agrícolas	Elevação da concentração de matéria orgânica do solo, tornando possível a maior retenção de água; Aumento da produção de alimentos; Redução dos custos com fertilizantes e matéria orgânica; Recarga indireta de aquíferos.	Possibilidade de lixiviação de elementos para aquíferos subterrâneos; Acúmulo de poluentes químicos no solo; Contaminação de trabalhadores e de animais; Riscos de contaminação biológica e por metais pesados; Riscos da salinidade.
Industriais	Redução de despesas com água e esgoto; Melhoria da imagem diante da sociedade; Descentralização do tratamento de esgotos.	Riscos de incrustação e corrosão de tubulações; Risco de formação de biofilmes.
Aquicultura	Possibilidade de geração de diversos produtos comercializáveis;	Riscos de contaminação dos animais aquáticos cultivados,

	Aumento da qualidade do efluente final.	gerando risco aos consumidores e ao meio ambiente; Dependendo do local de aplicação da prática, há a possibilidade de contaminação do ambiente aquático; Necessidade de controle constante dos níveis de nitrogênio e oxigênio dissolvido.
--	---	--

Fonte: Elaborado pela autora (2018) baseado em Hespanhol (2002), Ortiz (2018) e Balassiano (2018).

No Brasil, cresce o número de iniciativas de reúso de água, principalmente no âmbito privado, sendo estimada pela Agência Nacional de Águas (ANA), em 2017, uma capacidade de reúso instalada de cerca de 2m³/s, dos quais apenas 1,6m³/s seriam efetivamente reutilizados. Um dos grandes exemplos é da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que possui uma capacidade de produção de aproximadamente 600L/s de água de reúso na Região Metropolitana de São Paulo, utilizando-a em um programa de reúso em parceria com 23 empresas e 3 órgãos públicos, que utilizam a água para geração de energia, resfriamento de equipamentos, limpeza de pátios, ruas, monumentos, fachadas e praças, desobstrução de galerias, assentamento de poeira e em alguns processos industriais (SABESP, 2014).

No estado do Ceará, são muitos os investimentos em relação ao aumento dos índices de cobertura de água e coleta e tratamento de esgoto, no entanto, o lançamento de esgoto em corpos hídricos ainda apresenta um volume expressivo, deteriorando a qualidade dos recursos hídricos e prejudicando a qualidade de vida e a saúde da população. Segundo dados do Anuário de Estatísticas de 2017 do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), em 2016, a taxa de cobertura dos serviços esgoto em zonas urbanas do Ceará era de apenas 31,7%. No mesmo ano, a capital do estado, Fortaleza, chegou a alcançar um índice de cobertura de esgoto de 57,9% (IPECE, 2017). Esses fatores, aliados às condições climáticas da região, com regime de chuvas irregular e clima quente, com alta taxa de evaporação das águas superficiais e de irradiação solar (CAIXETA, 2010), levam à constatação da importância da utilização das práticas de reúso de águas residuárias como ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos.

Já existem no estado algumas experiências em relação a essa prática, advindas, principalmente, do setor privado. Todavia, diante do panorama exposto, constata-se a necessidade do desenvolvimento da prática também no âmbito público, favorecendo a

introdução do reúso de águas em escala plena no Ceará.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o cenário atual e as perspectivas para o reúso de águas residuárias em Fortaleza e sua Região Metropolitana (RMF), estudando a implantação da prática a partir dos efluentes gerados das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de melhores desempenhos operadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e também os projetos presentes e futuros da companhia para adoção da referida prática.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar as possibilidades de reúso de águas residuárias tratadas existentes em Fortaleza e Região Metropolitana;
- ✓ Realizar levantamento dos projetos em andamento e futuros que englobem o reúso de águas residuárias tratadas na área estudada;
- ✓ Apresentar o panorama atual e os próximos desafios.

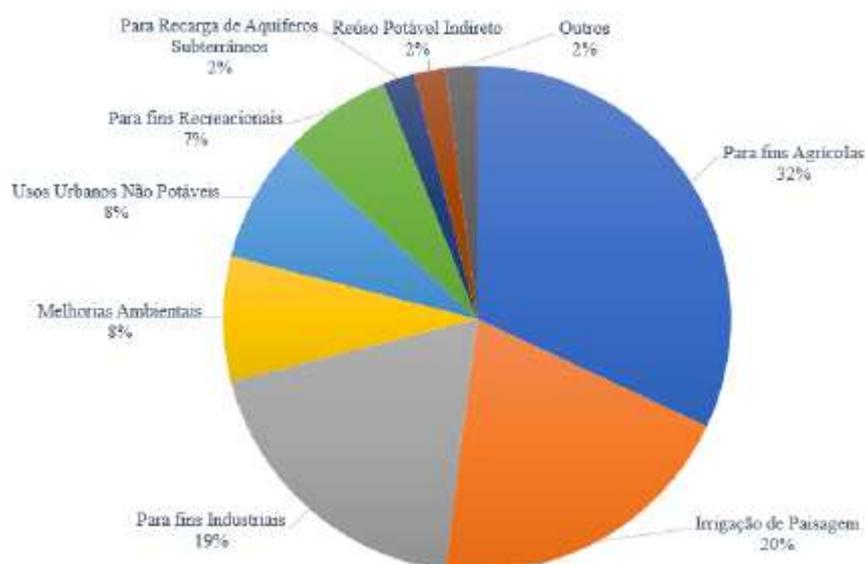
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 REÚSO DE ÁGUA

Práticas de reúso são apresentadas na história da sociedade há milênios com a destinação de águas residuárias para a irrigação de plantações (SALGOT; FOLCH, 2018). O aumento do consumo de água em todo o planeta, aliado à deterioração da qualidade dos corpos hídricos e às crises hídricas cada vez mais rígidas e frequentes, tornam o reúso de água ainda mais evidente como forma de garantir a continuidade do abastecimento de água, com destaque para a reutilização de águas residuárias tratadas (MANCUSO, 2002). Essa prática já é adotada há vários anos no mundo, e, no Brasil, ganha ênfase com a Lei nº 9.433/97, que define, como ferramenta de gestão, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos (WEBER *et al*, 2010).

O reúso de águas residuárias tratadas pode ser definido como a recuperação de efluentes de modo a utilizá-los em atividades menos exigentes, reduzindo a escala do ciclo hídrico em favor do balanço energético (METCALF; EDDY, 2003). Essa forma de reutilização de água apresenta diversas modalidades, apresentadas, quanto a distribuição mundial de uso, no relatório “*Municipal Water Reuse Markets*” de 2010, da empresa “*Global Water Intelligence*”, conforme pode ser visto na Figura 2 (BALASSIANO, 2018).

Figura 2 – Distribuição da utilização de água de reúso no mundo de acordo com uso



Fonte: Balassiano (2018).

Segundo Florencio, Bastos e Aisse, 2006; Asano, 2002 *apud* Gohringer, 2006 a utilização de águas residuárias domésticas como fonte alternativa de água apresenta diversas vantagens, sendo alguns exemplos:

- i. Alívio da demanda e preservação da oferta de água para usos múltiplos;
- ii. A reciclagem de nutrientes, proporcionando economia de insumos, como

- fertilizantes e ração animal;
- iii. A ampliação de áreas irrigadas e a recuperação de áreas degradadas ou improdutivas;
 - iv. A redução do lançamento de esgotos em corpos receptores, reduzindo impactos ambientais;
 - v. A promoção, em longo prazo, de uma fonte confiável de abastecimento de água dentro de uma comunidade;
 - vi. O gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, no planejamento global dos recursos hídricos;
 - vii. O encorajamento da população para conservar a água e adoção de práticas de reúso.

Em 2012, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), define as seguintes formas de utilização das águas residuárias:

Reúso indireto não-planejado da água: Acontece quando a água utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente aproveitada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

Reúso indireto planejado da água: Processo que descarrega os efluentes de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, que por sua vez são utilizadas de maneira controlada, no atendimento de alguma necessidade.

Reúso direto planejado das águas: É aquele cujos efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso. Esse método já está sendo praticado por algumas indústrias e em irrigações.

Reciclagem de água: Reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Funciona como uma fonte suplementar de abastecimento do uso original. A reciclagem da água é um caso particular do reúso direto planejado. (CETESB, 2012).

Segundo Caixeta (2010), existem milhões de pessoas que são abastecidas por formas indiretas de reúso de água, através da captação de águas de corpos hídricos que já foram utilizadas por usuários de montante. Essa prática de reutilização já foi bastante adequada, contudo, com a acentuação da contaminação dos reservatórios, deixou de ser aceitável, principalmente quando se tem em vista a falta de tratamento adequado dos efluentes lançados nos corpos hídricos. Nesse contexto, tornou-se necessário que o reúso de água não fosse classificado apenas em uso direto ou indireto, mas também em relação a sua finalidade: potável ou não potável.

a) Reúso potável

O reúso de águas residuárias tratadas para fins potáveis é ainda uma alternativa associada a riscos muito elevados devido a qualidade dos efluentes utilizados no reúso, que podem conter metais pesados, poluentes emergentes e organismos patogênicos, não sendo regulamentado no Brasil.

No entanto, um avanço em relação ao uso dessa prática foi feito com a publicação

do “*Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-water*”, de 2017, pela Organização Mundial da Saúde, na qual classifica e conceitua o reúso potável nas seguintes categorias: reúso potável indireto, reúso potável direto e reúso potável não planejado. Apesar da falta de regulamentação, o reúso potável indireto é praticado sem planejamento, visto que, os efluentes sanitários lançados em corpos hídricos são incorporados à água captada para abastecimento em cidades à jusante (BALASSIANO, 2018).

O reúso potável indireto planejado constitui-se por um tratamento secundário de esgotos associados a sistemas de tratamento avançado, com adição de balanceamento químico, se necessário, para lançamento em um corpo receptor que diminui as concentrações de poluentes através de diluição, sedimentação, oxidação etc. Alguns países adotam sistemas, tanto experimentais quanto públicos, com essa modalidade de reúso. Na Bélgica, por exemplo, a Companhia Intermunicipal de Água Veurne-Ambacht administra um sistema de tratamento de efluentes, distribuído em várias estações, composto por lodos ativados com remoção de nutrientes, ultrafiltração e osmose reversa, para então ser lançado em um aquífero arenoso; a água do aquífero é captada por meio de poços localizados à distâncias entre 33 e 153m dos pontos de lançamento dos efluentes (VAN HOUTTE; VERBAUWHEDE, 2008; VANDENBOHEDE et al., 2008 *apud* HESPANHOL, 2014).

O reúso potável direto diz respeito a introdução, após tratamento avançado, de efluentes domésticos tratados em Estações de Tratamento de Água (ETAs), sem passagem por corpos receptores. Os efluentes devem passar por tratamento secundário (sistemas convencionais ou sistemas de biorreatores de membrana), câmaras de equalização, sistema de tratamento avançado e, se necessário, por câmaras para balanceamento químico, para, antes do encaminhamento para ETA, passarem por um reservatório de retenção (natural ou construído) que tem por objetivos básicos, compensar a variação entre a produção e a demanda de água e a variação quanto a qualidade da água produzida, além de possibilitar um intervalo para constatação de eventuais deficiências no tratamento antes do lançamento nos sistemas de distribuição de água. Países como Estados Unidos, África do Sul, Austrália, Bélgica, Namíbia e Singapura possuem sistemas de reúso potável direto implantados, sem que tenham sido detectados problemas de saúde pública ligados ao processo (HESPANHOL, 2014).

Segundo Hespagnol (2014), em no máximo uma década a prática do reúso potável direto a partir de tecnologias avançadas de tratamento e de controle operacional será a alternativa mais viável para fornecer água potável. O reúso potável direto, além de outros benefícios, está associado à segurança do abastecimento, já que não necessita da construção de longas e custosas adutoras, utilizando de fontes de suprimento disponíveis nos pontos de

consumo, evitando o estresse hídrico nos pontos de abastecimento.

b) Reúso não potável

O reúso de águas residuárias para fins não potáveis é uma prática já consolidada em diversos países por ser considerada com menores riscos em relação ao reúso para fins potáveis.

Na França, por exemplo, as águas residuárias tratadas são utilizadas para a irrigação de áreas esportivas, parques e campos de golfe, com projetos que, somados, atendem a uma região de cerca de 156ha, sendo a maioria dessas áreas, localizadas em grandes hotéis e resorts (FABY; BRISSAUD; BONTOUX, 1999 *apud* CAIXETA, 2010).

No Canadá, parte dos efluentes tratados em ETEs também são utilizados para a irrigação de campos de golfe e irrigação urbana, sendo transportados por caminhões pipa das estações para os locais de aplicação das águas residuárias (GOHRINGER, 2006).

Em Singapura, a reutilização de água começou a ser considerada nos anos 70 e atualmente, as águas de reúso produzidas no país atendem a aproximadamente 30% da demanda de água no país, número que, em 2060 deverá aumentar para 55% (LEFEBVRE, 2018).

Outro exemplo de país com reutilização de águas residuárias para fins não potáveis, é Israel, onde cerca de 86% das águas residuárias domésticas tratadas são recuperadas e utilizadas para a irrigação agrícola, representando um total de 55% da água utilizada para este fim (KERSHNER, 2015).

A Tabela 1 apresenta as principais finalidades para o reúso não potável, de acordo com a literatura e as legislações pertinentes, juntamente com seus conceitos e também pesquisas e trabalhos científicos do Brasil que abordem cada uma das finalidades.

Tabela 2 – Utilização das águas residuárias tratadas para fins não potáveis

<i>Fins do reúso</i>	<i>Conceitos</i>	<i>Pesquisas brasileiras</i>
Urbanos	Costuma envolver menos riscos que as demais modalidades e pode ser classificado em irrestrito (quando a exposição pública é provável, exigindo um maior grau de tratamento) e restrito (quando a exposição do público à água é controlada), tendo como fim o uso em construção civil, reserva de proteção contra incêndios, lavagem de veículos, desobstrução e limpeza de	Balassiano, 2018; Rollemberg, 2017 FIESP, 2005 Morelli, 2005

	unidades de tratamento. irrigação de parques, canteiros e campos, entre outros.	
Agrícolas	Águas residuárias tratadas ou <i>in natura</i> são utilizadas para a irrigação de plantas.	Rocha, 2013 Saraiva; Konig, 2013 Carvalho R. S. et al., 2013 Rebouças <i>et al.</i> , 2010
Industriais	Utilização das águas residuárias dentro de processos industriais, como em caldeiras, torres de resfriamento ou águas de processo.	Aquim; Hansen; Gutteres, 2018 Ferraciolli et al., 2018 Calda; Samudio, 2016 Bordonalli; Mendes, 2009 Bona; Gohringer; Aisse, 2008
Aquicultura	Os esgotos tratados são utilizados na produção em ambientes confinados e controlados de organismos predominantemente aquáticos.	Ortiz, 2018 Fontenele, 2011 Monteiro, 2011 Magalhães, 2011 Freitas, 2006

Fonte: Elaborado pela autora (2018), baseado em Mancuso (2002).

3.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS

3.2.1 Reutilização de águas residuárias para fins urbanos

A população urbana, em 2014, correspondia a 54% da população mundial, e a previsão é que até 2050 dois terços da população mundial será de moradores urbanos, o que provocará o aumento em 50% da demanda global por água (WRG, 2009; UNWWAP, 2015 *apud* CHEN *et al.*, 2017). Este crescimento fará com que situações de escassez hídrica e deterioração da qualidade dos corpos hídricos fiquem ainda mais concentrados em áreas urbanas, elevando a necessidade por uma gestão integrada água urbana, que envolva soluções mais sustentáveis para sistemas de esgoto, água e águas pluviais (WILCOX *et al.*, 2016). O reúso de água surge como um dos componentes desse gerenciamento e é uma oportunidade de aumentar o volume de água disponível a um custo menor, além de melhorar resultados ambientais e sociais (NASIRI *et al.*, 2013; WILCOX *et al.*, 2016).

