

OS DESAFIOS TECNOLÓGICOS NO TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP)

NATALIA VENTURINI CAVALI

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL INACIANA (FEI) PADRE SABOIA DE MEDEIROS

MARIA TEREZA SARAIVA DE SOUZA

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL INACIANA (FEI) PADRE SABOIA DE MEDEIROS

Introdução

A demanda por água está aumentando em todo o mundo. Escassez, preocupação com a segurança hídrica em áreas onde a demanda excede a disponibilidade e requisitos para remover contaminantes emergentes da descarga de efluentes têm impulsionado a sua reutilização em diversas partes do mundo (VOULVOULIS, 2018). Os avanços da tecnologia contribuem para a implementação de novas estações de tratamento, mais eficientes e confiáveis. A produção de água recuperada passa a ser uma realidade devido a evolução das tecnologias de recuperação visando proteção de riscos ambientais (DAIGGER et al., 2019).

Problema de Pesquisa e Objetivo

No Brasil, em 2014 e 2015, a cidade de São Paulo passou por uma crise hídrica. Quando a cidade estava perto de um colapso, a chuva chegou e recuperou os níveis dos reservatórios (MILLINGTON, 2018). Em 2021, o Brasil já enfrenta problemas de escassez de água e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) o sistema de abastecimento entrou em nível de alerta (USP, 2021). O reuso da água é uma opção eficaz para economizar água (TAKEUCHI; TANAKA, 2020). O objetivo é identificar barreiras e entender como fatores externos influenciam a aplicação de tecnologias para reuso de águas residuais na RMSP.

Fundamentação Teórica

A reutilização tem como objetivo buscar toda e qualquer oportunidade para utilizar a água novamente em uma operação e para aplicações externas em vizinhança ou comunidades (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018), reduzindo a demanda por suprimentos limitados (EPA, 2018). A reutilização fornece uma fonte importante de água doce, e influencia diretamente o estresse hídrico existente (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). A tecnologia está desempenhando um papel fundamental como facilitadora da recuperação e reutilização das águas residuais (DAIGGER et al., 2019).

Metodologia

O procedimento adotado é o estudo de caso único. Para o estudo de caso foi selecionada uma empresa de saneamento que atua na região metropolitana de São Paulo (RMSP). Essa companhia iniciou de forma pioneira a prática de reuso em 1998. Como instrumentos de coleta de dados foram utilizadas documentação, registros em arquivos e entrevistas semiestruturadas com profissionais que atuam na gestão de recursos hídricos na RMSP, sendo atribuídos códigos de referência para cada um deles. Foram estabelecidas etapas de coleta de dados e para a análise foi realizada triangulação de dados.

Análise dos Resultados

A reutilização da água tratada, principalmente para fins industriais, fornece uma importante fonte de água doce (YERUSHALMI; SEYHI, 2020) e pode desafogar o sistema de oferta de água da RMSP. Com o intuito de resolver o problema de alta demanda na RMSP e garantir a oferta de água necessária para o desenvolvimento da região, a empresa busca investir em desenvolvimento tecnológico e promoção de pesquisa e inovação, fatores vistos como facilitadores para implementação do reuso (DAIGGER et al., 2019, GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019). É preciso reutilizar os subprodutos gerados do esgoto.

Conclusão

Para viabilizar a utilização de água de reuso é importante existir uma demanda para o reuso, fator importante para o investimento em tecnologias nas estações de tratamento de esgoto. As tecnologias para o tratamento de águas residuais existem e são conhecidas pela companhia de saneamento, porém faltam incentivos econômicos e culturais para sua aplicação. O reuso potável direto ainda não é visto como uma solução viável para aplicação, isso porque a companhia de saneamento responsável pelo abastecimento de água da região acredita que as fontes tradicionais ainda suportam a demanda da população.

Referências Bibliográficas

DAIGGER, G. T. et al. The Future of Water. Water and Sanitation Division, [s. l.], v. IDB-DP-657, n. May, p. 756–759, 2019. YERUSHALMI, L.; SEYHI, B. Development of a full-cycle water remediation process. Water Practice & Technology, Montreal, v. 15, n. 1, p. 66–76, 2020. VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. Current Opinion in Environmental Science and Health, Londres, v. 2, p. 32–45, 2018.

Palavras Chave

Inovação tecnológica, Reuso de água, Crise hídrica

OS DESAFIOS TECNOLÓGICOS NO TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP)

1 INTRODUÇÃO

A demanda por água está aumentando em todo o mundo. A disponibilidade limitada, a má gestão e o uso concorrentes por diferentes setores estão afetando a quantidade de água disponível para todos os usos. O crescimento populacional, a urbanização e a industrialização, bem como as mudanças climáticas, têm contribuído para tornar a disponibilidade de água uma preocupação (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019).

O uso intensivo da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas e os problemas com a qualidade de água decorrentes da poluição hídrica exigem ações de gestão cada vez mais efetivas (ANA, 2019). Tradicionalmente, a água é utilizada por quatro categorias principais: agricultura, indústria/cidades, energia e meio ambiente (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Escassez, preocupação com a segurança hídrica em áreas onde a demanda excede a disponibilidade e requisitos para remover contaminantes emergentes da descarga de efluentes têm impulsionado a sua reutilização em diversas partes do mundo (VOULVOULIS, 2018).

Grandes sistemas de infraestrutura centralizadas foram desenvolvidas no século XX para armazenamento, tratamento e distribuição de água encanada, e também para coleta, tratamento e disposição de água residuais em áreas urbanas (DAIGGER et al., 2019). O sistema de saneamento inclui a coleta, o transporte, o armazenamento, o monitoramento, tratamento de água, distribuição, o tratamento de esgoto e a disposição de água tratada. Primeiro, a água é coletada de fontes primárias e distribuída aos usuários, processo que envolve coleta, preparação e o transporte da água armazenada para consumidores, municípios, indústria e agricultura. Posteriormente, para cada um desses usuários, o ciclo continua com a coleta e tratamento da água utilizada (R2PI PROJECT, 2019).

Para evitar a contaminação do meio ambiente por águas poluídas, insuficientemente tratadas, introduzidas em reservatórios naturais, as cidades ou regiões precisam reavaliar a maneira como a infraestrutura é implementada. (GIEZEN, 2018). Nessa linha, a União Europeia (UE) está iniciando mudanças sistemáticas das práticas de descarte de águas contaminadas (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020) e a inovação está mudando a maneira como os serviços de infraestrutura são fornecidos (DAIGGER et al., 2019).

Para garantir a qualidade da água é importante não somente garantir a propriedade para cada tipo de uso, mas também garantir uma operação adequada dos sistemas de reutilização (EC, 2016). Em Israel, o uso excessivo e os danos causados pela poluição no sistema de água fizeram com que o país investisse em novas tecnologias para reformular o setor, ao mesmo tempo que conscientizaram os usuários quanto a necessidade de economizar água e garantir qualidade do suprimento. Através de impostos de uso, racionamento de água, criação da Autoridade Central de Água, parcerias governamentais com empresas do setor privado e busca de novos fornecedores de tecnologias, Israel abriu muitas frentes para acabar com o problema de escassez crônica da água (R2PI PROJECT, 2019).

