



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Bernardo Corty dos Santos

**Geotecnologia Aplicada à Análise da Potencialidade do Reúso
de Efluentes Provenientes de Estações de Tratamento de
Esgoto na Região Hidrográfica Lagos São João, RJ**

Rio de Janeiro

2024

Bernardo Corty dos Santos

**Geotecnologia Aplicada à Análise da Potencialidade do Reúso de Efluentes
Provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto na Região Hidrográfica
Lagos São João, RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental, ao Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Obraczka

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Orlando Antoun Netto

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S237 Santos, Bernardo Corty dos.
Geotecnologia aplicada à análise da potencialidade do reuso de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto na região hidrográfica Lagos de São João, RJ / Bernardo Corty dos Santos. – 2024.
91 f.

Orientador: Marcelo Obraczka.
Coorientador: Sérgio Orlando Antoun Netto.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Reuso - Teses. 3. Escassez - Teses. 4. Água - Estações de tratamento - Teses. 5. Abastecimento de água – Teses. 6. Engenharia geotécnica - Teses. I. Obraczka, Marcelo. II. Antoun Netto, Sérgio Orlando. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.1

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Bernardo Corty dos Santos

Geotecnologia Aplicada à Análise da Potencialidade do Reúso de Efluentes
Provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto na Região Hidrográfica Lagos
São João, RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental, ao Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Obraczka (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Sergio Orlando Antoun Netto (Coorientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. Dr^a. Julia Celia Mercedes Strauch

Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni

Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

A meus pais Edson e Marilia e minha irmã Bruna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me manter focado na elaboração da dissertação, e me estimular para proceder o trabalho, mesmo lidando com uma intensa agenda profissional.

A minha família por compreender minha necessidade de dedicação de tempo, mesmo após o horário de trabalho e aos finais de semana, abrindo mão de muitos momentos de convívio familiar. A minha mãe por todo seu carinho e dedicação e a meu pai que sempre me incentivou e acreditou na minha capacidade acadêmica. A minha irmã por todo conhecimento profissional que sempre dedicadamente compartilha comigo.

Agradeço à banca avaliadora por compartilhar seus conhecimentos e por disponibilizar seu tempo para contribuir nesta avaliação.

Agradeço aos meus orientadores, por toda paciência, estímulo e ajuda na concepção, desenvolvimento e organização do presente trabalho. A visão técnica-operacional, o conhecimento e a experiência de vocês no decorrer desse processo foi o que possibilitou desenvolver esse material.

Agradeço à UERJ por disponibilizar toda sua infraestrutura e os excelentes professores, profissionais de alta qualificação, para nos transmitir essa elevada carga de ensinamento e aperfeiçoamento profissional.

RESUMO

SANTOS, Bernardo Corty dos. *Geotecnologia aplicada à análise da potencialidade do reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto: o estudo de caso da região hidrográfica Lagos São João, RJ*. 2024. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A água é um recurso vital, escasso em muitas regiões, o que justifica a busca por gestão mais moderna e sustentável dos recursos hídricos, que aumente a segurança hídrica e racionalização do uso, entre elas o reúso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Devido ao crescimento exponencial da demanda hídrica aliada à baixa disponibilidade de mananciais, a Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI) do Estado do Rio de Janeiro (ERJ) é uma das que apresentam maior insegurança hídrica no ERJ, a qual acentuou-se nos últimos anos com o crescimento populacional e atingiu estado crítico no verão 2023/2024. O objetivo principal desta pesquisa é aplicar geotecnologia para avaliar o potencial de reúso de efluentes gerados em ETEs como alternativa de fonte de abastecimento para demandas não potáveis. Para isso este trabalho utiliza técnicas de geoprocessamento para efetuar análise espacial. Os objetivos específicos são: a) mapear os consumidores com outorgas de captação de água na região; b) mapear os potenciais fornecedores de água para reúso; c) identificar atributos a serem utilizados na geotecnologia para efetuar as análises espacial; e d) avaliar o potencial de abastecimento através de mapas de calor. Para atingir esses objetivos, levantou-se dados das 11 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), localizadas na RH VI. Foram considerados os seguintes parâmetros para análise: a) outorgas de captação e vazões correspondentes dos potenciais consumidores; b) vazão das ETEs; e c) distâncias das ETEs aos potenciais consumidores. Os dados foram analisados utilizando-se geotecnologia e o potencial de reúso foi avaliado correlacionando-se as vazões das respectivas ETEs com as distâncias aos consumidores. Foi possível identificar ETEs com maior potencial para fornecimento de água para reúso, devido às restrições geográficas, especialmente em relação à disponibilidade de vazão tratada e sua distância até relevantes polos consumidores. Assim este trabalho contribui com a segurança hídrica na RH VI.

Palavras-chave: Escassez hídrica; Análise Espacial; Água para Reúso; Efluente Líquido.

ABSTRACT

SANTOS, Bernardo Corty dos. *Geotechnology applied to the analysis of the potential for reusing effluents from sewage treatment plants: the case study of the Lagos São João hydrographic region, RJ.* 2024. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Water is a vital resource, scarce in many regions, which justifies the search for more modern and sustainable management of water resources, which increases water security and rationalization of use, among them the reuse of effluents from Sewage Treatment Plants (STPs). Due to the exponential growth in water demand combined with the low availability of water sources, the Lagos São João Hydrographic Region (RH VI) of the State of Rio de Janeiro (ERJ) is one of those with the greatest water insecurity in ERJ, which has increased in recent years with population growth and reached a critical state in the summer of 2023/2024. The main objective of this research is to apply geotechnology to evaluate the potential for reusing effluents generated in STPs as an alternative source of supply for non-potable demands. For this purpose, this work uses geoprocessing techniques to perform spatial analysis. The specific objectives are: a) to map consumers with water collection permits in the region; b) map potential water suppliers for reuse; c) identify attributes to be used in geotechnology to perform spatial analyses; and d) evaluate the supply potential through heat maps. To achieve these objectives, data were collected from the 11 Sewage Treatment Plants (STPs) located in RH VI. The following parameters were considered for analysis: a) collection permits and corresponding flows of potential consumers; b) flow of STPs; and c) distances from STPs to potential consumers. The data were analyzed using geotechnology and the reuse potential was evaluated by correlating the flows of the respective STPs with the distances to consumers. It was possible to identify STPs with the greatest potential for supplying water for reuse, due to geographic restrictions, especially in relation to the availability of treated flow and its distance to relevant consumer centers. Thus, this work contributes to water security in RH VI.

Keywords: Water scarcity; Spatial analysis; Water for Reuse; Liquid Effluent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões Hidrográficas do Brasil	35
Figura 2 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro	36
Figura 3 - Região Hidrográfica VI e Unidades Hidrológicas de Planejamento	37
Figura 4 - Mapa de Precipitação Anual da RH VI	42
Figura 5 - Mapa de Distribuição Climática da Região de acordo com Köppen	43
Figura 6 - Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica e vazão de consumo/diluição e disponibilidade hídrica nas UHPs de Rios Estaduais - Cenário Tendencial (2030)	48
Figura 7 - Etapas realizadas na metodologia	51
Figura 8 - Conectando <i>Notebook Colab</i> ao <i>Google Drive</i>	52
Figura 9 - Leitura do arquivo <i>outorgas_brasil</i>	53
Figura 10 - Outorgas restritas ao Estado do Rio de Janeiro	54
Figura 11 - Outorgas restritas ao Estado do Rio de Janeiro já filtradas	55
Figura 12 - Outorgas Segregadas por Municípios da RHVI.	56
Figura 13 - Carrega <i>data frame</i> "Pts_de_Outorga_RHVI.csv"	56
Figura 14 - Variação dos raios e cores proporcionalmente às vazões	57
Figura 15 - Definição do mapa-base e plotagem dos marcadores	58
Figura 16 - Coordenadas e Vazões das ETEs da RH VI	59
Figura 17 - Leitura do Arquivo ETEs_rhvi.csv e definição de variáveis	59
Figura 18 - - Configuração do mapa-base	60
Figura 19 - Configuração de Parâmetros do Mapa	60
Figura 20 - Configuração do mapa base das outorgas de captação e lançamento	61
Figura 21 - Plotagem dos marcadores base das outorgas de captação e lançamento	61
Figura 22 - - Configuração do mapa base das outorgas de captação	63
Figura 23 - Configuração dos raios de alcance da ETE Praia do Siqueira com 10 km	63
Figura 24 - Tratamento de dados para execução do Mapa de Calor.	65
Figura 25 - Configuração gráfica do Mapa de Calor	65
Figura 26 - Plotagem do mapa com pontos de outorga de captação	66