Para a implantação do reúso de águas residuárias tratadas para fins urbanos é

necessária a análise de fatores que podem ser limitantes ao sucesso da prática. Wilcox *et al.* (2016), divide esses em três grandes polos: sociedade, meio ambiente e economia. Assim como em qualquer aplicação de reúso, para a modalidade urbana da prática é preciso a realização de estudos de viabilidade econômica e ambientais do processo, identificação de mercados consumidores, tecnologias de tratamento e distribuição da água de reúso, adequação a legislações e normas vigentes, além do investimento em projetos para aumento da aceitabilidade pública do reúso (WILCOX *et al.*, 2016).

3.2.2 Reutilização de águas residuárias para fins agrícolas

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), divulgados no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, de 2016, 67,2% da água consumida no Brasil é destinada a irrigação de culturas. Sabendo disto, é possível perceber que ao se falar de escassez hídrica, está se falando também da escassez de alimentos, o que fortalece a importância da utilização de águas de reúso para fins agrícolas.

Nessa modalidade de reúso, visa-se a irrigação de plantas, que podem ser consumidas cruas ou cozinhadas, e também de plantas não comestíveis, como pastagens e forrações. Nos dois tipos de reúso para fins agrícolas há a recarga do aquífero subterrâneo como subproduto, e vale ressaltar que esta água de reúso também pode ser utilizada na dessedentação de animais (BREGA FILHO; MANCUSO, 2002).

Para a utilização do reúso de água para fins agrícolas, é recomendado o uso de esgoto doméstico, por conta da sua composição e valores nutricionais (OLIVEIRA, 2012 *apud* ROLLEMBERG, 2017). Ainda assim, pesquisas revelam riscos associados a prática, como a presença de elementos que podem ser fitotóxicos as culturas, como mercúrio, cromo, chumbo e zinco (GUIDOLIN, 2000).

Outro fator que se destaca na prática de reúso de água é a salinidade, visto que a disposição de águas com sais solúveis no solo pode gerar, em altas concentrações, danos à vegetação e acúmulo no solo, e, em baixos níveis, quando se há uma elevada Porcentagem de Sódio Intercambiável (PSI), a diminuição da permeabilidade do solo e conseqüente perda de produtividade. A impermeabilização do solo está associada a altas concentrações de sódio quando não há também altas concentrações de cálcio e magnésio, o que torna o equilíbrio desses elementos essenciais para o sucesso do reúso agrícola; a determinação dos limites que tornam viável o processo é realizada com base na relação de adsorção de sódio (RAS) (PAGANINI, 2003).

3.2.3 Reutilização de águas residuárias para fins industriais

Aproximadamente 20% do consumo de água no Brasil é destinado para fins industriais, sendo por volta de 10% removidas de aquíferos, nos quais uma parcela significativa não recebe tratamento adequado. Esse fator, aliado a elevação do preço da água tratada, a parâmetros de lançamento de efluentes cada vez mais exigentes e a necessidade de minimização da geração de efluentes, tornam a utilização das águas residuárias nas indústrias ainda mais vantajosa para os empreendimentos (HESPANHOL, 2002; CAIXETA, 2010). As aplicações de águas residuárias para o reúso com essa finalidade são: como fluido de processo em torres de destilação, no resfriamento de produtos através de trocadores de calor, nos processos produtivos na irrigação de áreas verdes presentes na indústria e na lavagem de pisos.

No entanto, estudos revelam que existem diversas dificuldades associadas a essa modalidade de reúso. A USEPA (2012) aponta que entre esses está o crescimento biológico acarretado pela elevada concentração de nutrientes e microrganismos, o que pode levar a produção de biofilmes. Estes biofilmes podem interferir nos processos de transferência de calor, além de atuarem na corrosão induzida de peças metálicas. Outro fator limitante para o reúso industrial é a possibilidade da presença de constituintes primários, como cálcio, magnésio, sulfato, fosfato, sílica que influenciam em processos industriais como torres de resfriamento e caldeiras através da incrustação de tubulações (USEPA, 2012).

3.2.4 Reutilização de águas residuárias na aquicultura

A aquicultura é a produção em ambientes confinados e controlados de organismos predominantemente aquáticos. No Brasil há destaque para a piscicultura, modalidade da aquicultura que diz respeito a criação de peixes, prática que pode ser realizada a partir do reúso de águas residuárias, de maneira direta ou indireta (EDWARDS, 1992), possibilitando a geração de diversos produtos, como plantas e animais comestíveis, alimentos para animais e fertilizantes (JUNGE, 2001 *apud* ORTIZ, 2018).

A principal meta da utilização de águas residuárias na aquicultura é a purificação do esgoto, através da assimilação de nutrientes dissolvidos pela biomassa e o consumo dos compostos orgânicos (STAUDENMANN; JUNGE, 2003). Para essa prática, Mota *et al.* (2007) afirma que a literatura indica as seguintes maneiras de utilização de águas residuárias:

- Adição de esgotos aos tanques psíquicos para estimular o crescimento de fitoplâncton e zooplâncton e assim manter uma fonte de alimentação direta no tanque
- Cultivo de peixes diretamente em lagoas de maturação;
- Cultivo de peixes em tanques-rede colocados em lagoas de maturação;

- Tanques de cultivo de peixes utilizando efluentes de estações de tratamento de esgoto.

Para o sucesso dessa prática, Caixeta (2010) define que é de essencial importância a escolha da espécie que será produzida na piscicultura, observando seus hábitos reprodutivos e alimentares, sensibilidade com relação ao meio, adaptação climática e à qualidade da água e facilidade de manejo. Também ressalta que a demanda de água irá depender de sua qualidade, da densidade dos peixes, dos fatores climáticos e da produtividade desejada. Ademais, estudos apontam a relevância das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e amônia para as práticas piscícolas, sendo atualmente a amônia fator limitante para a aplicação de efluentes tratados na aquicultura. É possível encontrar relatos de elevado índice de mortalidade de peixes em ambientes com altos teores de nitrogênio amoniacal, que induz efeitos tóxicos aos animais. Sabendo disso, a OMS estabelece parâmetros microbiológicos para o uso seguro da água residuárias na agricultura e cargas máximas de matéria orgânica e de nitrogênio total (ORTIZ, 2018).

3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE REÚSO DE ÁGUA

3.4.1 Legislação no Brasil

Sabendo-se da importância do reúso de água tanto para o gerenciamento dos recursos hídricos, quanto para a manutenção da saúde das pessoas, percebe-se a necessidade de uma regulamentação dessa prática, nas quais costumam-se estabelecer os padrões de qualidade para os usos do efluente tratado, os tratamentos mínimos necessários, assim como a eficiência necessária e o gerenciamento da área de aplicação.

No Brasil, no decorrer dos anos foram criadas legislações específicas que respaldam a preocupação com a gestão dos recursos hídricos, inicialmente demonstrada com Constituição Federal de 1934 que introduz as águas como bens de domínio federal. No mesmo ano, através do Decreto Federal nº 26.643, foi instituído o Código das Águas, que enfatiza a contaminação de corpos hídricos e as definições sobre os critérios de aproveitamento da água (MELO, 2012).

Paralelo ao Decreto Federal, em 1981, foi deliberada a Lei nº 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente que consta como um marco dos avanços do país na área ambiental trazendo, entre os seus objetivos e princípios, ideias de racionalização, planejamento e fiscalização do uso das águas.

A Constituição Federal de 1988 legisla sobre a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), que possui a finalidade de realizar a gestão

democrática do uso das águas. Um dos órgãos componentes do SINGREH é a ANA, responsável pela normatização dos serviços públicos de saneamento básico e pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A PNRH, instituída pela Lei nº 9.433 de 1997, não apresenta em seu conteúdo um direcionamento em relação ao reúso da água, mas já demonstra preocupação com a racionalização do uso da água e com a qualidade deste recurso, instituindo também, como instrumento de gestão, a cobrança pelos recursos hídricos.

Em 2005, foi lançada a Resolução CONAMA nº 357, que classifica os corpos hídricos brasileiros em águas doces, salobras e salinas e na qual são estabelecidos parâmetros de lançamento, direto ou indireto, dos efluentes de acordo com o uso preponderante.

No mesmo ano, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) lança a resolução nº 54 de 2005, na qual são estabelecidas modalidades, diretrizes e critério gerais para o reúso com fins não potáveis. No entanto, a falta de um arcabouço legal da União no que concerne à prática do reúso, implica um índice deficitário em relação ao tema, sendo perceptível que ainda há muito a evoluir em relação a prática no país.

3.4.2 Legislação no Ceará

No Ceará, a Lei nº 14.844, de 2010, dispõe sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos que aborda o reúso de água como uma atividade de uso racional da água, diminuindo a produção de efluentes e o consumo da água. A legislação previu a parceria do órgão gestor com os setores interessados no reúso para que seja realizada a regulamentação da prática no estado.

Em 2016, a Lei nº 16.033 é decretada, apresentando critérios para a política estadual de reúso de água não potável. Para o reúso, foram consideradas as seguintes modalidades:

Art. 4º O reúso da água não potável, para efeito desta Lei, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil e combate à incêndio;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: utilização de água de reúso para irrigação na produção agrícola e cultivo de florestas plantadas, tendo ainda como subproduto a recarga de lençol subterrâneo;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação ambiental;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

§ 1º As modalidades de reúso não são mutuamente excludentes, podendo ser empregadas simultaneamente. (CEARÁ, 2016).

Essa legislação defende que para a prática do reúso ser adotada é necessária “a caracterização do efluente a ser tratado”, a “identificação das atividades que admitem água de reúso” e a “identificação da qualidade de água requerida para cada atividade descrita”, além do que condiciona a atividade à outorga e à licença ambiental (CEARÁ, 2016). É possível perceber que a legislação ainda não apresenta os parâmetros do efluente tratado que devem ser avaliados para que a prática do reúso possa acontecer, todavia recomenda que não seja realizado o reúso potável por conta dos riscos atrelados a essa modalidade.

Em fevereiro de 2017, foi publicada a Resolução COEMA nº 02, nas quais são dispostas as condições e padrões para reúso nas modalidades previamente apresentadas na Lei nº 16.033.

Na legislação citada, são considerados apenas os parâmetros: coliformes termotolerantes, ovos geohelmintos, condutividade elétrica, pH, razão de adsorção de sódio e temperatura, sendo requisitados de acordo com a modalidade de reúso.

No ano de 2018, o Ceará fez mais um avanço em relação a legislação sobre reúso de água com a Lei nº 16.603, que torna obrigatória a prática do reúso para a água utilizada por aparelhos de ar condicionado em novos projetos de edificações, mas não apresenta parâmetros a serem avaliados.

3.5 EXEMPLOS DE REÚSO DE ÁGUA NO CEARÁ

No Ceará, a concessionária estadual, Cagece, possui desde 2013 uma estação de produção de água de reúso (EPAR) no bairro Guadalajara, em Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza, a qual distribui água de reúso para irrigação de áreas e apresenta uma capacidade para 7 m³/h. Na EPAR, o sistema de tratamento é composto por uma ETE com lagoas anaeróbia, facultativa e três lagoas de maturação, em série, seguidas de tanques de pré-cloração e adição de coagulante (PAC). Em sequência, há a passagem por filtros de areia e desinfecção por UV e ozonização. Finalizando, o efluente é encaminhado para dois filtros de carvão ativado e para cloração final. A Figura 3 mostra o Sistema utilizado na EPAR no bairro Guadalajara, Caucaia, Ceará.

Figura 3 – Sistema de Tratamento da ETE Guadalajara - Filtros de Carvão Ativado



Fonte: Rollemberg (2017).

Há também na Companhia o Centro de Treinamento, Demonstração e Desenvolvimento em Reúso Agrícola, localizado em Aquiraz. O tratamento de efluentes nessa ETE é composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação. No centro são realizadas pesquisas tendo como foco a reutilização de águas residuárias para fins agrícolas. A pesquisa atualmente é realizada com base em sistemas para irrigar plantios de goiaba, manga, coco, uva, maracujá e banana, tendo como objetivo avaliar o desenvolvimento das diversas culturas irrigadas com esgoto doméstico tratado (CAGECE, 2018).

Um exemplo de indústria do Ceará que pode ser considerada modelo na reutilização de água proveniente do tratamento de efluentes é a Grendene. A empresa apresenta Estações de Tratamento de Efluentes Biológicos (ETEB) nas suas unidades de Fortaleza, Sobral e Crato, as quais são dotadas de tecnologias de tratamento visando o reúso de água para irrigação das áreas verdes e utilização da água de reúso nos vasos sanitários. Segundo o Relatório da Administração de 2017 da Grendene, neste mesmo ano 53.289 m³ de água foram reutilizadas; em 2015, só na unidade de Sobral, 24.000 m² de área foram irrigadas com a água de reúso, o que antes acontecia realizada com água proveniente dos poços amazonas, ou com água da concessionária.

As ETEBs da Grendene são compostas pela seguinte sequência de tratamento: caixas de gordura, gradeamento, tanque de equalização, reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), filtros biológicos aerados submersos (FBAS), reatores anóxicos, decantadores secundários e sistema de desinfecção por cloração.

O Shopping Iguatemi adota a prática do reúso de água com a finalidade de fazer a irrigação de sua área verde e de abastecer as torres de refrigeração ar condicionado do empreendimento. Para possibilitar a reutilização de água, o shopping possui uma Estação de Tratamento de Esgoto com a tecnologia de lodos ativados que atualmente trata 500m³/dia, o que se aproxima da demanda diária do shopping, que é de cerca de 600m³/dia.

O Beach Park, maior parque aquático da América Latina, e localizado em Aquiraz, também é considerado um exemplo no tratamento de esgoto com reúso de água. O complexo turístico, composto pelo parque aquático e três hotéis, que antes era operado com água comprada de carros pipa, em uma opção por reduzir o consumo hídrico, já reutiliza 100% da água proveniente do esgoto tratado em sua estação de tratamento. A água de reúso é utilizada para a irrigação de jardins e para a limpeza da frota de ônibus da empresa, chegando a 1200 m³ de água reutilizada (ROLLEMBERG, 2017). A Figura 4 mostra a ETE com reúso de água do complexo Beach Park.

Figura 4 – ETE com reúso de água do Complexo Beach Park



Fonte: Paiva (2007), *apud* Rollemberg (2007).

4. METODOLOGIA

4.1 LEVANTAMENTOS DE DADOS

A Cagece é uma empresa de economia mista, sob o controle do Governo do Estado do Ceará, que atua no saneamento do estado, sendo responsável pelos sistemas de esgotamento sanitário de 74 dos 184 municípios.

Para o presente trabalho, a Cagece forneceu dados sobre os projetos passados e futuros relacionados ao reúso de águas residuárias tratadas, informações sobre o consumo de água nas Unidades Metropolitanas de Negócio da companhia e também informações sobre os tratamentos, vazões e parâmetros de qualidade de algumas ETEs operadas pela companhia, no período de 2016 a junho de 2018. Os parâmetros de qualidade, cujos dados foram concedidos, não apresentavam números de coletas iguais para todas as estações e eram: amônia, cloro residual livre, coliformes totais, cromo hexavalente, DBO, DQO, *Escherichia coli*, ferro dissolvido, manganês, manganês dissolvido, materiais flutuantes, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, sulfato, sulfeto, sulfeto total e temperatura.

As ETEs selecionadas para o estudo são apresentadas na Tabela 3, juntamente da tecnologia de tratamento aplicada e da vazão de efluente produzida, fatores que contém grande importância quando se trata de reúso de água.

Tabela 3 – Vazões médias e tratamentos empregados nas ETEs avaliadas

<i>ETE</i>	<i>Tipo de tratamento</i>	<i>Vazão (L/s)</i>
Aracapé III	02 Reatores UASB e Cloração	4,072
Centro de Eventos	01 Reator UASB, 01 Filtro Submerso Aerado e Cloração	5,85
Conjunto João Paulo II	1 Facultativa	12,35
Conjunto Araturi	2 Facultativas	44,34
Conjunto Ceará – 4ª Etapa	3 Facultativas	93,8
Conjunto Esperança	1 Facultativa	33,15
Conjunto Jereissati III	1 Facultativa	15,26
Conjunto Marechal Rondon	1 Anaeróbia, 2 Facultativas e 2 Maturação	76,5
Conjunto Nova Metrópole	1 Facultativa	104,3
Conjunto Parque	1 Anaeróbia, 1 Facultativa e 2 Maturação	12,394

Fluminense		
Conjunto Tancredo Neves (Lagamar)	1 Facultativa	29,32
Conjunto Tupã-Mirim	1 Anaeróbia, 1 Facultativa e 2 Maturação	8,44
Curió I e II	04 Reatores UASB e Cloração	4,7
Dias Macedo	01 Reator UASB e Cloração	3,08
Guadalajara	1 Anaeróbia, 1 Facultativa e 3 Maturação	*
Itaperí I	01 Reator UASB e Cloração	1,25
Novo Barroso	03 Reatores UASB e Cloração	2,811
Novo Mondubim II	01 Reator UASB e Cloração	2,1
Parque Potira II	Reatores Anaeróbios De Fluxo Ascendente e Cloração	28,4
Por-do-sol	03 Reatores UASB e Cloração	2,74
Riacho Doce	02 Reatores UASB e Cloração	4,61
SIDI	1 Anaeróbia, 2 Facultativas e 2 Maturação	239,3
Tabapuá	1 Facultativa e 2 Maturação	6,5
Zeza Tijolo	01 Reator UASB e Cloração	1,43

Fonte: CAGECE (2018).

