

IV-1342 – POTENCIALIDADE DE REÚSO DIRETO E INDIRETO NA MACROMETRÓPOLE PAULISTA E PROPOSIÇÃO DE ARRANJO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO POTÁVEL NA ETE BARUERI

Carolina Harue Nakamura⁽¹⁾

Engenheira Química pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia. Especialização em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEB/UNESP). Engenheira da COBRAPE.

Luiz Henrique Werneck de Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia. Cientista Social pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Doutor em Planejamento e Gestão do Território pela Universidade Federal do ABC. Consultor da COBRAPE.

Camila Bolzan Dionisio⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Urbana e Bacharela em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC (UFABC). Engenheira da COBRAPE.

Bruno Nogueira Fukasawa⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Mestre no tema de planejamento em reúso não potável de esgotos pela EPUSP. Doutorando no tema de reúso potável direto na EPUSP. Atuação profissional nas áreas de tratamento de efluentes e água, reúso e conservação de água

José Carlos Mierzwa⁽⁵⁾

Professor no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Doutor em Engenharia Sanitária. Mestre em Tecnologia Nuclear e Engenheiro Químico.

Endereço⁽¹⁾: COBRAPE – Cia. Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Rua Fradique Coutinho, 212 – 9º andar – Pinheiros – São Paulo/SP – CEP: 05416-000 – Brasil – Tel, + 55 (11) 3897-8000 – e-mail: carolinanakamura@cobrape.com.br

RESUMO

Em tempos de incertezas climáticas e recorrentes crises hídricas, a garantia do abastecimento de água é, inegavelmente, um dos principais desafios para a sustentabilidade urbana e ambiental. Com isso, torna-se estratégica a busca para uso de fontes alternativas para a gestão dos recursos hídricos, como o reúso de água e a dessalinização. Nesse contexto, esse estudo focou no reúso da água, sendo desenvolvido em duas etapas: (i) análise do potencial de aproveitamento hídrico das estações de tratamento de esgotos (ETEs) existentes na Macrometrópole Paulista (MMP) para reúso da água potável direto (RPD) e não potável direto (RNPD); (ii) proposição de arranjo de produção de água potável na ETE Barueri, localizada no município de Barueri, em São Paulo, com o dimensionamento e de estimativa de custos de implantação (Capex) e operação e manutenção (Opex). Os resultados da primeira etapa mostraram que 7,0% das ETEs da MMP possuem potencial “alto” ou “muito alto” para RPND, enquanto 5,3% também apresentaram potencial “alto” ou “muito alto” para RPD. Em ambos os casos, as ETEs estão situadas em microbacias com balanço hídrico qualitativamente crítico e os corpos d’água receptores apresentam baixa capacidade de diluição. Já na segunda etapa, o arranjo de reúso de água envolveu a instalação de uma unidade independente dos sistemas de tratamento principais da ETE Barueri, cuja estrutura principal proposta seria composta por um sistema de biorreator com membranas (MBR), uma unidade de desinfecção por radiação ultravioleta, um sistema de osmose reversa e uma unidade de oxidação fotoquímica. Os custos estimados de Capex para implantação da Estação Produtora de Água Potável (EPAP) de Reúso Direto (RPD) e de Reúso Indireto (RPI) seriam em torno de R\$ 660 milhões, enquanto de Opex seriam de, aproximadamente, R\$ 136 milhões por ano. As conclusões indicam que a identificação e implementação de modalidades de reúso podem contribuir significativamente para a redução dos riscos de escassez de água na Macrometrópole Paulista e que um planejamento estratégico é essencial para avaliar as vulnerabilidades e resiliências das disponibilidades hídricas.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso da água, Efluentes Sanitários, ETE Barueri, Segurança hídrica, Macrometrópole Paulista

INTRODUÇÃO

As crises hídricas que o estado de São Paulo vivenciou evidenciam a fragilidade dos mananciais como um todo e a garantia para o abastecimento de água e à produção de energia elétrica é um dos principais desafios para a sustentabilidade urbana e ambiental (NAKAMURA *et al.*, 2023). Sendo assim, torna-se estratégica a busca de fontes alternativas para o aumento da segurança hídrica, como o reúso e a dessalinização da água do mar.

A grande diversidade dos usos da água exige maior atenção aos atributos quantitativos e qualitativos para o adequado suprimento de cada uso. Os esgotos tratados já desempenham um papel no planejamento e na gestão dos recursos hídricos no suprimento de usos para fins agrícolas e de irrigação paisagística, desobstrução de redes de esgoto, sistema de combate a incêndio, entre outros. No entanto, a avaliação do potencial de reúso direto ou indireto para fins industriais não potáveis e, até mesmo, para abastecimento público potável, vem se disseminando nas últimas décadas. Países como Cingapura, Austrália, Estados Unidos, França, Alemanha, Bélgica e Espanha adotam a água de reúso tanto potável quanto não potável (urbano, industrial e agrícola), seja de forma direta ou indireta.