Figura 27 - Mapa das ETEs da RH VI	67
Figura 28 - Configuração do mapa das outorgas de lançamento e captação	68
Figura 29 - ETEs da RH VI com destaque para ETE Praia do Siqueira	69
Figura 30 - Mapa para raio de alcance de 10 km e escala 1: 3.000	70
Figura 31- Mapa para raio de alcance de 20 km e escala 1:5.000	70
Figura 32 - Mapa para raio de alcance de 50 km e escala 1:10.000	71
Figura 33 - Mapa das ETEs da RH VI destaque na ETE Ponte dos Leites	71
Figura 34 - Mapa para raio de 10 km e escala 1:3.000	72
Figura 35 - Mapa para raio de 20km e escala 1:5.000	72
Figura 36 - Mapa para raio de 50km e escala 1:10.000	73
Figura 37 - Mapa das ETEs da RH VI com destaque para ETE São Pedro	73
Figura 38 - Mapa para raio de 10km e escala 1:3.000	74
Figura 39 - Mapa para raio de 20km e escala 1:5.000	74
Figura 40 - Mapa para raio de 50km e escala 10.000:1	75
Figura 41- Mapa para raio de alcance 50km na ETE Ponte dos Leites, 10km nas ETEs Jardim Esperança e São Pedro, e escala 1:5.000	75
Figura 42 - Mapa de Calor na escala de 1:10.000	76
Figura 43 - Mapa de Calor na escala de 1:5.000	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades Hidrológicas de Planejamento da RH VI.	38
Tabela 2 - Leis autorizativas por município da RH VI	40
Tabela 3 - Percentual de tipologia climática presente em cada UHP da RH-VI	42
Tabela 4 - Atendimento por Água e Esgoto Sanitário nos Municípios da RHVI em 2023.	43
Tabela 5 - Vazões de Captação Consolidadas - Cenário Otimista	45
Tabela 6 - Vazões de Captação Consolidadas - Cenário Factível	45
Tabela 7 - Vazões Consolidadas - Cenário Tendencial	46
Tabela 8 - Crescimento Populacional	46
Tabela 9 - Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica e vazão de consumo/diluição e disponibilidade hídrica nas UHPs de Rios Estaduais - Cenário Tendencial (2030)	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
CILSJ	Consórcio Intermunicipal Lagos São João
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
ETA	Estações de Tratamento de Águas
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
RHLSJ	Região Hidrográfica Lagos São João
RHVI	Região Hidrográfica VI
SEAS	Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
UHP	Unidade Hidrológica de Planejamento

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1. Disponibilidade, Consumo e Escassez Hídrica no Brasil.	17
1.2. Quadro atual do reúso de efluentes de ETEs no Brasil	18
1.3. Fontes alternativas para mitigação da escassez hídrica.	20
1.3.1 Captação e Aproveitamento de Águas Pluviais	20
1.3.2 Utilização de Aquíferos Subterrâneos	21
1.3.3 Dessalinização	24
1.3.4 Racionalização no uso de água (controle de perdas e desperdícios)	25
1.3.5 Reúso de Efluentes Líquidos de ETEs	28
1.4 Marcos Legislativos Correlatos	29
1.4.1 Decreto Estadual nº 47403 de 15 de dezembro de 2020	29
1.4.2 Novo Marco do Saneamento Básico.	32
2. REGIÃO HIDROGRÁFICA VI - LAGOS SÃO JOÃO	35
2.1 Unidades Hidrológicas de Planejamento da RH VI e Características Naturais	37
2.2 Contexto histórico e de escassez hídrica na RH VI	39
2.3 Dados da Cobertura de Saneamento Básico na RH VI	43
3. CENÁRIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA RH VI CONFORME PERHI	44
4. METODOLOGIA	49
4.1. Modelagem de Dados para Outorgas de captação	51
4.2 Modelagem de Dados para Outorgas de Lançamento	58
4.3 Desenvolvimento de Mapas Correlacionando Outorgas de Lançamento e Captação	60
4.4 Estabelecimento dos Raios de Alcance para Quantificação Geográfica e Correlação das Outorgas de Lançamento e Captação	62
4.4.1 ETE Praia do Siqueira, Q = 275 l/s	63
4.4.2 - ETE Ponte dos Leites, Q = 125 l/s	64
4.4.3 - ETE São Pedro, Q = 111.5 l/s	64
4.5 Mapas de Calor	64
5. RESULTADOS	66

5.1 Geração de Mapa para Outorgas de Captação de Água	66
5.2 Geração de Mapa para Outorgas de Lançamentos de Efluentes	66
5.3 Desenvolvimento de Mapas Correlacionando Outorgas de Lançamento e Outorgas de Captação	67
5.4 Estabelecimento dos Raios de Alcance para Quantificação Geográfica e Correlação das Outorgas de Lançamento e Captação	68
5.4.1 - ETE Praia do Siqueira, Q = 275 l/s	68
5.4.2 - ETE Ponte dos Leites, Q = 125 l/s	71
5.4.3 - ETE São Pedro, Q = 111.5 l/s	73
5.5 - Correlação de Raios de Alcance das ETES	75
5.6 - Mapas de Calor	76
6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS	78
7 CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	85

INTRODUÇÃO

A falta de água potável e de saneamento básico adequado é um problema que afeta milhões de pessoas em todo o mundo, o que resulta em doenças e mortes. O uso de alternativas que controlam o consumo de água também pode ajudar a minimizar esse problema, pois reduz a demanda por água potável e alivia a pressão sobre os sistemas de abastecimento de água. É primordial adotar práticas que ajudem a controlar o consumo de água, tanto para preservar esse recurso vital como para promover a saúde e o bem-estar da população (SANTOS *et al.*, 2020).

Cerca de 22 milhões de pessoas, em 2019, foram afetadas por secas e estiagens no Brasil. No mesmo período, foram quantificados 2.217 eventos de seca associados a danos humanos, conforme apontado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2020) e no ano de 2024, o país enfrenta a mais extensa e severa seca já registrada desde o ano de 1950, de acordo com dados do Centro Nacional de Monitoramento de Desastres (CEMADEM).

O Brasil é um dos países do mundo com maior disponibilidade de águas superficiais, detendo aproximadamente 12% da capacidade mundial, o que confere, de forma geral, um baixo risco de estresse hídrico. Apesar dessa abundância, a distribuição desse recurso não é homogênea ao longo do território brasileiro (ANA, 2019). Como consequência, algumas unidades da federação possuem maior risco de estresse hídrico, como é o caso do Distrito Federal, Ceará, Paraíba, Rio de Janeiro e Pernambuco (WRI, 2020).