Um número crescente de países estão considerando estratégias que envolvam a diversificação das fontes de águas além das fontes tradicionais (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019). Os avanços da ciência e da tecnologia contribuem para a implementação de novas estações de tratamento, mais eficientes e mais confiáveis. A produção de água recuperada e de boa qualidade para atender os diversos objetivos de uso passa a ser uma realidade devido a evolução progressiva das tecnologias de recuperação visando proteção de riscos ambientais e a saúde (DAIGGER et al., 2019).

As tecnologias com altos padrões de eficiência já existem para o tratamento da água contaminada (DAIGGER et al., 2019). No entanto, a implementação de novas tecnologias

enfrenta desafios como viabilidade econômica, aceitação social, regulações, políticas públicas e capacitação tecnológica (DAIGGER et al., 2019). O reuso da água é uma opção eficaz em todo o mundo para economizar recursos hídricos, reduzir os impactos ambientais relacionados ao despejo de águas residuais e também para diminuir custos envolvidos com a gestão de água (TAKEUCHI; TANAKA, 2020).

No Brasil, em 2014 e 2015, a cidade de São Paulo passou por uma profunda crise hídrica. À medida que a crise se aprofundava, as organizações da sociedade civil exigiam uma gestão mais transparente do abastecimento de água da cidade. Quando a cidade estava perto de um colapso, a chuva chegou e recuperou os níveis dos reservatórios (MILLINGTON, 2018). Em 2021, o Brasil já enfrenta problemas de escassez de água e na região metropolitana de São Paulo o sistema de abastecimento entrou em nível de alerta (USP, 2021).

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de SP é a maior companhia de saneamento das Américas e a quarta maior do mundo em população atendida, e que atua norteada pela inovação na prestação de serviços de saneamento básico - fornecimento de água tratada e serviços de esgoto (SABESP, 2019). Ela foi escolhida para a realização de um estudo de caso único a fim de identificar barreiras para o reuso de águas residuais nas estações de tratamento de esgoto na Região Metropolitana de São Paulo. Assim, esse trabalho tem como objetivo responder a seguinte questão de pesquisa: como fatores externos influenciam a aplicação de inovação tecnológica para o reuso de águas residuais?

Primeiro buscou-se analisar a importância da inovação tecnológica nas estações de tratamento de esgoto, em seguida foi verificada quais tecnologias são utilizadas em estações de tratamento para redução de impactos ambientais, e por fim foi realizada uma análise sobre como os fatores externos influenciam a aplicação de tecnologias na RMSB para promover o reuso da água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A tecnologia desempenha um papel de facilitadora das práticas de reuso devido ao alto padrão de qualidade final da água tratada (DAIGGER et al., 2019). A reutilização tem como objetivo buscar toda e qualquer oportunidade para utilizar a água novamente em uma operação e para aplicações externas em vizinhança ou comunidades (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018), reduzindo a demanda por suprimentos limitados (EPA, 2018).

As práticas de reuso da água podem ser classificadas em duas categorias principais: reutilização de água não potável e potável (DAIGGER et al., 2019). O reuso da água residual não potável cumpre muitas funções como rega paisagística, lavagem de ruas, agricultura e silvicultura, combate a incêndios, resfriamento de usinas térmicas e instalações industriais, recarga de fluxos de água, apoio de áreas úmidas, recreação e lazer (GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019), conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Reutilização não potável

Categoria	Aplicações	Pontos de Atenção	Lições Aprendidas
Agricultura	Culturas alimentícias; pastos; pomares.	Qualidade da água; aceitação dos agricultores; controle de escoamento da água.	Boas práticas para mitigar impactos; armazenamento da água; controle da qualidade para garantir segurança.
Irrigação	Campos de golfe, parques públicos; estradas; cinturões verdes; cemitérios.	Qualidade da água; controle de escoamento; aceitação pública.	Boas práticas para mitigar impactos; controle da qualidade da água para garantir segurança.
Uso Urbano	Descarga de vasos sanitários; Paisagismo; proteção contra incêndios; lavagem de carros e casas.	Qualidade da água; custos de sistemas de distribuição; problemas de conexões cruzadas	Manutenção de sistemas de distribuição duplas e controle de conexão cruzada.

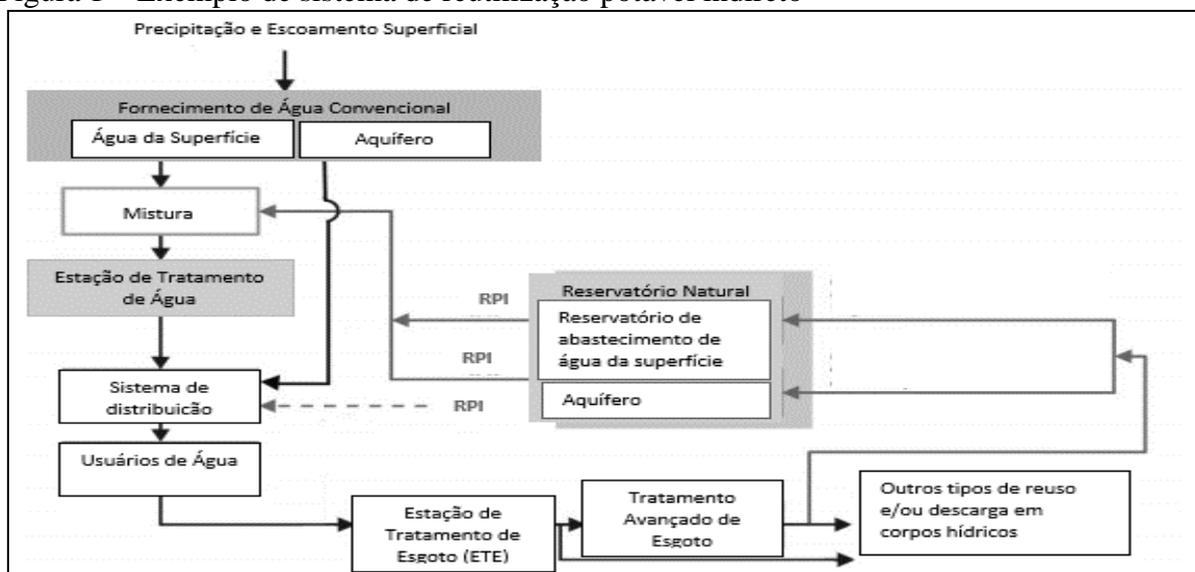
Usos Ambientais e de recreação	Recreação; abastecimento de fluxos de água; Restauração de zonas úmidas; fabricação de neve.	Qualidade da água; cuidados com eutrofização (crescimento de algas) por causa dos nutrientes.	Melhoria do meio ambiente; bem-estar humano; melhoria da biodiversidade.
Reuso Industrial	Resfriamento; alimentação de caldeira; limpeza em construção pesada.	Escalabilidade; corrosão.	A qualidade da água deve ser adaptada aos requisitos específicos de cada setor.