No Brasil e no estado de São Paulo, as iniciativas de reúso são limitadas, sendo que as de maior relevância estão concentradas na Região Metropolitana de São Paulo. Exemplos de sucesso incluem: Aquapolo Ambiental, que utiliza o sistema de biorreator com membranas de ultrafiltração terciário (TMBR - *tertiary Membrane Biorreactor*) seguido de processos de polimento adicionais como osmose reversa para produção de água de reúso não potável a partir dos efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ABC, para distribuição no Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da região do ABC Paulista (AQUAPOLO, 2025). No interior de São Paulo, destaca-se a produção de água de reúso na Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR) Capivari II, em Campinas, que emprega o sistema de biorreator com membranas de ultrafiltração (MBR) e disponibiliza água de reúso para fins não potáveis na própria ETE, além de usos urbanos diversos, inclusive com a perspectiva de fornecimento de água de reúso para o Aeroporto de Viracopos (SANASA, 2015). Recentemente, Ribeirão Preto aprovou, por meio da Lei nº 14.824/2023 (RIBEIRÃO PRETO, 2023), o reúso não potável direto para fins urbanos proveniente de ETEs do município.

Estudos recentes também estão abordando essa prática visando a segurança hídrica da região em estudo, como o que foi realizado na porção paulista da bacia hidrográfica do Rio Grande, que considerou cinco municípios que apresentavam corpos hídricos com baixa capacidade de diluição de carga orgânica remanescente do tratamento. O estudo avaliou as opções existentes para a destinação de efluentes tratados, com ênfase no potencial de reúso da água e propondo as alternativas que melhor se adequassem à realidade de cada município e seus respectivos custos de implantação e operação (NAKAMURA *et al.*, 2023).

Com foco na segurança hídrica da Macrometrópole Paulista (MMP), o presente trabalho desenvolveu um estudo de potencialidade de reúso potável e não potável das ETEs pertencentes ao território, considerando dois índices que classificam o potencial de reúso das ETEs em “muito alto”, “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo”. Essa análise teve por objetivo identificar a relevância de cada uma das modalidades de reúso, de modo a contribuir com a redução dos riscos de escassez de água na MMP e auxiliar a compreensão dos possíveis cenários de reúso na área de estudo.

Além disso, este estudo propôs um arranjo de uma estação de produção de água de reúso potável direto e indireto na ETE Barueri, e estimou custos de implantação e de operação, sempre com vistas ao aumento da segurança hídrica na região da MMP.

OBJETIVO

O objetivo desse estudo é avaliar a potencialidade das estações de tratamento de esgoto que estão inseridas no limite da MMP para reúso da água potável e não potável, bem como propor um arranjo de produção de água de reúso potável e estimar os custos para implantação.

METODOLOGIA

O presente estudo foi dividido em duas etapas: a primeira avalia o potencial de aproveitamento hídrico de reúso potável e não potável para cada uma das ETEs, levando em conta aspectos como vazões de projeto e rotas tecnológicas de cada estação (oferta) e os usos de águas próximos (demanda); e a segunda consiste no dimensionamento de uma estação de tratamento de água de reúso e a estimativa de custo para sua implantação.

Potencial de Aproveitamento Hídrico por Reúso da Água

O potencial de aproveitamento hídrico por meio do reúso de água foi estudado considerando as ETEs existentes na área da MMP, que foram avaliadas de acordo com o seu potencial de reúso – potável direto ou não potável direto – a partir das seguintes informações: (i) vazões de projeto; (ii) nível do processo de tratamento; (iii) condições do balanço hídrico quali-quantitativo da microbacia; (iv) capacidade de diluição dos corpos hídricos do município; e (v) demanda de água para abastecimento urbano, no caso do reúso potável, e total das vazões outorgadas para fins industriais e de irrigação ao redor da ETE, no caso do reúso não potável.

Essa análise permitiu a geração de dois índices: Índice Potencial de Reúso Não Potável (IPR-NP) e Índice de Potencial de Reúso (IPR-P), que classificam o potencial de reúso das ETEs existentes na MMP em “muito alto”, “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo”. A estrutura de ambos os índices está baseada no método multicritério de apoio à decisão denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que propõe uma abordagem matemática simples e robusta para a comparação de múltiplos critérios.

Apesar de similares em suas estruturas, os índices apresentam variações no critério quanto às características das ETEs e do território. Ambos os índices são quantitativos e normalizados, ou seja, expressam numericamente o potencial de reúso de cada ente analisado (no caso ETE) em relação aos demais. Os resultados foram normalizados em escala de 0 a 1, sendo que 0 é a situação com menor potencial de reúso e 1 é a situação com maior potencial de reúso.

O fluxograma esquemático da estruturação e aplicação dos modelos de IPR-NP e IPR-P está representado pela Figura 1.

