



REUSO DE EFLUENTES DE TRATAMENTO SECUNDÁRIO COMO ALTERNATIVA DE FONTE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Marcelo Obraczka

obraczka.uerj@gmail.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Douglas do Rosário Silva

douglas.rosario@outlook.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Adriana de Souza Campos

adrianamscampos@gmail.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Bruno Muricy

brmuricy@hotmail.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

O Reuso de efluentes sanitários é prática usual em vários países como alternativa estratégica de abastecimento. No Brasil, vem crescendo no setor corporativo, embora nos sistemas públicos ainda seja incipiente. O reuso pode reduzir pressões sobre mananciais/sistemas de abastecimento, postergando a necessidade de sua expansão, e aumentando a segurança hídrica. Buscando gerar conhecimento e implementar o reuso, esse trabalho avalia o potencial de reaproveitamento nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) no município do Rio de Janeiro, RJ. Realizou-se um levantamento de referências, legislação e informações, construindo-se um banco de dados sobre reuso e um inédito mapeamento georreferenciado de geradores e potenciais consumidores de águas regeneradas. Pelas grandes distâncias para emprego rural e altos custos da água convencional para grandes consumidores, depreende-se que o reuso seja mais viável para usos urbanos/industriais, menos nobres e não potáveis. Estrategicamente localizadas, as ETE, como Alegria e Deodoro, geram grandes vazões de efluentes de boa qualidade, que podem ser utilizados para lavagens, limpeza de equipamentos, umectação de vias e desobstrução de redes, mesmo sem maiores polimentos. A pesquisa identificou entraves para a implementação do reuso, como a carência de conhecimento técnico, legislação específica e cultura de reuso. Como restrições ao desenvolvimento do estudo, destaca-se a dificuldade de obtenção de dados sobre a disponibilidade, demandas e qualidade dos efluentes/águas regeneradas.

Palavras-chave: Escassez de água; Gestão de recursos hídricos; Reuso de efluentes domésticos.



1. INTRODUÇÃO

Apesar de desconhecido da maior parte da população, o reuso já ocorre indiretamente “*de facto*” em situações onde os esgotos de uma cidade situada a montante de uma bacia hidrográfica são lançados em corpo hídrico, utilizado como manancial por outro município mais à jusante (Bila et al., 2017).

Apesar ser prática consolidada e alternativa estratégica de abastecimento de água em muitos países, já fazendo parte dos sistemas de gestão de recursos hídricos, o reuso no Brasil ainda dá seus primeiros passos, com exceção de casos particulares no setor corporativo (Obraczka et al., 2017).

Visando o fortalecimento e aperfeiçoamento da gestão dos recursos hídricos, o objetivo geral do presente estudo é gerar maior conhecimento científico e técnico sobre o reuso, proporcionando subsídios para a sua implementação como alternativa de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro, RJ.

Como objetivos específicos, a pesquisa visa: 1) levantar/compilar legislação, normatização, especificações e dados de estudos de casos sobre reuso; 2) identificar efetivos e potenciais geradores e consumidores de águas regeneradas no município do RJ; 3) avaliar a adequação dos efluentes tratados de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) para fins de reuso; 4) identificar e avaliar potencialidades e caminhos críticos para implementação do reuso no município do Rio de Janeiro, RJ, notadamente para fins não potáveis; e 5) elaborar sugestões visando essa implementação.

Com base em dados disponibilizados pelas concessionárias de saneamento e pelo sistema de gestão ambiental, a pesquisa realizou um inventário de potenciais/efetivos geradores de águas regeneradas, incluindo levantamento de vazões e da qualidade dos efluentes sanitários das ETE de maior porte e que já operam sistemas de reuso no município do Rio de Janeiro, RJ.

Como consumidores foram priorizadas determinadas demandas do setor corporativo, com base nos dados disponibilizados pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan) e através de pesquisas de campo e na *internet*, com uso de ferramentas como o *Google Maps*. Esses dados foram confrontados com valores e limites de parâmetros recomendados por estudos, normas e marcos legais referentes à água de reuso no Brasil e no exterior.

Com base nos dados/resultados da pesquisa, foram identificados gargalos e potencialidades quanto ao reuso no município do Rio de Janeiro, RJ, consolidando proposições para sua implementação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A escassez de água é crescente nos grandes centros urbanos e industrializados, colocando em risco as metas de desenvolvimento regional e do país. A água é um insumo fundamental para a indústria; a perspectiva de sua escassez inibe o crescimento e afasta a possibilidade de atração de novos investimentos para o estado do Rio de Janeiro e que podem trazer mais empregos e renda (Firjan, 2015b).

O reuso não se configura como uma alternativa de fonte de água na gestão de recursos hídricos e na matriz de abastecimento do país, apesar dos graves problemas relacionados à indisponibilidade hídrica e/ou à incapacidade dos sistemas convencionais em atenderem a crescente demanda (Obraczka et al., 2017). Além de reduzir a pressão sobre as reservas de água, o reuso pode contribuir para a melhoria da qualidade dos corpos hídricos (Silva Jr., 2017).

Em diversos outros países, as águas “regeneradas” são utilizadas há décadas, desempenhando importante função socioambiental e econômica (Bila et al., 2017). Incentivados pela crise e escassez hídrica, constatam-se muitos casos consolidados de reutilização de águas servidas, inclusive para fins potáveis, possuindo papel estratégico na “matriz” de abastecimento desses países (Campos, 2018).

Em operação desde o início da década de 1990 na Califórnia, a Unidade de Reciclagem de Água Edward Little é a maior instalação de reciclagem de água/efluente dos EUA, produzindo 1,75m³/s para atender a cinco tipologias de demandas, incluindo usos industriais, potáveis e não potáveis e irrigação (Pieron, 2016).

Em Israel, 80% da água destinada à agricultura provém de sistemas de reuso (Jordão e Santos, 2015). No Brasil, onde a irrigação equivale a 2/3 da demanda por água, havendo regiões onde as necessidades já superam as disponibilidades hídricas (ANA, 2017), uma solução para superar tais déficits seria utilizar, na agricultura, águas que receberam esgoto sanitário, tratado ou diluído (Nuvolari, 2011).

Porém, os maiores avanços em reuso ocorrem para fins industriais e comerciais, através da iniciativa privada (Balasiano, 2018; SUBTIL et al., 2017). Agregado a práticas de gestão para aumento de eficiência e redução do desperdício, o reuso vem sendo crescentemente incorporado pelo setor corporativo. Especialmente a partir da última década, o reuso tornou-se economicamente mais atraente pelas crescentes tarifas e possibilidade de multas pelo uso excessivo de água. Além de reduzir despesas, as indústrias objetivam diminuir sua dependência dos sistemas públicos de água (CNI, 2016). Há diversas experiências consolidadas em grandes empresas, como a Cetrel, a Petrobras, a Fiat Chrysler e a Santista, utilizando águas de reuso em substituição às suas



fontes convencionais de abastecimento (Lima, 2018). Áreas industriais são mais atraentes e viáveis ao reuso, concentrando grande quantidade de potenciais consumidores (Bila *et al.*, 2017). Além de grandes consumidoras, pagam um elevado valor pela água do sistema convencional, sendo menos exigentes em relação à qualidade da água regenerada para usos não nobres (Araújo *et al.*, 2017; Campos, 2018). Para o emprego na lavagem de pisos/equipamentos, exige-se uma qualidade bem inferior àquelas para fins mais nobres, como uso potável direto e indireto, contato primário e insumo do processo industrial (Pieron, 2016).

Por outro lado, a partir de sistemas públicos de tratamento de águas/esgoto podem ser identificadas somente iniciativas pontuais de reuso, basicamente na região Sudeste. A mais relevante é o empreendimento Aquapolo (São Paulo, SP), parceria público-privada entre BRK Ambiental e Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) (Silva Jr., 2017). As águas regeneradas da ETE ABC (Sabesp) abastecem o Polo Petroquímico do ABC Paulista, utilizadas principalmente em torres de resfriamento e caldeiras. O sistema de reuso utiliza membranas de ultra filtração e osmose reversa, sendo o maior provedor de água industrial da América do Sul, com vazão de 650 L/s (Rubim, 2012). Segundo Machado (2019), há demanda já identificada pela SABESP para 1200 L/s de água de reuso, o que representa cerca de 2% da matriz hídrica da RMSP, ressaltando que capacidade instalada de tratamento de esgotos é de somente 40% dessa mesma matriz.

Também no município do Rio de Janeiro, RJ, há maior vocação para o uso industrial/urbano de águas regeneradas, tanto pela maior proximidade entre os geradores e potenciais consumidores como pelas grandes vazões demandadas (Bila *et al.*, 2017).

Entretanto, as 17 ETE do entorno da Baía de Guanabara devolvem ao mar cerca 10,5 m³/s de água/efluente tratado, que poderiam ser fornecidos para as indústrias fluminenses (Firjan, 2015b). Somente a ETE Alegria poderia gerar 2,5m³/s para reuso, quase quatro vezes o que é reutilizado através do Aquapolo (Firjan, 2015b). Entretanto, mesmo as ETE de maior porte e que possuem sistemas de produção de águas regeneradas (Alegria, Penha e Deodoro) disponibilizam uma parcela insignificante de seus efluentes tratados para reutilização (Zahner Filho, 2014).

A Tabela 1 apresenta uma compilação de dados referentes a exemplos de reuso no país.

Fora do universo corporativo, constata-se que as vazões de reuso representam uma parcela insignificante das vazões de tratamento das ETE. Do total de água regenerada produzida em 2014 na ETE Capivari II (5800m³/dia), apenas 40m³/dia(0,7%) foram realmente vendidos (SANASA, 2015).

No município do Rio de Janeiro, inclusive, a produção atual é bem inferior à capacidade instalada de geração água de reuso nas ETE Penha e Alegria (CEDAE, s/d). Se forem contabilizadas somente as vazões comercializadas, essa representatividade é ainda mais limitada. Na ETE Penha, a água de reuso utilizada pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) não é faturada pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). Entretanto, o reuso pode ser economicamente bastante vantajoso para fins urbanos, irrigação e outras destinações não potáveis, mesmo utilizando-se caminhões pipa até distâncias de 110 km, no caso do município do Rio de Janeiro (Araújo *et al.*, 2017).