Fonte: Daigger et al., 2019, p. 21 - 22

Já a reutilização potável é a produção de água potável a partir de águas residuais municipais altamente tratadas (DAIGGER et al., 2019). A seleção do tipo de tratamento para um esquema específico de reutilização potável deve ser cuidadosamente avaliada para cada comunidade. Independentemente de qual combinação de tratamento for selecionada, a segurança dependerá do cumprimento da qualidade estabelecida para cada tipo de uso através da aplicação de processos de múltiplas barreiras, juntamente com o monitoramento operacional on-line ou frequente, para garantir uma operação consistente e confiável (WHO, 2017).

A reutilização potável envolve o uso indireto ou direto de águas residuais como fonte de água potável (EPA, 2018). Embora as definições variem, em geral, nos sistemas de reutilização potável indireta (RPI) a água tratada é introduzida ou armazenada no meio ambiente, capitada e tratada novamente para distribuição à população (Figura 1). Já na reutilização direta potável (RPD), a água não volta ao meio ambiente, após um extenso tratamento para garantir que requisitos de qualidades sejam atendidos, a água tratada é introduzida diretamente em um sistema de abastecimento para distribuição (Figura 2) (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019).

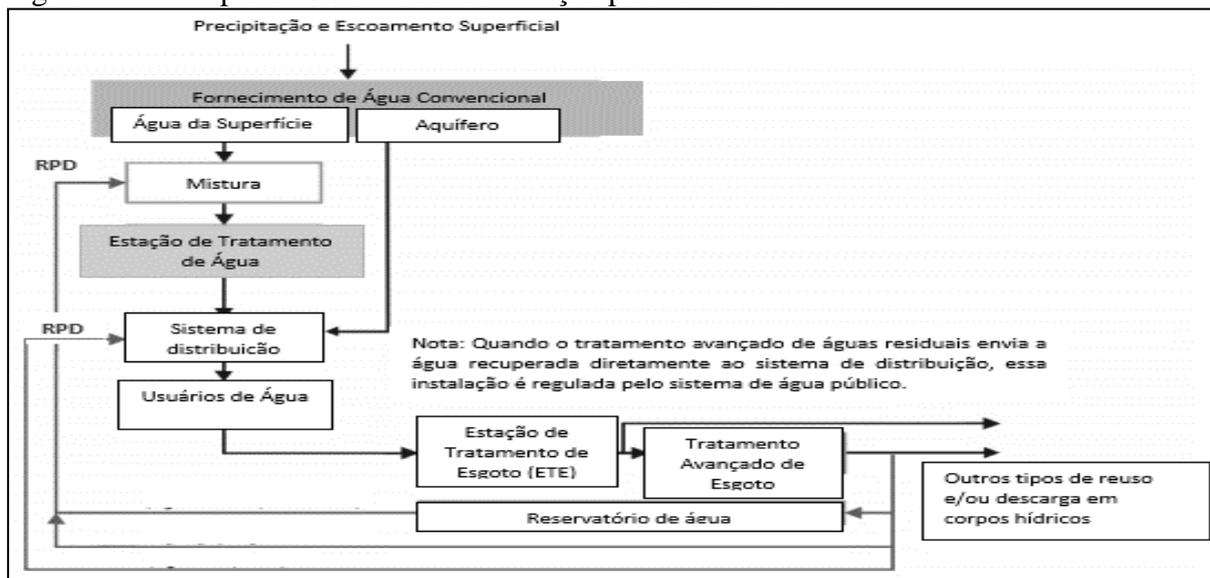
Figura 1 – Exemplo de sistema de reutilização potável indireto



Fonte: EPA, 2018, p. 3

Aumentar o suprimento de água potável com água recuperada – reutilização potável – pode ajudar as comunidades a atender demandas críticas. A reutilização potável indireta tem o objetivo de aumentar o volume de uma fonte de água potável com água recuperada tratada, fornecendo um amortecedor ambiental antes do uso subsequente (EPA, 2018).

Figura 2 – Exemplo de sistema de reutilização potável direto



Fonte: EPA, 2018, p. 3

Os sistemas para reutilização de águas residuais geralmente usam a combinação de processos físicos e químicos para remover contaminantes dos efluentes tratados das estações, dependendo do tipo e concentração de contaminantes e da aplicação final da água (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). A qualidade final da água determina o uso referente ao RDI e ao RPD – Quadro 2 (DAIGGER et al., 2019).

Quadro 2 – Reutilização potável

Categoria	Aplicações	Pontos de Atenção	Lições Aprendidas
Uso potável indireto com reabastecimento de reservatórios	Reabastecimento de água subterrâneas por meio de bacias de infiltração; Recarga direta.	Contaminação do lençol freático; Efeitos de produtos químicos; Aceitação pública.	O tratamento com barreiras múltiplas garante a produção de água potável e segura; Controle eficiente por meio de ferramentas de modelagem avançadas.
Uso potável direto	Mistura de água potável com água purificada tratada no tubo	Preocupações com a saúde e questões de produtos químicos; Aceitação pública; Economicamente atraente na reutilização de grande escala e escassez crônica de água.	Tratamento com barreiras múltiplas garante a produção segura de água potável; Custo eficiente em comparação com a reutilização potável indireta.

Fonte: Autoras “adaptado de” Daigger et al., 2019, p. 23

A água é altamente tratada quando os efluentes são submetidos a um tratamento adicional ou complementar para aumentar ou adequar sua qualidade ao seu uso final. As tecnologias para a reciclagem da água residual - tratamento e purificação - estão produzindo água em escala, para diversos tipos de aplicação, incluindo água purificada proveniente das estações de tratamento de esgoto de qualidade igual ou superior a água potável (DAIGGER et al., 2019). As tecnologias avançadas podem ocorrer por meio de várias combinações de biorreatores de membrana, microfiltração, ultrafiltração, nano filtração, osmose reversa, processos avançados de oxidação e desinfecção por ozônio ou ultravioleta (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). O Quadro 3 mostra as principais tecnologias utilizadas para tratamento de águas residuais.