* Valor de vazão não foi disponibilizado pela Cagece

4.2 PÂRAMETROS DE QUALIDADE PARA REÚSO

No presente trabalho foi adotado a modalidade de reúso urbano para uso dos efluentes das ETE. Essa escolha se justifica devido: (i) à maior demanda de água para esses fins; (ii) aparato legislativo, pois essa modalidade está prevista na portaria COEMA nº 02/02/17 e, (iii) pelos estudos elaborados por vários autores (Caixeta, 2010; Rollemberg, 2017) mostrando que essa modalidade se apresenta com melhor viabilidade para as ETEs operadas pela Cagece.

Sabe-se que a Resolução COEMA nº 02/02/17, inaugura no Ceará a definição dos parâmetros para reúso. Os padrões estabelecidos pela resolução para reúso externo de efluentes sanitários para fins urbanos estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros específicos para reúso urbano estabelecidos pela Resolução COEMA nº 02/02/17

<i>Parâmetros específicos</i>	<i>Valores</i>
Coliformes termotolerantes	até 5000 CTer/100 mL
Ovos geohelmintos	até 1 Ovo/L de amostra
Condutividade elétrica da água residuária	até 3000 μ S/cm;
pH	entre 6 e 8,5

Fonte: Ceará (2017).

Atualmente, a Cagece não faz análise de qualidade de todos os parâmetros exigidos pela Resolução COEMA nº 02/02/17, para o reúso urbano, por exemplo, faltam as coletas de coliformes termotolerantes, ovos de geohelmintos e condutividade elétrica da água residuária. Por isso no presente trabalho será proposta uma alternativa à legislação, sendo apresentados outros parâmetros, indicados após análise da literatura existente em relação ao assunto. Tendo isso em vista são apresentados na Tabela 5, os parâmetros adotados pela USEPA para reúso urbano, propostos no “*Guidelines for water reuse*” de 2012.

Tabela 5 – Diretrizes da USEPA para usos urbanos de esgotos sanitários

<i>UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO</i>	<i>CTer</i>	<i>DBO</i>	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>Cloro residual</i>
	(NMP/100ml)	(mg/L)		(mg/L)	(mg/L)
Urbanos irrestritos	Não detectável	≤ 10	6 a 9	-	≥ 1
Urbanos restritos	≤ 200	≤ 30	6 a 9	≤ 30	≥ 1

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

Legenda: CTer = Coliformes termotolerantes; DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; pH = Potencial hidrogeniônico; SST = Sólidos suspensos totais.

Cada parâmetro avaliado para o reúso urbano diz respeito a uma característica específica requerida para a finalidade escolhida, levando em consideração o acesso ao público e as exigências de tratamento dos efluentes.

Em relação aos parâmetros físicos, são avaliados os sólidos suspensos totais (SST), que são os responsáveis pela turbidez da água, parâmetro que não representa um risco direto à saúde, mas é esteticamente desagradável. Os parâmetros biológicos representam a presença dos microrganismos, que são de especial interesse no que diz respeito à qualidade da água devido à patogenicidade de alguns indivíduos. Os coliformes termotolerantes avaliados indicam a eficiência de desinfecção do processo, assim como o cloro residual. Este trabalho terá como

parâmetro biológico a *Escherichia coli*, já que este é um bioindicador de contaminação fecal de referência (JORDÃO E PESSÔA, 2011). Por fim, em relação aos parâmetros químicos, são avaliados o pH e a DBO. O pH indica a condição de acidez ou alcalinidade da água. A exigência de remoção de DBO se justifica, da mesma maneira dos SST, por representar inconvenientes estéticos.

É necessário ressaltar que durante a análise dos dados notou-se que algumas das estações avaliadas dispunham apenas de dados em relação à Demanda Química de Oxigênio (DQO). Visto que os padrões de referência de reúso urbano têm como parâmetro de Demanda de Oxigênio a DBO, foi preciso recorrer à literatura a fim de se compatibilizar os valores de DQO em termos de DBO, sendo adotada a relação $DQO/DBO \cong 4$ (ROLLEMBERG, 2017) para as ETEs que não dispunham de análises de DBO.

Este trabalho usou como referência os parâmetros da USEPA (2012), classificando os usos urbanos em restritos e irrestritos. Ressalta-se que os dados utilizados para avaliação dos coliformes termotolerantes foram os de *E. coli*, já que este é o único bioindicador de contaminação fecal de referência, conforme citado acima. Também foi possível notar, durante a avaliação dos dados, a ausência em algumas estações de dados referentes ao cloro residual; devido à facilidade em contornar a ausência de cloro, esse parâmetro não foi considerado durante as análises. Assim, foram avaliados os resultados para *E. coli*, SST e DBO.

Destaca-se que o conhecimento das vazões das mesmas é de grande importância para a determinação do potencial de reúso de água das estações, já que esse depende da quantidade de efluente disponível. Através dos dados concedidos pela Cagece, foi possível obter as vazões das ETEs avaliadas.

4.3 REMOÇÃO DE *OUTLIERS*

Após a seleção dos parâmetros que seriam avaliados foi realizada a remoção dos *outliers*. Optou-se por essa remoção, pois os *outliers* dizem respeito a valores que fogem da normalidade, não representando o comportamento usual dos dados.

Nesta etapa do trabalho foi empregada a regra empírica utilizada por Morias (2016) e Da Silva (2016). Para aplicação da regra, o terceiro e o primeiro quartil da série de dados, respectivamente denominados de quartil superior (QS) e de quartil inferior (QI), são utilizados na determinação dos limites superior (Lsup) e inferior (Linf). O cálculo dos limites está descrito pelas equações 1 e 2.

$$Linf = QI - (QS - QI) \quad (1)$$

$$L_{sup} = QS + (QS - QI) \quad (2)$$

Com a definição dos outliers, os valores que estevam abaixo do limite inferior ou acima do limite superior, foram eliminados dos dados analisados.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DE CONSUMIDORES DA ÁGUA DE REÚSO

A partir da adoção do reúso urbano como referência para esse trabalho, foram avaliados os possíveis consumidores da água de reúso nessa modalidade. Constatou-se que o maior mercado consumidor em Fortaleza-CE e RMF seriam órgãos vinculados à Prefeitura Municipal de Fortaleza e que seria benéfica a utilização da água de reúso em algumas das atividades da Cagece.

Nesse contexto, foi realizado contato com a Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA) e a Autarquia de Paisagismo e Urbanismo de Fortaleza (URBFor) para verificação da possibilidade de consumo de água de reúso por esses órgãos, sendo solicitadas as seguintes informações:

- i. Interesse na adoção da prática de reúso de água;
- ii. Volume aproximado de água utilizada;
- iii. Qual a finalidade da água utilizada nas atividades do órgão;
- iv. Fonte de água que abastece o órgão;
- v. Custos associados com o transporte e consumo da água para execução das atividades.

No contato com a Cagece, verificou-se uma demanda compatível com a aplicação do reúso de água nas Unidades de Negócio da cidade de Fortaleza, visto que essas utilizam equipamentos jateadores para atividades diárias, necessitando de grande volume de água diariamente. Foram coletados os seguintes dados com as Unidades de Negócio da concessionária em Fortaleza:

- i. Para quais atividades utiliza o hidrojateamento;
- ii. De quantos caminhões jatos e minijatos a Unidade dispõe;
- iii. Qual a capacidade volumétrica de cada um dos equipamentos;
- iv. Qual a frequência de utilização dos equipamentos.

A partir dessas informações foram verificadas as vazões das ETEs estudadas seria suficiente para atender a demanda das atividades realizadas por cada um dos órgãos contatados, assim pode-se saber quais atividades já teriam a possibilidade de implantação da prática de reúso de água em um futuro próximo.

Além disso, avaliou-se a qualidade do efluente e a requerida para a realização de

cada atividade, acarretando na constatação da necessidade de melhorias no tratamento e na operação das ETEs para que fosse possível atender aos parâmetros especificados.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE PARÂMETROS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Após a análise dos dados em relação ao atendimento aos parâmetros propostos pela USEPA (2012) foi feita uma comparação com o atendimento aos padrões para reúso de água adotados pela SABESP e pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), a fim de entender se os parâmetros adotados pela agência norte-americana seriam muito restritivos em relação ao cenário nacional de tratamento de águas residuárias.

A água de reúso produzida pela SABESP é aplicada, entre outros usos, na limpeza de pisos, pátios e veículos, assentamento de poeira em obras de execução de aterros e terraplanagem, preparação e cura de concreto em canteiros de obra, desobstrução de rede de esgotos e águas pluviais, combate a incêndios e rega de áreas verdes, o que configura uso urbano.

O PROSAB propõe diretrizes para reúso urbano de esgotos sanitários em três categorias, sendo os usos urbanos irrestritos e restritos semelhantes aos descritos pela USEPA (2012) e o uso predial descrito como o reúso de águas residuárias para a descarga de toaletes (neste último é necessário efluentes com concentrações de DBO inferiores a 30 mg/L).

Os padrões de reúso urbano de águas residuárias adotados estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Diretrizes da USEPA, SABESP e PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários

Padrões de referência	USOS	CTer	DBO	pH	SST	Turbidez	Óleos e graxas	CRT	Ovos de helmintos
		(NMP/100 ml)	(mg/L)		(mg/L)	UT		(mg/L)	
USEPA	Urbanos irrestritos	Não detectável	≤ 10	6 a 9	-	NR	NR	≥ 1	NR
	Urbanos Restritos	≤ 200	≤ 30	6 a 9	≤ 30	NR	NR	≥ 1	NR
SABESP	Urbanos	≤ 200	25 mg/L (95% das amostras)	6 a 9	35 mg/L (95% das amostras)	< 20	Visualmente ausente	Entre 2 e 10	NR
PROSAB	Urbanos irrestritos	≤ 200	NR	NR	NR	NR	NR	NR	≤ 1
	Urbanos Restritos	≤ 1 x 10 ⁴	NR	NR	NR	NR	NR	NR	≤ 1
	Uso predial	≤ 1 x 10 ³	< 30	NR	NR	NR	NR	NR	≤ 1

Fonte: Adaptado de Rezende (2016).

Legenda: CTer = Coliformes termotolerantes; DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; pH = Potencial hidrogeniônico; SST = Sólidos suspensos totais; CRT = Cloro residual total; NR = Não requerido.

Para a comparação com os parâmetros adotados pela USEPA (2012), foram escolhidos os padrões da SABESP por terem aproximadamente o mesmo número de análises exigidas pela agência estrangeira. Assim, foram elaborados gráficos nos quais os dois padrões foram aplicados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 REÚSO A PARTIR DAS ETES

Os dados fornecidos pela Cagece continham análises de parâmetros de qualidade dos efluentes de 39 ETES operadas pela companhia e apontadas como as com maior potencial de reúso, por se aproximarem mais dos padrões de lançamento. No entanto, não incluíam os parâmetros exigidos pela legislação vigente no Ceará para adoção da prática de reúso urbano. Isso revela uma deficiência da companhia em relação à aplicação do reúso de água, destacando a necessidade da adequação às análises exigidas pela Resolução COEMA nº 02/2017, com as realizadas no esgoto tratado.

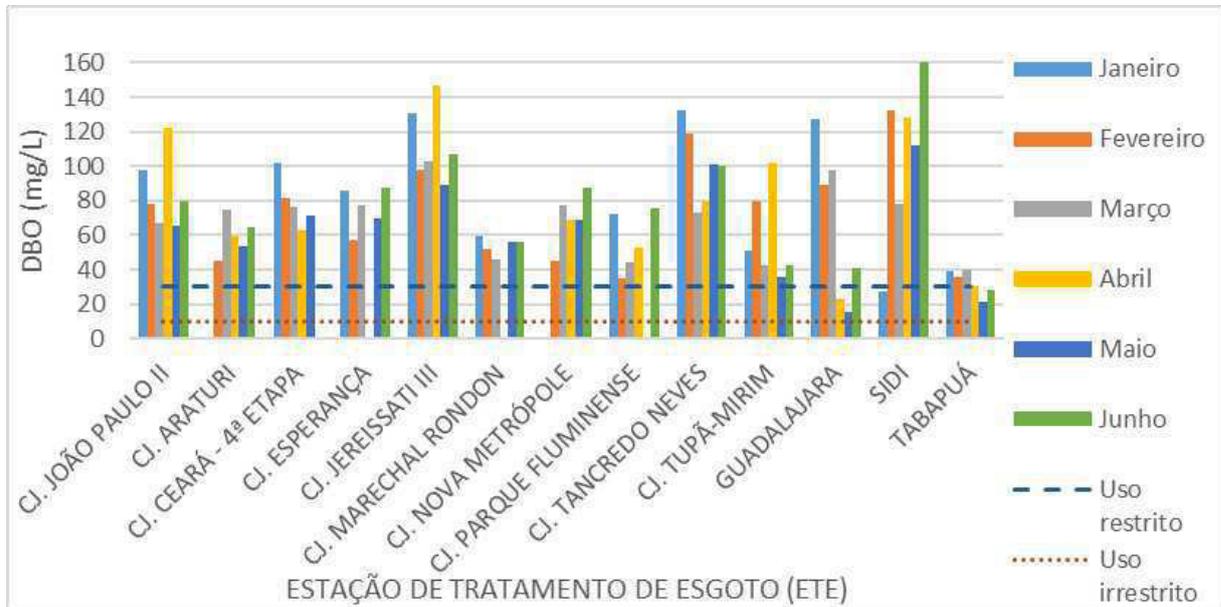
Nesse contexto, avaliou-se a adequação dos efluentes das ETES a partir dos padrões da USEPA (2012), de janeiro a junho de 2018, visando a análise do panorama mais atual da situação do tratamento. Todavia, por não serem registradas coletas regulares para todas as ETES, o número de dados gerados não era homogêneo. Assim, foram descartadas da pesquisa as estações que não apresentavam avaliação dos parâmetros para todos os meses do estudo, restando um total de 24 estações para serem analisadas quanto à qualidade do efluente tratado. Os dados para essas ETES podem ser visualizados nos Anexos.

Durante a análise dos dados, observou-se que todas as ETES atenderam ao parâmetro pH em todos os meses e considerou-se que a adequação aos padrões de cloro residual poderia ser alcançada com o ajuste na quantidade do produto aplicada no efluente. Assim, dos cinco padrões de qualidade considerados pela USEPA (2012) para reúso urbano, a presente pesquisa teve foco em três, sendo estes *E. coli*, SST e DBO.

As Figuras 5 a 10 apresentam uma representação dos dados das ETES quanto aos parâmetros DBO, *E. coli* e SST, de acordo com a tecnologia de tratamento empregada, estando divididas em lagoas de estabilização e reatores anaeróbios.