A viabilidade econômica do reuso através de caminhões pipa pode ocorrer em um raio de até 50 km a partir da ETE Alegria, dependendo do volume demandado, distância entre gerador e consumidor, tarifas de água do sistema convencional e preço praticado para a água de reuso (Campos, 2018).

O custo do m³ de água de reuso para lavagem de coletivos é de R\$ 2,65/m³ (FETRANSPOR, s/d). Farias (2019) e Branco (2016) indicam custos ainda mais reduzidos, de R\$0,25/m³ e R\$2,52/m³, respectivamente. Já o custo do m³ de água convencional para grandes consumidores da categoria industrial é de R\$26,17 no do município do Rio de Janeiro. Mesmo para a menor faixa de consumo residencial (mínima), o custo médio do m³ de água potável, considerando as cinco maiores concessionárias da região Sudeste, é de \$2,60 (Campos, 2018).

De olho nesse potencial, a Firjan (2015b) vem empreendendo diversas iniciativas para divulgar/fomentar o reuso de efluentes de ETE no atendimento de demandas de indústrias no município do Rio de Janeiro, inclusive como forma de combater a estagnação econômica em regiões do estado.

Para grandes vazões e/ou distâncias, entretanto, o transporte rodoviário pode ser inviável, tanto pela reduzida capacidade de escoamento como pela logística disponível nas ETE. No caso da ETE Alegria, para ampliar o reuso, há a necessidade de expansão da área para estacionamento/carga dos caminhões e implantação de unidade de reservação (Campos, 2018).

Baseado no emprego de adutoras exclusivas para águas regeneradas, estudos de viabilidade foram realizados pela CEDAE para atendimento de demandas de água industrial do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) com efluente tratado da ETE Alegria (Zahner Filho, 2014). Houve também estudos para abastecer a Refinaria Duque de Caxias (Reduc) com água de lavagem dos filtros da ETA Guandu (CEDAE, 2006; Vieira Neto e Oliveira, 2008). Porém, esses projetos nunca foram implementados.



Tabela 1. Reuso de efluentes no âmbito público e privado no Brasil

Empresa	Tipologia	ETE	Localização	Vazão da ETE (l/s)	Vazão de água de reuso (l/s)	% de reuso	Destinação
Sistema público/concessão - RJ							
CEDAE	Pública	Alegria	Rio de Janeiro, RJ	1.529,1	2,1	0,14	obras Porto Maravilha
CEDAE	Pública	Penha	Rio de Janeiro, RJ	764,6	8,3	1,09	limpeza de redes, vias, equipamentos ETE
Zona Oeste Mais Saneamento	concessionária privada	Deodoro	Rio de Janeiro, RJ	800,0	2,8	0,35	limpeza de redes, vias
PROLAGOS	concessionária privada	Búzios	Búzios, RJ	250,0	0,8	0,32	irrigação campo de golfe
Vazões totais tratadas e de reuso (público e concessão RJ) (l/s)				3.343,7	14,0	0,42	
Porcentagem de Reuso em relação a vazão total tratada, em média (%)						0,4	
Sistema público/concessão - SP							
SABESP	pública	Barueri	São Paulo (SP)	10.042,2	3,0	0,03	
SABESP	pública	Parque Novo Mundo	São Paulo (SP)	2.613,0	60,0	2,30	
SABESP	pública	São Miguel	São Paulo (SP)	947,0	12,0	1,27	
SABESP	pública	Jesus Neto	São Paulo (SP)	250,0	35,0	14,00	
SANASA	publica	Capivari II	Campinas (SP)	72,6	28,9	39,81	
Vazões totais tratadas e de reuso (público e concessão SP) (l/s)				13.924,8	138,9	1,00	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)						1,0	
Parceria público privada para uso industrial							
AQUAPOLO/SABESP	PPP	ABC	São Paulo (SP)	2350,0	650	27,66	uso industrial (caldeiras, torres de resfriamento)
Vazões totais tratadas e de reuso (PPP) (l/s)				2350,0	650	27,66	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada (%)						27,7	
Sistemas privados/corporativos para uso industrial							
CETREL	Privado		Camaçari, BA	972	200	20,58	
RAIZEN	Privado						
SANTISTA	Privado						
FIAT/CHRYSLER	Privado						
ALCOA	Privado			34,7	3,1	9,00	
PETROBRAS	Privado	diversas		6893,4	792,7	11,50	várias plantas industriais
COCACOLA/AMBEV	Privado						
Vazões totais tratadas e de reuso (corporativo para uso industrial) (l/s)				7900,1	995,8	12,61	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)						12,6	
Sistema privado para uso agrícola							
ACTIONSHOP	Privado		C. Macacu, RJ	7,6	variável	1,5	Fertirrigação, culturas de limão e goiaba
Subtotais tratado e reuso (privado para uso agrícola) (l/s)				7,6	variável	1,5	
Porcentagem de Reuso em relação a vazão total tratada (%)						variável	20(1)
Todos os sistemas avaliados/levantados							
Vazões totais tratadas e de reuso para todas tipologias levantadas(l/s)				27526,2	1798,7	6,53	
Porcentagem de Reuso em relação à vazão total tratada, em média (%)						6,5	

Fonte: Próprios Autores



Apesar dos vários aspectos positivos elencados e dos elevados riscos de escassez hídrica, inexistem políticas públicas e/ou incentivos para implementação do reuso como fonte alternativa de água no município do Rio de Janeiro (Campos, 2018).

A própria legislação específica sobre reuso é ainda incipiente, notadamente na esfera federal (Jordão e Santos, 2015; Obraczka et al., 2017). Somente recentemente alguns importantes marcos legais, como a Lei 9433/97, foram atualizados, incorporando-se o reuso, ainda que de forma genérica (Silva Jr., 2017).

Além da falta de maior sustentação legal, os reduzidos avanços se devem à carência de maior conhecimento por parte dos técnicos/gestores públicos e privados e da própria sociedade em geral, aliado a não existência de uma “cultura de reuso”, a nível nacional (Bila et al., 2017).

Entretanto, o reuso deve ser sempre contemplado no planejamento das cidades e das bacias hidrográficas, estabelecendo-se políticas que incentivem a prática com emprego de mecanismos como isenção/redução fiscal e reestruturações tarifárias. Concomitantemente, investimentos em pesquisas, transparência, divulgação de resultados são ferramentas necessárias para aumentar sua aceitação, reduzir custos, proporcionar o emprego e operação adequados de sistemas de reuso (SANASA, 2017).

3. METODOLOGIA CIENTÍFICA

O roteiro metodológico foi dividido em quatro etapas:

Na **Etapa 1** realizou-se o levantamento de referências bibliográficas e dados de diversas fontes de informação disponíveis. Realizou-se também um levantamento da legislação relacionada ao reuso no Brasil nas últimas décadas. Foram pesquisadas legislações, normatizações e especificações no cenário internacional, incluindo países considerados como referência a exemplo dos EUA, Austrália e membros da União Europeia (UE).

Na **Etapa 2** foi efetuada uma caracterização geral/inventário de efetivos e potenciais geradores e consumidores de águas de reuso no município do Rio de Janeiro. Os dados foram obtidos através de empresas e entidades competentes, entre eles: órgãos ambientais e de saneamento/gestão de recursos hídricos, associações corporativas e entidades empresariais. O banco de dados foi ampliado a partir de informações disponíveis nas páginas e sites na internet.

Quanto aos efetivos (e potenciais) geradores de água de reuso, além de dados de 29 ETE situadas no município, foram inseridas informações sobre outras duas potenciais

fontes produtoras de águas regeneradas: os reservatórios do sistema de amortecimento de cheias na região da Tijuca/Praça da Bandeira e as Unidades de Tratamento de Rios (UTR).

Como potenciais consumidores foram considerados prioritariamente as indústrias e empreendimentos que necessitam de maiores vazões de água. Na ausência de dados mais específicos sobre o fornecimento/demanda de água, considerou-se somente as indústrias que possuem acima de 500 empregados, baseando-se no Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro da Firjan (2015b).

Foram também incluídas demandas específicas para usos públicos, como lavagem de ruas, feiras e monumentos, irrigação de parques e jardins, que “*a priori*” não necessitam de uma elevada qualidade de água. Sob essa mesma ótica, foram também cadastrados empreendimentos como garagens de trens, ônibus e caminhões dos serviços de limpeza urbana, terminais, portos e aeroportos. Os dados referentes às garagens de ônibus foram levantados junto a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR).

A partir do endereço/localização dos geradores e consumidores, os dados foram convertidos em coordenadas utilizando o *Google Maps*. Os dados das empresas e suas coordenadas geográficas foram organizados em planilhas Excel, permitindo sua importação para o programa QGIS.

Com base nesse *software* gerou-se uma base/mapeamento contendo informações básicas, como tipologia, localização, vazão, distância e qualidade dos efluentes (geradores) e/ou quanto à qualidade necessária para atendimento da demanda (consumidores). Em *layers* específicos dessa base cartográfica foram inseridas outras informações relevantes, como principais corpos hídricos, limites geopolíticos e de áreas de planejamento, além das bacias hidrográficas e de esgotamento sanitário.

Em seguida foram analisadas as disponibilidades de águas regeneradas, avaliando aspectos que justifiquem e/ou viabilizem a implantação de um sistema de reuso, como a distância entre seus potenciais consumidores e geradores.

Visando proporcionar maior embasamento da pesquisa quanto à qualidade dos efluentes e potencialidade de seu reuso, na **Etapa 3** foram levantados/avaliados os resultados de análises periódicas de controle/monitoramento de efluentes de ETE situadas no município do Rio de Janeiro. Disposto de tratamento secundário, elas foram consideradas/adotadas como geradores mais viáveis para implementação do reuso por concentrarem grandes vazões de esgotos e boa qualidade dos efluentes, disponíveis em locais estrategicamente situados no município.