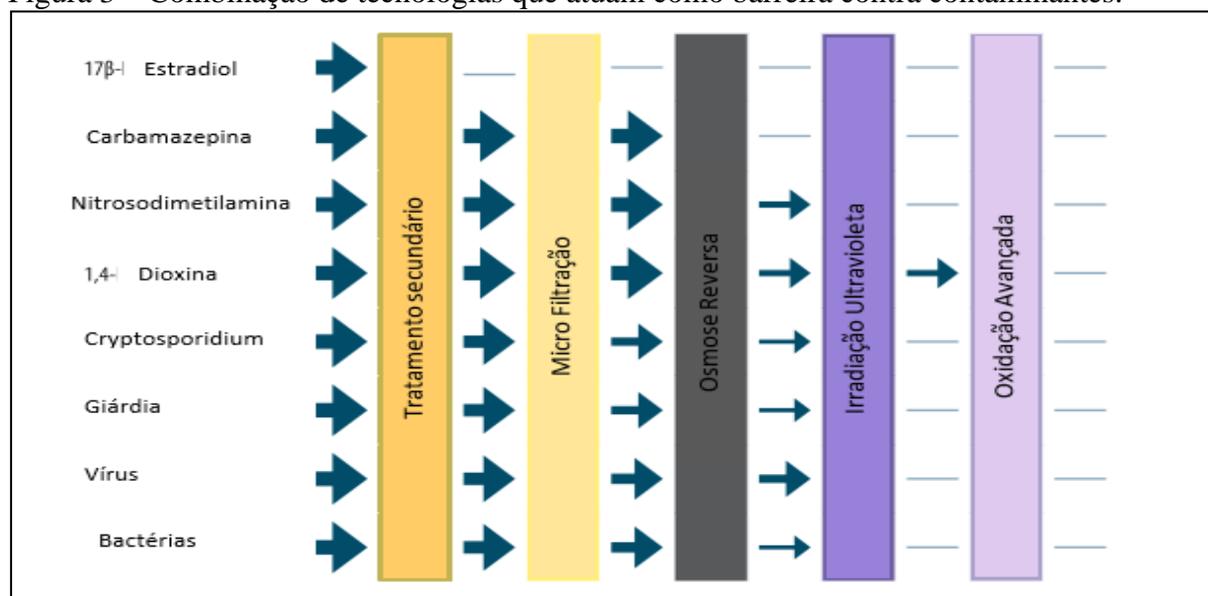
Quadro 3 - principais tecnologias utilizadas para a reciclagem da água.

Tecnologia	Descrição	Aplicação
Oxidação Avançada	Aplicação de uma combinação de oxidantes, como o ozônio ou peróxido de hidrogênio e UV, nos quais produzem espécies que reagem com oxigênio	Oxidação de compostos orgânicos – Aumentam a biodegradabilidade Controle de microconstituintes como produtos farmacêuticos e hormônios
Tratamento anaeróbico	Processos biológicos excluindo oxigênio e nitrato como receptores terminais de elétrons para converter matéria orgânica biodegradável em biogás (metano e CO ₂)	Amplamente utilizado para o tratamento de lodo produzido no tratamento de águas residuais.
Membranas	As membranas podem possuir várias configurações e são capazes de separar partículas (micro e ultrafiltração) ou dissolver substâncias (osmose reversa e nano filtração) na água	Ampla variedade de aplicações, variando de sistemas centralizados de pequena e grande escala. Pode fornecer a necessária separação de líquidos e sólidos para sistemas biológicos, como biorreatores de membrana.
Separação de fontes	A água usada convencional é formada por uma combinação de águas de diferentes qualidades. Na abordagem de separação de fontes, cada tipo de água é mantido separada	Prática histórica que está ressurgindo. As águas cinzas são relativamente não contaminadas e podem ser tratadas com eficiência e uso adequado, enquanto águas negras contêm a maior parte da química (matéria orgânica).
Precipitação de estruvita	Precipitação de fósforo e amônia com MgNH ₄ PO ₄ .6H ₂ O (estruvita)	O estruvita é um fertilizante de liberação lenta que pode ser recuperado de águas residuais
Hidrólise Térmica	Explosão de vapor de matéria orgânica para converter partículas orgânicas e coloidais em forma dissolvida.	Esse processo aumenta a taxa de biodegradação de matéria orgânica, particularmente antes do tratamento anaeróbico.
Tratamento Ultravioleta	A aplicação de comprimentos de onda específicos de luz na água (por exemplo, 254nm) para inativar patógenos e /ou componente de um sistema avançado de oxidação.	Facilmente aplicado em uma ampla variedade de escalas para a produção de água adequada para uma finalidade específica.

Fonte: Daigger et al., 2019, p. 13

A combinação de várias tecnologias entre si atua como barreiras e podem aumentar a capacidade de redução de contaminante (WHO, 2017). A Figura 3 ilustra a diminuição de contaminantes conforme a introdução de uma nova tecnologia no processo de tratamento.

Figura 3 – Combinação de tecnologias que atuam como barreira contra contaminantes.



Fonte: WHO, 2017, p. 25

O tratamento de membrana dupla que incluem membranas de baixa pressão (microfiltração ou ultrafiltração) e osmose reversa, seguido de oxidação avançada (por exemplo, irradiação por ultravioleta combinada com tratamento da água com peróxido de hidrogênio) está se tornando muito popular e está sendo considerada a melhor tecnologia disponível no mundo (DAIGGER et al., 2019).

Em Singapura, a reutilização de águas residuais é uma das principais fontes de abastecimento, atendendo até 40% da demanda atual de água do país. Embora seja principalmente para o uso direto não potável, o programa de água de Singapura – NeWater – também complementa o suprimento de água potável por meio da recarga de reservatórios durante os meses mais secos. Para garantir que a água reciclada atenda aos padrões internacionais de água potável, geralmente é introduzido um processo de oxidação avançada ultravioleta após uma osmose reversa para quebrar micro poluentes orgânicos e fornecer uma barreira de proteção adicional contra patógenos (CHIEF et al., 2018).

Na Califórnia, no Condado de Orange, o reuso de água começou em 1976 quando a Water Factory 21 começou a descartar água reciclada altamente tratada no meio ambiente. Atualmente, o distrito decidiu reutilizar a água potável reciclada como a principal fonte de suprimento para seus reservatórios naturais e enfatiza o papel da tecnologia para a produção de água com qualidade (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019).

No Japão, o governo estabeleceu diversas leis em 2014 e 2015 que destacam a importância do reuso de água. Por meio do projeto de Pesquisa Básica para Ciência e Tecnologia Evolutiva (*Core Research for Evaluation Science and Technology* - CREST) foi desenvolvido um processo de recuperação de água utilizando tecnologias de membranas e ozonização e foi comprovada a remoção de vírus de modo a tornar a água adequada para o reuso agrícola com menores custos em comparação a outros processos (TAKEUCHI; TANAKA, 2020).

O aspecto que exige maior atenção no caso da reutilização da água é variação da qualidade da água. Possíveis riscos associados ao reuso podem aparecer como consequência da presença de patógenos, micro poluentes e genes resistentes a antibióticos (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). Um sistema de tratamento com baixo desempenho pode levar a qualidade da água a um nível não confiável para fins de utilização, impossibilitando seu reuso. (VOULVOULIS, 2018).