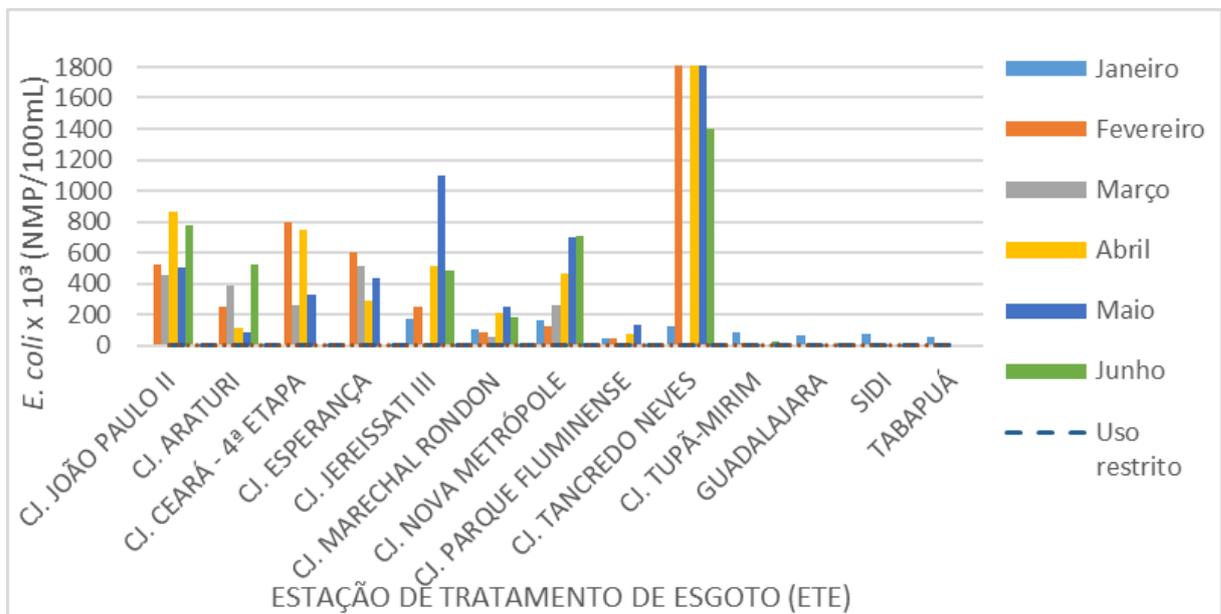
Vale ressaltar que nenhuma das estações avaliadas atendeu a todos os padrões de reúso considerados pela USEPA (2012) por mais de um mês, sendo a ETE do Centro de Eventos a única que atendeu a todos os parâmetros de reúso para fins urbanos restritos pelo menos uma vez, em fevereiro de 2018. Essa ETE se destaca por ser a única com Reator UASB associada a um filtro aerado submerso. Também foi possível notar que nenhuma das ETES foi capaz de atender a todos os parâmetros de reúso para fins urbanos irrestritos.

Figura 5 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para DBO em relação aos padrões de reuso urbano considerados pela USEPA (2012)



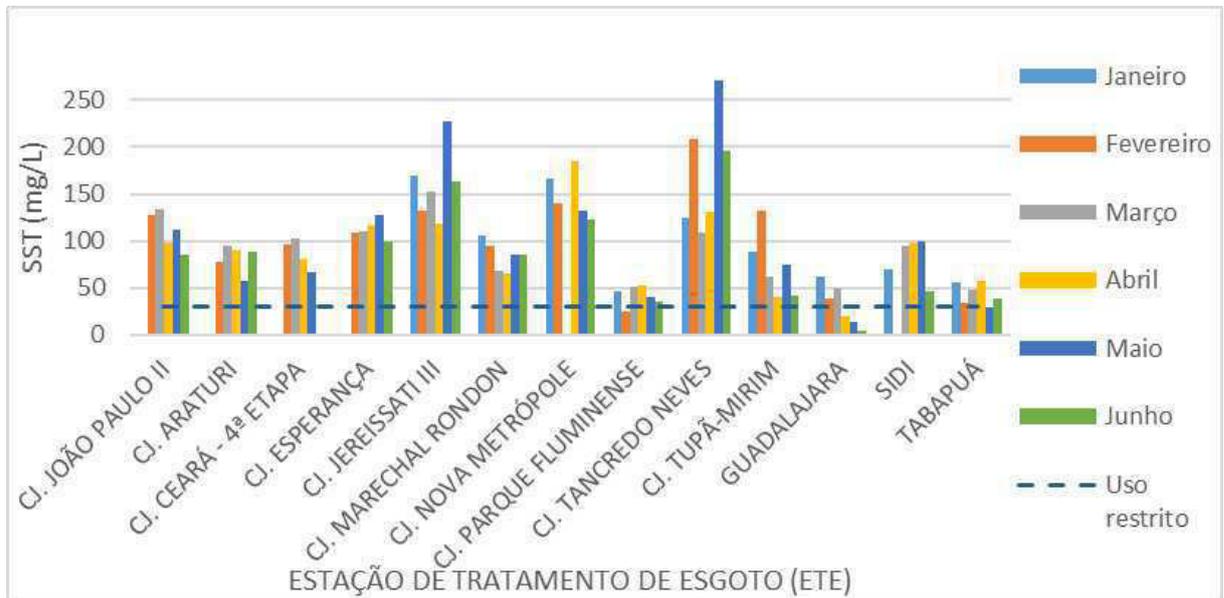
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 6 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para *E. coli* em relação aos padrões de reuso urbano considerados pela USEPA (2012)



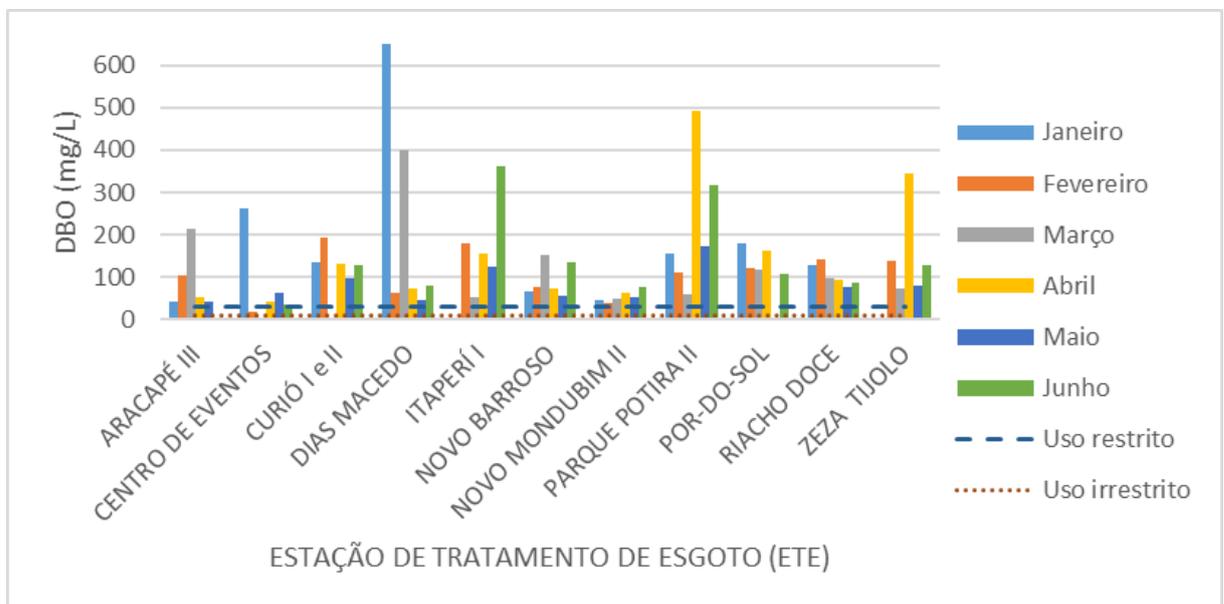
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 7 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)



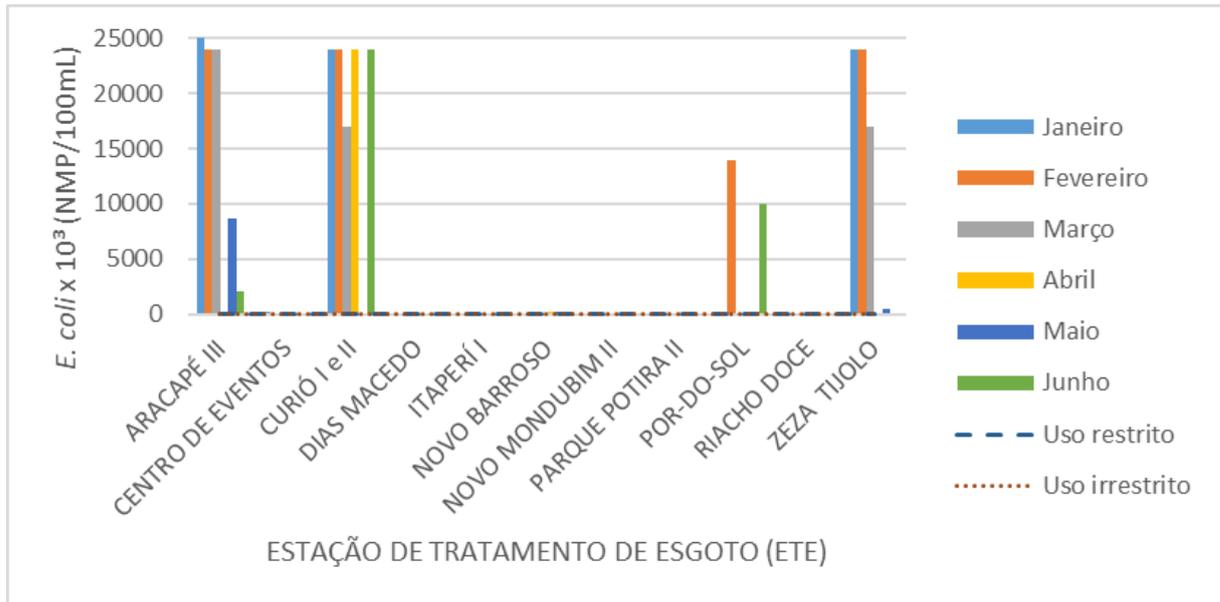
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 8 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)



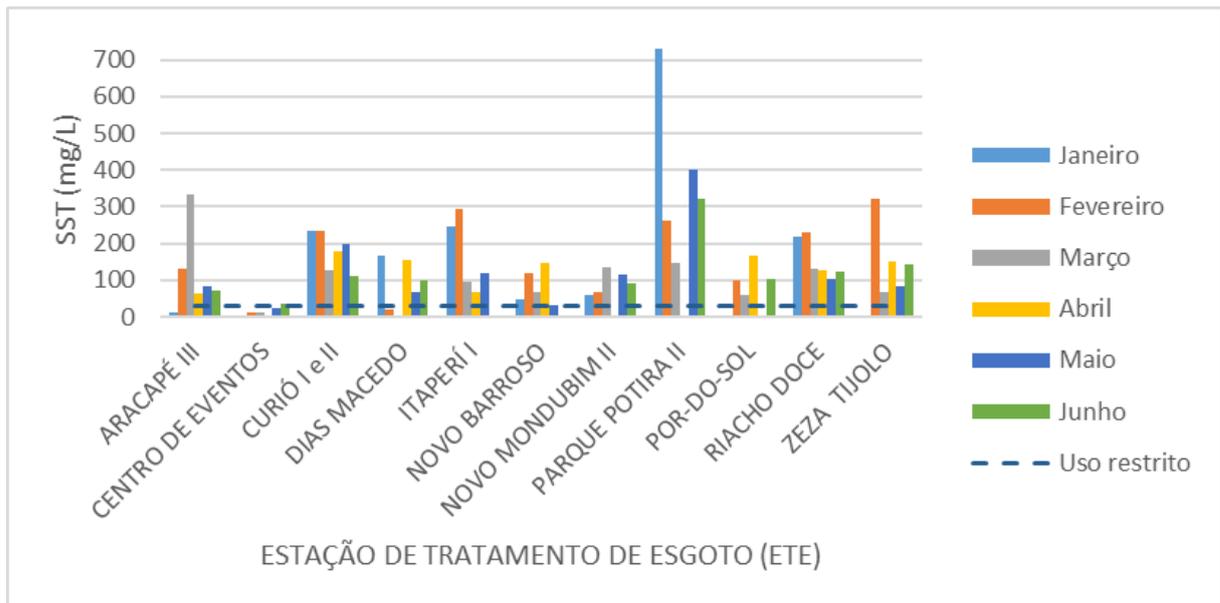
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 9 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para *E. coli* em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 10 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Os dados revelam uma clara deficiência das estações quanto ao atendimento aos padrões para reúso urbano de água em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela USEPA (2012), podendo ser notado que a maior dificuldade das ETEs está na remoção de DBO. Assim, foi possível fazer a avaliação das ETEs que se adequaram a pelo menos um dos

parâmetros de reúso estabelecidos nesse trabalho.

Nota-se que apenas a ETE Centro de Eventos se adequa ao necessário para reúso de água em todos os parâmetros avaliados, mostrando-se como uma alternativa viável para a aplicação imediata de reúso. Conforme exposto na Tabela 3, as tecnologias de tratamento dessa estação são 1 reator UASB, seguido de filtro submerso aerado e desinfecção por cloração. Segundo PROSAB (2006), essa combinação promove uma remoção de 83 a 93% da DBO presente no esgoto e também objetiva a remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos remanescentes pela aplicação dos filtros aerados. Porém, como pode ser visto pelos dados nos anexos, constata-se que o parâmetro mais problemático para a estação é a DBO, indicando problemas na operação, já que a tecnologia aplicada devia garantir uma excelente remoção desse parâmetro. Uma outra possibilidade seria a chegada de um esgoto afluente com valores de DBO acima daqueles considerados para esgoto sanitário.

Através da análise dos dados das estações para DBO, *E. coli* e SST, constata-se também que 7 das ETEs selecionadas atenderam a pelo menos dois padrões de reúso. Destas, as ETEs Dias Macedo e Pôr-do-sol, destacam-se por não atenderem aos valores de DBO e por apresentarem sistemas de tratamento com reatores UASB. Para essas, recomenda-se a adição de Filtros Biológicos Aerados Submersos (FBAS) aos sistemas de tratamento do esgoto, tecnologia que, conforme citado anteriormente, promove uma alta remoção de DBO, além do que, é de simples implantação e possui baixa demanda de área, muito embora os custos operacionais aumentarão em função do consumo de energia elétrica para os sistemas de aeração.

As outras estações selecionadas que utilizam reatores UASB para tratamento, também não atenderam aos padrões de DBO, sendo estas: Aracapé III, Itaperí I, Novo Barroso, Novo Mondubim II e Riacho Doce. A mesma recomendação feita para as anteriores, é feita também para essas, visto que, a adição de FBAS aos sistemas, além de proporcionar a remoção da DBO, remove também os SST, aumentando a eficiência de desinfecção. Essa sugestão pode se enquadrar também para a situação da ETE Parque Potira II, que apresenta problemas na remoção de DBO e SST, e tem como tecnologia de tratamento reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA). Contudo, é importante destacar que várias ETEs com FBAS não removem tão eficientemente os SST em decorrência de sobrecargas hidráulicas ou falhas de projetos nos sistemas de decantação (usualmente decantadores lamelares), assim como devido ao acúmulo excessivo de lodo nessas unidades.