Pela maior disponibilidade dos dados de qualidade, foi dada ênfase as ETE situadas na área de planejamento 5 (AP-5). Para essa caracterização foram utilizados os parâmetros de controle/monitoramento disponíveis em: a) Declarações de Carga Poluidora (Carga, Vazão, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de Oxigênio - DQO e resíduos não filtráveis totais - RNFT), referentes aos anos de 2014 e 2015; b) Relatórios de Avaliação de Efluentes (RAE) (parâmetros DQO, DBO, RNFT, turbidez, óleos e graxas, substâncias ativas ao azul de metileno - MBAS, materiais sedimentáveis e pH), no período de 07/2015 a 06/2016; e c) Resultados de análises realizadas para acompanhamento/monitoramento de 18 ETE.

As campanhas de coletas/análises foram realizadas em 2016, analisando-se sete parâmetros de qualidade desses efluentes (DBO, RNFT, pH, resíduos sedimentáveis, óleos e graxas, MBAS/surfactantes).

Comparou-se, então, os valores médios dos resultados desses parâmetros com limites estabelecidos e/ou recomendados pela legislação/normatização referente a águas de reuso no Brasil, com base em duas leis municipais do estado de São Paulo (Campinas e São Paulo), além de outras duas no exterior (EUA e Austrália), países considerados como referência no tema. Para isso, foram adotados três índices específicos (DBO, RNFT/sólidos em suspensão totais - SST e pH), por serem os únicos parâmetros comuns/disponíveis nas fontes de dados utilizadas.

Tendo em vista a carência de dados empíricos de caracterização das águas de reuso em ETE no município do Rio de Janeiro, foram também incluídos nessa comparação os dados disponíveis em estudos/trabalhos da bibliografia consultada, notadamente o de Ramos *et al.* (2005). Esses dados são referentes às águas regeneradas da ETE Penha, com base em 16 amostragens/análises realizadas em janeiro de 2013, para os parâmetros pH, turbidez, DBO, DQO, RNFT, cloro residual e coliformes termotolerantes. Complementarmente, foram elencados os dados referentes a 2005 e 2008, além de dados sobre águas de reuso da ETE Alegria (Ramos *et al.*, 2005; Vieira Neto e Oliveira, 2008).

A título de exemplificação quanto à sua potencialidade para uso industrial, esses dados de águas regeneradas das ETE Penha e Alegria foram também comparados com alguns limites levantados em referências (Pieroni, 2016; Giordano (s/d); Ramos *et al.*, 2005; Vieira Neto e Oliveira, 2008) para emprego em torres de resfriamento (parâmetros cloretos, sólidos dissolvidos e suspensos, dureza, alcalinidade, pH, DQO, DBO, temperatura, turbidez, coliformes e cloro residual).

Na **Etapa 4** foi feita uma avaliação geral dos resultados das etapas anteriores, identificando-se potencialidades e obstáculos à implementação do reuso. Foram também elabo-

radas sugestões para melhor aproveitamento dessa fonte alternativa de água, com ênfase em fins industriais e não potáveis no município.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados e analisados os principais resultados, por etapa do roteiro metodológico adotado.

Etapa 1: Levantamento e compilação da legislação e normatização no país e no exterior.

A partir dos dados obtidos pelo levantamento proposto, foi possível avaliar a evolução da legislação brasileira referente ao reuso, identificando-se marcos legais estabelecidos no Brasil nas duas últimas décadas visando a sua regulamentação.

Constata-se que a legislação disponível é muito diversificada nos distintos estados da federação, sendo a região Sudeste a mais avançada neste sentido.

A escassa legislação disponível possui foco basicamente em usos urbanos e agrícolas não potáveis (Obraczka *et al.*, 2017).

Em sua grande maioria, o arcabouço legal é composto por leis de características mais genéricas, com o reuso acompanhando outras temáticas/matérias que são o verdadeiro foco da normatização. Especialmente em relação a usos considerados como mais nobres, como dessedentação, recarga de aquíferos e outras destinações mais exigentes quanto à qualidade necessária, o reuso não é regulamentado de maneira específica. É o caso da NBR 13969/1997, que prioriza o aspecto do tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, embora seja considerada como um marco importante rumo à regulamentação do reuso no Brasil, ao estabelecer classes de uso e parâmetros a serem atendidos (Silva Jr., 2017).

Por outro lado, nos últimos anos da década de 2000, já é possível identificar o surgimento de legislação mais detalhada notadamente de cunho local, como em Campinas e São Paulo (Campos, 2018). Credita-se que tal avanço em relação aos demais entes federativos, definindo inclusive alguns parâmetros e classes de uso específicas para águas regeneradas, se deva a demandas de projetos locais de reuso, no caso os empreendimentos Aquapolo (SP) e a ETE Capivari II (Campinas), considerados como os mais relevantes sistemas de reuso a partir de esgotos domésticos em funcionamento no país (Pieroni, 2016).

Vale ressaltar as iniciativas mais recentes na esfera federal, buscando reconhecer a pertinência do reuso no cenário atual, inserindo-o, ainda que de forma mais genérica, em



um dos marcos legais mais importantes, a Lei/Política de Recursos Hídricos (9433/97). Tramitava desde 2015 um projeto de alteração para incluir o emprego da água de menor qualidade em usos menos exigentes, mesmo aprovada nas Comissões de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e de Constituição e Justiça e de Cidadania do Congresso Nacional, foi arquivado neste ano de 2019 (Câmara dos Deputados, 2019).

Por outro lado, muitos outros países possuem legislação extensa e detalhada que regulamenta os diferentes tipos de utilizações/destinações possíveis para o efluente tratado, estabelecendo parâmetros específicos dependendo das destinações previstas para as águas regeneradas (Obraczka *et al.*, 2017; Bila *et al.*, 2017).

Elaborada pela Califórnia ainda no início do século XX (1918), a primeira regulamentação sobre reuso de águas nos EUA versa sobre utilização de esgoto em áreas agrícolas (Jordão e Pessoa, 2014). Atualmente há uma regulamentação válida em todo o território americano, a *USEPA - Guidelines for Water Reuse*. Porém, alguns estados americanos possuem seus próprios regulamentos, como a Califórnia. Considerada como um dos locais mais avançados quanto ao reuso de águas residuais, sua legislação (*Water Recycling Criteria*) apresenta parâmetros ainda mais restritivos que a federal para determinadas utilizações das águas regeneradas.

A regulamentação dos países membros da UE segue as diretivas elaboradas pelo seu corpo executivo, a Comissão Europeia (Klemes, 2012). Alguns países membros possuem legislações próprias regulamentando o reuso, como é o caso de França, Grécia, Itália, Portugal, Espanha e Chipre, muitas delas baseadas nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS). Em sua última versão (2006), as “Diretrizes para o Uso Seguro de Águas Residuais, Excretas e Águas Cinzas em Agricultura” da OMS já apresentam parâmetros microbiológicos e químicos para a água regeneradas.

A UE está desenvolvendo uma legislação conjunta. Em fevereiro de 2019, o Parlamento Europeu aprovou regras para facilitar a reutilização da água na irrigação agrícola e ajudar a gerir a escassez de água e as secas, a serem negociadas com o Conselho da UE, onde estão representados os governos nacionais, para se chegar a um acordo sobre o regulamento final. A proposta estabelece requisitos mínimos para a reutilização das águas residuais tratadas e garantir um abastecimento alternativo e confiável de água, sobretudo quanto à qualidade da água e respectivo monitoramento. Inclui regras sobre as funções e a responsabilidade dos vários operadores envolvidos, e as principais atividades de gestão dos riscos (Parlamento Europeu, 2019).

Em 2006, a Austrália desenvolveu e consolidou uma abrangente legislação/normatização para águas de reuso, a

Australian Guidelines for Water Recycling (AGWR) (Australian Government Initiative, 2006).

A Tabela 2 apresenta uma compilação de diversos empregos permitidos/possíveis para águas de reuso pela legislação vigente em estados americanos, países membros da UE e na Austrália (Oceania).

Tabela 2. Destinações possíveis para água de reuso no exterior

País/Estado		Destinações previstas para a água de reuso
Estados Unidos	Arizona	Irrigação, processos industriais, recarga de aquíferos e pequenos usos em lagos urbanos, fontes e restauração de áreas pantanosas.
	Nevada	Irrigação de campos de golfe, utilização em parques e recreação, recarga do aquífero.
	Colorado	Processos industriais evaporativos e não evaporativos, manutenção de estradas e construção, irrigação paisagística, utilização em zoológicos, irrigação na agricultura para tipos não comestíveis e silvicultura, água para lavagem, lavanderias comerciais, lavagem de veículos, proteção contra incêndio não residencial.
	Califórnia	Irrigação, uso comercial e industrial (resfriamento), energia geotérmica, barreira contra intrusão de água do mar, recarga do aquífero, restauração de sistemas naturais. Potabilização direta e indireta
	Washington, Oregon e Idaho	Irrigação, resfriamento na produção de eletricidade, limpeza de ruas, recarga do aquífero, processos comerciais e industriais, restauração de áreas pantanosas.
	Flórida	Irrigação de áreas residenciais, campos de golfe, parques e agricultura (com restrições), resfriamento em indústrias, recuperação de áreas pantanosas e recarga do aquífero.
União Europeia	França	Irrigação de canteiros, campos de golfe, cereais e jardins. Resfriamento industrial.
	Alemanha	Agricultura
	Grécia	Abastecimento de regiões com problemas de escassez e agricultura.
	Itália	Agricultura e uso industrial
	Portugal	Irrigação, construção de rodovias e lavagem de veículos.
	Reino Unido	Irrigação, lavagem de veículos, resfriamento industrial.
Oceania	Austrália	Uso industrial. Abastecimento de regiões com problemas de escassez e agricultura.
		Irrigação de jardins, paisagem, cultivos de alimentos e campos esportivos. Aplicação de água de reuso não potável em ambientes municipais onde o acesso é controlado ou restrito por barreiras. Descarga de vasos sanitários e máquina de lavar roupas.

Fonte: Obraczka *et al.* (2017).



Etapa 2: Caracterização geral/inventário de efetivos e potenciais geradores e consumidores de águas de reuso no município do Rio de Janeiro

Adotado como estudo de caso, o município do Rio de Janeiro abrange uma área de 1.200,177 km² e cerca de 160 bairros (Sebrae, 2015). Sua população em 2018 foi estimada em 6.688.927 habitantes, representando uma densidade demográfica de 5.265,82 hab./km². Configura-se como o 2º maior produto interno bruto (PIB) do país e o 1º do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2018).