Na prática, esquemas de reutilização potável em larga escala incluem uma combinação de tecnologias nos processos de tratamento. A Figura 4 mostra exemplos de esquemas de reutilização de água potável direta e indireta que já estão em operação em alguns países (WHO, 2017).

Figura 4 – Exemplos de países que reutilizam água potável de forma direta ou indireta.



Fonte: WHO, 2017, p. 18

A reutilização fornece uma fonte importante de água doce, e influencia diretamente o estresse hídrico existente (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). As principais vantagens do reuso são o fato de ser uma fonte de água independente do clima, além de reduzir os impactos negativos ao meio ambiente por meio de um planejamento voltado para a qualidade dessa água (WHO, 2017).

Em países em desenvolvimento, a maioria das estações de tratamento compreende tratamento primário e secundário, sem incluir um tratamento adicional às águas residuais. Os tomadores de decisão entendem que essas soluções são caras e que os benefícios são limitados (AWAD; GAR ALALM; EL-ETRIBY, 2019). A reutilização de água também enfrenta algumas barreiras que vão desde a percepção pública até os desafios regulatórios. Uma abordagem interdisciplinar facilitaria a implantação do reuso de água (VOULVOULIS, 2018).

Existem três principais metas e oportunidades na utilização de água que devem ser buscadas por meio das inovações tecnológicas para mitigação de externalidades negativas e que abrangem desde os processos biofísicos no campo disciplinar das ciências e engenharia até as decisões de política social e de gestão que influenciam o uso da terra e da água (SANTELMANN et al., 2019). O Quadro 4 mostra essas oportunidades para o uso de água.

Quadro 4 - Oportunidades do uso da água

Setor	Objetivo	Elementos Chaves para um sistema com boa performance	Oportunidades
Água Potável	Saúde Pública; abastecimento de água adequado para a população; sistema confiável de tratamento e entrega	Proteção adequada da fonte de água; instalações de tratamento; rede de distribuição. Capacidade para atender demandas futuras. Infraestrutura e fontes resilientes a interrupções de desastres naturais Atender às necessidades sociais de maneira justa equitativa	Águas reutilizáveis necessitam de menores suprimentos e podem reduzir os custos de tratamento e transporte, além de minimizar impactos ambientais
Águas Residuais	Saúde pública; melhoria no tratamento de águas residuais humanas e industriais antes da	Transporta esgoto e lixo para longe das residências; recicla sólidos de esgoto e minimiza os impactos de	Alguns componentes da água residual podem se tornar recursos; Água cinza destinada a reutilização – adequando a finalidade.

	liberação para corpos de água naturais.	quantidade/qualidade da água de descarga no meio ambiente; Minimiza transbordamento combinado de esgoto	Reduzir o volume de águas residuais para reduzir custos de tratamento ou fornecer capacidade adicional
Corpos de água Naturais	Saúde pública; proteger as comunidades das inundações; minimizar os impactos do desenvolvimento em áreas ribeirinhas e corpo d'água.	Gerenciar o regime/hidrologia de sedimentos para minimizar o impacto no habitat natural e na qualidade da água.	Redução de ilhas de calor; promoção de habitat natural da vida selvagem; tratamento terciário de águas residuais.

Fonte: Santelmann et al., 2019, p. 5

Algumas soluções existentes estão entrando muito lentamente no mercado devido a barreiras ligadas a investimentos e falta de incentivo (DE JESUS; MENDONÇA, 2018). A complexidade institucional que envolve normas, práticas culturais e arranjos do mercado pode dificultar um processo de inovação, mas também pode funcionar com driver uma vez que incentiva a busca por soluções inovadoras (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016).

3. MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia utilizada é classificada como qualitativa. Uma pesquisa qualitativa envolve a coleta de dados descritivos sobre pessoas, lugares, processos e interação entre pesquisador com a situação estudada, de forma a tentar compreender fenômenos segundo a perspectivas de quem participa da situação do estudo (GODOY, 1995).

O procedimento adotado é o estudo de caso único. Um estudo de caso é adequado quando se busca investigar o “como” e o “porque” de uma situação. Além disso, é uma investigação empírica que permite o estudo de um fenômeno contemporâneo em profundidade dentro de um contexto real (YIN, 2010).

Para o estudo de caso foi selecionada uma empresa de saneamento que atua na região metropolitana de São Paulo (RMSP). Em 1998, a companhia estatal de saneamento básico do Estado de São Paulo alcançou a universalização da distribuição de água tratada e, gradativamente, aumentou os serviços de coleta e tratamento de esgoto. Fundada em 1973, atualmente é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 371 municípios (SABESP, 2020c). Essa companhia iniciou de forma pioneira a prática de reuso em 1998 e atualmente são produzidos, em média, 502 litros de água por segundo por meio do Aquapolo Ambiental (SABESP, 2020a).

As fontes de evidências utilizadas como instrumentos de coleta de dados podem ser documentações, registros em arquivos, entrevistas, observações diretas, observações do participante e artefatos físicos (YIN, 2010). Para essa pesquisa foram definidas etapas para organização das informações e coleta de dados conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Etapas da coleta de dados

Etapa de Coleta de Dados	Procedimento
Etapa 1 – Coleta de dados: Documentação e Registro em arquivos	- Levantar todas as documentações com aspectos relevantes considerando os processos envolvendo as unidades de análise, incluindo vídeos divulgados na internet e relatórios de sustentabilidade; - Estudar os processos.
Etapa 2 – Entrevistas	- Preparar as entrevistas semiestruturadas - Agendar entrevistas com os envolvidos - Transcrição das entrevistas
Etapa 3 – Dados para análise	- Triangulação de dados

Fonte: Autoras.

Para as entrevistas semiestruturadas, foram selecionados profissionais que atuam na gestão de recursos hídricos na RMSP, e foram atribuídos códigos de referência para cada um deles, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Entrevistados

Entrevistado	Código	Tempo de duração
Especialista em inovação e tecnologia	ESP-2	54'00s
Especialista em tratamento de água da RMSP	ESP-3	42'00s

Fonte: Autoras

O principal objetivo com esse instrumento é reunir informações sobre as ações da empresa na produção de água de reuso e entender quais são os desafios tecnológicos envolvidos na implementação de soluções para o tratamento de águas residuais. A elaboração de protocolos é importante para aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e se destina a orientar o investigador na realização da coleta de dados (YIN, 2010).

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Sempre que a disponibilidade hídrica é colocada em xeque, uma das sugestões é a utilização de água de reuso (SABESP, 2020b). A crise hídrica de São Paulo impulsionou as discussões sobre as possibilidades de reuso da água, a partir da reciclagem do efluente, e uma das tecnologias mais utilizadas no mundo para a produção de água de reuso é a membrana de osmose reversa (FAPESP, 2020). A matéria prima para a água de reuso é o esgoto tratado. Esse efluente deve atender a todos os padrões das resoluções 357 e 430 do Conama, do Ministério do meio ambiente. Isso quer dizer que o efluente está enquadrado em todos os padrões de qualidade para lançamento em corpos hídricos (SABESP, 2012).