Além disso, nota-se que as ETEs Guadalajara e Tabapuá, cuja tecnologia de tratamento é de lagoas de estabilização, apresentam deficiência na remoção de *E. coli*, mesmo as mesmas possuindo lagoas de maturação em série. Recomenda-se a verificação da

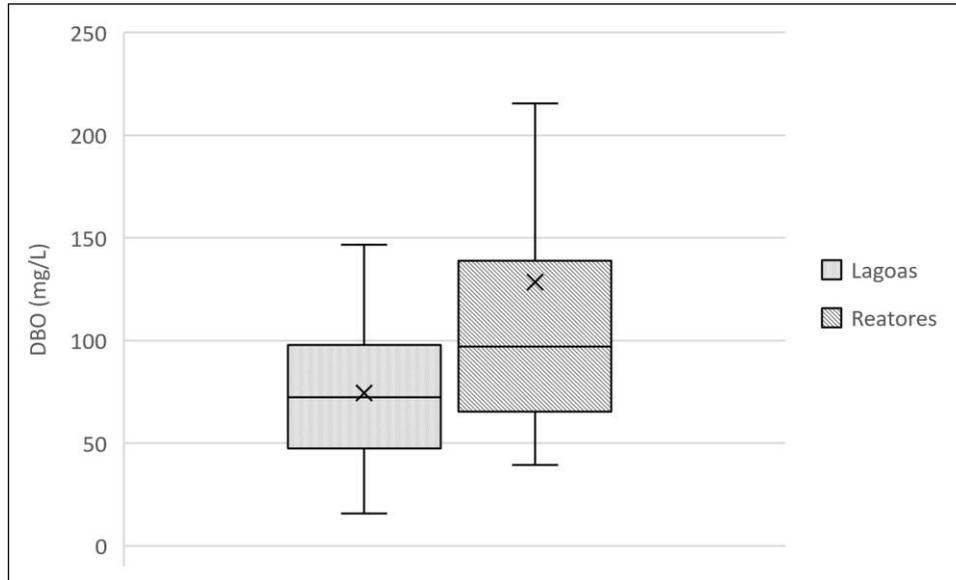
manutenção das lagoas, para detecção de possíveis problemas operacionais que estejam interferindo na eficiência do tratamento, como curtos circuitos hidráulicos e zonas mortas. Fala-se de curto-circuito quando o efluente passa menos tempo na lagoa do que o tempo de detenção hidráulico especificado no projeto, e de zonas mortas quando se deseja representar regiões em que o tempo de permanência é maior que o tempo teórico de detenção hidráulico (TEIXEIRA, 1995). Caso a manutenção das lagoas ainda não solucione os problemas do tratamento, é interessante a adição de um tratamento terciário, visando a remoção de *E. coli*, como a radiação UV e a ozonização. Um aspecto importante a ser considerado é que provavelmente tais lagoas foram projetadas para um valor de efluente final em termos de C_{Ter} de 5000 NMP/100mL, portanto muito acima dos valores considerados pela USEPA (2012).

A ETE Conjunto Parque Fluminense apenas atendeu ao padrão de SST para reúso de água, destacando a necessidade de melhoria na remoção dos outros dois parâmetros avaliados. Como citado acima, é preciso a verificação da manutenção das lagoas, para que se exclua a possibilidade de problemas operacionais comuns às lagoas de estabilização.

A ETE SIDI composta por lagoas de estabilização, aponta deficiência na remoção de SST, indicando, como para as outras estações com essa tecnologia de tratamento. Efluentes de lagoas de estabilização usualmente contêm maiores concentrações de SST, em relação a outras tecnologias de tratamento, advindas da biomassa algal. Assim, tal modalidade de tratamento, muito embora seja a mais frequente no Ceará, Brasil e mesmo na América Latina, dificilmente atenderia aos padrões definidos na USEPA (2012) de 30 mg/L.

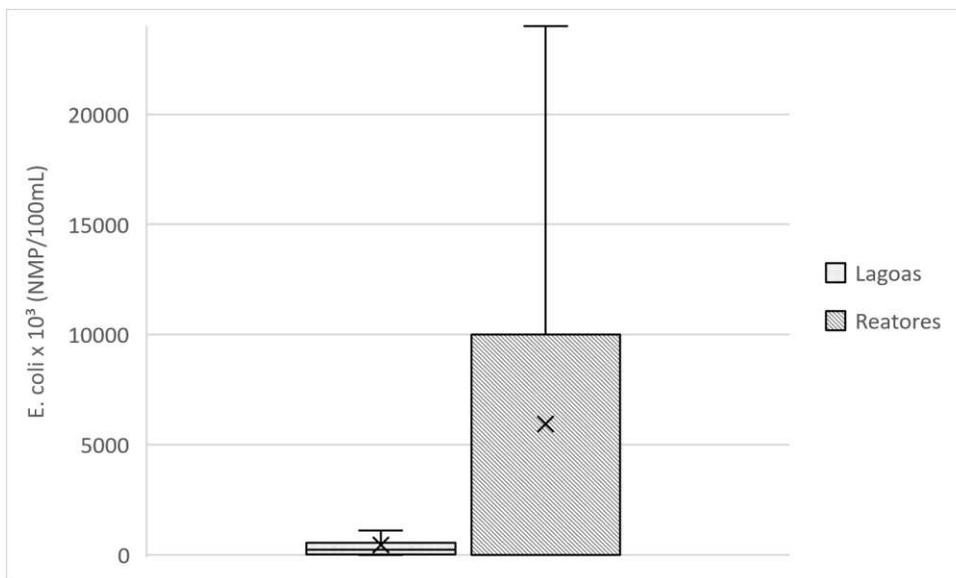
Sabendo da influência da tecnologia de tratamento das ETES na qualidade do efluente final, foram elaborados os seguintes *box-plot* com a distribuição dos valores de DBO, SST e *E. coli* para o tratamento com lagoas de estabilização e o tratamento a partir de reatores UASB com cloração. Os seguintes *box-plot* estão apresentados nas Figuras 11 a 13.

Figura 11 – *Box-plot* da distribuição dos valores do parâmetro DBO



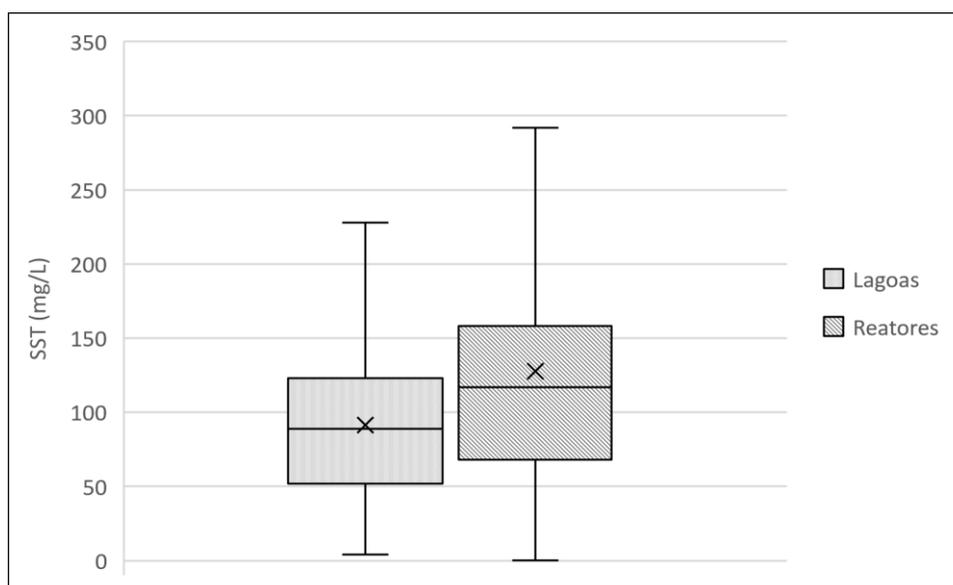
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 12 – *Box-plot* da distribuição dos valores do parâmetro *E. coli*



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 13 – *Box-plot* da distribuição dos valores do parâmetro SST



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observando os *box-plot* é possível concluir que as ETEs com lagoas de estabilização obtêm, em geral, resultados melhores para os três parâmetros analisados que as estações cujo tratamento é feito a partir de reatores UASB e cloração. Ainda assim, diante do exposto, percebe-se que muitos dos problemas associados a remoção de poluentes podem estar ligados a falhas na operação das estações. Por isso, considerou-se necessário o levantamento de dados sobre os principais problemas de infraestrutura e operação das ETEs para que fosse possível compreender os maiores obstáculos à implantação de projetos de reúso de água nestas.

5.1.1 Problemas de infraestrutura e operação

Durante o levantamento de dados e em visitas em campo a algumas das estações, foi possível coletar informações a respeito dos principais problemas de infraestrutura de algumas das estações de tratamento de esgoto abordadas nesse trabalho.

Verificou-se que problemas como leitos de secagem inadequados, assoreamento, dificuldade de acesso, mal estado de conservação, zonas mortas em lagoas de estabilização e deficiência de conservação predial (pichações, falta de identificação da ETE, crescimento de vegetação na parte interna e externa) são recorrentes em estações com as tecnologias de tratamento do tipo Reator UASB e Lagoas de Estabilização.

Problemas como a má conservação das estruturas das estações costumam ser provenientes da falta de manutenção destas que torna as estações mais propícias a efeitos de degradação, como a corrosão, afetando o desempenho da estação e diminuindo sua vida útil. Já problemas nos leitos de secagem associados ao tratamento com Reator UASB, prejudicam o

processo de tratamento, pois sem eles o lodo é descartado de maneira inadequada e ineficaz. O acúmulo de sólidos e o descarte inadequado de resíduos por parte da população, pode acarretar o assoreamento nas lagoas de estabilização, diminuindo seu volume útil e gerando problemas operacionais associados.

Na Tabela 7, adaptada do Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza, estão listados os problemas mais recorrentes nas estações de esgoto de Fortaleza:

Tabela 7 – Principais problemas encontrados nas Estações de Tratamento de Esgoto de Fortaleza em 2013

<i>ETE</i>	<i>Tipo de tratamento</i>	<i>Observações</i>
Aracapé III	UASB	Leito de secagem com vegetação.
Conjunto João Paulo II	Lagoa de estabilização	Assoreamento acentuado.
Conjunto Ceará – 4ª Etapa	Lagoa de estabilização	Taludes das lagoas danificados, tubulações danificadas, presença de material inadequado nas lagoas facultativas, assoreamento acentuado.
Conjunto Esperança	Lagoa de estabilização	Presença de vegetação nas lagoas e nos taludes, lixo jogado pela população.
Conjunto Parque Fluminense	Lagoa de estabilização	Lagoas e taludes com excesso de vegetação, lagoa anaeróbia assoreada.
Conjunto Tancredo Neves (Lagamar)	Lagoa de estabilização	Assoreamento acentuado.
Conjunto Tupã-Mirim	Lagoa de estabilização	Apenas um dos aeradores das lagoas estava em funcionamento, saída do efluente do tratamento com bastante espuma.
Curió I e II	UASB	Ausência de remoção de lodo seco nos leitos de secagem, piso dos leitos de secagem danificado, leitos subdimensionados.
Novo Barroso	UASB	Tampas em más condições de conservação, leitos de secagem com presença de vegetação, lixo acumulado no entorno das unidades de tratamento.

Novo Mondubim II	UASB	Leito de secagem do lodo com má conservação.
Por-do-sol	UASB	Presença de vegetação nos leitos de secagem.

Fonte: Adaptado de PMSB de Fortaleza (2014).

Sabe-se que devido aos dados utilizados para elaboração da Tabela 7 serem de 2013, muitas das situações apresentadas não retratam mais a situação atual de cada uma das estações. No entanto, nas visitas realizadas em algumas das ETEs estudadas, foi possível perceber que situações como a presença de vegetação nas estações, lagoas de estabilização e leitos de secagem, má conservação das estruturas das unidades de tratamento, assoreamento das lagoas e lixo acumulado no entorno das estações ainda são recorrentes. Além de serem frequentemente registrados casos de deficiência de conservação predial, como as citadas anteriormente: pichações em espaços internos e externos das estações, ETEs sem a devida identificação e muros e portões danificados.

Certamente os supracitados problemas operacionais podem comprometer o processo de tratamento de esgotos como um todo. Contudo, as razões mais prováveis para o comportamento das referidas ETEs sejam: sobrecarga hidráulica e orgânica, já que muitas ETEs são antigas e com vazões atuais superiores àquelas de projeto, deficiências no tratamento preliminar, inexistência de protocolo de retirada de lodo de reatores UASB por exemplo, assim como lagoas de estabilização completamente assoreadas e sem remoção de material flutuante, ausência de cloro em algumas ETEs, prejudicando o processo de desinfecção e polimento final etc.

Assim, é preciso que haja o acompanhamento constante dos problemas das estações, para que seja garantida a eficiência do tratamento do esgoto. Por isso, recomenda-se que a Cagece adeque sua metodologia de acompanhamento e levantamento dos problemas operacionais das estações, deixando registros atuais das situações recorrentes para que seja feita uma correção mais eficaz. Contornando os principais problemas é que se torna possível a distribuição da água de reúso produzida, sendo necessário o levantamento de possíveis consumidores, como exposto nos itens a seguir.

5.1.2 Utilização da água de reúso das ETEs

A Cagece necessita de água para as mais diversas atividades de manutenção e operação de suas redes coletoras, de suas estações de tratamento de água e esgoto e de suas sedes administrativas e operacionais. Uma grande parte dessas práticas se enquadra na categoria de usos urbanos. Percebendo a oportunidade de economia financeira e de recursos hídricos,

constatou-se que o reaproveitamento de águas residuárias poderia ser realizado em atividades próprias da rede de esgoto e das estações que atualmente utilizam água tratada.

O hidrojateamento foi considerada a atividade mais promissora para aplicação da prática de reúso de água. Essa atividade se constitui pela utilização de aparelhos jateadores, comumente aplicados para limpeza e desobstrução de redes e poços de visita, e na manutenção de estações de tratamento de esgoto, nas quais são utilizados para limpeza de filtros e decantadores, buscando a remoção do material aderido que prejudica o tratamento. As atividades de hidrojateamento são realizadas na Cagece em sua maioria pelas Unidades de Negócio; são 4 as unidades atuantes em Fortaleza e na Região Metropolitana: Metropolitana Leste (UNMTL), Metropolitana Oeste (UNMTO), Metropolitana Sul (UNMTS), Metropolitana Norte (UNMTN). As Unidades de Negócio que forneceram dados dispunham de dois tipos principais de equipamentos jateadores: o caminhão hidrojato e o minijato.

Diante do exposto, na Tabela 8 estão contidos os dados coletados em duas das Unidades de Negócio da Cagece que atuam na cidade de Fortaleza e na RMF.

Tabela 8 – Informações para cálculo de consumo de água em atividades de hidrojateamento realizadas pelas Unidades de Negócio de Fortaleza

<i>Unidade de Negócio</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Nº de equipamentos</i>	<i>Capacidade do equipamento (L)</i>	<i>Nº de utilizações durante o dia</i>
UNMTN	Caminhão hidrojato	2	8.000	2
		2	4.000	
UNMTS	Caminhão hidrojato	4	8.000	1
	Minijato	3	1.000	2

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A partir desses dados foi calculado o volume consumido diariamente nas atividades de hidrojateamento dessas Unidades de Negócio, cujo resultado está apresentado na Tabela 9. Esses valores foram utilizados para calcular uma média de consumo utilizado como referência para todas as Unidades.

Tabela 9 – Volume de água consumido por dia para atividades de hidrojateamento em Unidades de Negócio da Cagece

<i>Unidade de Negócio</i>	<i>Volume consumido por dia (L)</i>
UNMTN	48.000

UNMTS	30.000
--------------	--------

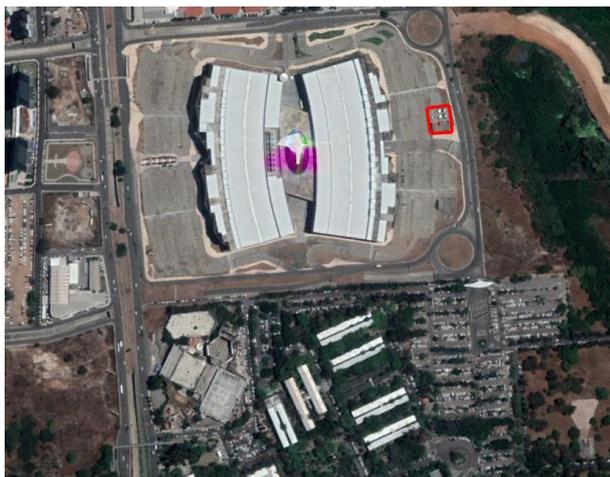
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Assim, para este trabalho foi utilizado como média de consumo diário de água nas Unidades de Negócio um volume de 39.000 L. Conclui-se que, levando em consideração apenas as Unidades de Negócio de Fortaleza e Região Metropolitana, a Cagece apresenta um consumo diário de água de 156.000 L de água, que em sua maioria é potável. Essa água, que em sua maioria é potável, poderia ser substituída por água de reúso, se realizados os devidos investimentos em tecnologia de tratamento do esgoto, já que as ETEs têm vazão suficiente para suprirem as necessidades das unidades.