O saneamento da maior parte do município (AP1, AP2, AP3 e AP4) se encontra sob a responsabilidade da CEDAE, enquanto o da AP5 (Zona Oeste) foi concedido à iniciativa privada em 2012 (Obraczka e Leal, 2016).

Há dezenas de ETE em operação nessas cinco AP, com amplo espectro de vazões afluentes: desde apenas 1,0 L/s (ETE do Programa Minha Casa Minha Vida) até cerca de 1500 L/s, na ETE Alegria, no Caju, a maior atualmente em operação (Obraczka *et al.*, 2017). Além da ETE Alegria, existem outras de maior porte operadas pela CEDAE, que foram construídas a partir do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, iniciado na década de 1980: as ETE Pavuna-Meriti (1500 L/s) e Sarapuí (1500 L/s). Há também a ETE Penha (800 L/s), a mais antiga de todas, inaugurada em 1940 (Bielschowsky, 2014; CEDAE, 2006; Zahner Filho, 2014).

Na AP5, as maiores ETE são a de Deodoro (ampliada para 750 L/s), Sepetiba (70 L/s), Pedra de Guaratiba (40 L/s) e Vila Kennedy (40 L/s) (Bielschowsky, 2014; Silva JR., 2017; Pieroni, 2016; ANA, 2017; Obraczka *et al.*, 2017; Torres, 2018). Com capacidade de tratamento de 250 L/s, a ETE Santa Cruz ainda não se encontra operacional (Pieroni, 2016).

Segundo Torres (2018) e ANA (2017), a grande maioria dessas ETE opera com capacidade bem inferior à sua capacidade instalada, como discriminado mais adiante na Tabela 6, destacando-se que os valores dessas vazões variam, dependendo da fonte consultada.

Com base nas informações obtidas junto às concessionárias, pode ser constatado que das 26 ETE em operação levantadas no município do Rio de Janeiro, somente três geram águas para reuso. Nas ETE Penha e Alegria, além do sistema de tratamento secundário convencional, há uma etapa de polimento para reuso, composta por filtração direta em linha, seguida de desinfecção por cloro, não dispondo-se de reservatórios. As águas regeneradas utilizadas basicamente para destinações menos nobres e não potáveis.

As iniciativas de reuso são pontuais e ocorrem basicamente por fruto de negociação direta entre o gerador e o consumidor, como no caso da CEDAE e empreiteiras, utilizando águas rege-

neradas provenientes da ETE Alegria para as obras do Projeto Porto Maravilha. Porém, com a redução do ritmo das obras e encerramento do contrato, o fornecimento foi interrompido (Obraczka *et al.*, 2017; Concessionária Porto Novo, 2013). Há ainda o aproveitamento pela COMLURB de uma pequena parcela das águas regeneradas da ETE da Penha para lavagem de ruas, feiras e afins (Figura 1). Em troca, durante um determinado período, a COMLURB recebeu lodos de ETE da CEDAE em seu aterro sanitário (Pieroni, 2016; CEDAE, 2013).

Na ETE Deodoro, a água de reuso é proveniente de projeto piloto com capacidade para 240m³/dia e reservação de 40m³ que funciona desde 2015, composto por filtração por pressão em membrana simples, seguida de cloração (Figura 2). As águas regeneradas são utilizadas pela própria empresa somente para destinações não potáveis e menos nobres como na desobstrução de redes, lavagem de equipamentos, execução de redes por métodos não destrutivos e na diminuição do material particulado, através da umectação em locais de obras para assentamento de redes (Grupo Águas do Brasil, 2015; Pieroni, 2016).



Figura 1. Lavagem de via pública com água de reuso no centro do RJ. Fonte: Concessionária Porto Novo (2013).



Figura 2. Sistema de produção de água de reuso na ETE Deodoro. Fonte: Obraczka *et al.* (2017).



A partir das informações obtidas, elaborou-se uma base georreferenciada/mapa (Figura 3) incluindo geradores (ETE) e os potenciais consumidores elencados (grandes empreendimentos/áreas industriais).

Essa base está associada a um banco de dados com as principais informações sobre geração, como vazão e qualidade dos afluentes e efluentes de ETE (ativas e inativas) no município do Rio de Janeiro por área de concessão, porte e capacidade dos reservatórios de amortecimento de águas pluviais na Tijuca e das UTR operacionais (Flamengo, Arroio Fundo, São Conrado). Além das vazões de demanda estimadas para os grandes consumidores, o banco inclui informações gerais sobre a área de estudo como a identificação e delimitação das AP municipais, bacias hidrográficas/esgotamento sanitário e principais corpos hídricos.

Quanto a duas das três fontes potenciais de águas de reuso originalmente elencadas pela pesquisa – reservatórios de amortecimento e UTR, na prática elas não se demonstram como alternativas viáveis.

Segundo técnicos da Rio-Águas, as águas pluviais acumuladas nos reservatórios necessitam ser encaminhadas o mais breve possível aos corpos hídricos lindeiros, disponibilizan-

do suas capacidades de amortecimento para poderem atuar adequadamente em uma próxima chuva. Portanto, há um fator limitante pela restrição do tempo hábil para retirada visando seu reaproveitamento. Ademais, a qualidade dessas águas se encontra muito comprometida pela poluição difusa, interconexões com redes de esgotamento sanitário e presença de toda sorte de resíduos/lixo. Tais características negativas restringem consideravelmente sua viabilidade para reuso.

Com relação às UTR, cuja operação é terceirizada à iniciativa privada, esses sistemas ficam inseridos no corpo hídrico, não dispendo de capacidade de armazenamento para uma possível reutilização/reuso. Quanto à qualidade dos efluentes, mesmo após várias tentativas, não foi possível obter maiores informações sobre seu monitoramento.

Em função dos aspectos acima elencados, o foco da pesquisa foi direcionado para a 3ª alternativa de potenciais fontes de águas regeneradas consideradas: as ETE de maior porte em operação no município do Rio de Janeiro. Além de grandes vazões concentradas, essas estações apresentam efluentes tratados no nível secundário, que já dispõem de bom padrão/qualidade, para atendimento das demandas de eficiência e tratamento requeridas pela legislação ambien-

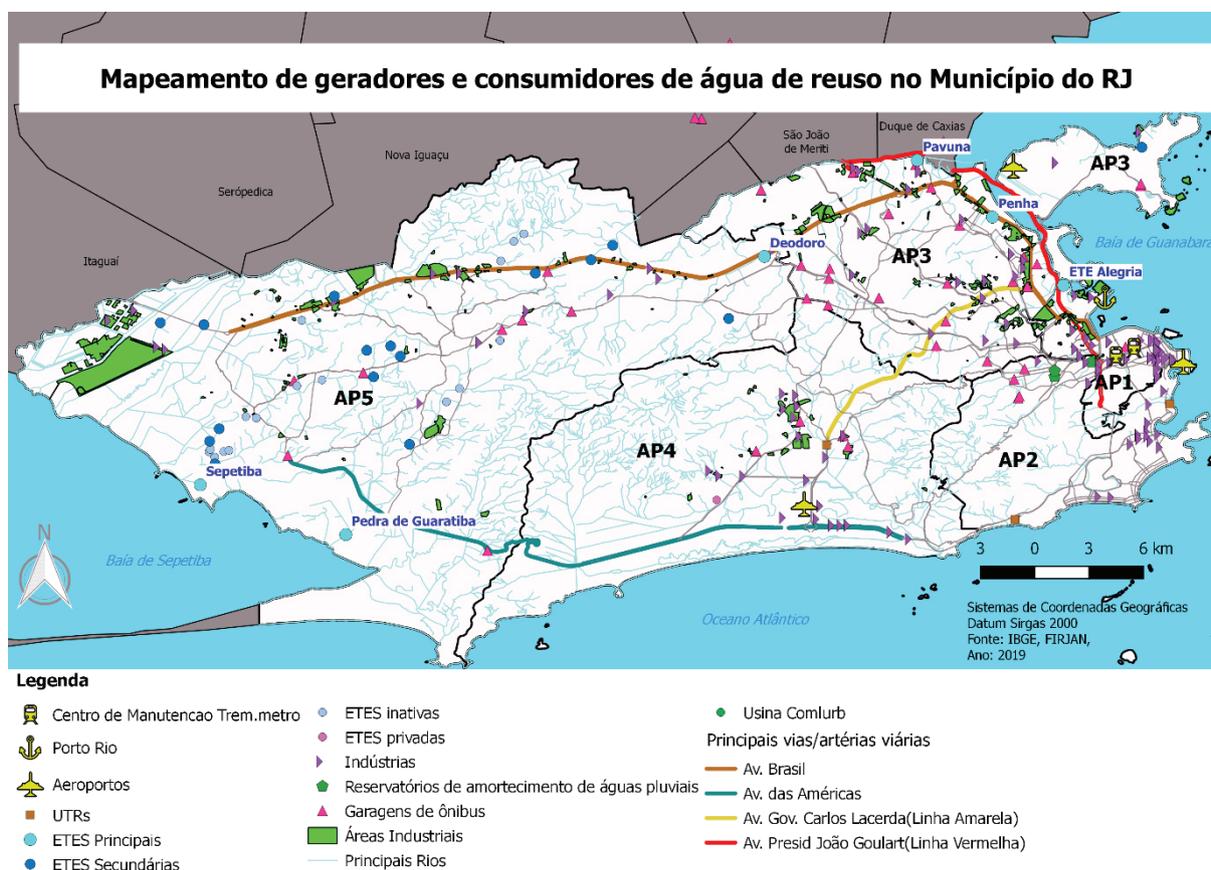


Figura 3. Mapeamento de geradores e consumidores de água de reuso no Município do RJ



tal. A Tabela 3 apresenta uma compilação de dados levantados sobre as ETE de maior porte no município do Rio de Janeiro com tratamento secundário e/ou com reuso.