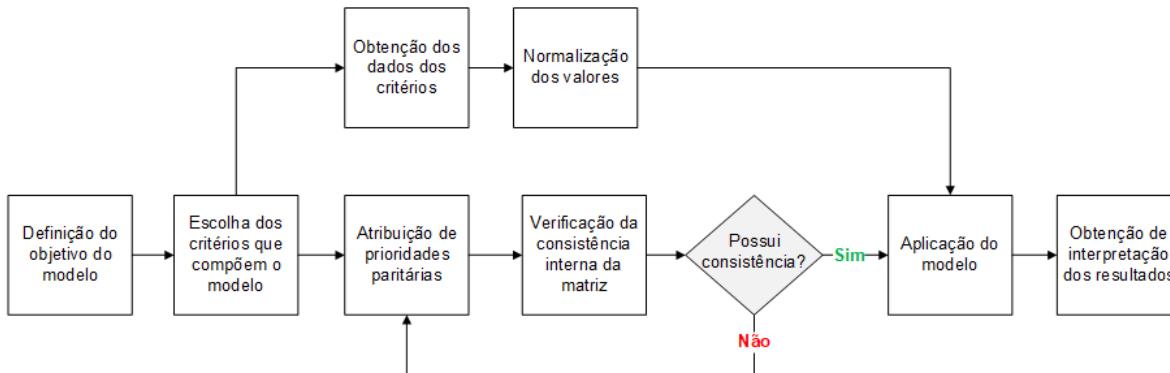


Figura 1: Fluxograma esquemático da estrutura e aplicação dos modelos de IPR-NP e IPR-P

Fonte: Sabesp, 2024

O IPR-NP representa o potencial de reúso não potável de uma ETE considerando critérios que contemplam as características da ETE (vazão de projeto e o nível de tratamento da ETE) e do território (condição do balanço hídrico quali-quantitativo, vazões outorgadas para fins industriais e irrigação em um raio de 10 km da ETE, e capacidade de diluição dos corpos hídricos receptores). A partir da obtenção dos dados que compõem os critérios, aplicou-se o AHP para a construção de uma matriz de prioridades, que mostra a importância do critério da linha em relação ao da coluna, em uma escala que varia de 1 (igual importância) a 9 (importância absoluta). Na sequência, foi realizada a normalização dos valores dos critérios para o cálculo do IPR-NP.

O IPR-P é similar ao IPR-NP, diferenciando-se nos critérios adotados e na atribuição de importâncias. Este índice representa o potencial de reúso potável de uma ETE e também considera critérios de características da ETE (vazão de projeto e o nível de tratamento da ETE) e do território (condição do balanço quali-quantitativo,

demandas urbanas para abastecimento urbano e capacidade de diluição dos corpos hídricos receptores). Assim como para o IPR-NP, foi aplicado o AHP para composição da matriz de prioridades, com a mesma escala de variação de 1 a 9 e, em seguida, a normalização dos valores dos critérios para o cálculo do IPR-P.

Para ambos os métodos, as importâncias paritárias dos critérios que compõem a matriz conforme AHP foram definidas pelos autores, e a derivação das importâncias globais (prioridades) foi realizada pelo método de Média dos Valores Normalizados.

Ambos os índices são obtidos pela Equação 1:

$$\text{IPR-NP} \text{ ou } \text{IPR-P} = \sum w_{NPi} \cdot x_{Pi} \quad \text{Equação 1}$$

onde: IPR-NP = Índice de Potencial de Reúso Não Potável; IPR-P = Índice de Potencial de Reúso Potável; w_{Pi} = peso do critério Pi ; x_{Pi} = valor normalizado do critério Pi ; i = contador do critério (varia de 1 até 5)

Dimensionamento da Estação Produtora de Água Potável (EPAP) na ETE Barueri

Após a conclusão da etapa anterior, o estudo avaliou algumas possibilidades de produção de água de reúso na área de estudo. Uma das ETEs prioritárias foi a ETE Barueri, a qual apresentou potencial elevado de potencial de reúso potável. Assim, avaliou-se a ampliação da ETE Barueri, buscando-se explorar quais seriam as possibilidades de otimização do tratamento da ETE já considerando a existência de reúso.

A rota de tratamento foi definida conforme as experiências de reúso consolidadas mundialmente, sendo composta por pré-tratamento por peneira mecanizada, MBR (*Membrane Bioreactor*) com pré-desnitrificação, desinfecção por radiação ultravioleta, Osmose Reversa (OR) duplo estágio e Processo Oxidativo Avançado (POA) fotoquímico por UV-H₂O₂ (Ultravioleta – peróxido de hidrogênio)

Foram estudadas opções que consideravam tratamento por MBR do efluente bruto contemplando total ou parcialmente a vazão de ampliação da ETE Barueri, destinando parte da vazão (2,89 m³.s⁻¹) à produção de água de reúso, a qual, após as perdas, produz 2,00 m³.s⁻¹ de água de reúso potável. Isto é, nessas opções, uma parcela do tratamento convencional por lodos ativados convencional seria substituída por MBR.