Além do uso dos efluentes tratados pelas Unidades de Negócio, constatou-se a possibilidade de uso pela URBFFor. Os dados fornecidos pelo órgão revelam que atualmente a irrigação de parques, praças e canteiros centrais é realizada por meio de caminhões pipas que captam água de poços profundos ou de pontos de abastecimento de água potável, fornecida pela Cagece. São utilizados nessa operação, cerca de 16.000 L de água potável por dia, volume esse que, após a realização de investimentos na tecnologia de tratamento do esgoto das ETEs estudadas poderia ser substituído por água de reúso gerada nas estações.

Também se destaca os casos particulares de duas estações. A ETE do Centro de Eventos apresenta resultados favoráveis a prática do reúso, sendo necessária a aplicação das medidas expostas anteriormente. Além dos resultados dos padrões de qualidade, devido a ETE se localizar vizinha ao Centro de Eventos, a água de reúso poderia ser utilizada para as atividades internas do empreendimento, como: para a irrigação das áreas verdes internas e lavagem de pisos e ruas. Há também margem para a utilização da água de reúso da ETE Centro de Eventos na irrigação das áreas verdes no entorno do empreendimento, como a dos canteiros das vias públicas, e, com uma possível parceria, dos empreendimentos vizinhos. A Figura 14 contém uma imagem aérea da região da ETE Centro de Eventos, destacada pelo polígono vermelho.

Figura 14 – Georreferenciamento da ETE Centro de Eventos



Fonte: Captada de Google Earth (2018).

A ETE SIDI, localizada em Maracanaú deve ser destacada devido ao seu grande potencial de tratamento, apresentando uma vazão de efluente tratado de 239,3 L/s. Por se localizar no Distrito Industrial de Maracanaú e pela elevada vazão de esgoto tratado, considera-se que, com investimentos em tecnologias de tratamento de esgoto e em redes de distribuição de água de reúso, o efluente gerado poderia ser melhor aproveitado no reúso para fins industriais, o que foge do foco deste trabalho. Conhecendo o potencial da estação, a Cagece há alguns anos articula-se com indústrias para a aplicação desta modalidade de reúso. A Figura 15 contém uma imagem aérea da região da ETE SIDI, destacada pelo polígono vermelho.

Figura 15 – Georrefenciamento da ETE SIDI



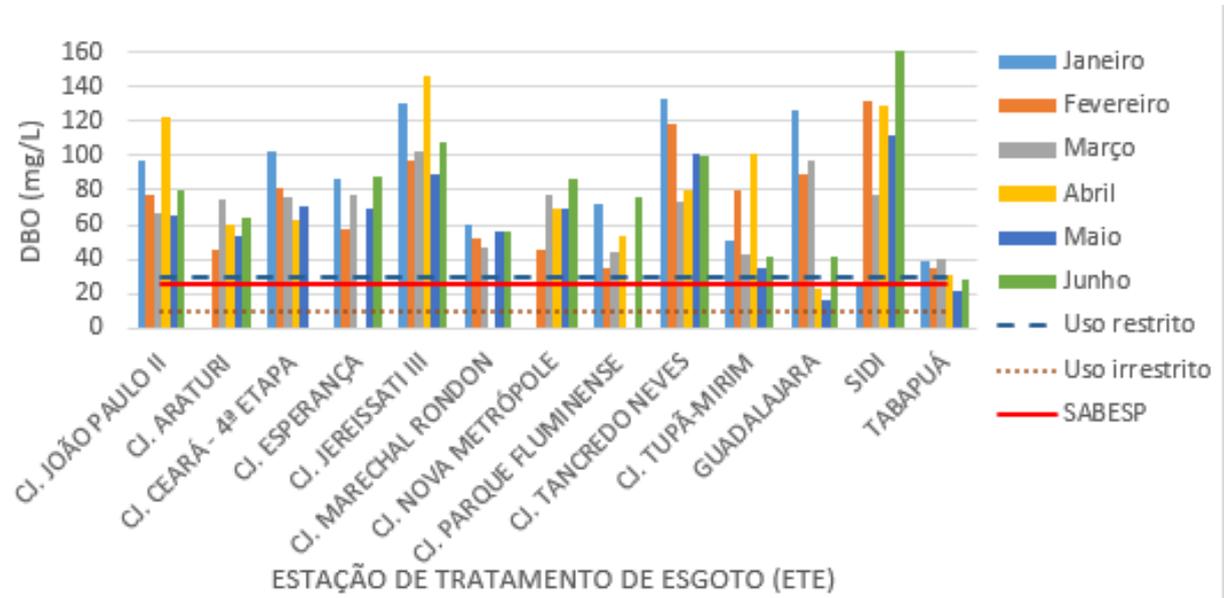
Fonte: Captada de Google Earth (2018).

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA USEPA E DA SABESP

Para a comparação entre os parâmetros para reúso de águas residuárias tratadas da USEPA (2012) e da SABESP, foram elaborados gráficos em relação ao atendimento das ETES aos padrões estabelecidos. As figuras 16 a 21 representam o atendimento aos padrões de DBO,

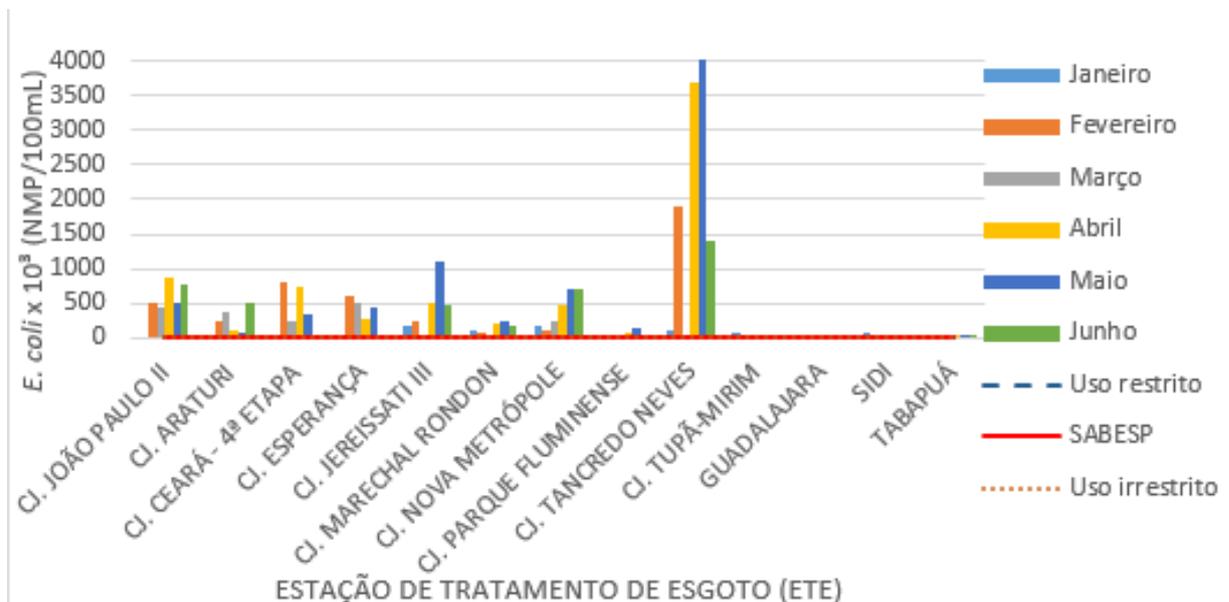
E. coli e SST, de acordo com o tratamento empregado nas estações, dividindo-as em lagoas de estabilização e reatores anaeróbios.

Figura 16 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



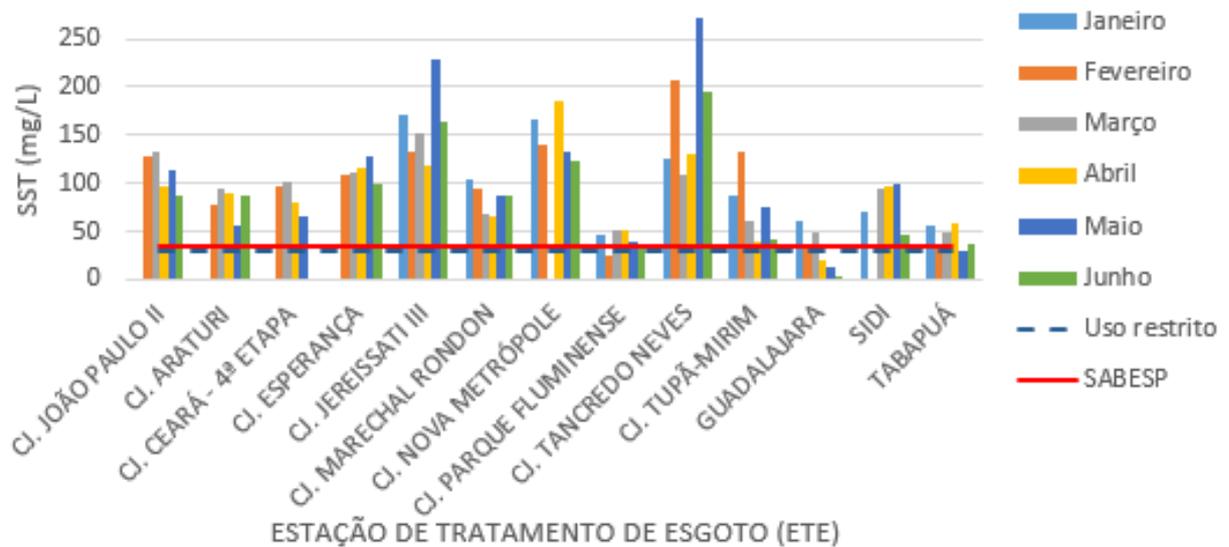
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 17 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para *E. coli* em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



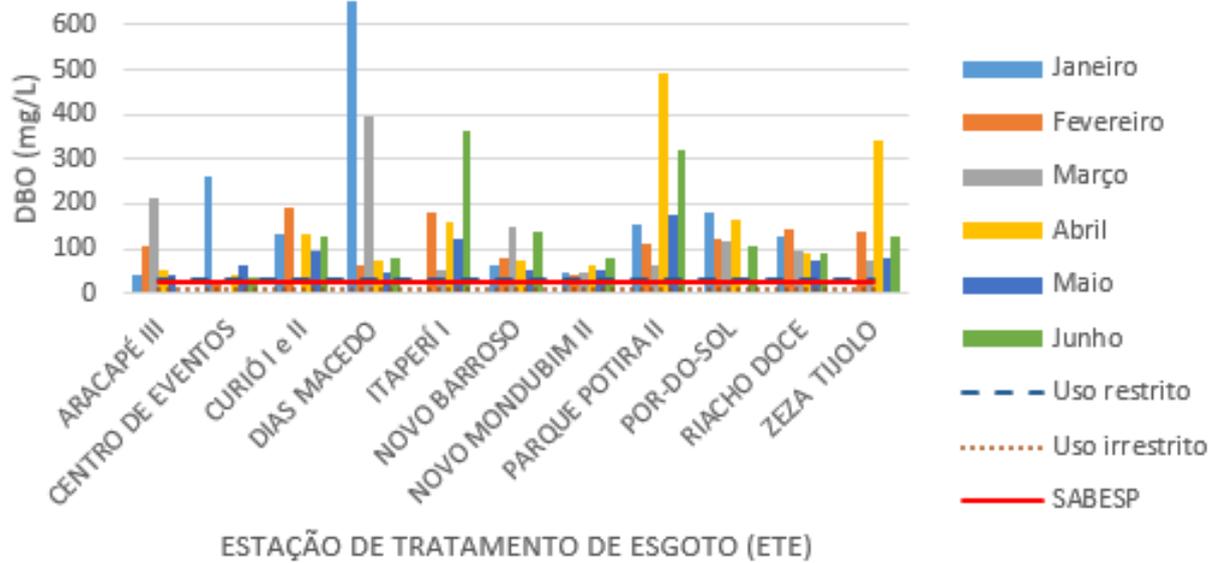
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 18 – Resultados das ETEs de lagoas de estabilização para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

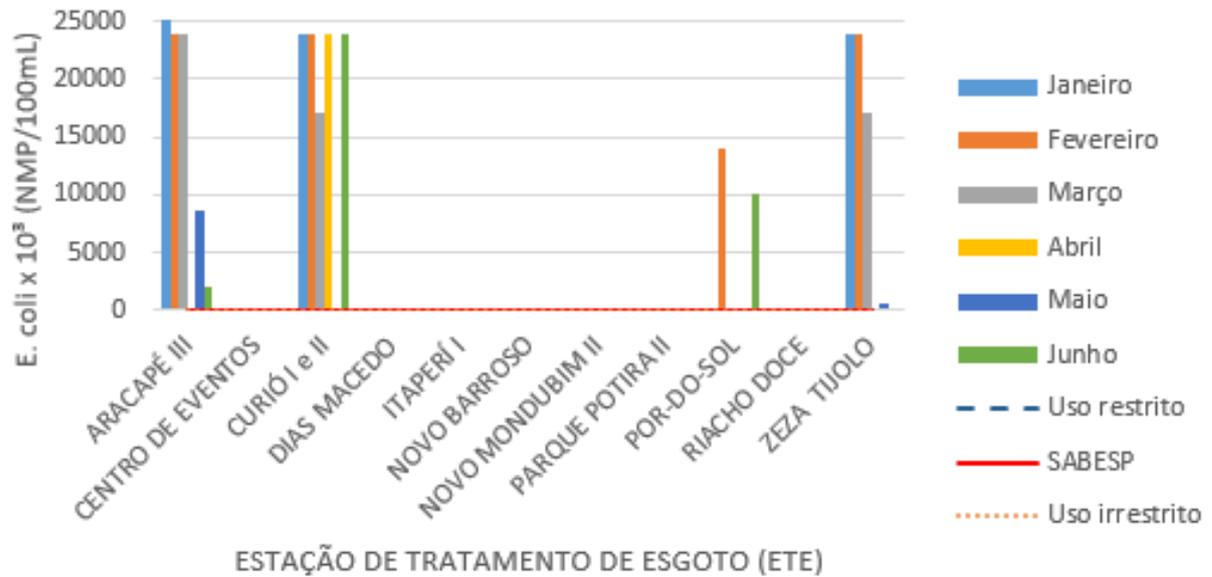
Figura 19 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para DBO em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

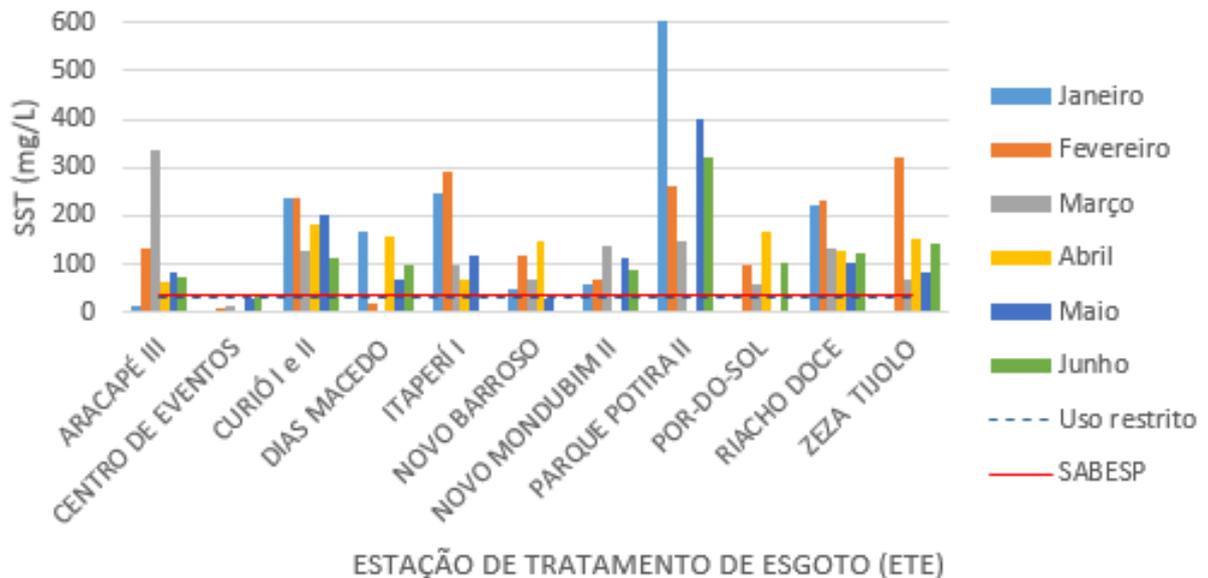
Figura 20 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para *E. coli* em relação aos padrões

de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 21 – Resultados das ETEs de reatores anaeróbios para SST em relação aos padrões de reúso urbano considerados pela SABESP (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Visualizando e comparando os resultados das ETEs em relação aos padrões da USEPA (2012) e da SABESP é possível perceber que os parâmetros norte-americanos para reúso urbano de águas residuárias tratadas não são muito restritivos para o cenário nacional, visto que são semelhantes aos adotados pela companhia brasileira. Contudo, é importante mencionar que o estado de São Paulo possui ETEs bastante centralizadas, com grandes vazões, e usualmente projetadas na modalidade de lodo ativado, com desinfecção final. Tal fato é o principal motivo dos limites próximos aos da USEPA (2012), assim como a previsão de

parâmetros mais restritivos para CTer e inclusão dos parâmetros DBO e SST.