Apesar de três das ETE possuírem grande potencial para reuso, já operando inclusive sistemas próprios (ETE Penha desde 2007, e ETE Alegria e ETE Deodoro desde 2015), na prática isso ocorre em escala muito reduzida, com vazões que podem ser consideradas ínfimas quando comparadas com as de efluente tratado.

Na Alegria, essa porcentagem é de 0,14%, enquanto na ETE Penha é de 0,23% ou 1,1%, dependendo da fonte de informação adotada (Manhães e Araujo, 2015; Silva Jr., 2017). Em 2007, na ETE Penha foram reaproveitados para uso interno (lavagem de centrífugas e veículos) e uso externo (COMLURB e outras) somente cerca de 6% da capacidade de produção de água de reuso, de 720 m³/dia (Vieira Neto e Oliveira, 2008). Considerando-se a vazão total de tratamento (800 L/s), o percentual reutilizado em 2007 se resumiria a 0,16%, enquanto o potencial instalado do sistema de reuso equivale a 1% do total de efluente tratado.

Na ETE Penha, entre 2007 e 2012, a produção de água regenerada variou de 23085 a 70296m³/ano, sendo de apenas 1080 m³/ano no início de sua operação. Em 2014, o volume de efluente tratado para a produção de água regenerada era, em média, de 0,2% do total tratado (Zahner Filho, 2014).

No caso da ETE Deodoro, considerando-se a vazão afluente com a ampliação do sistema ocorrida em 2017 (cerca de 750 L/s), a vazão de água de reuso (2,8 L/s) representa pouco menos que 0,4% da vazão total de esgoto tratada.

Com base em dados de Obraczka *et al.* (2017) e Bila *et al.* (2017) e na compilação ora apresentada (Tabela 3), desprende-se que menos de 1% da vazão dos efluentes tratados/gerados nas ETE avaliadas são reaproveitados como água de reuso.

Ainda, somente cerca de 1/3 da capacidade instalada de produção de águas de reuso vem sendo aproveitada, empregadas em destinações menos nobres, como limpeza de vias, lavagem de pátios e equipamentos e desobstrução de redes e galerias bem como para irrigação de parques, rega de jardins e lavagem de campos esportivos (CEDAE, 2013; Vieira Neto e Oliveira, 2008).

Cabe destacar ainda que existem duas ETE de maior porte atualmente em construção e/ou comissionamento no município do Rio de Janeiro: a ETE Santa Cruz (PMRJ/ZOMS) e a ETE Alcântara (CEDAE). Analogamente, há outras dezenas de sistemas de menor porte em operação no município que não reaproveitam e não há previsão para reuso de seus efluentes tratados no futuro. Com um número maior de ETE

em operação sem reuso, essa representatividade é, na realidade, ainda menor do que aquela calculada acima.

Do ponto de vista comercial, o reuso é ainda menos relevante: grande parte da água regenerada encaminhada para os consumidores sequer gera retorno financeiro direto às concessionárias. É o caso das águas de reuso da ETE Penha: uma pequena vazão é utilizada pela própria CEDAE para lavagem de equipamentos/veículos e a outra é cedida à COMLURB, sem custos (Ramos *et al.*, 2005).

No cenário atual, o reuso não representa (ainda) uma fonte de receita para as concessionárias e os efluentes tratados nas ETE se configuram basicamente como “resíduos” a serem convenientemente descartados nos corpos receptores, em atendimento à legislação pertinente.

Pode ser constatado que os maiores consumidores de água de reuso em potencial são as áreas industriais de Santa Cruz, Campo Grande e Itaguaí, situadas na AP5 e mais próximas às ETE da área de concessão da ZOMS, como Deodoro, Pedra de Guaratiba e Sepetiba.

No caso das ETE da CEDAE, constata-se que as potencialidades mais nítidas se configuram a partir das ETE de maior porte (Alegria, Penha, Pavuna-Meriti e Sarapuí), situadas na região mais industrializada (AP1 e 2 - Zonas Centro e Norte), onde foram identificados determinados nichos/oportunidades para fornecimento de água de reuso, como no atendimento das usinas de concreto e de garagens no Caju, a partir da ETE Alegria.

Tanto técnicos da CEDAE como da ZOMS relatam a ocorrência de diversas demandas por água de reuso, notadamente por empreendimentos situados próximos ou no entorno das ETE, solicitações essas que não são atendidas. É o caso da demanda para irrigação dos campos de instrução/equitação do Exército Brasileiro, com águas regeneradas da ETE Deodoro.

Por outro lado, projetos para atendimento de grandes demandas do setor privado, como as da Reduc e do COMPERJ através de adutoras exclusivas de águas de reuso, não avançaram, esbarrando em obstáculos como as grandes distâncias entre geradores e consumidores, exigência de um nível de qualidade das águas regeneradas bem mais elevado (que demandaria maiores investimentos no atual sistema de polimento) e outros impedimentos de ordem burocrática e/ou institucional.

Com base nos dados levantados, infere-se que a prática de reuso a partir de ETE no município do Rio de Janeiro é ainda muito incipiente, ocorrendo de forma restrita nas três estações supracitadas, utilizando-se caminhões pipa e sem maiores retornos financeiros diretos para as respectivas concessionárias.



Tabela 3. Dados de ETE município do Rio de Janeiro

Fonte geradora (ETE)	Concessionária responsável	Tipo de tratamento Secundário	Vazão média (m ³ /dia)/(l/s)		Destinação das águas de reuso/ano de início de operação
			Projeto	Captação para reuso	
			Operação	em operação	
ETE Deodoro (RJ)	ZOMS (1)	Lodos ativados por aeração prolongada (3)	86400/1000(3)(4)	240/2,8	Desobstrução de redes, lavagem de equipamentos e vias/2015
			18.144/230(3) 64800/750(4)	240/2,8	
ETE Sepetiba (RJ)	ZOMS	Lodos ativados por aeração prolongada	5.184/70	Não há	-
			230/2,7(5)		
ETE Pedra de Guaratiba (RJ)	ZOMS	Reator UASB + biofiltro aerado submerso +decantador secundário	3.456/40	Não há	-
			2014/23,3(5)		
ETE Vilar Carioca (RJ)	ZOMS	Lodos ativados por batelada	1.115/13	Não há	-
			1120/13(5)		
ETE Vila Kennedy	ZOMS	Valo de oxidação	3370/39	Não há	-
			3361/39		
ETE Nova Cidade	ZOMS	Lodos ativados aeração prolongada	2800/32	Não há	-
			103/1,2(5)		
ETE Santa Cruz (ainda não operacional)	PMRJ/ ZOMS	Tratamento secundário	21600/250	Não há	-
			-		
ETE Alegria (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada	216.000/2500	720/8,3	Obras do Porto Maravilha; sistema atualmente inoperante/2015
			132106/1529	181/2,1	
ETE Penha (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada/Deep Shaft	103.680/1200	720/8,3	COMLURB; lavagem de veículos e equipamentos da ETE/2007
			66096/765	112/1,3	
ETE Sarapuí (SJ de Meriti)	CEDAE	Primário quimicamente assistido + Lodos ativados	129.600/1500	Em projeto	-
			38880/450		
ETE Pavuna- Meriti (RJ)	CEDAE	Primário quimicamente assistido + Lodos ativados	129.600/1500	Em projeto	-
			19080/220		
ETE Ilha do Governador (RJ)	CEDAE	Lodos ativados por aeração prolongada	38.880/450	Não há	-
			31968/370		
Vazão Total Projeto(A)			720085/8584	1680/19,4	-
Vazão Total Operacional (Efetiva)(B)			359758/4163	533/6,2	-
% (A/B)			50		-
% Reuso Projeto/Vazão Operacional Efetiva			0,47 (2)		-
% Reuso Efetivo/Vazão Operacional Efetiva			0,15		-

Fontes: Bielschowsky (2014); Silva Jr., 2017; Pieroni, 2016; ANA, 2017; Obraczka et al., 2017; Torres, 2018

Notas: (1) ZOMS - Zona Oeste Mais Saneamento. (2) Considerando as vazões operacionais. (3) Vazão antes da entrada em operação da ampliação (Sistema Nereda). (4) Vazão após ampliação (Sistema Nereda). (5) Dados das Declarações de Carga Poluidora de 2014/2015



Um dado importante também levantado pela pesquisa é a reduzida vazão afluyente de esgoto bruto às ETE, em relação à sua capacidade total de tratamento instalada: apenas 50%. Vale destacar que tal ociosidade não deixa de ser um paradoxo, haja vista a grande quantidade de esgoto *in natura* sendo continuamente despejada nos corpos hídricos locais, poluindo rios e baías importantes como as de Guanabara e Sepetiba.

Etapa 3: Qualidade dos efluentes com vistas ao reuso

A partir de dados de três parâmetros (DBO, pH e RNFT) aferidos em 18 ETE da AP5 (Figuras 4 e 5), avaliou-se atendimento dos limites à luz da legislação pertinente da Austrália e EUA (usos restrito e industrial) (Figura 6).



Figuras 4 e 5. Coleta de amostras e análise de parâmetros físicos na ETE Coqueiros, Santíssimo, RJ.

Constata-se que boa parte dos efluentes do tratamento secundário das ETE avaliadas já atenderia vários padrões da legislação adotada como referência, em especial os da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) para uso restrito, sem necessidade de agregar etapas de polimento e/ou pós-tratamento para sua adequação.

Vale ainda ressaltar que as ETE de maior porte (Deodoro, Sepetiba, Pedra de Guaratiba, Nova Cidade e Vilar Carioca) atendem aos limites para os três parâmetros elencados; somente Vila Kennedy não atende aos padrões de DBO e RNFT da USEPA (usos restrito e industrial).

Dentre as ETE de menor porte, os únicos casos de não atendimento são: São Fernando, Vila João Lopes e Ana Gonzaga (no caso da DBO) e Vila João Lopes, Coqueiros e Ana Gonzaga (RNFT). A maioria dos resultados encontrados para RNFT e pH também atendem aos limites estabelecidos pela AGWR, com exceção das ETE de Vila J. Lopes, Vila Kennedy, Coqueiros e Ana Gonzaga (somente RNFT). Vale destacar que, com exceção de Vila Kennedy, trata-se de ETE menores, pouco significativas no cômputo total de vazões tratadas.