O arranjo de reúso a ser utilizado envolve a instalação de uma unidade independente dos sistemas de tratamento principais disponíveis no local, sendo o afluente à Estação Produtora de Água Potável (EPAP) o esgoto efluente do sistema preliminar de tratamento da ETE Barueri, ou seja, aquele que foi submetido às etapas de remoção de sólidos grosseiros, óleos e graxas e areia.

Para o dimensionamento das unidades de desinfecção por radiação ultravioleta e oxidação fotoquímica foram utilizadas planilhas de cálculo especificamente desenvolvidas para esta finalidade. O dimensionamento da unidade de osmose reversa foi feito com a utilização de aplicativo específico, desenvolvido pelo fabricante das membranas.

Para fins de avaliação financeira, uma estimativa de custos foi realizada, sendo decomposta em custo de capital (Capex – *Capital Expenditures*) e de operação e manutenção (Opex – *Operational Expenditures*), contemplando somente o tratamento do esgoto bruto até a sua potabilização. Para tanto, o Capex foi determinado a partir de cotações de mercado e curvas de custos, que considerou os valores de diversos estudos, como Guo *et al.* (2014), Iglesias *et al.* (2017), Fukasawa (2021), USEPA (2023). Os custos levantados nesses estudos foram atualizados pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para maio/2024. Já o Opex foi obtido a partir dos custos com energia elétrica, que representa cerca de 30 a 50% do custo total de uma estação de água de reúso.

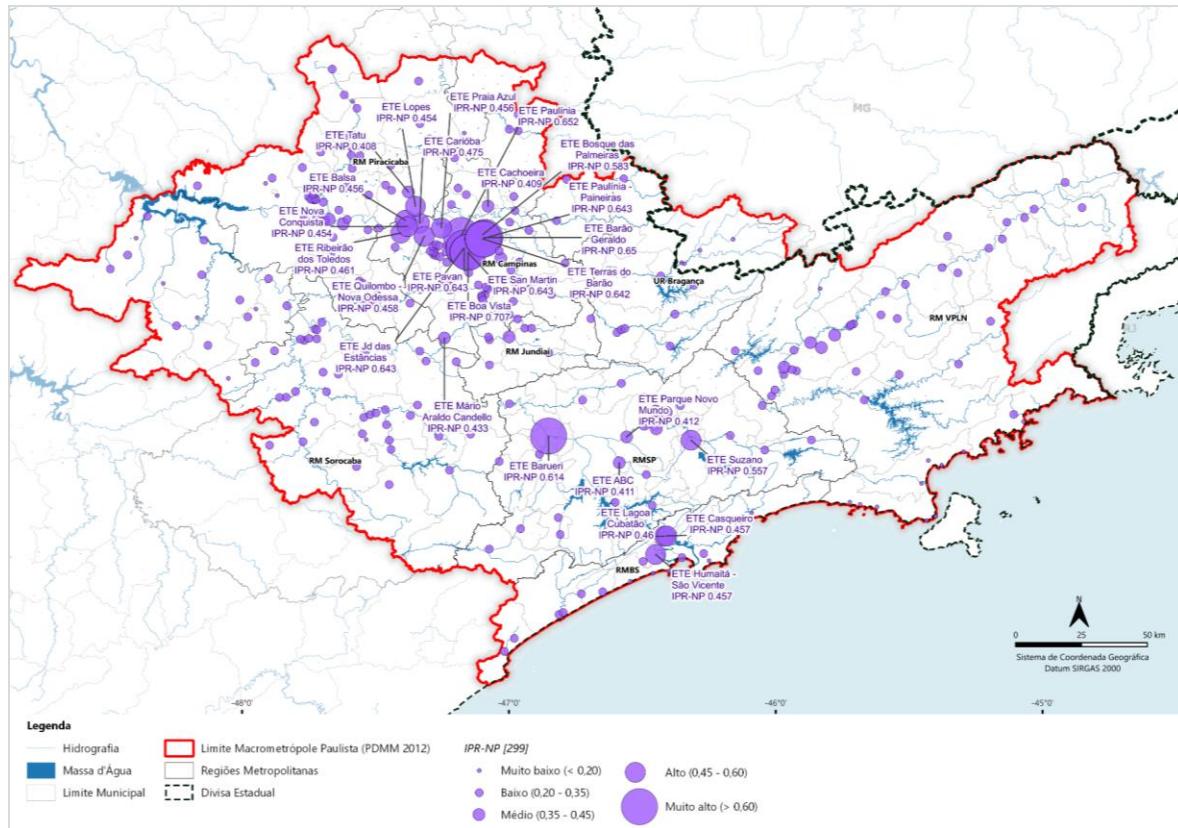
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial de Aproveitamento Hídrico por Reúso da Água

O quantitativo de ETEs que apresentam potencialidade para reúso de água não potável, fornecido pelo IPR-NP, está apresentado na Tabela 1, e a classificação do índice por ETE existente na MMP está ilustrada na Figura 2.