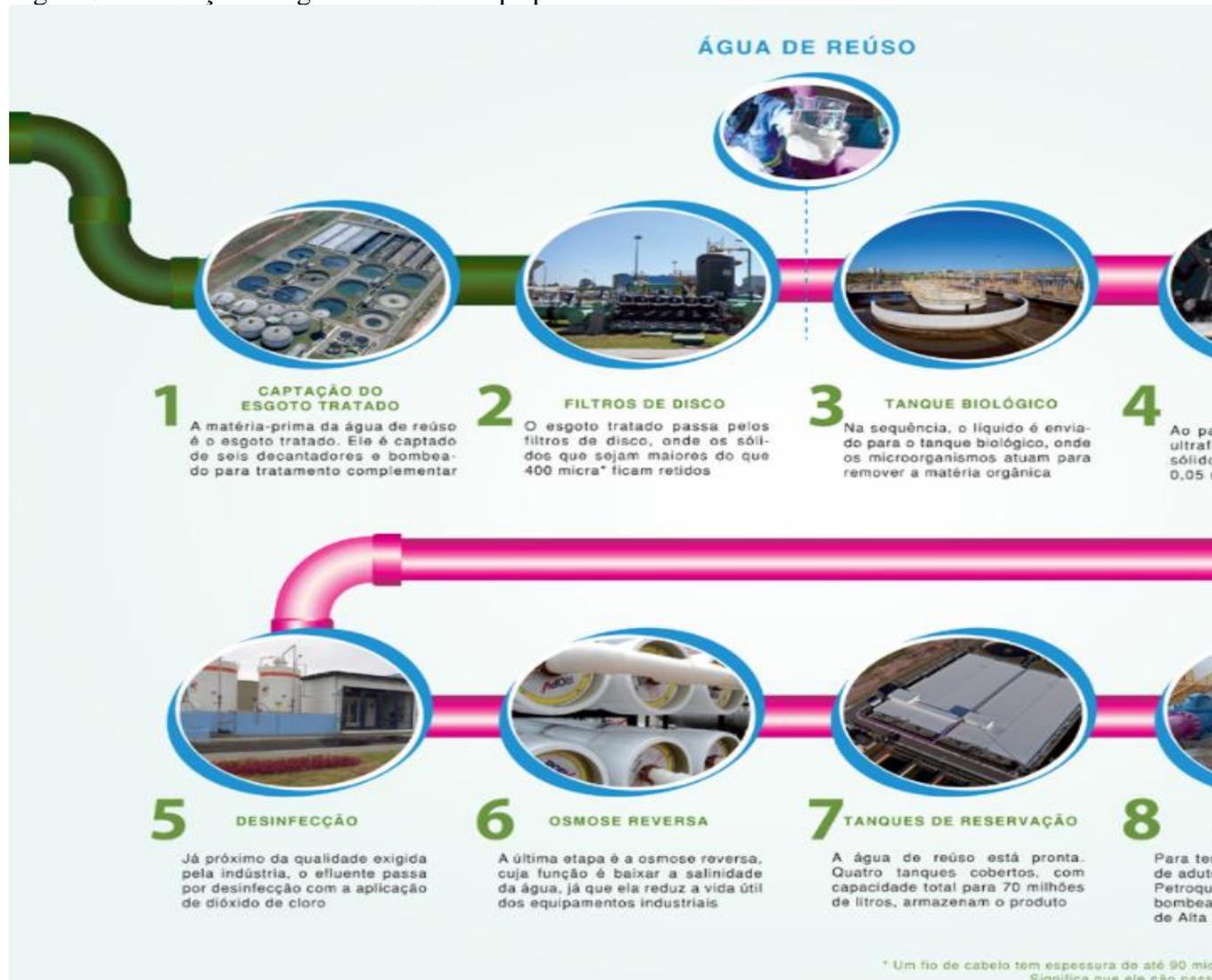
A companhia oferece mais de 468 milhões de litros de água de reuso na RMSP, nas Estações Jesus Netto, ABC, São Miguel, Parque novo mundo e Barueri (SABESP, 2020a). A água de reuso é produzida dentro das estações de tratamento de esgoto e pode ser utilizada para as mais diversas finalidades como a geração de energia, refrigeração de equipamentos, aproveitamento em processos industriais e limpeza das ruas (SABESP, 2020a).

A ETE Jesus Netto localizada no Ipiranga é a mais antiga da companhia – inaugurada em 1935 - e é pioneira em produção de água de reuso para fins industriais – desde 1998. Até 1980, a ETE funcionou como centro de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias e se tornou uma estação-escola para formação profissionalizante em processos de tratamento (PSB, 2016). Para a produção de água de reuso, houve a necessidade de adaptar as tecnologias de tratamento para atender as necessidades de qualidade da região (SABESP, 2020a).

Outra iniciativa de produção de água de reuso industrial é o Aquapolo Ambiental que foi criado em 2010 pela Foz do Brasil – empresa de soluções ambientais da Organização Odebrecht – e companhia de saneamento do Estado de São Paulo. O projeto entrou em operação em 2012 e inclui uma estação de produção de água de reuso (SABESP, 2012) para o setor petroquímico da região do ABC Paulista. O volume produzido poupa o consumo diário equivalente a uma cidade de 500 mil habitantes (SABESP, 2020a). Para o uso industrial o efluente passa por um tratamento com tecnologia de ponta. Ele é captado e bombeado para filtros de discos onde ocorre filtração. A partir daí, segue para o tanque com biorreator que permite o tratamento terciário a partir de membranas ultra filtrantes que retém sólidos e até bactérias. A osmose reversa é o próximo passo que tem como objetivo baixar a salinidade e outros elementos tornando o produto próprio para a utilização (SABESP, 2012). O que permitiu o sucesso do Aquapolo foi a existência de uma demanda do polo petroquímico de Mauá (ESP – 2; ESP – 3).

A Figura 5 ilustra, a partir da captação do esgoto tratado proveniente da ETE ABC, as etapas para a produção de água para o reuso industrial do Aquapolo Ambiental.

Figura 5 – Produção de água de reuso – Aquapolo Ambiental



Fonte: Sabesp, 2012

Em relação a ETE São Miguel, algumas indústrias estavam interessadas em utilizar a água de reuso em seus processos, no entanto, o preço final da água de reuso não atendeu as expectativas das indústrias e o projeto não foi viabilizado. Assim, no caso do reuso industrial, é importante primeiro buscar os clientes para depois viabilizar o uso (ESP-2).

A ETE Parque Novo Mundo produz aproximadamente 2,8 bilhões de litros de água de reuso por ano para fins não potáveis como limpeza de ruas, rega de jardins, tingimentos de tecidos entre outros processos (SABESP, 2017) assim como a ETE Barueri que foi projetada para reutilizar cerca de 300litros/segundo a partir dos efluentes tratados (SABESP, 2012).