Especificamente na Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI) vem ocorrendo severos eventos de desabastecimento, culminando com a crise hídrica ocorrida no último verão (2023/24), a qual perdura ao longo do ano de 2024, afetando diretamente a oferta de água para as atividades produtivas na região, levando à realização de protestos em frente à sede da concessionária regional, por parte da população.

Nesse contexto crítico, torna-se essencial a elaboração de planejamento estratégico para gestão adequada de recursos hídricos, evitando-se o agravamento da escassez em regiões já problemáticas.

Fontes alternativas de água vêm ganhando espaço de forma crescente no contexto da gestão integrada de recursos hídricos, destacando-se a água dessalinizada, a água de chuva e a água para reúso (BRK AMBIENTAL, s.d.). O reúso

de água já vem sendo praticado de forma sistematizada há décadas em diversas regiões do mundo, como no Oriente Médio e na África, em países como Espanha, Itália, Austrália, Singapura, México e Chile, e em diversos estados dos Estados Unidos (ANGELAKIS *et al.*, 2018; ARAUJO *et al.*, 2018).

Ressalta-se que, para regiões com baixa disponibilidade de mananciais de captação e baixo volume hídrico pluvial, como no caso da Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI), no Estado do Rio de Janeiro (ERJ) o reúso dos efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) mostra-se como uma fonte potencial para usos não potáveis.

O reúso vem ganhando crescente destaque em razão de aspectos favoráveis, como a grande disponibilidade de efluente tratado, e de boa qualidade, em pontos estratégicos (ETEs), o fato de não depender diretamente das condições climáticas e meteorológicas (BILA *et al.*, 2017) e ainda, eventualmente, a presença na água de substâncias benéficas, como é o caso dos nutrientes para aplicação em fertirrigação. O reaproveitamento de efluentes de esgoto tratado no setor agrícola se destaca por seu potencial como fonte de água e nutrientes, tornando disponíveis ao solo e às plantas teores consideráveis de nitrogênio e fósforo, caracterizando a agricultura como um destino adequado, seguro e benéfico para águas residuárias tratadas (LOUZADA, 2016).

Segundo Silva Jr e Obraczka (2020), o reúso de efluente tratado também implica a redução ou a interrupção do lançamento de efluente nos corpos hídricos. Além desses fatores favoráveis, destaca-se o fato de as ETEs usualmente serem localizadas a pequenas distâncias da malha urbana ou rural contribuinte, o que minimiza os custos de transporte para reúso desse material residual.

Ressalta-se que para instrumentalizar a análise de reúso de efluentes de esgoto tratado se faz necessário o uso de mapas empregando a tecnologia de geoprocessamento. Essa técnica é essencial para garantir que os dados geográficos possam ser integrados, analisados e interpretados corretamente, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos espaciais e uma maior precisão nas análises (LEMBO E CÂMARA, 2006).

Nesse contexto, a justificativa desta pesquisa é contribuir para o aumento da segurança hídrica Região Hidrográfica Lagos São João através do estudo das potencialidades do reúso de efluentes líquidos das principais Estações de Tratamento de Esgoto na RH VI do Estado do Rio de Janeiro para fins de abastecimento de

demandas não potáveis, utilizando-se geoprocessamento. Possibilita-se, dessa forma, reduzir o despejo desse efluente em corpos hídricos locais e proporciona-se que o material tratado na Estação de Tratamento de Água de Juturnaíba, a única da RHVI, seja destinado preferencialmente a fins nobres, como abastecimento humano, adotando-se para os demais a água para reúso.

Nesse quadro, o objetivo geral desta pesquisa é contribuir para aumentar a segurança hídrica na RH VI, avaliando a potencialidade de reúso de efluentes gerados em ETEs da região, como alternativa para abastecimentos não potáveis, reduzindo-se o impacto ambiental do despejo desse material em corpos hídricos. Além disso, pretende-se perseguir os objetivos específicos de: mapear as outorgas de captação dos maiores consumidores hídricos utilizando-se Geotecnologia para desenvolvimento de mapas; mapear as ETEs utilizando-se Geotecnologia para identificar e verificar potencialidade de atendimento às outorgas de captação; e nesse quadro, avaliar o potencial de reúso, sob a ótica da Lei Federal 14.026/2020, Novo Marco do Saneamento Básico, para atendimento de demandas não potáveis na RHVI.

No Capítulo 2 demonstra-se o quadro de escassez de recursos hídricos e conseqüente estresse hídrico, além de demonstrar possíveis medidas de mitigação desse quadro através de soluções de engenharia, caracterizar os efluentes líquidos de ETEs, analisar ferramentas de planejamento e gestão de recursos hídricos e traçar a abordagem do Novo Marco do Saneamento Básico relacionada ao reúso.

O Capítulo 3 traça um perfil da Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI), com foco em recursos hídricos e a problemática da disponibilidade hídrica devido a fatores regionais.

O Capítulo 4 demonstra a projeção do Plano Estadual de Recursos Hídricos, no cenário tendencial para o ano de 2030, especificando-se os dados da RHVI, para fins de uso com abastecimento humano, indústria, mineração, agricultura e criação animal. Nesse contexto é demonstrado o balanço hídrico realizado no âmbito do PEHRI, o qual projeta um déficit de aproximadamente 250% na Unidade Hidrológica de Planejamento VI-a, que abrange a região mais populosa da RHVI.

O Capítulo 5 desenvolve a metodologia para captação, tratamento e organização dos dados de outorgas de captação de recursos hídricos e outorgas de lançamento de efluentes de ETEs em corpos hídricos e cita referências teóricas sobre geoprocessamento. Dessa forma, prepara-se a base necessária ao desenvolvimento dos mapas realizados no Capítulo 7.

O Capítulo 6 demonstra, de fato, a execução dos mapas, com dados de latitude, longitude e vazão das outorgas de captação e lançamento, primeiramente em mapa exclusivamente para outorgas de captação. Em seguida, é desenvolvido mapa para outorgas de lançamento e um terceiro mapa correlaciona os dois primeiros, proporcionando analisar-se a potencialidade de atendimento aos possíveis consumidores desse material não potável. Nesse capítulo também são desenvolvidos mapas para avaliação dos raios de alcance a 10km, 20km e 50km, para as três ETEs de maior vazão da RHVI e relaciona-se esses raios simultaneamente para análise de suas interferências. Concluindo-se o capítulo, é realizado a Mapa de Calor, o qual demonstra em quais localidades a demanda, representada pelas outorgas de captação nessa modelagem, é mais expressiva.

O Capítulo 7 evidencia uma discussão dos resultados obtidos através dos mapas realizados com Geotecnologia no Capítulo 6. Busca-se avaliar a potencialidade dessa operação, seus pontos fortes e seus possíveis desafios em caso de operacionalizar-se de forma concreta.

O Capítulo 8 formaliza as conclusões obtidas no desenvolvimento do presente trabalho e avalia se os objetivos propostos foram atingidos.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Disponibilidade, Consumo e Escassez Hídrica no Brasil.

A oferta hídrica é um dos fatores preponderantes para o desenvolvimento econômico, sendo a adoção de fontes alternativas essencial para garantir os usos múltiplos da água, bem como para o crescimento econômico sustentável (CNI, 2017).

A disponibilidade de água doce é atualmente uma questão importante em todo o mundo e será um dos maiores desafios do futuro a ser enfrentado pela humanidade (ABD ELLAH; SPARAVIGNA, 2022). O acesso à água potável tem impacto no bem-estar humano, na qualidade de vida e interfere, inclusive, na saúde humana. Recentemente a pandemia do COVID-19 agravou e evidenciou ainda mais a necessidade de água potável, sendo esse, o elemento básico e essencial no enfrentamento da doença (SANTOS; MARQUES; SANTOS, 2021).