Tabela 1: Quantitativo de ETEs que apresentam Potencial de Reúso Não Potável

Faixa de IPR-NP	Classificação	Quantidade de ETEs	% Quantidade de ETEs	
0,60	1,00	Muito alto	9	3,0%
0,45	0,60	Alto	12	4,0%
0,35	0,45	Médio	94	31,4%
0,20	0,35	Baixo	152	50,8%
0,00	0,20	Muito baixo	32	10,7%
-	-	-	299	100%


Figura 2: Potencial de Reúso Não Potável (IPR-NP) por ETE existente na Macrometrópole Paulista
Fonte: Sabesp, 2024

Das 299 ETEs, 12 (4,0%) tiveram seu potencial considerado “alto”, e outras nove (3,0%) como “muito alto”. Ainda que em número reduzido (7% do total das ETEs), algumas dessas estações possuem vazões de projeto elevadas, que, juntas, representam aproximadamente 20% da capacidade de projeto da MMP. A ETE Suzano (1.500 L.s^{-1}) e a ETE Barueri (9.500 L.s^{-1}) se enquadram nessa categoria.

Dessas estações analisadas, 21 ETEs foram classificadas com potencial “alto” ou “muito alto” e estão em microbacias com balanço hídrico com criticidade quali-quantitativa e em municípios que possuem baixa capacidade de diluição dos corpos hídricos, de acordo com informações da ANA (2016; 2017). O nível de tratamento predominante é do tipo secundário, porém há estações que apresentam nível de tratamento terciário e apenas primário.

Já a Tabela 2 mostra o quantitativo de ETEs que possuem potencial de reúso de água potável obtido através do IPR-P, enquanto a Figura 3 ilustra a localização dessas ETEs e suas respectivas classificações do indicador.

Tabela 2: Quantitativo de ETEs que apresentam Potencial de Reúso Potável

Faixa de IPR-P	Classificação	Quantidade de ETEs	% Quantidade de ETEs
0,60	Muito alto	4	1,3%
0,45	Alto	12	4,0%
0,35	Médio	139	46,5%
0,20	Baixo	75	25,1%
0,00	Muito baixo	69	23,1%
-	-	299	100%

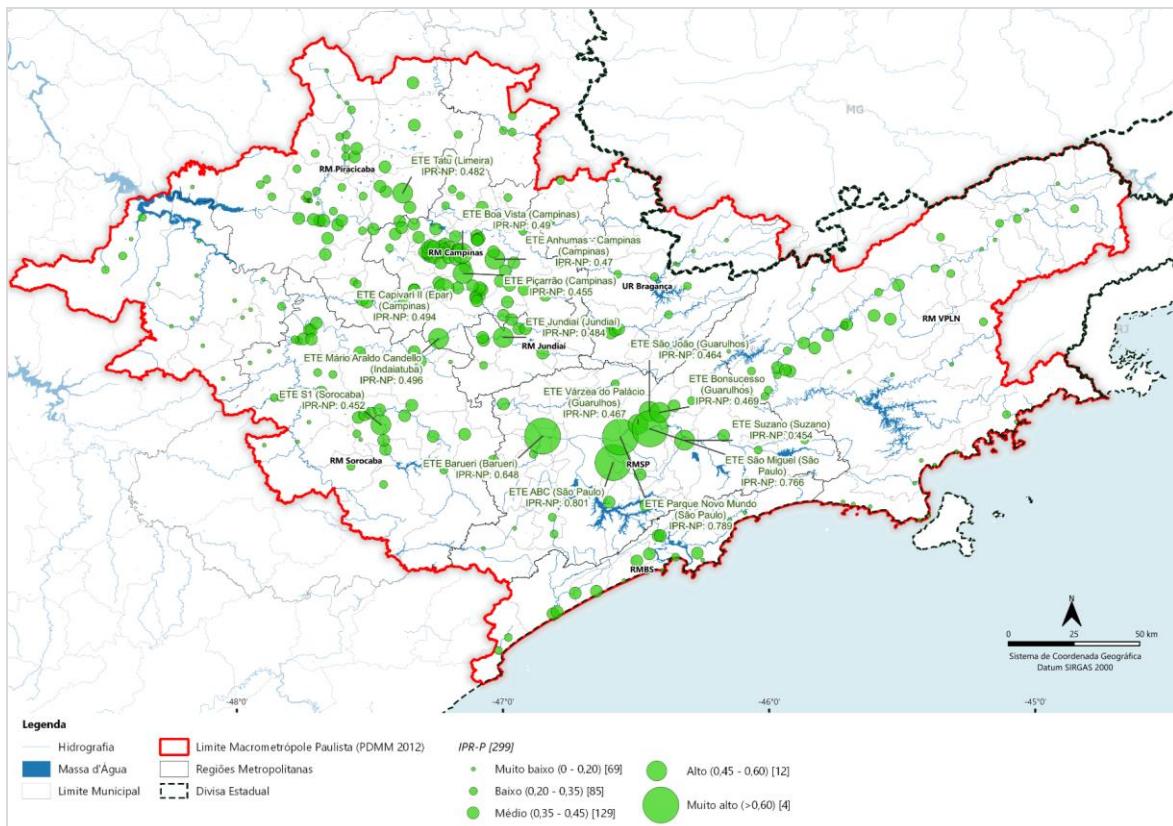


Figura 3: Potencial de Reúso Potável (IPR-P) por ETE existente na Macrometrópole Paulista
 Fonte: Sabesp, 2024