Comparando com os padrões para reuso disponíveis no Brasil, os resultados médios encontrados para os efluentes tratados dessas ETE já também atenderiam, sem necessidade de polimento, as restrições estabelecidas pela legislação de Campinas - Classe B (irrigação paisagística, construção civil, desobstrução de galerias e combate a incêndios) e São Paulo (uso com restrição severa) de DBO e RNFT máximo de 30 mg/L e pH de 6 a 9 (respectivamente, Resolução Conjunta SVDS/SMS 09/2014 e Resolução SES/SMA/SSRH-01, de 28 de junho de 2017). Por outro lado, os resultados encontrados não atendem diversos requisitos necessários/parâmetros mais restritivos da legislação internacional para usos mais nobres das águas regeneradas, como o de DBO da AGWR (<20 mg/L).

Na Tabela 4 são discriminados alguns desses limites estabelecidos por normas/legislação, além de valores recomendados por referências (PROSAB, 2006), comparando-os com dados das análises/monitoramento.

Para os parâmetros de DBO, RNFT e pH são discriminados os valores médios, máximos e mínimos disponíveis referentes às análises realizadas por laboratório independente. Para os demais parâmetros (DQO, Vazão), são utilizados os dados dos RAE referentes aos efluentes tratados das ETE ora avaliadas. Os valores ponderados levam em consideração as concentrações e vazões médias em cada ETE.

Quanto aos parâmetros de qualidade da água de reuso de ETE, não se obtiveram maiores dados junto às Concessionárias e/ou aos órgãos de controle ambiental. Porém, a título de comparação, foram elencados os dados de Zahner Filho (2014), Ramos *et al.* (2005) para a ETE Penha, além de análises realizadas em 2005 e 2008 (CEDAE, 2008). Foram também incluídos dados referentes às águas de reuso da ETE Alegria.

Nota-se que os resultados apresentam um padrão similar em todas as fontes, fornecendo maior segurança/confiabilidade em relação a essas análises. Por outro lado, os dados disponíveis se resumem basicamente a determinados parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Pode ser constatado que os parâmetros do DBO e RNFT disponíveis para as águas de reuso das ETE Penha e Alegria



Parâmetros de monitoramento de efluentes tratados de ETE's na RMRJ						EPA Guidelines for Water Reuse - 2012
ETE	DBO (mg/L)*	pH*	RNFT (TSS)	Vazão projeto (m ³ /dia)	Vazão efetiva (m ³ /dia)	Utilizações permitidas para Água de Reuso
Deodoro	25,7	7,0	7,9	18144	18114	Uso restrito: Aplicações não potáveis em ambientes locais/municipais onde o acesso público é controlado ou restrito por barreiras físicas ou institucionais. Irrigação superficial em áreas de cultivo de produtos alimentícios destinados a consumo humano processados/industrializados ou não produtos não consumidos por humanos. Balanco/equilíbrio ciclo hidrológico e ambiental: emprego de águas regeneradas na criação de wetlands e áreas úmidas e para sustentar fluxos de cursos hídricos. Refrigeração industrial
Vila Catiri	22,0	6,4	15,5	257	268	
Nova Cidade	11,6	6,8	10,0	2791	86	
Nova Sepetiba V	15,1	6,4	21,3	233	233	
Pedra de Guaratiba	14,1	7,1	9,8	3456	1599	
Areal	5,0	6,5	9,0	282	282	
Sepetiba	10,6	7,0	21,5	5184	6394	
Vilar Carioca	26,9	5,9	14,0	1115	1120	
Vila do Céu	3,5	6,7	7,0	2290	212	
São Fernando	35,9	7,2	19,3	150	150	
Vila João Lopes	75,0	6,9	96,0	400	400	
Piaí	21,1	6,8	6,8	193	193	
Cidade das Crianças	7,9	6,8	6,0	287	287	
Vila Nova Sepetiba	23,7	6,9	13,3	950	950	
Vila Kennedy	52,5	7,0	48,5	3361	3361	
Palmares	16,5	6,8	11,7	1382	1382	
Coqueiros	30,6	7,4	35,5	108	108	
Ana Gonzaga	69,2	6,8	41,5	484	484	
Média	25,9	6,8	21,9	2281,5	1979,1	
Desvio padrão	20,6	0,3	22,2	4225,0	4319,8	
Total				41067	35623	
Porcentagem da vazão tratada que atende as diretrizes da EPA				89%	87%	
Porcentagem da vazão tratada que atende as diretrizes da AGWR				54%	62%	
Porcentagem da vazão tratada que não atende tanto as diretrizes da EPA como as da AGWR				11%	13%	
*Média dos resultados de análises de parâmetros de DBO e pH, com base em medições feitas entre 2015 e 2016						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <div style="background-color: #f4a460; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Atende diretrizes da EPA Guidelines for Water Reuse 2012 para DBO, pH e SST (RNFT)</div> <div style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Atende as diretrizes da AGWR (2006) para DBO e SST (RNFT) e as da EPA (2012) para DBO, pH e SST (RNFT)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Não atende nem as diretrizes da EPA nem as da AGWR</div> </div> <div style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> Australian Guidelines for Water Recycling - 2006 Utilizações permitidas para as Águas de Reuso Irrigação de paisagens, cultivos de alimentos para uso comercial Uso restrito: aplicações não potáveis em ambientes locais/municipais onde o acesso público é controlado ou restrito por barreiras físicas ou institucionais Parâmetros e limites máximos requeridos DBO <20 mg/L RNFT (SST) ≤ 30 mg/L E. coli <1000 cfu/100 mL </div> </div>						

Figura 6. Comparação de parâmetros de efluentes de ETE da AP5 com parâmetros e limites de qualidade de legislações internacionais para reuso (EPA/EUA e AGWR/Austrália)

atendem a todos os limites e recomendações, incluindo todas as Classes da NBR13969/77, exceto Campinas (Classe A) e São Paulo (restrição moderada) para RNFT. Os outros dois únicos casos de não conformidade são turbidez para Campinas (Classe A) e Cloro Residual para Campinas (Classe B). Quanto aos parâmetros disponíveis de qualidade (DBO, RNFT e pH) referentes aos efluentes de ETE da AP5 (sem polimento para reuso), constata-se que eles somente não atendem aos limites de Campinas (Classe A).

A despeito da escassez de mais informações sobre os efluentes para comparação com os limites elencados, depreende-se que há um grande potencial também quanto à qualidade, uma vez que os resultados de qualidade apresentados são referentes ao efluente secundário, sem qualquer polimento.

Quanto à potencialidade especificamente para emprego industrial, a Tabela 8 apresenta dados sobre parâmetros de qualidade exigidos/recomendados para aplicação em torres de resfriamento, comparando-os com dados de qualidade de águas de reuso das ETE Alegria e Penha.

Constata-se que o parâmetro de turbidez é um dos poucos critérios que apresenta não conformidade, não atendendo a três referências (Giordano, s/d; Jordão e Pessoa, 2014; PROSAB, 2006), bem como o de sólidos suspensos, que não atende aos limites recomendados por Jordão e Pessoa (2014) e pelo PROSAB (2006), destacando-se que nenhuma das referências supracitadas possui caráter normativo.

Ainda que sejam dados de análises pontuais e que os poucos dados disponíveis não abrangem parâmetros importantes como alcalinidade, sólidos dissolvidos e dureza,



Tabela 4. Comparação de limites da legislação/normatização pesquisada e resultados do monitoramento de efluentes e águas de reuso de ETE

Legislação/ fonte de referência	DBO (mg/l)	RNFT (mg/l)	SDT (mg/l)	pH	Turbi- dez(1) UNT	Cloro resi- dual (mg/l)	Clo- retos (mg/l)	E.Coli (Term) (UFC/ 100ml)	Giardia/ Cryptosp (cistos/l)	Ovos Hel- mintos (ovo/l)
NBR13969/97 Classe 1(3)		<200	200	6 a 8	<5	0,5 a 1,5		<200		
NBR13969/97 Classe 2(4)					<5	0,5		<500		
NBR13969/97 Classe 3(5)					<10			<500		
NBR13969/97 Classe 4(2)								<5000		
Lei Municipal Niterói 2856/11			200		5			Ausência		
Lei Campinas Classe A	5	5			1	min 1,0	250	<100	-	-
Lei Campinas Classe B	30	30			5	2,0	250	<200	0,05	<1
Res. SP 01/17 Uso restrição severa	<30	<30(1)	2000	6 a 9	-		350	<200	-	<1
Res. SP 01/17 restrição moderada	<10	1(1)	450	6 a 9	<2		100	ND	-	<1
USEPA uso irrestrito	<10	-		6 a 9	<2	≥1	-	ND	-	-
USEPA uso restrito	≤30	≤30		6 a 9	<2	≥1	-	<200	-	-
PROSAB uso irrestrito	-	-	-	-	-	-	-	≤ 200	-	≤ 1
PROSAB uso restrito	-	-	-	-	-	-	-	≤ 1x 10 ⁴	-	≤ 1
PROSAB Uso predial	-	-	-	-	-	-	-	≤ 1x 10 ³	-	≤ 1
Água de Reuso ETE Alegria(11)	-	-	-	6,97/7,02	1,72/2,39	1,1	-		-	-
Água de Reuso ETE Penha (10)	8 e <5	7 e 4	-	7,3 e 7,4	4	-	-	AUSENTE	-	-
Água de Reuso ETE Penha (6)	6,2	3	-	6,99	4,28	1,29	-	AUSEN- TE(7)	-	-
Resultados das análises do monitoramento de efluentes de ETE da AP5										
Valores/parâmetros	DBO(12) (mg/l)	RNFT(12) (mg/l)	DQO(13) mg/l	pH(12)	Turbi- dez(1) UNT	Cloro resi- dual (mg/l)	Clo- retos (mg/l)	E.Coli (Term) (UFC/ 100ml)	Giardia/ Cryptosp (cistos/l)	Ovos Hel- mintos (ovo/l)
Ponderado(9)	25,0	18,9	25,5	6,7	NR(8)	NR	NR	NR	NR	NR
Médio	25,9	21,9	29,2	6,8	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Máximo	75,0	96,0	32,8	7,4	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Mínimo	3,5	6,0	22,3	5,9	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Fontes: Campos, 2018; Obraczka e Leal, 2016; Pieroni, 2016; Ramos *et al.*, 2005; USEPA, 2012; e Vieira Neto e Oliveira, 2008.