A escassez hídrica é cada vez mais recorrente na sociedade, estimada como a água doce disponível e a retirada de água, a qual é afetada pelas mudanças climáticas e atividades humanas. O requerimento por fontes hídricas se torna cada vez mais crescente, impulsionado por fatores físicos e socioeconômicos (HUANG; YUAN; LIU, 2021).

Segundo Huang *et al.* (2021) a disponibilidade de água tem sua variação considerada, não apenas por questões geográficas, mas também o período do ano, que influencia principalmente nos hábitos humanos, pois a demanda por água pode diminuir ou aumentar. Além da desproporcionalidade entre o aumento do consumo de água e a sua disponibilidade, também é preciso considerar a poluição dos corpos hídricos um fator preponderante para o agravamento da escassez.

O Brasil, mesmo considerado o maior detentor de água doce superficial do mundo, possui reservas disponíveis de forma irregular e que contrastam com a situação populacional (PIRES, 2020). Um país que possui um total de 12 regiões hidrográficas principais, com grande variação em quantidade e qualidade da água, além das diferenças entre as populações residentes que fazem uso desses recursos. Essas disparidades influenciam nos mecanismos de gestão de recursos hídricos, logo são necessárias aplicações financeiras e abordagens diferenciadas (BRASIL, 2023; MOREIRA; SEO, 2021).

O Brasil é um dos países do mundo com maior disponibilidade de águas superficiais, detendo aproximadamente 12% da disponibilidade hídrica mundial, o que confere, de forma geral, um baixo risco de estresse hídrico. Apesar dessa abundância, a distribuição desse recurso não é homogênea ao longo do território brasileiro (ANA, 2020). Como consequência, algumas unidades da federação possuem maior risco de estresse hídrico, como é o caso do Distrito Federal, Ceará, Paraíba, Rio de Janeiro e Pernambuco (WRI, 2020).

A moderna gestão de recursos hídricos deve levar em consideração a possibilidade de integração entre as diferentes fontes alternativas de água, incluindo as convencionais e as não convencionais. De forma integrada, elas podem compor o portfólio de fontes hídricas de uma determinada região, em função das suas particularidades e de acordo com a capacidade de investimento e planejamento, características locais e usos definidos pela gestão regional (LIMA *et al.*, 2021).

Fontes alternativas de água vêm ganhando espaço de forma crescente no contexto da gestão integrada de recursos hídricos, destacando-se a água dessalinizada, a água de chuva e a água para reúso (BRK AMBIENTAL, s.d.).

O reúso de água já vem sendo praticado de forma sistematizada há décadas em diversas regiões do mundo, como no Oriente Médio e na África, em países como Espanha, Itália, Austrália, Singapura, México e Chile, e em diversos estados dos Estados Unidos (ANGELAKIS *et al.*, 2018; ARAUJO *et al.*, 2018).

Tendo em vista o cenário de crise hídrica, este trabalho aborda uma alternativa de reutilização de água proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto para fins não potáveis.

1.2. Quadro atual do reúso de efluentes de ETEs no Brasil

Apesar do elevado potencial de aplicação da prática de reúso de água no Brasil (LIMA *et al.*, 2020), as ações ainda são tímidas e muitas vezes ocorrem sem a observância de critérios adequados (SANTOS *et al.*, 2021).

O reúso 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 reúso contribui para a melhoria da qualidade dos corpos hídricos (SILVA JR., 2017).

Não reutilizar os efluentes de ETEs acarreta a necessidade de descartar esse resíduo em corpos hídricos diversos, causando sobrecarga ambiental dos mananciais de descarte, alteração do perfil original do manancial e comprometimento dos seus possíveis usos.

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).

Áreas industriais são mais atraentes e viáveis ao reúso, concentrando grande quantidade de potenciais consumidores (BILA *et al.*, 2017). Além de grandes consumidores, 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 (PIERONI, 2016).

Segundo Silva Jr e Obraczka (2020), o reúso de efluente tratado também implica a redução ou a interrupção do lançamento de efluente nos corpos hídricos: no caso da ETE Alegria, além de aumentar a receita da concessionária, o fornecimento de água para reúso como água de amassamento para abastecimento de centrais dosadoras de concreto no Caju representaria uma redução do descarte de carga orgânica (DBO) e de nutrientes (fósforo e nitrogênio) na Baía de Guanabara. Essa captura de nutrientes representaria, portanto, um benefício para um estuário/ecossistema que já se encontra sob fortes pressões ambientais (ANDRADE *et al.*, 2019; FRIES *et al.*, 2019).

O reúso interno, nomeadamente nas grandes corporações e empresas, já é uma realidade (LIMA, 2018), tendo em vista que o setor industrial possui grande interesse na conservação e no uso racional de recursos hídricos por motivos financeiros e/ou de condução de práticas sustentáveis com o objetivo de valorização da imagem.

Diversas iniciativas de racionalização, reutilização ou reciclagem de água em ambiente industrial encontram-se em andamento no país, incluindo casos de indústrias de polos como o de Camaçari, no estado da Bahia; Pecém, no Ceará (SANTOS et al., 2021; AVELAR et al., 2021; LIMA et al., 2021); e do Polo Petroquímico do ABC, em São Paulo (AQUAPOLO, 2021).

Lima (2018) cita ainda os exemplos de iniciativas de grandes empresas como Alcoa/Ambev, Fiat-Chrysler, Arcelormittal, Santista, Cetrel/Braskem e Raízen, que reduziram drasticamente sua dependência externa de água industrial a partir de medidas internas que implementaram a racionalização do processo fabril e do consumo de água e, mais especificamente, do reúso interno de seus efluentes.

Dessa forma, percebe-se que existem iniciativas em variados locais no Brasil, nos quais houve aproveitamento de água para reúso de forma bem sucedida, sendo esta, portanto, potencialmente uma alternativa para mitigação da insegurança hídrica regional.

1.3. Fontes alternativas para mitigação da escassez hídrica.

Considerando-se o quadro atual de agravamento na disponibilidade de recursos hídricos, procura-se viabilizar formas alternativas de abastecimento, em função da evidente incapacidade relacionada à rede convencional das concessionárias.

No contexto regional podem ser indicadas as seguintes alternativas para mitigar os impactos da escassez hídrica na RH VI, como por exemplo: a) aproveitamento de águas pluviais; b) uso de aquíferos subterrâneos; c) dessalinização; e d) racionalização do uso de água; e) reúso dos efluentes de ETEs.

1.3.1 Captação e Aproveitamento de Águas Pluviais

No cenário de escassez hídrica global, o aproveitamento de água de chuva emerge como uma alternativa promissora para mitigar a demanda crescente minimizando impactos nos mananciais existentes e utilizando material que seria descartado.

Diversos setores da sociedade enxergam no aproveitamento de águas pluviais uma oportunidade rentável economicamente. Destaca-se que indústrias, instituições de ensino, estabelecimentos comerciais como supermercados, shopping centers, empresas de ônibus, lava - jatos, condomínios residenciais, etc., buscam o aproveitamento de água de chuva visando retorno econômico, e mais ainda, buscando o apelo do 'marketing' proporcionado por essa prática, onde as empresas podem adquirir reconhecimento de responsabilidade social e ambiental. Exemplos são os estabelecimentos com certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Dentre os benefícios da certificação, podemos destacar a diminuição dos custos operacionais, a diminuição dos riscos regulatórios, a valorização do imóvel para revenda ou locação, o aumento na velocidade de ocupação do empreendimento e a menor obsolescência da edificação (GBC Brasil. Green Building Council Brasil. Certificação LEED. 2014).

No âmbito residencial, a água da chuva é coletada, filtrada e levada a um reservatório inferior, em geral enterrado. Uma bomba leva a água para uma segunda caixa d'água, a partir da qual é feita a distribuição para os pontos desejados: torneira de jardim, sanitários e lava roupa são os mais comuns (FORTE e FERRAZ, 2018).