Das 299 ETEs, 12 (4,0%) tiveram seu potencial considerado “alto” e outras quatro (1,3%) como “muito alto”. Ainda que em número reduzido (aproximadamente 5% do total das ETEs), essas estações representam quase 45% da vazão de projeto da MMP, dado que nesses grupos estão as principais ETEs da RMSP, bem como outras com vazões expressivas situadas em Jundiaí, Indaiatuba e Campinas.

Do total de ETEs analisadas, 16 foram classificadas com potencial “alto” ou “muito alto” em função dos mesmos motivos descritos para o IPR-NP, ou seja, balanço hídrico com criticidade quali-quantitativa e municípios que apresentam corpos hídricos receptores com baixa capacidade de diluição. O nível de tratamento dessas ETEs é majoritariamente secundário e, aquelas que possuem nível de tratamento terciário figuram entre as que apresentam maior potencial de reúso potável.

A ETE Barueri, ainda que não tenha apresentado o maior IPR-P dentre as principais ETEs da RMSP, foi considerada para a próxima etapa desse estudo por ser o local com maior potencial de uso como fonte de esgoto tratado, uma vez que possui área disponível para a implantação de uma estação produtora de água potável e volume elevado de efluente gerado.

Dimensionamento da Estação Produtora de Água Potável (EPAP) na ETE Barueri

A EPAP a ser dimensionada considerou a produção de água potável tanto para reúso direto (RPD) quanto para reúso indireto (RPI), em uma área disponível de 22.557 m² na ETE Barueri. A vazão do efluente bruto destinada à EPAP seria de 2,89 m³.s⁻¹, com captação a jusante do tratamento preliminar da ETE Barueri. Após as perdas do sistema, a vazão de água de reúso produzida pela EPAP seria de 2,00 m³.s⁻¹.

A EPAP é composta pelas seguintes estruturas: peneira, sistema MBR, filtros-cartucho, unidade de desinfecção por radiação ultravioleta, sistema de osmose reversa, unidade de oxidação avançada fotoquímica (UV-H₂O₂) e tanque de reservação (somente para RPD). Para RPI não há necessidade de reservação final, uma vez que a água é recalcada, através de uma estação elevatória, até um atenuador ambiental para captação e produção de água potável.

A Figura 4 ilustra o arranjo da EPAP para RPD e a Tabela 3 apresentada as principais características para o dimensionamento das unidades de tratamento. Como mencionado anteriormente, a única diferença entre os arranjos de RPD e RPI são as unidades a jusante da oxidação fotoquímica, ou seja, para RPD há reservação de água potável e para RPI há estação elevatória.