Entretanto, se pensarmos o cenário estudado no presente trabalho, verifica-se que talvez os parâmetros e os limites definidos pelo PROSAB, sejam mais indicados com a realidade brasileira e do estado do Ceará, modalidade de tratamento mais descentralizada, assim como outras tecnologias de tratamento como lagoas de estabilização e reatores UASB seguidos de cloração, que dificilmente cumpririam com limites definidos pela USEPA e SABESP, principalmente em relação à SST e DBO, os quais não são previstos no PROSAB.

5.3 PROJETOS DE REÚSO DE ÁGUA

Em seu Plano de Gestão Estratégica e de Negócios de 2017 (2018-2022), a Cagece apresentou entre seus projetos estratégicos a dessalinização de água do mar e o reúso de efluentes domésticos, prevendo investimentos nessa área para os anos de 2018 e 2019, conforme descrito na Tabela 10.

Tabela 10 – Investimentos em reúso de água previstos para a Cagece

<i>Ano</i>	<i>Investimento (R\$)</i>
2018	1.072.825,33
2019	980.461,13

Fonte: Cagece (2017).

Todavia, os investimentos em pesquisas e tecnologias de reúso de água já são realizados há anos na companhia. Conforme citado na revisão bibliográfica, a Cagece possui um Centro de Treinamento, Demonstração e Desenvolvimento em Reúso Agrícola, localizado em Aquiraz, que atua no desenvolvimento de práticas de reúso da companhia. Esse centro é operado em um anexo da ETE de Aquiraz que recebe os efluentes da mesma e os trata através de um sistema de lagoas de estabilização, composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação. A Cagece pretende instalar um sistema de *wetland*, que tem como objetivo viabilizar o tratamento de efluentes através de um sistema natural, bem como o polimento destes, tendo também como meta a implantação de filtros em pedregulho, floco-flotador por ar dissolvido e ultrafiltração. Essas unidades de pós-tratamento serão implantadas com a perspectiva de elevar a remoção de algas, diminuindo a turbidez do efluente e possibilitando também, após a desinfecção, a qualidade necessária para a prática de reúso urbano (CAGECE, 2018).

No centro são realizadas pesquisas visando a reutilização de águas residuárias para aquicultura e, como foco principal, para fins agrícolas. Essa última, atualmente é realizada com base na irrigação de plantios de goiaba, manga, coco, uva, maracujá e banana. A Companhia

também prevê a implantação de estufas para a produção de mudas ornamentais e florestais (CAGECE, 2018).

A ETE Guadalajara, em Caucaia, também adota estudos na prática do reúso de águas residuárias. Seu sistema de tratamento é composto por lagoas anaeróbia, facultativa e três lagoas de maturação em série, seguidas de tanques de pré-cloração e adição de coagulante, com passagem por filtros de areia e desinfecção por UV e ozonização. O sistema é finalizado pelo encaminhamento do efluente para dois filtros de carvão ativado e para cloração final. Esse sistema foi, em 2013, um dos vencedores do Prêmio Cagece Inovação e Melhorias Práticas (ROLLEMBERG, 2017).

Em 2015, com apoio da companhia, a empresa norte-americana AECOM *Technology Corporation*, em parceria com a Agência de Desenvolvimento e Comércio Norte-Americana (*United States Trade and Development Agency*), iniciou estudos de viabilidade sobre a implantação de estações de tratamento de esgoto cujas tecnologias possibilitarão o aproveitamento dos subprodutos gerados nos processos da Cagece (areia, lodo e águas de reúso) para fins agrícolas e industriais. Esses estudos já foram concluídos e estão sendo analisados pela companhia.

Também nesse ano, a Cagece, em parceria com o Instituto Federal do Ceará (IFCE) e com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), iniciou um projeto piloto de reúso de águas residuárias em Tianguá, município do Ceará. Neste, o esgoto doméstico tratado é utilizado para fins agrícolas, no cultivo de maracujá, que é posteriormente distribuído para organizações não governamentais. Ainda nesse município, em 2018, a Cagece iniciou, através da Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica (Geped), a articulação com a Unidade de Negócio da Bacia da Serra do Ibiapaba (UNBSI) para a implantação de projetos de reúso na ETE São Gonçalo, localizada na cidade (CAGECE, 2018).

Ainda em 2018, no âmbito das tecnologias emergentes, a Cagece iniciou uma parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC), especificamente com o Laboratório de Saneamento (LABOSAN), para a implantação de um reator piloto de lodo granular aeróbio a ser instalado na Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC). A tecnologia de tratamento trata-se de uma nova aplicação para o tratamento de efluentes com possibilidade de reúso e destaca-se por apresentar elevada capacidade de sedimentação da biomassa granular, o que resulta em reatores com volumes menores. Nessa tecnologia, o crescimento da biomassa se dá em forma de grânulos compactos, o que elimina a necessidade de grandes tanques de sedimentação (SHOW *et al.*, 2012). Além disso, os sistemas granulares são capazes de reter grande quantidade de micro-organismos em seu interior, permitindo assim a rápida

metabolização dos poluentes (BASSIN, 2011 *apud* WAGNER, 2015).

A Cagece também possui uma sociedade de propósito específica, através da qual, estuda a aplicação da prática de reúso a partir do tratamento de esgoto gerado por empresas localizadas no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). As tecnologias empregadas no tratamento dos efluentes são compostas por coagulação, floculação, filtros multimídia e em cartucho e osmose reversa. O projeto em escala piloto foi desenvolvido e executado pela Cagece, em parceria com a empresa francesa Suez, chegando a gerar 13m³/h de água de reúso. O passo seguinte é a conclusão dos estudos de viabilidade econômica, que possibilitará o levantamento dos possíveis consumidores da água de reúso na localidade, para que seja implantada uma estação móvel do produto, com capacidade de 400m³/h (CAGECE, 2018).

A concessão de dados para a realização desse trabalho também pode ser interpretada como indicador de interesse da companhia no desenvolvimento das práticas de reúso de água. No entanto, para elevar o potencial de aplicação destas, é necessário que haja um investimento nas tecnologias de tratamento do efluente nas ETEs para que a qualidade dos efluentes se adeque aos parâmetros de referência em reúso de água, além de investimentos na manutenção e na operação das estações, de forma que estas possam operar com toda sua capacidade de tratamento.

Ademais, se destaca que, devido ao real interesse da Cagece de implantar práticas de reúso de água, é necessária a realização das análises dos parâmetros de qualidade exigidos pela legislação vigente sobre reúso de água no Ceará, a Resolução COEMA nº 02/2017. Atualmente, a companhia não apresenta dados cadastrados que são solicitados na resolução, sendo exemplos destes: ovos de geohelmintos, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes.

Nota-se que muitos dos projetos atuais em relação ao reúso são desenvolvidos apenas em escala piloto, mas com o investimento em tecnologias de tratamento de esgoto, estudos de viabilidade da aplicação da reutilização de água, construções que possibilitem o reúso predial e educação social a respeito da importância e segurança da água de reúso, se prevê um aumento no número de iniciativas públicas em relação ao reúso de água.

É preciso que as iniciativas de reúso de água a partir de esgotos estejam aliadas à outras formas de uso consciente da água, como: reúso de água pluvial, dessalinização, reutilização de água em edifícios prediais e diminuição do consumo. Com esse cenário, será possível alcançar uma gestão integrada dos recursos hídricos.

As iniciativas da Cagece para adoção de práticas de reúso de águas residuárias tratadas podem ser encontrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Iniciativas da Cagece para adoção de práticas de reúso de águas residuárias

<i>Ano</i>	<i>Iniciativas</i>	<i>Fins do reúso</i>
2002-2008 e 2016-2018	Centro de Treinamento, Demonstração e Desenvolvimento em Reúso Agrícola.	Agrícola Aquicultura Urbano
2013	A ETE Guadalajara desenvolve estudos para possibilitar a prática do reúso de águas residuárias, através da adoção de tecnologias estrangeiras no tratamento de efluentes. O sistema foi campeão do Prêmio Cagece Inovação e Melhorias Práticas em 2013.	-
2015-2018	Parceria com a empresa norte-americana AECOM Technology Corporation e USTDA para estudo de viabilidade sobre a implantação de ETEs cujas tecnologias possibilitarão o aproveitamento dos subprodutos gerados nos processos de tratamento (areia, lodo e águas de reúso).	Agrícola Industrial
2016	Estudo da aplicação de prática de reúso a partir do tratamento de esgoto gerado por empresas localizadas na CIPP, desenvolvido pela Cagece com a empresa francesa Suez. Com planos de estudos de viabilidade econômica.	Industrial
2018	Parceria com UFC para implantação de tecnologia de lodo granular aeróbio para aumento da qualidade do efluente final, possibilitando reúso	Não determinado

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados das ETEs fornecidos pela Cagece, observa-se a necessidade da consolidação do acompanhamento das estações, avaliando periodicamente dados de vazão, parâmetros de qualidade mais focados no reúso, assim como melhorias na operação das ETEs e mesmo inclusão de tratamentos complementares que possibilitem o reúso nas ETEs.

Nota-se que nenhuma ETE conseguiu atender aos padrões de reúso urbano irrestrito, possivelmente pelo fato de que talvez os parâmetros e limites considerados no estudo da USEPA (2012) e SABESP (2018) não refletissem adequadamente às tecnologias de tratamento avaliadas.

Verifica-se que talvez os parâmetros e os limites definidos pelo PROSAB, sejam mais indicados com a realidade brasileira e do estado do Ceará, modalidade de tratamento mais descentralizada, assim como outras tecnologias de tratamento como lagoas de estabilização e reatores UASB seguidos de cloração, que dificilmente cumpririam com limites definidos pela USEPA e SABESP, principalmente em relação à SST e DBO, os quais não são previstos no PROSAB.

Na análise do reúso nas ETEs da Cagece, destacaram-se como potenciais consumidores da água de reúso produzida nas estações a URBFFor, com interesse na adoção de práticas de reúso de águas residuárias tratadas para a irrigação de áreas verdes da capital e RMF, gerando uma economia de cerca de 16.000 L de água, e a Cagece, com a utilização das águas de reúso para atividades de hidrojateamento (uso urbano restrito), poupando aproximadamente 160.000L de água por dia.

Por fim, ressalta-se a importância da continuidade de pesquisas que visem a implantação de práticas de reúso de água no Ceará, buscando um levantamento mais completo dos possíveis consumidores, de empresas públicas ou privadas, que tenham interesse nessa forma de gestão dos recursos hídricos. Ademais, é de extrema importância a existência de estudos que apresentem propostas em relação à implantação, logística e operação desta prática dentro das empresas, fazendo a análise de custos, impactos ambientais e das capacitações e projetos de educação ambiental voltados a aceitabilidade da água de reúso.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil), 2017, **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2017: relatório pleno. Brasília, ANA.

AQUIM, P. M.; HANSEN, E.; GUTTERRES, M. Water reuse: An alternative to minimize the environmental impact on the leather industry. **Journal of Environmental Management**. v. 230, p. 456-463, 2018.

BALASSIANO, M. **Análise da aplicação de reúso de águas servidas: estudo de caso do Caxias Shopping**. 2018. 48 f. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BONA, A.; GOHRINGER, S. S.; AISSE, M.M. Uso do Efluente Sanitário na Indústria Cerâmica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, p. 171-179, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de recursos Hídricos. Resolução n. 54 – 28 nov. 2005. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática de reúso direto não potável de água e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2006.

BORDONALLI, A. C. O.; MENDES, C. G. N. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 14, p. 235-244, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 – 17 mar. 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões do lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2005a.

BRASIL. Lei nº 9.433 – 8 jan. 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, 9 jan. 1997. p. 470.

BRASIL, 2015, Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: SNSA/MCIDADES.

BREGA FILHO, D. B.; MANCUSO P. C. S. Conceito de reúso de água: In: MANCUSO P. C. S.; SANTOS, H. F (Ed.). **Reúso de Água**. Barueri, S. P. Manole, 2002.

CAIXETA, C. E. T. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no Estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão**. 2010. 323 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, 2010.

CALDA, S. A. B.; SAMUDIO, E. M. M. Água de reúso para fins industriais: Estudo de caso. **Brasil para todos**. v. 6, 2016.

CARVALHO, R. S.; SANTOS FILHO, J. S.; SANTANA, L. O. G.; GOMES, D. A.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G. Influência do reúso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Ambi-Agua**. v.8, p. 157-167, 2013.

CEARÁ. Lei nº 16.033 - 20 de jun. 2016. Dispõe sobre a política de reúso de água não portátil no âmbito do Estado do Ceará. **Diário Oficial do Estado**. Ceará, 2016.

CEARÁ. Lei nº 16.603 - 09 de jul. 2018. Dispõe sobre o reúso da água proveniente de aparelhos de ar condicionado no Estado do Ceará. **Diário Oficial do Estado**. Ceará, 2018.

CHEN, Z.; WU, Q.; WU, G.; HU, H. Centralized water reuse system with multiple applications in urban áreas: Lessons from China's experience. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 117b, p. 125-136, 2017.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Revista Cagece**. v. 7, 2018. Disponível em: < <https://www.cagece.com.br/comunicacao/revista-cagece/> > Acessado em: 20 de Novembro de 2018.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Revista Cagece**. v. 4, 2017. Disponível em: < <https://www.cagece.com.br/comunicacao/revista-cagece/> > Acessado em: 20 de Novembro de 2018.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Revista Cagece**. v. 1, 2016. Disponível em: < <https://www.cagece.com.br/comunicacao/revista-cagece/> > Acessado em: 20 de Novembro de 2018.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 02, 02 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial do Estado**, 21 de fevereiro de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, 17 de maio de 2005. **Diário Oficial da União**, 18 de março 2005 (p. 58-63).

DA SILVA, R. A. **Análise de confiabilidade no período de 2010 a 2015 de duas estações de tratamento de esgotos do tipo UASB seguido de cloração**. 2016. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

EDWARDS, P. **Reuse of human wastes in aquaculture, a technical review**. Washington, U.S.A.: The World Bank, UNDP-World Bank Water and Sanitation Program. 1992. 350 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Manual de Conservação e reúso da água em Edificações**. São Paulo: FIESP, p. 51-60, 2005.

FERRACIOLLI, L. M. R. V. D.; LUIZ, D. B.; SANTOS, V. R. V.; NAVAL, L. P. Reduction in water consumption and liquid effluent generation at a fish processing plant. **Journal of Cleaner Production**. v. 196, p. 948-956, 2018.

FONTENELE, R. M. M. **Efeitos da suplementação com vitamina C em diferentes níveis de arraçoamento no cultivo de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em esgoto doméstico tratado**. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará UFC, Fortaleza, 2011.

FREITAS, A. S. **Utilização de esgotos sanitários tratados em lagoas de polimento para a**

criação de alevinos de tilápia do Nilo-aspectos produtivos e econômicos. 2006. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

GOHRINGUER, S. S. **Uso Urbano Não Potável de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Estudo de Caso: Município de Campo Largo - PR.** 2006. 238 f. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

GUIDOLIN, J. C. Reúso de efluentes. **Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente.** 2000.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquífero. In: MANCUSO P. C. S.; SANTOS, H. F (dos Ed.). **Reúso de Água.** Barueri, SP. Manole, 2002, p. 339-402.