1.3.1.1 Benefícios Ambientais e Econômicos do Uso de Águas Pluviais

Aproveitar a água de chuva reduz a vazão de drenagem, otimiza a respectiva curva em favor da não inundação, aumenta o tempo de concentração, amplia a matriz de água, reduz o risco de falta de água na ocorrência de sinistro, melhora a qualidade do ar pela lavagem do ar e pelo aumento da umidade e possibilita que pela mesma vazão distribuída mais pessoas tenham abastecimento. Todavia, reduz de modo considerável o faturamento das concessionárias pelo ganho financeiro e maior necessidade de linha de distribuição, gerando conflito de interesse (LUMEN e VIRTUS, São José dos pinhais, v. XV, n. XXXVIII, p. 998-1009, 2024).

No caso brasileiro, o consumo médio por habitante chega a 200 litros diários de água, destes, cerca de 32% são usados na descarga de vasos sanitários e mictórios; 14% na lavagem de roupas; e 8% destinados a lavagem de automóveis, de áreas externas e irrigação (Porte Empresa Jr, 2016).

Assim sendo, utilizando-se água de chuva para estes usos, seria possível alcançar uma economia média de 55% de água potável nas residências brasileiras. A captação de água de chuva não preserva somente a água potável, mas também

economiza energia, levando-se em consideração o consumo necessário para a operação de uma estação de tratamento de água, o bombeamento e a distribuição, o custo energético total fica entre 25% e 45% do custo total das operações dos sistemas de abastecimento. Com o aproveitamento, menos água potável precisa ser bombeada, gerando economia de energia (Gonçalves, 2006). Além dos benefícios citados, a captação de água da chuva ainda contribui para amenizar os efeitos provocados por enchentes e inundações nas grandes cidades nos períodos de chuvas intensas, isto porque diminui o volume de água que escoar para áreas superficiais impermeáveis e a carga nos sistemas de coleta pluviais (Porte Empresa Jr, 2016).

1.3.1.2 Desafios do Uso de Águas Pluviais

Dentre os desafios, especificamente para a RH VI, encontra-se o baixo índice pluviométrico da região, conforme demonstrado na Figura 4 - Mapa de Precipitação Anual da RH VI, o qual dificilmente ultrapassa 1.200mm anuais nas regiões mais populosas, notadamente na Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) RH VI-c.

Destaca-se, além disso, a necessidade de construção dos reservatórios para armazenar esse volume captado, já que sua utilização ocorre em momentos posteriores à descarga de água pluvial. Dessa forma, o custo conjunto de armazenagem, estrutura de transporte e redistribuição precisam ser considerados na avaliação desse quadro.

À luz das evidências apresentadas, apesar do destacado baixo índice pluviométrico anual, o aproveitamento de água de chuva pode ser uma alternativa notadamente para demandas reduzidas visando um melhor enfrentamento do atual quadro de crise hídrica na RH VI.

1.3.2 Utilização de Aquíferos Subterrâneos

Armazenadas em aquíferos sob a superfície terrestre, as águas subterrâneas representam uma reserva significativa de água doce. Elas são alimentadas pela infiltração da precipitação e podem ser encontradas em profundidades

Os meios de poluição das águas subterrâneas que podem ser dos mais diversos tipos e formas que precisam ser avaliados e estudados para a proteção

dessas águas e do meio ambiente. São diversas as fontes poluidoras das águas superficiais e subterrâneas podendo se destacar o descarte inadequado de esgotos residenciais, industriais e hospitalares não tratados, causando prejuízos ao meio ambiente (SILVA, 2021).

1.3.2.1 Benefícios Ambientais e Econômicos do Uso de Aquíferos Subterrâneos

O aproveitamento das águas subterrâneas oferece várias vantagens em comparação com outras fontes de água, tais como rios e lagos. Primeiramente, a qualidade da água subterrânea tende a ser mais estável e menos suscetível à poluição superficial. Isso se deve à filtragem natural que ocorre quando a água percola através das camadas de solo e rocha. Além disso, as águas subterrâneas são menos afetadas por variações sazonais de precipitação, o que as torna uma fonte confiável mesmo em épocas de seca.

Outra vantagem é a disponibilidade de água em locais onde outras fontes são escassas ou inexistentes. Em áreas áridas ou semiáridas, as águas subterrâneas muitas vezes são a única fonte viável de água potável e são essenciais para a agricultura e o desenvolvimento urbano e das áreas rurais.

1.3.2.2 Desafios do Uso de Aquíferos Subterrâneos

Apesar de suas vantagens, o uso de águas subterrâneas não está isento de desafios. A sobre-exploração de aquíferos pode levar à diminuição do nível da água e à intrusão de água salgada em áreas costeiras. Além disso, a poluição proveniente de atividades humanas, como a agricultura intensiva e o descarte inadequado de resíduos, representa uma ameaça significativa à qualidade das águas subterrâneas.

Por ser uma fonte mais barata, e em alguns locais de fácil acesso, a população recorre a ela para acesso a água, através da perfuração de poços. O reflexo do uso crescente dos recursos hídricos subterrâneos é o fato de existirem no país pelo menos 400.000 poços no ano de 2002 (ZOBY e MATOS, 2002). As estimas atuais são de aproximadamente 2,5 milhões de poços tubulares, sendo que 88% são clandestinos e apenas 12% cadastrados (TRATA BRASIL, 2019).

Ainda segundo o Instituto Trata Brasil (2019), o total de água extraída em poços é de 17,580 mm³/ano, o que seria suficiente para abastecer a população do Brasil por cerca de um ano, e apenas 18% da água subterrânea é utilizada para abastecimento público urbano.

Portanto, é crucial adotar práticas sustentáveis de gestão hídrica que promovam a recarga dos aquíferos e minimizem os impactos negativos sobre esses sistemas. Isso inclui a implementação de medidas de conservação, o monitoramento cuidadoso da qualidade da água e a adoção de tecnologias de tratamento avançadas.

No caso da RHVI, as águas subterrâneas são exploradas através das outorgas de captação, como demonstram os dados de outorgas da ANA e INEA, apresentados no Capítulo 5.

1.3.3 Dessalinização

Em estudo publicado em 2019, Jones et.al explanam que haviam 15.906 usinas de dessalinização no mundo com uma capacidade total de aproximadamente 95,37 milhões de m³ /dia, sendo que o método usado em 69% da água produzida é a osmose reversa. Para os autores do estudo, de forma a aliviar a carência de água e preservar os recursos hídricos para uso humano, a dessalinização não deve ser subestimada.

1.3.3.1 Benefícios Ambientais e Econômicos da Dessalinização

De acordo com Oliveira (2012), a extração do sal de águas marinhas tem sido praticada há anos através do processo de evaporação, contudo o produto principal era o sal extraído e não a água dessalinizada. Ao longo dos anos, em decorrência das crises hídricas sofridas por diversos países, novas tecnologias foram desenvolvidas com o objetivo de se obter água para o consumo a partir da água do mar.

A dessalinização representa fonte viável tecnicamente para fornecimento de recursos hídricos, especialmente em quadros de escassez de fontes viáveis. Pode ser extremamente útil em quadros de baixa pluviosidade ou períodos de seca, na medida em que a fonte de extração, ou seja, os oceanos representam volume muito expressivo comparando-se com o quantitativo retirado.

Nos últimos anos, grandes cidades amenizaram suas carências hídricas através da diversificação da matriz de abastecimento, ao incluir a água dessalinizada como fonte.