A água de reuso hoje em dia é utilizada sob demanda. Você tem um contrato com uma empresa que quer uma água de reuso com uma determinada qualidade, para atender aquela qualidade você faz uma estação para tratar a água (ESP-3). A tecnologia para o reuso já existe, basta você acertar a tecnologia para atender as necessidades da qualidade de água utilizada nos processos industriais (ESP – 2; ESP - 3).

Assim, existem muitas soluções menores e pontuais como lavar as ruas, mas a utilização de grandes volumes de água de reuso, que é significativo para aliviar a demanda da RMSP, é das grandes empresas. Se as empresas identificarem que a água de reuso é mais barata, elas vão passar a comprar essa água (ESP – 3).

No caso do abastecimento público, o reuso depende da aceitação da população (ESP – 2). Quando se fala em água que passa pelo esgoto para voltar as torneiras das residências existe uma certa resistência. As pessoas não gostam de imaginar que a água que estão lavando a mão ou escovando o dente foi um dia esgoto. É uma questão cultural (SABESP, 2020b).

O Quadro 7 mostra as tecnologias utilizadas na RMSP para o tratamento de efluente objetivando o reuso das águas residuais.

Quadro 7 – Tecnologias para produção de água de reuso

Tecnologias	Objetivo	Resultados
filtração, membranas ultra filtrantes, osmose reversa ;	Tratamento do efluente	Utilização de água de reuso para diversos fins. Depende da existência de demanda.

Fonte: Autoras

A companhia de saneamento está começando a considerar o reuso potável indireto (RPI). O primeiro projeto de RPI foi apresentado no último plano diretor que fez uma avaliação das possíveis localizações de água para poder utilizar como reuso e aumentar o volume dos mananciais. No entanto, as últimas obras garantem disponibilidade hídrica e o sistema está mais robusto e menos dependente desse tipo de solução (ESP – 2).

Já o reuso potável direto é um sistema muito mais complexo, que exige um monitoramento bem consolidado para controle de uma água com qualidade. Além de ultrafiltração, osmose reversa, deve existir um monitoramento biológico dessa água. Esse monitoramento precisa de um sistema de *clusters* que não pode ter problema com qualidade da água, pois caso exista problemas, essa água deve ser totalmente descartada. Atualmente, não há viabilidade para o reuso potável direto na RMSP (ESP-2). As tecnologias existem, mas o alto controle de qualidade e o “tabu” que existe em relação ao reuso da água de esgoto é muito grande (ESP-3).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na RMSP, são oferecidos mais de 468 milhões de litros de água de reuso produzidos em estações de tratamento de esgoto que podem ser destinados para fins não potáveis ou fins industriais, a depender da tecnologia escolhida para o tratamento conforme a definição do uso (DAIGGER et al., 2019), o que reduz a demanda por água potável (EPA, 2018). Aqui, as tecnologias são essenciais para proporcionar o reuso do efluente.

Foi por meio da iniciativa da ETE Jesus Neto que a companhia começou os primeiros estudos para produção de água de reuso. A ETE funcionou como um laboratório com apoio de universidades e colaboradores para a utilização de águas residuais.

O volume mais significativo de água de reuso é produzido na ETE ABC, por meio do chamado Aquapolo Ambiental. Fruto de uma parceria entre o polo industrial de Capuava, Foz do Brasil e companhia de saneamento do Estado de São Paulo, foi preciso adaptar os sistemas de tratamento da estação para atender a qualidade requerida pelo polo industrial por meio de uma seleção adequada de tecnologias que atuam como barreiras para contaminantes (WHO, 2017). Na ETE ABC é utilizada uma combinação de filtração, tanque com biorreator, ultrafiltração e osmose reversa, tecnologias que estão se tornando populares para o tratamento de efluente (DAIGGER et al., 2019) e é um caso de RPD. Assim, a parceria com empresas privadas permitiu que a companhia investisse em uma planta utilizando tecnologias avançadas para garantir a qualidade, em acordo com aspectos legais, atribuindo valor ao efluente tratado. O complexo formado para a produção de reuso com fins industriais que envolve normas, práticas e arranjos de mercado, funcionaram como driver para uma iniciativa (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016) que desafoga a demanda por água potável.

Os sistemas de reutilização consideram tecnologias diferentes para remover contaminantes em acordo com a definição de aplicação final do efluente tratado (YERUSHALMI; SEYHI, 2020) e essa qualidade determina a possibilidade (DAIGGER et al., 2019) de RPI e RPD. O RPI e o RPD são opções que podem proporcionar maior oferta de água e ajudar a atender demandas críticas (EPA, 2018) como na RMSP.

Estudos para um possível RPI na RMSP entrou pela primeira no plano diretor como opção para aumentar os volumes dos mananciais. Já para o RPD, apesar de existirem tecnologias conhecidas para esse tipo de reuso, ainda é preciso criar uma cadeia de regulamentações e processo pois o tratamento com baixo desempenho pode levar a produção de uma água não confiável (VOULVOULIS, 2018), além de ser necessário conscientizar que a população que efluente tratado pode possuir uma qualidade tão boa quanto água tratada proveniente de mananciais. Na RMSP as soluções de reuso mais populares são voltadas para fins não potáveis, relacionadas a regas de jardins e lavagens de ruas feitas por meio de um caminhão pipa.

A reciclagem do efluente, por meio de combinação de tecnologias, permite altos padrões de sua qualidade final o que contribui para diminuir os problemas de disposição de água poluída no meio ambiente (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). A reutilização da água tratada, principalmente para fins industriais, fornece uma importante fonte de água doce (YERUSHALMI; SEYHI, 2020) e pode desafogar o sistema de oferta de água da RMSP. Com o intuito de resolver o problema de alta demanda na RMSP e garantir a oferta de água necessária para o desenvolvimento da região, a empresa busca investir em desenvolvimento tecnológico e promoção de pesquisa e inovação, fatores vistos como facilitadores para implementação do reuso (DAIGGER et al., 2019, GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019). Planejar o caminho do efluente tratado em direção aos mananciais da RMSP também é uma solução para manter os níveis dos reservatórios adequados, já que a RPI possui a função de aumentar o volume das fontes de água (EPA, 2018).

O grande desafio do saneamento, principalmente na RMSP, é otimizar os processos e viabilizar a utilização dos subprodutos proveniente as estações de tratamento de esgoto. Para isso é preciso que exista uma visão sistêmica do processo todo, pensando em custos, retorno financeiros, regulamentações, maximizar quantidade de energia gerada e minimizar consumo de energia (ESP-2). Assim, para resolver o problema de alta demanda de água, é necessário investir em desenvolvimento tecnológico, político e social, além da promoção de redução e consumo consciente, é preciso reciclar e reutilizar os subprodutos gerados a partir do esgoto.