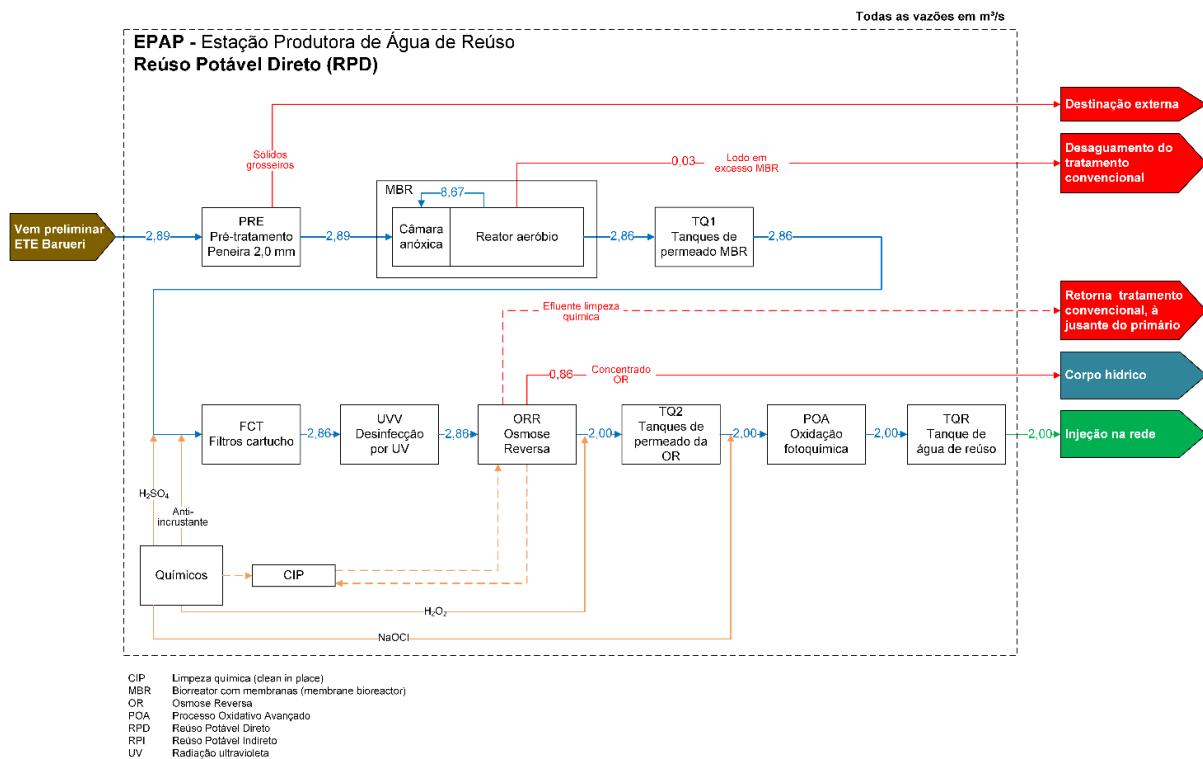


Figura 4: Arranjo de produção de água de reúso - RPD

Fonte: Sabesp, 2024

Tabela 3: Dimensionamento das unidades de tratamento da EPAP

Unidade de Tratamento	Dimensionamento
Peneira fina mecanizada	$Q_{afluente} = 2,89 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,89 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Quantidade = 4
Biorreator com membranas (MBR) de ultrafiltração e pré-desnitrificação	$Q_{afluente} = 2,89 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{lodo biológico} = 0,03 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Linhas de tratamento = 5 Volume útil (anóxico + aerado) = 61.912 m ³ Membranas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Área total de membrana = 572.687 m² ○ Quantidade total de cassetes = 216 ○ Fluxo = 20 L.m⁻².h⁻¹ Necessidade de ar máxima = 143.723 Nm ³ .h ⁻¹ <u>Consumo específico = 0,35 kWh.m⁻³</u>
Filtros-cartucho	$Q_{afluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{filtro} = 0,02 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Linhas em paralelo = 5 Quantidade de filtros por linha = 30, 150 filtros no total
Reator de desinfecção por radiação ultravioleta (UV)	$Q_{afluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Quantidade de linhas: 5 linhas x 2 reatores por linha, 10 reatores total Volume reator: 7,92 m ³ unitário, 792 m ³ total Dose de radiação: 40 mJ.cm ⁻² Tempo de irradiação: 20 s <u>Consumo específico = 0,042 kWh.m⁻³</u>
Osmose reversa	$Q_{afluente} = 2,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{concentrado} = 0,86 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Membranas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Área de membrana total = 86.100 m²; Área por módulo = 41 m² ○ Quantidade de módulos / vasos de pressão: 1º estágio = 6.650 (950); 2º estágio = 3.850 (550); Total = 10.500 (1.500) Consumo específico de energia elétrica = 0,31 kWh.m ⁻³ <u>Pressão de operação = 620 kPa (67,35 mca)</u>
Oxidação fotoquímica UV/H ₂ O ₂	$Q_{afluente} = 2,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Quantidade de linhas: 5 linhas x 4 reatores por linha, 20 reatores total Volume reator: 30,2 m ³ unitário, 603 m ³ total Dose de radiação: 1.000 mJ.cm ⁻² Tempo de irradiação: 180 s <u>Consumo específico = 0,88 kWh.m⁻³</u> <u>Consumo de H₂O₂ 50% = 20,3 m³/semana (120,8 L.h⁻¹)</u>
Tanque de reservação de água tratada (somente para RPD)	$Q_{afluente} = 2,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ $Q_{efluente} = 2,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ Quantidade = 2 Volume total = 28.800 m ³

A estimativa de custos para implantação da EPAP na ETE Barueri foi desmembrada em custos de capital (Capex) e custos de operação e manutenção (Opex). Como mencionado no item anterior, o Capex foi obtido a partir de cotações de mercado realizados em diversos estudos e curvas de custo, com atualização dos valores pelo IPCA para maio/2024, enquanto o Opex foi calculado a partir dos custos com energia elétrica.

Desta maneira, para o arranjo de RPD, os custos de Capex obtidos foram na ordem de R\$ 675 milhões e os custos de Opex foi de R\$ 136 milhões/ano, o que resultou em um valor unitário de R\$ 3,18/m³. Já para o arranjo de RPI, os custos de Capex foram na ordem de R\$ 657 milhões e de Opex de R\$ 136 milhões/ano, o

que resultou em valor unitário de R\$ 3,16/m³. Em ambos, foi adotado um tempo de retorno de investimento de 30 anos, a uma taxa de juros 8,84% a.a. É importante ressaltar que para a estimativa de Capex não foram considerados os custos de injeção de água na rede potável para RPD, e nem os custos com implantação de estação elevatória e linha de recalque até o atenuador ambiental e seu retratamento em estação de tratamento de água (ETA) convencional para RPI.