Devido a uma crise hídrica sofrida nos anos 2000, Londres também recorreu à construção de uma usina de dessalinização, pois pela proximidade da cidade com o mar, era 17 vezes mais viável a construção da usina do que transportar água do Norte

da Inglaterra. Instalada em 2010, a usina fornece água para 1 milhão de pessoas e chega a produzir até 140 milhões de litros de água potável por dia em funcionamento máximo. E, como forma de reduzir os gastos com energia, é utilizado biodiesel feito de óleo de cozinha, coletado nos restaurantes da cidade (MOREIRA e BEZERRA, 2016).

Uma grande seca que atingiu a Austrália no final dos anos 90 e teve fim no ano 2012, fez com que o país investisse na economia e na melhoria da infraestrutura do seu sistema de abastecimento o que incluiu a construção de usinas de dessalinização. Em 2006 foi instalada a primeira usina na cidade de Perth, que produz 45 bilhões de litros por ano, equivalente a 17% do total usado na cidade. No ano de 2016, a Austrália possuía seis usinas de dessalinização ativas (MOREIRA; BEZERRA, 2016). Israel, pode ser considerado uma referência mundial na gestão de recursos hídricos; sendo um país que sofre constantemente com a escassez hídrica, tornou a dessalinização uma das principais formas de obtenção de água, principalmente para consumo doméstico (SOUSA et. al, 2022). Instalada em Eilat na década de 1970, a primeira usina de dessalinização de Israel funcionava, principalmente, para água subterrânea salobra. Funcionando até nos dias de hoje, ela produz em torno de 20 milhões de metros cúbicos de água por ano.

No Brasil, uma planta de dessalinização está localizada na ilha pernambucana de Fernando de Noronha e atende 50% do consumo de água potável da ilha (FERNANDES; SANTOS, 2022).

1.3.3.2 Desafios da Dessalinização

A dessalinização de água do mar tem como resíduo um rejeito que possui impacto sobre um ambiente, por possuir alto teor de sal. A escolha da melhor opção para se dispor o rejeito da dessalinização deve atender, dentre outros fatores, às disponibilidades locais (terra, compatibilidade das águas receptoras e distância), às disponibilidades regionais (geologia, leis estaduais, geografia e clima), ao volume de concentrado, aos custos envolvidos, à opinião pública e à permissibilidade.” (MICKLEY, 2004 apud SOARES, 2006).

1.3.4 Racionalização no uso de água (controle de perdas e desperdícios)

Existe expressiva problemática relacionada às perdas e ao desperdício de água, sendo de vital importância destacar-se a necessidade de estratégias eficazes para a redução desses fenômenos. Embasado em estudos e pesquisas acadêmicas, analisa-se a seguir, diferentes abordagens, tecnologias e políticas que visam mitigar as perdas e desperdícios de água, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

Apresenta-se a relevância do tema diante dos desafios globais relacionados à escassez hídrica e à crescente demanda por água potável. O cenário atual destaca a urgência de abordar as perdas e o desperdício como parte integrante de estratégias abrangentes para garantir a sustentabilidade hídrica.

1.3.4.1 Definindo Perdas e Desperdício de Água

O desperdício de água pode ser definido como o uso ineficiente ou excessivo de água que excede as necessidades reais, resultando em consumo desnecessário. Isso inclui vazamentos, irrigação inadequada, práticas industriais ineficientes e hábitos cotidianos que contribuem para o uso excessivo.

A perda ou desperdício de água refere-se à utilização ineficiente ou excessiva desse recurso essencial, resultando em uma diminuição da disponibilidade hídrica para fins essenciais, impactos ambientais negativos e custos desnecessários. Essa problemática engloba uma série de situações em que a água é utilizada além do necessário ou é perdida ao longo do seu ciclo de distribuição, sem contribuir significativamente para a satisfação das necessidades.

As perdas podem ocorrer em diferentes contextos, como agricultura, indústria, sistemas de abastecimento urbano e práticas cotidianas, manifestando-se através de vazamentos, irrigação ineficiente, processos industriais inadequados e hábitos de consumo não sustentáveis.

O desperdício de água não apenas esgota os recursos hídricos disponíveis, mas também acarreta impactos ambientais adversos. Reduz a quantidade de água disponível para ecossistemas aquáticos, afeta a biodiversidade e contribui para a salinização do solo. Além disso, os impactos socioeconômicos incluem o aumento dos custos de tratamento de água e a escassez para comunidades vulneráveis.

A redução das perdas e desperdícios de água é fundamental para promover a sustentabilidade hídrica, preservar os ecossistemas aquáticos e garantir o acesso adequado a esse recurso vital para as gerações presentes e futuras.

1.3.4.2. Tecnologias Avançadas para Detecção e Controle de Perdas

Para equacionar esse problema crônico, torna-se necessária a exploração de tecnologias avançadas de monitoramento e controle, fundamentadas em pesquisas acadêmicas.

Sistemas de monitoramento em tempo real com o uso de sistemas de telemetria e sensores inteligentes, algoritmos preditivos são instrumentos para a detecção preventiva e gestão mais eficiente de vazamentos.

Além disso, práticas agrícolas e de irrigação mais racionais sustentáveis são medidas importantes para otimizar o uso da água em setores onde ocorrem os maiores consumos de água na matriz de abastecimento.

De fundamental importância para proporcionar uma maior conscientização a respeito do tema, é o papel das políticas públicas e iniciativas educacionais na redução de perdas e desperdício de água. Políticas regulatórias e programas de conscientização podem influenciar positivamente o comportamento das comunidades, promovendo uma cultura de valorização e conservação da água.

1.3.4.3 - Desafios e Oportunidades Futuras

Os desafios enfrentados na redução do desperdício de água, incluindo falta de conscientização, investimentos insuficientes em infraestrutura e resistência a mudanças em práticas estabelecidas demonstram as dificuldades em obter-se resultados mais expressivos visando otimizar a segurança hídrica. A compreensão desses desafios é essencial para desenvolver estratégias eficazes de mitigação.

A avaliação crítica dos desafios a serem enfrentados na implementação dessas estratégias, bem como oportunidades futuras para aprimorar abordagens existentes são necessárias. Pesquisas de autores como Wei *et al.* (2022) oferecem *insights* sobre inovações emergentes e caminhos potenciais para superar barreiras.

Enfatiza-se, dessa forma, a necessidade de abordagens integradas e multifacetadas para reduzir perdas e desperdícios de água. Destaca-se a importância de uma colaboração contínua entre acadêmicos, profissionais do setor e formuladores

de políticas para enfrentar esse desafio complexo e garantir a sustentabilidade em longo prazo dos recursos hídricos.

1.3.5 Reúso de Efluentes Líquidos de ETEs

O reúso de efluentes sanitários é uma prática usual em vários países como alternativa estratégica de abastecimento. No Brasil, ele vem crescendo no setor corporativo, embora nos sistemas públicos ainda seja incipiente.

O reúso pode reduzir pressões sobre mananciais/sistemas de abastecimento, postergando a necessidade de sua expansão, e aumentando a segurança hídrica (OBRACZKA *et al.* 2019).

O reúso de água já vem sendo praticado de forma sistematizada há décadas em diversas regiões do mundo, como no Oriente Médio e na África, em países como Espanha, Itália, Austrália, Singapura, México e Chile, e em diversos estados dos Estados Unidos (ANGELAKIS *et al.*, 2018; ARAUJO *et al.*, 2018).

O reúso descentralizado ou externo, realizado a partir dos esgotos tratados de ETEs, vem sendo basicamente desenvolvido através de iniciativas isoladas no país (BILA *et al.*, 2017; OBRACZKA *et al.*, 2019).