6 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi identificar as principais barreiras para aplicação de tecnologias e produção de água de reuso na RMSP para utilização potável e não potável. Os resultados mostraram que as principais barreiras para utilização de tecnologias para a produção de água de reuso é econômico e cultural. Em resposta à questão de pesquisa, os resultados mostram que para viabilizar a utilização de água de reuso é importante existir uma demanda para o reuso, fator importante para o investimento em tecnologias nas estações de tratamento de esgoto. As tecnologias para o tratamento de águas residuais existem e são conhecidas pela companhia de saneamento, porém faltam incentivos econômicos e culturais para sua aplicação.

A adoção do reuso potável prevê grande responsabilidade em monitoramento e controle das qualidades da água, atividade que exige capacitação técnica e a construção de novas estruturas nas plantas de tratamento de esgoto, como os “clusters”. Caso a água não atinja a qualidade requerida, ela tem que ser descartada, e isso representa custos para a companhia.

Além disso, existe uma resistência e um preconceito na utilização de água tratada proveniente do esgoto para as atividades cotidianas, porém, a utilização de água de reuso é uma solução que contribui para aumentar a oferta de água potável na RMSP, contornando o problema da falta de disponibilidade hídrica. A adesão da sociedade para utilização de água de reuso é crucial para aplicação de tecnologias nas estações de tratamento de esgoto.

De acordo com o estudo na RMSP, o reuso potável direto ainda não é visto como uma solução viável para aplicação, isso porque acredita-se que as fontes tradicionais ainda suportam a demanda da população, principalmente com a realização de obras estruturantes que foram feitas em função da crise hídrica de 2015.

Assim, o reuso na RMSP ainda é tímido, sendo o exemplo mais significativo o Aquapolo Ambiental. A utilização de água de reuso em processos industriais representa um consumo significativo, sendo que a ampla adesão do setor industrial para a utilização de água de reuso é essencial para reduzir a demanda por água potável, além de incentivarem soluções inovadoras para o problema de oferta de água.

A pesquisa contribui no sentido de identificar as tecnologias existentes para a produção de água de reuso e verificar as oportunidades e ações que existem na RMSP, região com baixa disponibilidade hídrica. A busca por novas fontes de abastecimento de água se torna assunto cada vez mais importante frente aos desafios ambientais e climáticos.

Como sugestão para próximos estudos, é sugerido pesquisar a relação dos benefícios a longo prazo da implementação de tecnologias que permitem a reutilização da água, quantificando a relação de oferta e demanda de água.

REFERÊNCIAS

- ANA. **Conjuntura dos Recursos: Hídricos no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2020.
- AWAD, H.; GAR ALALM, M.; EL-ETRIBY, H. K. Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. **Science of The Total Environment**, Mansoura, v. 660, p. 57–68, 2019.
- CHIEF, P. U. B. et al. **Innovation in Water Singapore**, 2018.
- DAIGGER, G. T. et al. The Future of Water. **Water and Sanitation Division**, [s. l.], v. IDB-DP-657, n. May, p. 756–759, 2019.
- DE JESUS, A.; MENDONÇA, S. Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. **Ecological Economics**, Lisboa, v. 145, p. 75–89, 2018.
- EC – EUROPEAN COMMISSION. **Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the WFD**. 2016. Disponível em:

<https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Guidelines_on_water_reuse.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2020.

EPA. **Potable Reuse Compendium**, 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf>

FAPESP. **Notícias**. 2020. Disponível em: <<https://fapesp.br/13996/fapesp-e-sabesp-lancam-chamada-de-propostas>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GIEZEN, M. Shifting infrastructure landscapes in a circular economy: An institutional work analysis of the water and energy sector. **Sustainability (Switzerland)**, Amsterdam, v. 10, n. 10, p. 3487, 2018.

GIL-MESEGUER, E.; BERNABÉ-CRESPO, M. B. Recycled Sewage - A Water Resource for Dry Regions of Southeastern Spain. **Water Resources Management**, Murcia, v. 33, n. 2, p. 725–737, 2019.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995

GUERRA-RODRÍGUEZ, S. et al. Towards the implementation of circular economy in the wastewater sector: Challenges and opportunities. **Water (Switzerland)**, Madrid, v. 12, n. 5, 2020.

KISELEV, A. et al. Towards Circular Economy : Evaluation of Sewage Sludge Biogas Solutions. **Resources**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1–19, 2019.

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, Cape Town, v. 65, p. 26–34, 2018.

PSB - PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **ETE mais antiga também é pioneira em inovação**. 2016. Disponível em: <<https://saneamentobasico.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto-mais-antiga-tambem-e-a-pioneira-em-inovacao/>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

R2PI PROJECT. **A Circular Economy Business Model Case Israeli Water System**, Jerusalem, 2019.

SABESP. **Água de Reuso**. 2020a. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=569>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Estratégias Resilientes**. 2020b. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/livro_estrategias_resilientes.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Notícias**. 2012. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=4894>>. Acesso em 10 jun. 2021.

SABESP. **Notícias**. 2017. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=7559>>. Acesso em 10. jun. 2021.

SABESP. **Perfil**. 2020c. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=505>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Relatório de Sustentabilidade**, Sabesp. 2019. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/RS2019_PORTUGUES.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

SANTELMANN, M. et al. Designing and modeling innovation across scales for urban water systems. **Urban Ecosystems**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 1149–1164, 2019.

SILTALOPPI, J.; KOSKELA-HUOTARI, K.; VARGO, S. L. Institutional complexity as a driver for innovation in service ecosystems. **Service Science**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 333–343, 2016.

SIRAJ, T.; STEICHEN, T.; SHUOLER, M. **Water and Circular Economy: White Paper** Arup Group. Antea Group & Ellen Macarthur Foundation. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://us.anteagroup.com/sites/default/files/Water_and_circular_economy_Co.Project_White_paper.pdf>.

SMOL, M.; ADAM, C.; PREISNER, M. Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Cracow, v. 22, p. 682–697, 2020.

TAKEUCHI, H.; TANAKA, H. Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. **Water Cycle**, [s. l.], v. 1, n. May, p. 1–12, 2020.

TORTAJADA, C.; SAMBIAR, S. Communications on Technological Innovations : Potable Water Reuse. **WATER**, Singapore, v. 11, n. 251, p. 1–29, 2019.

USP. **Jornal da USP**, 2021. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/atualidades/nos-ja-estamos-em-uma-crise-hidrica-diz-pedro-luiz-cortes/>>. Acesso em 15 set. 2021.

VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, Londres, v. 2, p. 32–45, 2018.

WHO. **Guidance for producing safe drinking-water**, 2017.

YERUSHALMI, L.; SEYHI, B. Development of a full-cycle water remediation process. **Water Practice & Technology**, Montreal, v. 15, n. 1, p. 66–76, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso - planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.