Notas: 1 – O Critério de Turbidez deve ser respeitado antes da desinfecção. Esse critério deve ser baseado na média das medições horárias da Turbidez dentro de um período de 24 horas. Nenhuma medição horária deve exceder 5 UNT. No caso de utilização de sistemas de membrana filtrante, a Turbidez não poderá exceder 0,2 UNT e os Sólidos Suspensos Totais, 0,5 mg/L, pois concentrações superiores a esses valores são indicativas de problemas de integridade do sistema. 2 – Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual; Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L. 3 - Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes; Cloro residual: 0,5 a 1,5 mg/L. 4 - Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes. Cloro residual > 0,5 mg/L. 5 - Descargas em vasos sanitários. 6 – Média dos resultados de análises realizadas em janeiro de 2013. 7 - Vieira Neto e Oliveira (2008). 8 – NR (não realizado). 9 – Leva também em consideração as vazões afluentes efetivas de cada ETE. 10 – Resultados de 2005 e 2008 (Ramos *et al.*, 2005 e Vieira Neto e Oliveira, 2008). 11 – Dados disponíveis em Farias (2019). 12 – Dados empíricos médios do monitoramento das ETE avaliadas por laboratório independente. 13 – Dados secundários provenientes dos RAE das ETE avaliadas. 14 – DQO ponderada baseada nos dados das RAE, para as 5 maiores ETE da AP5



Tabela 5. Parâmetros de qualidade para águas de reuso com aplicação em torres de resfriamento.

Parâmetros de Qualidade	Água em torres de resfriamento								Águas de reuso	
	METCALF & EDDY (água doce)		USEPA		FIESP	PROSAB	JORDÃO E PESSOA	Giordano (torre de arrefecimento)		
	Com recirculação	Sem recirculação	Com recirculação	Sem recirculação		Polo Industrial Mauá	AQUAPOLO			
						Com recirculação				
Cloreto mg/L	600	500			500	70		100		
Sólidos Dissolvidos mg/L	1000	500			500	200		80		
Sólidos Suspensos mg/L	5000	100	<30	<30	100	2	< 2	10	4 e 7/3	
Dureza mg/L CaCO ₃	850	130			650	70		100		
Alcalinidade mg/L CaCO ₃	500	20			350	50		100		
pH	5.0 - 8.3		6-9	6-9	6,9-9	6,5-7,5		6,5-8,5	7,3 e 7,4/6,99	6,97/7,02
DQO mg/L	75	75			75	2	< 20	20		
DBO mg/L			<30	<30	25		< 10	15	8 e <5/6,2	
Temperatura °C	38	38								
Turbidez NTU	5000				50	1	< 1	2	4,28/4	1,72/2,39
Coliformes Fecais un/100ml			<200	<200				AUSÊNCIA	AUSENTE	
Cloro residual (Cl ₂) mg/L			1	1			> 0,5		1,29	1,1

Fonte: Pieroni (2016); Giordano(s/d); Ramos *et al.* (2005) e Vieira Neto e Oliveira (2008).

Notas: 1- Duas fontes de dados/campanhas distintas; FIESP: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.

impossibilitando uma comparação/avaliação mais abrangente, constata-se que há também um bom potencial para aproveitamento dessas águas de reuso, mesmo para finalidades mais exigentes, como é o caso de torres de resfriamento.

Etapas 4: Avaliação dos resultados: potencialidades, entraves e sugestões quanto à implementação do reuso no município

Pode ser constatada a existência de um grande potencial para aproveitamento das águas regeneradas a partir de ETE no município do Rio de Janeiro. A despeito de demandas de vários interessados, especialmente de maiores consumidores como as indústrias e grandes empreendimentos comerciais, tal potencial ainda não é convenientemente estudado - muito menos explorado - pelas duas concessionárias.

Além de Alegria, Penha e Deodoro, há várias outras ETE localizadas em pontos estratégicos do município (Pavuna e Sepetiba) que geram continuamente grandes vazões de efluente tratado com boas características para reuso, po-

dendo atender a demandas menos exigentes em termos de qualidade, sem necessidade de grandes/maiores investimentos pelas concessionárias para maior polimento dos efluentes. Mesmo que uma melhoria seja necessária, não deverá representar um custo que inviabilize o atendimento de demanda/destinação mais nobre, cobrando-se um preço compatível. Cabe ressaltar que boa parte dos custos do tratamento já se encontra embutida na operação rotineira das ETE para atendimento dos padrões de lançamento nos corpos receptores estabelecidos pela legislação ambiental do estado do Rio de Janeiro, das mais restritivas do Brasil.

Entretanto, no caso de eventual aumento da demanda, a capacidade de produção de água de reuso dos sistemas existentes (ETE Penha, Alegria e Deodoro) necessitará ser ampliada. Como o transporte de águas regeneradas é feito basicamente utilizando-se caminhões pipa, esse aumento deverá ser acompanhado pela ampliação da capacidade de reservação e de carga dos caminhões pipa nessas ETE, incluindo melhoria da logística necessária, como disponibilizar maiores áreas para estacionamento e manobra desses veículos.



Dentre os aspectos que contribuem para o atual estágio de incipiência do reuso no cenário do município do Rio de Janeiro, e que dificultam sua implementação, podem ser citados: (1) Falta de conhecimento e de uma “cultura” de reuso; (2) Carência de informações e de uma base de dados; (3) Carência de legislação específica e regulamentação, especialmente federal; (4) Ausência de políticas públicas, instrumentos de planejamento e incentivos econômicos; e (5) Obstáculos de ordem física, as distâncias entre os principais polos geradores (ETE de maior porte) e alguns grandes potenciais consumidores da água de reuso no município do Rio de Janeiro, que se somam às restrições de capacidade/escoamento do sistema de caminhões pipa.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da pesquisa possibilitou um maior conhecimento sobre a prática de reuso, tendo como foco prover uma alternativa de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. Considerando os sistemas públicos de saneamento, o reuso ainda é incipiente, sendo pouco conhecido e acessível tanto para maior parte da população como para potenciais usuários/consumidores.

A partir do levantamento de dados sobre legislação e de casos práticos de reuso no país, notadamente pelas corporações, bem como no exterior (onde está consolidado como ferramenta de gestão de recursos hídricos e alternativa estratégica de fonte de água, inclusive para fins mais nobres), pode ser constatado que na nossa realidade ele carece de maior regulamentação, de forma a proporcionar maior segurança jurídica e institucional, necessárias a sua implementação.

A identificação/caracterização de potenciais e efetivos geradores (ETE) e consumidores (indústrias, garagens de ônibus, terminais aeroportuários, concessionárias de serviços públicos como COMLURB) serviu de base para a elaboração de um inédito inventário e banco de dados sobre reuso no município do Rio de Janeiro. A partir desse banco de dados e da caracterização básica da qualidade de efluentes tratados e águas de reuso de ETE, como Alegria e Penha, sua comparação com limites recomendados pela legislação/normatização disponível, além do levantamento de custos de água de reuso e do sistema convencional, foi possível avaliar a viabilidade do reuso e identificar potencialidades e gargalos com vistas à expansão do seu emprego no município do Rio de Janeiro.

Pode-se depreender que o reuso é mais viável prioritariamente para fins urbanos e industriais menos nobres e não potáveis pela maior demanda, elevado preço da água potável convencional e maior proximidade entre fontes geradoras e consumidoras e ainda pela qualidade inferior de

água de reuso requerida, implicando consequentemente em menores investimentos necessários para o polimento do efluente tratado.

Os empreendimentos industriais/comerciais de maior porte situados em áreas urbanas e mais próximas de ETE, como Alegria e Penha (AP1) e Deodoro (AP5), se configuram como consumidores de maior potencial, podendo o transporte ser realizado por caminhão pipa, desde que haja uma expansão na capacidade de atendimento dessas demandas nas referidas ETE, no caso de uma maior procura por águas regeneradas. Pelos elevados custos, boa parte dessas grandes empresas já não utiliza água do sistema convencional.

Ainda não comercializados e considerados pelas concessionárias basicamente como “resíduos a serem adequadamente descartados” nos corpos receptores, os efluentes tratados possuem, porém, potencial para venda, podendo se constituir em fonte adicional de receita para essas empresas de saneamento, uma vez que boa parte do custo já se encontra inserido no sistema para adequar o afluente bruto às demandas para lançamento nos corpos receptores. Tais receitas podem inclusive contribuir para os investimentos necessários ao aumento da produção e/ou melhoria da qualidade da água regenerada atualmente produzida, visando atendimento de possíveis demandas/consumidores mais exigentes.

Em uma realidade onde boa parte da população sequer possui coleta de esgoto, avalia-se que os investimentos em saneamento básico sejam direcionados para expansão/universalização desses serviços. Porém, o reuso também deve ser priorizado por se constituir em alternativa estratégica de fonte de água, aumentando a segurança hídrica. A implementação do reuso no município do Rio de Janeiro pode melhorar a gestão de recursos hídricos, disponibilizando uma alternativa de fonte de água para usos menos nobres, especialmente em localidades e épocas de maior escassez e/ou dificuldades de abastecimento pelo sistema convencional. Consequentemente, reduzem-se as crescentes pressões sobre os mananciais e sistemas existentes, postergando muitos investimentos necessários à ampliação dos sistemas convencionais de abastecimento de água.

Entre as restrições observadas no desenvolvimento desse estudo, destaca-se a dificuldade de obtenção de mais dados de qualidade dos efluentes das fontes geradoras (ETE). Mesmo tratando-se de índices de grande relevância, também não foi possível fazer uma melhor avaliação quanto aos parâmetros bacteriológicos, pela carência de dados secundários e limitações do laboratório de Engenharia Sanitária (LES) para realização de determinadas análises.

Parâmetros como coliformes, ovos de Helmintos, Giárdia e *Cryptosporidium* são critérios obrigatórios de monitora-



mento na legislação de países que são referência em reuso (EUA, Austrália, Singapura), e que já vêm priorizando a potabilização, exigindo-se controle muito mais rigoroso e abrangente da qualidade da água produzida.