Analisando o estado da arte do reúso de água em toda a Região Sudeste do país, Silva Junior *et al.* (2019) contabilizaram somente 16 instalações com projetos de reúso em um universo de 1.287 ETEs, o que demonstra o quão pouco representativo é o reúso no conjunto de alternativas para abastecimento de água. Isso ocorre paradoxalmente em um cenário/região aonde vêm sendo registradas recorrentes situações de grave escassez e crise hídrica, com repercussões socioeconômicas negativas de grande magnitude (INEA, 2019).

Entre as exceções, destaca-se o caso da parceria público-privada no empreendimento Aquapolo, com capacidade de fornecimento de cerca de 1.000 L/s de água para reúso, que abastece um conglomerado de empresas no ABC paulista a partir do efluente tratado da ETE ABC da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) (LIMA, 2018; AQUAPOLO, 2021).

Além da ETE ABC e ainda em São Paulo para atender às demandas industriais podem ser citados os exemplos das ETEs Jesus Neto, Santa Constância, São Miguel

e Parque Mundo Novo (CUNHA, 2008; NOBRE, 2019; FARIA, 2020). A perspectiva da Sabesp era atingir, no final desta década, uma vazão total de reúso de cerca de 3.500 L/s na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Apesar do elevado valor absoluto, ele representa pouco mais do que 10% da vazão total de efluente tratado nas ETEs da Região Metropolitana de São Paulo (NOBRE, 2019).

Segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2015), a água para reúso proveniente das ETEs também se configura como fonte potencial de abastecimento de água para demandas não potáveis no estado. Como exemplo, cita que a ETE Alegria pode gerar uma vazão de cerca de 2.500 L/s de efluentes, o que em 2015 correspondia a quase quatro vezes aquela utilizada pelo Polo Petroquímico do ABC paulista através do Projeto Aquapolo (FIRJAN, 2015). Ainda de acordo com a FIRJAN, as 17 ETEs no entorno da Baía de Guanabara descartam cerca de 10.500 L/s de água tratada, vazão que poderia ser fornecida para atender às demandas das indústrias fluminenses da região.

1.4 Marcos Legislativos Correlatos

1.4.1 Decreto Estadual nº 47403 de 15 de dezembro de 2020

O presente trabalho abordou como referência o instrumento legal materializado no Decreto Estadual nº 47.403, de 15 de dezembro de 2020, o qual traçou uma série de abordagens, definições, permissões e proibições referentes à utilização de água de reúso no Estado do Rio de Janeiro.

O artigo 5º estabelece:

“Art. 5º O reúso da água para fins não potáveis, para efeito deste Decreto, abrange as seguintes modalidades:

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

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

III - Reúso para fins agrícolas e florestais: utilização de água de reúso para irrigação na produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

IV - Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso em projetos de recuperação ambiental;

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

VI - Reúso domiciliar: utilização de água de reúso com a finalidade de uso para descarga sanitária, rega de jardins, entre outros fins, desde que não haja contato direto, consumo e higiene humana.

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

§ 2º A aplicação das técnicas de reúso de água não excluem a utilização de outros métodos de uso racional da água, como a redução do consumo e deverá ser regulamentada pelo órgão ambiental e executor da política de recursos hídricos.”

Observa-se, portanto, que a abordagem do Governo Estadual veda explicitamente a utilização de água para reúso com fins potáveis. Esse fato é esclarecedor para os operadores dispostos a atuar nesse sistema, na medida em que excluem essa possibilidade e podem focar a destinação desse material para outras finalidades, evitando-se assim mau direcionamento ou desperdício de investimentos.

Os incisos II e VI do artigo 6º expressam as possibilidades para o uso mais cotidiano em contextos de cidades, que são, respectivamente, as destinações para fins urbanos e domiciliares. Entre elas pode-se citar a lavagem de logradouros públicos e veículos, construção civil, o combate a incêndio, em termos urbanos e, a descarga sanitária e rega de jardins, como finalidades preferenciais em fins domésticos.

Ressalta-se, entretanto, que de acordo com dados do IBGE, a maior destinação do potencial hídrico no Brasil é atribuída à agricultura para atividades de irrigação, que consome cerca de 70% do total utilizado no país, e para abastecimento industrial, que consome cerca de 20% do total.

Para que seja viabilizada a parte operacional do sistema de abastecimento de água de reúso, o Decreto Estadual discrimina uma série de parâmetros de segurança, de forma a evitar uso inadequado desse material para outras finalidades como uso potável. De acordo com o artigo 7º as medidas necessárias são:

“Art. 7º Todos os equipamentos, aparelhos, tubulações, veículos e instrumentos utilizados com água de reúso deverão conter identificação, explícita e destacada, de que se trata de água não potável, sendo inclusive com cor diferenciada daquelas utilizadas nas tubulações de água, esgoto e incêndio.

§ 1º Será estabelecido modelo de identificação padronizado e de fácil compreensão para garantir a segurança e a informação sobre aquele determinado recurso hídrico.

§ 2º As redes internas de água de reúso deverão ser completamente segregadas das redes de água potável, impossibilitando a mistura na tubulação por meio de válvulas ou desvios.”

Dessa forma, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro, todos os equipamentos e materiais necessários para utilização no sistema de reúso serão necessariamente identificados de forma clara e inequívoca, proporcionando maior segurança ao usuário final do sistema.

Além desses fatores, destaca-se a abordagem do artigo 6º, que submete necessariamente o uso da água de reúso a uma série de condicionantes prévias:

“Art. 6º O reúso indireto de água para fins não potáveis depende previamente de:

I - Caracterização do efluente a ser tratado;

II - Localização geográfica da origem e destinação da água de reúso;

III - Especificação da finalidade da produção e do reúso de água;

IV - Vazão e volume diário de água de reúso produzida, distribuída ou utilizada;
e

V - Identificação da qualidade de água requerida para cada atividade descrita”

1.4.2 Novo Marco do Saneamento Básico.

Denominada de Novo Marco do Saneamento Básico (NMSB), a Lei Federal 14.026 de 2020 estabelece metas para o setor de saneamento básico a nível nacional, as quais proporcionam maior potencial para expansão do reúso.

A legislação federal em vigor estabelece novos parâmetros em termos de regulação e condução da política de reúso. Considerando-se o potencial requerido de

expansão das redes de atendimento, as operações de captação e tratamento de esgotos sanitários serão expandidas, e, portanto, haverá um aumento das vazões de efluente destinado para adoção das práticas de reúso. Esse novo quadro demandará forte ação regulatória por parte da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA).

A Lei Federal 14.026/2020 estabelece em seu artigo 4º-A, as competências da Agência Nacional de Águas para atuar nessa atribuição regulatória, conforme a seguir:

“Art. 4-A. A ANA instituirá normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico por seus titulares e suas entidades reguladoras e fiscalizadoras, observadas as diretrizes para a função de regulação estabelecidas na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

§ 1º Caberá à ANA estabelecer normas de referência sobre:

.....

X - Reúso dos efluentes sanitários tratados, em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública;”

1.4.2.1 Requisitos Essenciais nos Novos Contratos de Concessão no Campo de Saneamento Básico

O Novo Marco do Saneamento estabeleceu como requisito indissociável dos novos contratos de concessão que sejam adotadas metas claras para a prática de reúso, pela concessionária, conforme destacado a seguir no artigo 10-A.