CONCLUSÕES

Na avaliação das potencialidades de reúso direto e indireto na Macrometrópole Paulista, tem-se que de um universo de 299 ETEs, 21 foram elencadas como prioritárias para Reúso Não Potável Direto (RNPD) e 16 para Reúso Potável Direto (RPD), o que, evidentemente, não exclui as demais. Os índices foram desenvolvidos e aplicados de maneira que fosse possível também verificar como cada critério contribuiu para o resultado de potencial de reúso, uma vez que cada ETE possui suas especificidades. Algumas apresentam maior potencial de reúso por conta das elevadas vazões de projeto, outras pelas maiores demandas a serem potencialmente abastecidas, e outras por condição de balanço hídrico e capacidade de suporte dos corpos hídricos.

Nesse trabalho também foi apresentado, de forma sucinta, um estudo para implementação de uma estação de produção de água reúso potável para ETE Barueri, localizada em Barueri, no estado de São Paulo. Foi prevista a produção de 2,00 m^{3.s⁻¹ de água potável, o que ocorrerá concomitantemente à ampliação da capacidade de tratamento convencional da ETE. Há uma área de 22.557 m² reservada à planta de produção de água potável, denominada Estação de Produção de Água Potável (EPAP).}

A EPAP poderá captar o efluente da ETE Barueri após o tratamento preliminar da estação, procedendo, portanto, à produção de água potável a partir de efluente bruto. Em termos de rota de tratamento, cabe mencionar que RPD e Reúso Potável Indireto (RPI) possuem as mesmas unidades de tratamento, dado que é definido pela Organização Mundial da Saúde que a água de reúso potável, direto ou indireto, deve atender o padrão de potabilidade. As diferenças no tratamento são somente ao final, dado que para RPD é necessária reserva de água potável para fins de certificação, enquanto no RPI há necessidade de uma elevatória de grande porte para recalque da água produzida até um atenuador ambiental, bem como os custos com tratamento dessa água de manancial por ETA convencional.

As estimativas de custos de capital (Capex) e de operação (Opex) para o arranjo de RPD foram em torno de R\$ 675 milhões e de R\$ 136 milhões/ano, respectivamente. Já para RPI, os custos de Capex foram de, aproximadamente, R\$ 657 milhões, e de Opex R\$ 136 milhões/ano. Considerando os custos unitários para cada arranjo, RPD apresentou um custo de R\$ 3,16/m³, enquanto RPI o valor unitário foi de R\$ 3,18/m³, para um tempo de retorno de investimento em 30 anos e uma taxa de juros de 8,84% a.a.

RECONHECIMENTO

Este trabalho está baseado em estudo desenvolvido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) no ano de 2024. Importante destacar que traz o ponto de vista dos autores, não expressando necessariamente o entendimento da Sabesp quanto à forma e o conteúdo das informações e conclusões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Condição de balanço hídrico qualiquantitativo (shapefile)*. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2023.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Capacidade de diluição dos esgotos por município (shapefile)*. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2023.
3. AQUAPOLO. *Processo de produção*. São Paulo: Aquapolo GS Inima Industrial/Sabesp, 2025.
4. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). *Estudo da segurança hídrica do abastecimento de água na região da Macrometrópole Paulista no âmbito da Sabesp*. São Paulo: Consórcio Macrometrópole CC3, 2024.

5. FUKASAWA, B. N. *Proposta de modelos de suporte à decisão no planejamento de reúso de água.* 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.
6. GUO, T., ENGLEHARDT, J., WU, T. Review of cost versus scale: water and wastewater treatment and reuse processes. *Water Science and Technology*, v. 69, n. 2, p. 223-234, 2014. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.734>
7. IGLESIAS, R.; SIMÓN, P.; MORAGAS, L.; ARCE A.; RODRIGUEZ-RODA, I. Cost comparison of full-scale water reclamation technologies with an emphasis on membrane bioreactors. *Water Science and Technology*. v. 75, n. 11, p. 2562-2570, 2017. <http://doi.org/10.2166/wst.2017.132>.
8. NAKAMURA, C. H.; DOMINGUES, J. C. C. F.; JESUS, J. A. O; MIERZWA, J. C.; LIMA, H. C. A. Avaliação de alternativas para a destinação de efluentes sanitários tratados em cinco municípios do estado de São Paulo: ênfase no potencial de reúso da água. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 3, n.3, p. 53-63, 2023, <https://doi.org/10.5327/276455760303006>.
9. RIBEIRÃO PRETO (Município). Lei Ordinária nº 14.824, de 31 de maio de 2023. Dispõe sobre o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário no município de Ribeirão Preto e dá outras providências. *Diário Oficial do Município*, São Paulo, 31 mai. 2023.
10. SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO S/A (SANASA). Estação produtora de água de reúso – EPAR Capivari II – Sanasa Campinas. In: *10º Prêmio FIESP de Conservação e Reúso de Água*, 2015. São Paulo: FIESP, 2015.
11. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). *Work breakdown structure-based cost model for drinking water treatment by ultraviolet photolysis and advanced oxidation Processes*. Washington, D.C.: EPA, 2023.