HESPANHOL, I. A Inexorabilidade do reúso potável Direto. **Revista DAE.** São Paulo, 2014. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018a, Estimativa de população. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=16985&t=destaques>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Anuário Estatístico do Ceará.** IPECE: Ceará, 2015.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

KERSHNER, I. Aided by the Sea, Israel Overcomes An Old Foe: Drought. **The New YorkTimes.** New York, NY, 2015. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2015/05/30/world/middleeast/water-revolution-in-israel-overcomes-any-threat-of-drought.html>> Acesso em: 28 de Novembro de 2018.

LEFEBVRE, O. Beyond NEWater: An insight into Sigapore's water reuse prospects. **Current Opinion in Environmental Science & Health.** v. 2, p. 26-31, 2018.

MAGALHÃES, A. B. S. **Taxonomia, estrutura e dinâmica do fitoplâncton e do zooplâncton em um sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário em lagoas de polimento.** 2011. 204 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água.** Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, p. 22-479, 2002.

MELO, G. K. R. M. M.; MARACAJ, K. F. B.; DANTAS NETO, J. Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. **Âmbito Jurídico,** Rio Grande, XV, n. 100, maio 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2PYIe29>>. Acesso em: 10 de Outubro de 2018.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4ª ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

MONTEIRO, C. A. B. **Avaliação da piscicultura em esgoto doméstico tratado: aspectos zootécnicos, ambientais e de qualidade do pescado produzido.** 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MORELLI, E. B. **Reúso da água na lavagem de veículos.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. **Reúso de águas: conceitos; importância; tipos.** In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (Organizadores). Reúso de águas em irrigação e piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. cap. 1.

MORIAS, N. W. S. **Inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e reúso de águas e análise de eficiência e confiabilidade de um efluente industrial.** 2016. 102 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

NASIRI, F.; SAVAGE, T.; WANG, R.; BARAWID, N.; ZIMMERMAN, J. B. A system dynamics approach for urban water reuse planning: a case study from the Great Lakes region. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.** v. 27, p. 675-691, 2013.

ORTIZ, I. A. S. **Criação de tilápia com efluente de lagoa de alta taxa: Avaliação de taxas de aplicação superficial de nitrogênio e Sustentabilidade da produção pelo fornecimento de alimento natural (plâncton).** 2018. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2018.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura: In: MANCUSO P. C. S.; SANTOS, H. F (dos Ed.). **Reúso de Água.** Barueri, S. P. Manole, 2002, p. 339-402.

Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Plano municipal de Saneamento Básico.** Fortaleza, 2014. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meioambiente/infocidade/diagnostico_do_sistema_de_esgotamento_sanitario.pdf>. Acesso em: 03 de Novembro de 2018.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim.** Recife: PROSAB, p. 16-154, 2006.

REBOUÇAS, J. R. L; DIAS, N. S.; GONZAGA, M. I. S.; GHEYI, H. R.; NETO, O. N. S. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico. **Revista Caatinga.** v. 23, 2010.

REZENDE, A. T. **Reúso Urbano de Água para Fins Não Potáveis no Brasil.** 2016. 96 f. Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ROCHA, E. L. **Reúso de águas residuárias na agricultura irrigada**. 2013. Projeto de graduação (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Faculdade Metropolitana de Camaçari (FAMEC), Camaçari, 2013.

ROLLEMBERG, S. L. S. **Avaliação do Potencial de Reúso dos Efluentes Gerados nas ETEs Operadas pela Cagece em Fortaleza-CE**. 2017. 95f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Ceará, Fortaleza, 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Portal de Notícias SABESP, São Paulo, 2015. Disponível em: <www.sabesp.com.br/noticias>. Acesso em: 20 de Outubro de 2018.

SALGOT, M.; FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. **Environmental Science & Health**. v. 2, p. 64-74, 2018.

SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **Holos**. v. 1, p. 28-46, 2013.

SAPKOTA, A. R. Water reuse, food production and public health: Adopting transdisciplinary, systems-based approaches to achieve water and food security in a changing climate. **Environmental Research**. 2018.

SHOW, K.Y.; LEE, D.J.; TAY, J.H. Aerobic granulation: advances and challenges. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v. 167, p. 1622-1640, 2012.

STAUDENMANN, J.; JUNGE, B. R. The Otelfingen aquaculture project: Recycling of nutrients from waste water in a temperate climate. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 13, n. 1/2, p. 67-101, 2003.

TEIXEIRA, E.C. (1995). **Importância da Hidrodinâmica de Reatores na Otimização de Processos de Desinfecção de Águas de Abastecimento**: Uma análise crítica. In: 18o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro: ABES.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guideline for water reuse**. Washington D. C: USEPA, 2012.

WHO - World Health Organization. **Guidance for Producing Safe Drinking-water**. Technical Report series, Geneva: n. 778, 2017.

WAGNER, J. **Processo de granulação aeróbia em reatores em Bateladas sequenciais em condições de baixa carga orgânica**. 2015. 191 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2015.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Reúso de água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 15, p. 119-128, 2010.

WILCOX, J.; NASIRI F.; BELL, S.; RAHAMAN, S. Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review. **Sustainable Cities and Society**. v. 27, p. 448-456, 2016.

ANEXOS

Tabela 12 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em janeiro de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	Ausente	44	175	2,9E+06	7,28	12,0
CENTRO DE EVENTOS	Ausente	262	138	2,0E+05	7,78	2,7
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	98	391	1,1E+06	7,39	195,0
CONJUNTO ARATURI	-	97	238	4,4E+05	8,04	122,5
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	102	408	6,7E+05	7,17	175,0
CONJUNTO ESPERANÇA	-	86	345	6,7E+05	7,19	124,0
CONJUNTO JEREISSATI III	-	130	521	8,3E+05	7,41	170,0
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	60	238	5,2E+04	7,85	105,0
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	118	471	1,1E+06	7,35	167,0
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	72	288	9,7E+04	8,42	46,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	133	468	2,1E+06	7,58	125,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	51	205	5,2E+03	7,42	88,0
CURIÓ I e II	Ausente	135	541	2,4E+07	7,19	235,0
DIAS MACEDO	3,0	661	375	<1,0	6,88	165,0
GUADALAJARA	3,0	127	117	2,7E+04	7,36	61,467
ITAPERÍ I	1,0	1385	578	3,6E+04	7,26	245,0
NOVO BARROSO	Ausente	65	261	6,1E+06	7,20	46,7
NOVO MONDUBIM II	3,0	45	181	<1,0	7,26	58,0
PARQUE POTIRA II	1,5	156	623	2,4E+03	7,27	730,0
POR-DO-SOL	2,5	180	718	8,7E+03	7,16	325,0
RIACHO DOCE	3,0	130	518	2,0E+02	7,0	220,00
SIDI	-	27	251	2,0E+05	8,12	70,0
TABAPUÁ	-	40	158	4,1E+03	8,10	56,0
ZEZA TIJOLO	Ausente	1162	4647	2,4E+07	7,0	3560,0

Tabela 13 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em fevereiro de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	AUSENTE	104	415	2,4E+07	7,57	132,0
CENTRO DE EVENTOS	>3,0	19	75	<1,0	7,45	10,5
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	78	311	5,2E+05	7,45	128,0
CONJUNTO ARATURI	-	45	181	2,5E+05	8,11	78,0
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	81	325	8,0E+05	7,90	96,0
CONJUNTO ESPERANÇA	-	57	228	6,0E+05	7,81	108,3
CONJUNTO JEREISSATI III	-	98	391	2,5E+05	8,22	132,0
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	52	208	8,6E+04	7,94	94,0
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	45	388	1,2E+05	7,97	140,0
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	35	138	4,6E+04	8,20	24,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	119	475	1,9E+06	7,65	208,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	80	318	2,1E+04	7,84	132,0
CURIÓ I e II	AUSENTE	194	776	2,4E+07	7,28	235,0
DIAS MACEDO	2,5	62	248	3,0E+01	6,91	20,0
GUADALAJARA	-	89	-	1,0E+04	7,60	38,0
ITAPERÍ I	3,0	179	715	2,0E+00	7,07	292,0
NOVO BARROSO	-	77	308	1,4E+03	6,77	120,0
NOVO MONDUBIM II	2,0	40	158	1,8E+01	7,36	66,0
PARQUE POTIRA II	3,0	110	441	1,1E+05	6,99	260,0
POR-DO-SOL	Ausente	122	488	1,4E+07	7,27	100,0
RIACHO DOCE	2,0	141	565	4,1E+04	-	230,0
SIDI	-	132	268	6,2E+02	8,10	155,0
TABAPUÁ	-	36	111	6,2E+02	8,85	33,0
ZEZA TIJOLO	AUSENTE	139	556	2,4E+07	7,40	320,0

Fonte: Cagece (2018).

Tabela 14 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em março de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	AUSENTE	215	862	2,4E+07	7,07	335,0
CENTRO DE EVENTOS	Ausente	554	95	1,5E+04	6,97	13,8
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	67	268	4,5E+05	8,10	133,3
CONJUNTO ARATURÍ	-	75	298	3,9E+05	8,07	94,0
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	76	305	2,6E+05	7,81	102,5
CONJUNTO ESPERANÇA	-	77	308	5,1E+05	7,90	110,0
CONJUNTO JEREISSATI III		103	403	9,1E+05	8,135	152
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	46	185	5,6E+04	8,07	68,0
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	77	308	2,6E+05	7,88	60,0
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	44	175	5,7E+03	8,22	51,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	73	291	2,0E+04	-	108,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	43	171	9,8E+05	7,90	62,0
CURIÓ I e II	AUSENTE	550	502	1,7E+07	7,12	128,0
DIAS MACEDO	3,0	398	1592	-	7,14	970,0
GUADALAJARA	-	98	172	2,8E+02	7,89	50,0
ITAPERÍ I	1,5	54	215	<1,0	6,69	96,0
NOVO BARROSO	0,8	150	602	2,5E+02	6,99	68,0
NOVO MONDUBIM II	1,0	49	195	1,6E+02	-	136,0
PARQUE POTIRA II	1,5	60	242	2,5E+01	6,91	148,0
POR-DO-SOL	2,5	117	468	4,6E+02	7,04	60,0
RIACHO DOCE	0,5	97	388	2,4E+05	6,77	132,5
SIDI	-	78	242	2,1E+03	8,34	95,0
TABAPUÁ	-	40	159	1,4E+04	8,11	48,0
ZEZA TIJOLO	Ausente	75	298	1,7E+07	7,15	68,0

Fonte: Cagece (2018).

Tabela 15 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em abril de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	Ausente	53	212	2,0E+04	7,29	64,0
CENTRO DE EVENTOS	3,0	41	165	<1,0	6,60	92,8
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	122	242	8,6E+05	8,34	97,5
CONJUNTO ARATURI	-	60	238	1,1E+05	8,11	90,0
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	63	252	7,5E+05	7,90	80,0
CONJUNTO ESPERANÇA	-	155	318	2,9E+05	8,14	116,0
CONJUNTO JEREISSATI III	-	147	272	5,1E+05	8,46	118,0
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	70	195	2,1E+05	8,47	65,3
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	69	275	4,6E+05	7,50	185,0
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	53	212	7,4E+04	7,81	52,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	80	318	3,7E+06	7,97	130,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	101	135	7,0E+03	7,77	40,0
CURIÓ I e II	Ausente	133	532	2,4E+07	7,29	180,0
DIAS MACEDO	1,9	72	288	4,1E+00	6,85	156
GUADALAJARA	-	23	93	6,0E+03	7,79	20,0
ITAPERÍ I	1,5	157	628	<1,0	6,77	66,0
NOVO BARROSO	1,5	75	298	1,5E+05	6,61	148,0
NOVO MONDUBIM II	1,0	62	248	1,3E+03	7,43	235,0
PARQUE POTIRA II	1,0	494	1976	1,0E+02	7,35	1530,0
POR-DO-SOL	2,0	164	655	1,0E+02	6,98	168,0
RIACHO DOCE	2,5	92	368	3,7E+03	7,42	128,0
SIDI	-	128	248	3,1E+02	8,20	97,5
TABAPUÁ	-	30	122	3,1E+02	9,11	57,3
ZEZA TIJOLO	0,5	343	762	1,0E+02	6,90	152,0

Fonte: Cagece (2018).

Tabela 16 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em maio de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	Ausente	41	165	8,6E+06	7,20	84,0
CENTRO DE EVENTOS	0,8	64	255	2,3E+03	6,87	26,0
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	65	262	5,0E+05	8,07	112,5
CONJUNTO ARATURI	-	54	215	8,5E+04	8,20	56,7
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	71	285	3,3E+05	7,60	66,0
CONJUNTO ESPERANÇA	-	70	278	4,4E+05	7,57	128,0
CONJUNTO JEREISSATI III	-	89	355	1,1E+06	8,97	228,0
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	56	225	2,5E+05	7,92	86,0
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	69	275	7,0E+05	7,87	132,0
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	171	248	1,3E+05	8,27	40,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	101	405	4,1E+06	7,90	275,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	35	142	4,8E+03	8,17	75,0
CURIÓ I e II	Ausente	95	382	7,0E+06	7,34	200,0
DIAS MACEDO	1,0	45	182	3,1E+02	7,27	66,0
GUADALAJARA	-	16	60	8,5E+03	7,68	14,0
ITAPERÍ I	2,0	124	495	<1,0	6,82	120,0
NOVO BARROSO	Ausente	55	218	2,4E+05	7,10	30,0
NOVO MONDUBIM II	>3,0	54	215	<1,0	7,31	114,0
PARQUE POTIRA II	3,0	174	697	4,1E+02	7,40	400,0
POR-DO-SOL	Ausente	701	322	2,4E+05	7,48	<0,1
RIACHO DOCE	0,5	75	302	1,7E+04	7,15	104,0
SIDI	-	112	169	2,0E+02	8,33	100,0
TABAPUÁ	-	21	85	5,2E+02	7,69	29,2
ZEZA TIJOLO	0,2	80	322	5,1E+05	6,92	82,5

Fonte: Cagece (2018).

Tabela 17 – Parâmetros de qualidade para ETEs estudadas em junho de 2018

ETE	Cloro residual livre OT	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	E. coli (NMP/100mL)	pH	SST (mg/L)
ARACAPÉ III	Ausente	707	214	2,0E+06	7,18	72,0
CENTRO DE EVENTOS	1,5	35	142	<1,0	6,78	37,3
CONJUNTO JOÃO PAULO II	-	80	318	7,8E+05	7,70	86,0
CONJUNTO ARATURI	-	64	258	5,2E+05	8,22	88,0
CONJUNTO CEARÁ - 4ª ETAPA	-	184	-	-	-	-
CONJUNTO ESPERANÇA	-	88	350	9,6E+05	7,87	100,0
CONJUNTO JEREISSATI III	-	107	429	4,8E+05	8,52	164,0
CONJUNTO MARECHAL RONDON	-	56	224	1,8E+05	8,54	86,0
CONJUNTO NOVA METRÓPOLE	-	87	348	7,1E+05	7,92	122,5
CONJUNTO PARQUE FLUMINENSE	-	76	302	5,0E+05	8,47	36,0
CONJUNTO TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	-	100	402	1,4E+06	7,94	196,0
CONJUNTO TUPÃ-MIRIM	-	42	169	2,5E+04	7,90	42,0
CURIÓ I e II	Ausente	128	510	2,4E+07	7,38	112,5
DIAS MACEDO	2,0	81	323	5,2E+02	7,28	100,0
GUADALAJARA	-	41	68	2,1E+04	7,58	4,0
ITAPERÍ I	>3,0	363	1452	<1,0	6,44	1190,0
NOVO BARROSO	1,0	136	545	2,6E+04	6,54	320,0
NOVO MONDUBIM II	1,0	77	309	<1,0	7,44	90,0
PARQUE POTIRA II	2,5	319	292	6,4E+03	7,14	320,0
POR-DO-SOL	Ausente	106	425	1,0E+07	7,51	102,0
RIACHO DOCE	3,0	88	350	2,5E+03	7,36	124,0
SIDI	-	185	175	6,3E+02	8,60	46,0
TABAPUÁ	-	28	112	1,0E+04	8,16	38,0
ZEZA TIJOLO	1,0	129	514	1,9E+03	6,90	142,0

Fonte: Cagece (2018).