Também houve dificuldades na obtenção de maiores dados sobre vazões e qualidade de águas regeneradas para caracterização e atendimento de demandas específicas de potenciais consumidores, como as do setor industrial. Tal impedimento pode ser parcialmente contornado através de abordagem diferenciada por setor industrial e/ou por localidade, como é caso específico que vem sendo estudado de fornecimento de água de reuso da ETE Alegria para amassamento nas usinas de concreto do Caju.

Visando implementar o reuso e o aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos, podem ser sugeridas/destacadas as seguintes medidas: 1) maior aprofundamento no conhecimento e divulgação dos dados de monitoramento, estudos e pesquisas, subsidiando a proposição/execução de ações para a difusão e operacionalização de sistemas de reuso no município do Rio de Janeiro e sua região metropolitana; 2) maior regulamentação do reuso; 3) inserção de conceitos, como simbiose e ecologia industrial, no sistema de planejamento urbano/ambiental; e 4) maiores incentivos, inclusive econômicos, ao emprego de águas regeneradas.

Destaca-se, ainda, a importância de avaliação mais abrangente (holística) dos custos reais de implantação/operação de um sistema de tratamento, quando do seu planejamento/projeto, que inclua os gastos para destinação adequada dos resíduos gerados. A contabilização de possível reaproveitamento e comercialização dos efluentes tratados ao longo do horizonte de projeto pode alterar significativamente o balanço entre custos e benefícios das alternativas avaliadas, favorecendo aquelas que privilegiem o reuso.

Como desdobramento da pesquisa, ressalta-se a necessidade de ampliação do inventário ora iniciado, com a inserção de mais dados sobre efetivos/potenciais geradores e consumidores de águas de reuso.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA (2017), Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Agência Nacional de Águas, Brasília, DF.

Araújo, B. M.; Santos, A. S. P.; Souza F. P. (2017), “Comparativo econômico entre o custo estimado do reuso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região Sudeste do Brasil”, Revista Perspectivas Online: Exatas e Engenharia, Vol. 7, No. 17.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), NBR13969/1997: Tanques sépticos - Unidades de tratamen-

to complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, ABNT, Rio de Janeiro.

Australian Government Initiative (2006), Australian guidelines for water recycling, disponível em: <https://www.water-quality.gov.au/guidelines/recycled-water> (acesso em 04 out. 2019).

Balassiano, M. (2018), “Análise da aplicação de reuso de águas servidas: estudo de caso do Caxias Shopping”. Projeto de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Bielschowsky, M. C. (2014), Modelo de gerenciamento de lodo de Estação de Tratamento de Esgotos: aplicação do caso da Bacia da Baía de Guanabara, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Bila, D. M; Santos, A. S; Ohnuma Jr., A. A, et al. (2017), “Evaluation of Potential Routes for Wastewater Reuse Management in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil”, In: 11th IWA International Conference on Water Reclamation and Water Reuse, 2017, Long Beach, California.

Branco, R. (2016), “Proposta de Precificação do Produto Água de Reuso”, In: 6º Encontro dos Profissionais em Tecnologia e equipamentos para Saneamento Ambiental.

Câmara dos Deputados (2019), Projeto de Lei 2245/2015, Altera a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, para incluir entre os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos a determinação sobre o emprego da água de menor qualidade em usos menos exigentes, Brasília, DF, disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichaDetramitacao?idProposicao=1554110> (acesso em 04 out. 2019).

Campos, A. M. S. (2018), Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reuso em áreas urbanas. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2018.

Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE (2006), Balanço Social Anual 2005, CEDAE, Rio de Janeiro, 2006.

Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE (s./d.), Sistemas de abastecimento de água da Cidade do Rio de Janeiro, com ênfase no GUANDU, disponível em: <http://www.seaerj.org.br/pdf/Guandu/Apresentacaoparaa-SEAERJ.pdf> (acesso em 05 nov. 2018).

Concessionária Porto Novo (2013), Água de reuso nas obras, Folha da Porto Novo, Edição 12, ano 2.

Confederação Nacional da Indústria – CNI (2016), O financiamento do investimento em infraestrutura no Brasil: uma agenda para sua expansão sustentada, CNI, Brasília.



- Farias A. A. (2019), Reuso de efluente tratado proveniente de ETE para fins não potáveis na Região Metropolitana do RJ, Seminário de Mestrado, DESMA/FEN/UERJ.
- Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro - FETRANSPOR (s./d.) Reuso de Águas em Garagens de Ônibus, Série Meio Ambiente, no 3.
- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - Firjan (2015a), Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Firjan.
- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – Firjan (2015b), Diretrizes para o Aumento da Segurança Hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.
- Giordano G. (s/d), Conservação e Reuso de Água. Apresentação em Curso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Capítulo Nacional da AIDIS, ES.
- Governo do Estado de São Paulo (2017), Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de junho de 2017, Diário Oficial do Estado, São Paulo, 29 jun. 2017, p. 41-42.
- Grupo Águas do Brasil (2015), Apresentação sobre a Concessão de Serviços de Esgoto na Zona Oeste/RJ.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018), Cidades, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama> (acesso em 05 nov. 2018).
- Jordão E. P.; Santos, A. S. (2015), Normas e Padrões para Reuso de Águas Servidas, Curso ABES/RS sobre Reuso de Águas Servidas, Aula 02, Porto Alegre (RS).
- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. (2014), Tratamento de Esgotos Domésticos, 7ª ed., ABES, Rio de Janeiro.
- Klemes, J. J. (2012), “Industrial water recycle/reuse”, Current Opinion in Chemical Engineering, Vol. 1, No. 3, pp. 238-245.
- Lima, E. P. C. (2018), Water and Industry: Experiences and Challenges, Infinita Imagem, Brasília, DF.
- Machado, F. (2019), “Reúso de efluentes na composição da matriz hídrica da Região Metropolitana de São Paulo”, In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal/RN.
- Manhães, A. C. S.; Araujo B. M. (2015), Análise das Práticas de Reuso dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto do Município do RJ (ETE Alegria e ETE Penha), Projeto final de graduação, DESMA/UERJ.
- Nuvolari, A. (Coord.) (2011), Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola, 2ª ed., Blucher.
- Obraczka, M. E.; Leal, I. F. (2016), Análise do emprego de Indicadores para aferição da eficiência na gestão de um sistema de esgotamento sanitário: o estudo de caso da Área de Planejamento 5 (AP5), RJ”, In: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis/SC.
- Obraczka, M.; Campos, A. M. S.; Silva, D. R. et al. (2017), “Estado da Arte e Perspectivas de Reuso de Efluente de Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, Congresso ABES, FENASAN.
- Parlamento Europeu (2019), Eurodeputados aprovam medidas de reutilização da água na irrigação agrícola, Sala de Imprensa, 12 fev. 2019, disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20190207IPR25214/eurodeputados-aprovam-medidas-de-reutilizacao-da-agua-na-irrigacao-agricola> (acesso em 05 set. 2019).
- Pieroni, M. F. (2016), Avaliação da viabilidade de implantação de unidades de reuso em estações de tratamento de esgoto: estudo de caso para a Zona Oeste do Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Prefeitura Municipal de Campinas (2014), Resolução Conjunta SVDS/SMS nº 09, de 31 de julho de 2014, Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reuso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETES) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas, Diário Oficial Municipal, Campinas, SP, disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/resolucao-09-2014.pdf> (acesso em 04 out. 2019).
- Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB (2006), Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim, Rede Cooperativa de Pesquisas, disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf (acesso em 10 maio 2015).
- Ramos, R.; Silva, L. A.; Aquino, F. S. et al. (2005), Estudo da viabilidade do reuso de efluentes sanitários tratados para fins não potáveis, In: Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 18-23 set. 2005.
- Rubim, C. (2012), “Reuso das águas cinzas gera economia financeira e ambiental”, Revista TAE, 03 abr. 2012, disponível em: <http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=3925> (acesso em 22 set. 2016)
- Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Rio de Janeiro – Sebrae (2015), Painel regional: Rio de Janeiro e bairros, Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ.
- Silva Jr., L. C. S. (2017), Panorama do Reuso de Efluentes nas Estações de Tratamento de Esgoto nas Concessionárias de Saneamento da Região Sudeste, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A – SANASA (2015), Estação produtora de água de reúso – EPAR CAPIVARI II – SANASA Campinas, 10ª edição Prêmio FIESP de Conservação e Reúso de Água, Sanasa Campinas.



- Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A – SANASA (2017), Experiência de Campinas/SP em Reuso: EPAR Capivari II, In: Oficina de Trabalho “Uso Racional e Reúso Doméstico de Água”, Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 25-26 out. 2017.
- Subtil, E. L.; Rodrigues, R.; Hespanhol, I., et al. (2017), Water reuse potential at heavy-duty vehicles washing facilities: The mass balance approach for conservative contaminants, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 166, pp. 1226-1234.
- Torres, E. T. (2018), Avanços da Despoluição Hídrica na RHBG no Estado do Rio de Janeiro, Instituto Baía de Guanabara, disponível <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/643861-0/4226416/80AvancosdaDespoluicaoHidricanaRHBGnoEstadoRiodeJaneiro.pdf> (acesso em 22 set. 2019)
- United States Environmental Protection Agency – USEPA (2012), Guidelines for Water Reuse, Washington, D.C., U.S. Agency for International Development.
- Vieira Neto, J. N.; Oliveira, J. R. C. (2008), Desafios e perspectivas do reuso de esgotos sanitários em áreas urbanas: o Projeto da ETE Penha – CEDAE, In: Anais do I Seminário do Núcleo Integrado para Reuso de Águas Efluentes, Implantação e Consolidação do NIRAE, Rio de Janeiro, FQ/UFRJ.
- Zahner Filho, E. (2014), Água de reúso: estudo para fornecimento como água de amassamento, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense, Niterói.

Recebido: 19 fev. 2019

Aprovado: 18 set. 2019

DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n3.1392

Como citar: Obraczka, M.; Silva, D. R.; Campos, A. S., et al. (2019), “Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 14, No. 3, pp. 291-309, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1392> (acesso dia mês abreviado. ano).