“Art. 10-A. Os contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão conter, expressamente, sob pena de nulidade, as cláusulas essenciais previstas no art. 23 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, além das seguintes disposições:

I - Metas de expansão dos serviços, de redução de perdas na distribuição de água tratada, de qualidade na prestação dos serviços, de eficiência e de uso racional da água, da energia e de outros recursos naturais, do reúso de efluentes sanitários e do aproveitamento de águas de chuva, em conformidade com os serviços a serem prestados;

II - Possíveis fontes de receitas alternativas, complementares ou acessórias, bem como as provenientes de projetos associados, incluindo, entre outras, a alienação e o uso de efluentes sanitários para a produção de água de reúso,

com possibilidade de as receitas serem compartilhadas entre o contratante e o contratado, caso aplicável;”

Destaca-se que o legislador federal determinou no escopo deste instrumento não apenas a requisição obrigatória de que os novos contratos prevejam as metas para expansão do reúso de efluentes sanitários, mas também o uso dos efluentes sanitários para produção de água de reúso, de forma a estimular essa prática.

O artigo 7º da Lei Federal em análise promoveu alterações na Lei Federal 11.445 de 2007, a qual passou a estabelecer metas expressivas denominadas de universalização do atendimento do serviço de esgotamento sanitário.

Cita-se a seguir, a alteração realizada pelo artigo 7º do NMSB na Lei 11.445/2007, incluindo o artigo 11-B, o qual tratar das metas de universalização dos serviços de água e esgotamento sanitário, conforme seguir:

“Art. 11-B. Os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável e de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, assim como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de redução de perdas e de melhoria dos processos de tratamento.”

Observa-se, dessa forma, que a expansão da rede de coleta e tratamento de esgoto para atingimento de aproximadamente a totalidade da população alvo até 31 de dezembro de 2033, proporcionará não apenas um aumento no volume de efluentes provenientes de ETEs. Ademais, o NMSB estabelece medidas restritivas e de controle para que as metas preconizadas sejam de fato atingidas. Dessa forma, no parágrafo primeiro do citado artigo 11-B, há a obrigação de que os contratos em vigor sejam adequados à nova legislação até o prazo limite de 31 de março de 2022, conforme a seguir:

“§ 1º Os contratos em vigor que não possuírem as metas de que trata o caput deste artigo terão até 31 de março de 2022 para viabilizar essa inclusão.”

Portanto, mediante o atual decurso do prazo estabelecido, já é possível aos órgãos reguladores e aos instrumentos de controle social, a verificação do atendimento dessa medida.

E, ainda, é estabelecido, no parágrafo segundo, procedimento para que haja a adequação dos contratos em vigor à nova realidade legal estabelecida, caso estejam em desacordo com as metas formalizadas. E, além disso, uma parte significativa da responsabilidade pelo cumprimento é repassada ao titular do serviço, que são as pessoas jurídicas de direito público, as quais deverão buscar alternativas para atingir as metas estabelecidas:

“§ 2º Contratos firmados por meio de procedimentos licitatórios que possuam metas diversas daquelas previstas no caput deste artigo, inclusive contratos que tratem, individualmente, de água ou de esgoto, permanecerão inalterados nos moldes licitados, e o titular do serviço deverá buscar alternativas para atingir as metas definidas no caput deste artigo, incluídas as seguintes:

I - Prestação direta da parcela remanescente;

II - Licitação complementar para atingimento da totalidade da meta; e

III - Aditamento de contratos já licitados, incluindo eventual reequilíbrio econômico-financeiro, desde que em comum acordo com a contratada.”

2. REGIÃO HIDROGRÁFICA VI - LAGOS SÃO JOÃO

Por meio da Resolução nº 32, 15 de outubro de 2003, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e a ANA criaram a Divisão Hidrográfica Nacional. Foram formalizadas para o Brasil 12 regiões hidrográficas, conforme Figura 1. Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraguai, Uruguai, Paraná e Atlântico Sul.

Figura 1 - Regiões Hidrográficas do Brasil



Fonte: USP, Projeto Aflorar.

Criado pelo Decreto Estadual nº 27.208/2000, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI-RJ) estabeleceu a divisão das regiões hidrográficas, por meio da Resolução nº 107 de 22 de maio de 2013, visando alcançar a descentralização na gestão dos recursos hídricos.

O Estado do Rio de Janeiro está dividido em 9 regiões hidrográficas. Estas divisões são administrativas e possuem uma relevância na gestão hídrica devido ao seu teor dinâmico e a participação do poder público, dos usuários e da comunidade (MOREIRA et al, 2024).

Conforme o artigo 1º da Resolução 107/2013:

“Art. 1º - O território do Estado do Rio de Janeiro, para fins de gestão de Recursos Hídricos, fica dividido em 09 (nove) Regiões Hidrográficas (RHs) abaixo elencadas:

I - RH I: Região Hidrográfica Baía da Ilha Grande;

II - RH II: Região Hidrográfica Guandu;

III - RH III: Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul;

IV - RH IV: Região Hidrográfica Piabanha;

V- RH V: Região Hidrográfica Baía de Guanabara;

VI - RH VI: Região Hidrográfica Lagos São João;

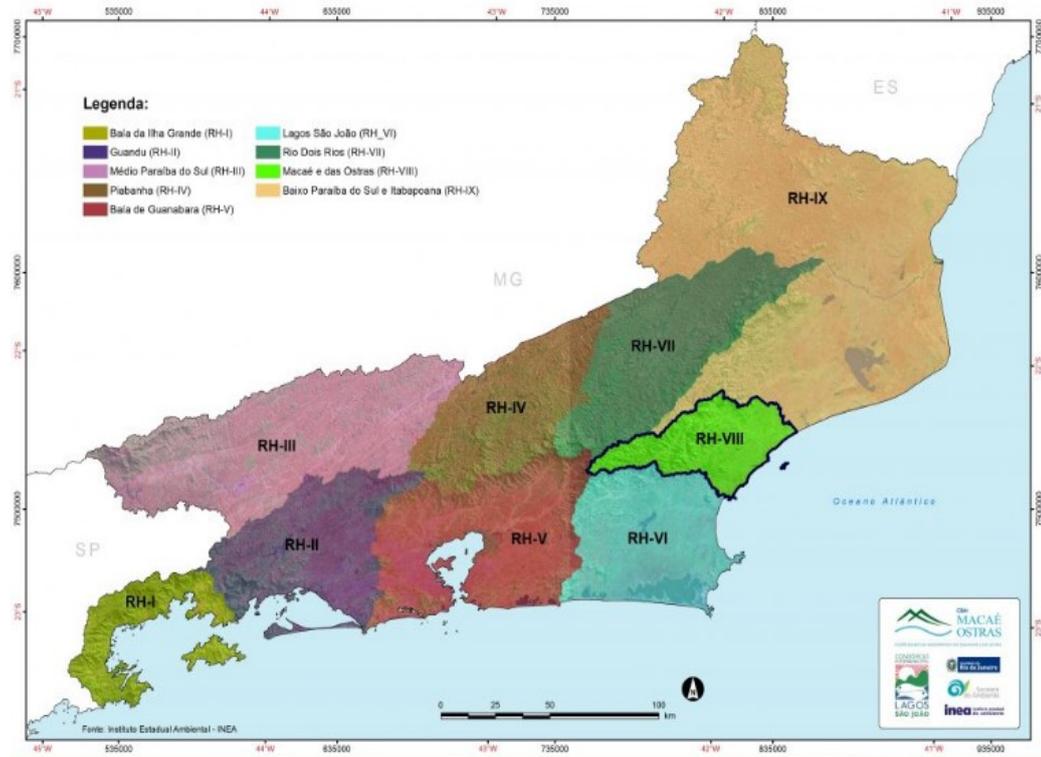
VII - RH VII: Região Hidrográfica Rio Dois Rios;

VIII - RH VIII: Região Hidrográfica Macaé e das Ostras; e

IX - RH IX: Região Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana.”

Dessa forma, foi criado o mapa das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: CILSJ

A região adotada para o presente estudo é a Região Hidrográfica VI, que foi selecionada por apresentar uma situação de elevada insegurança hídrica e ainda pelo

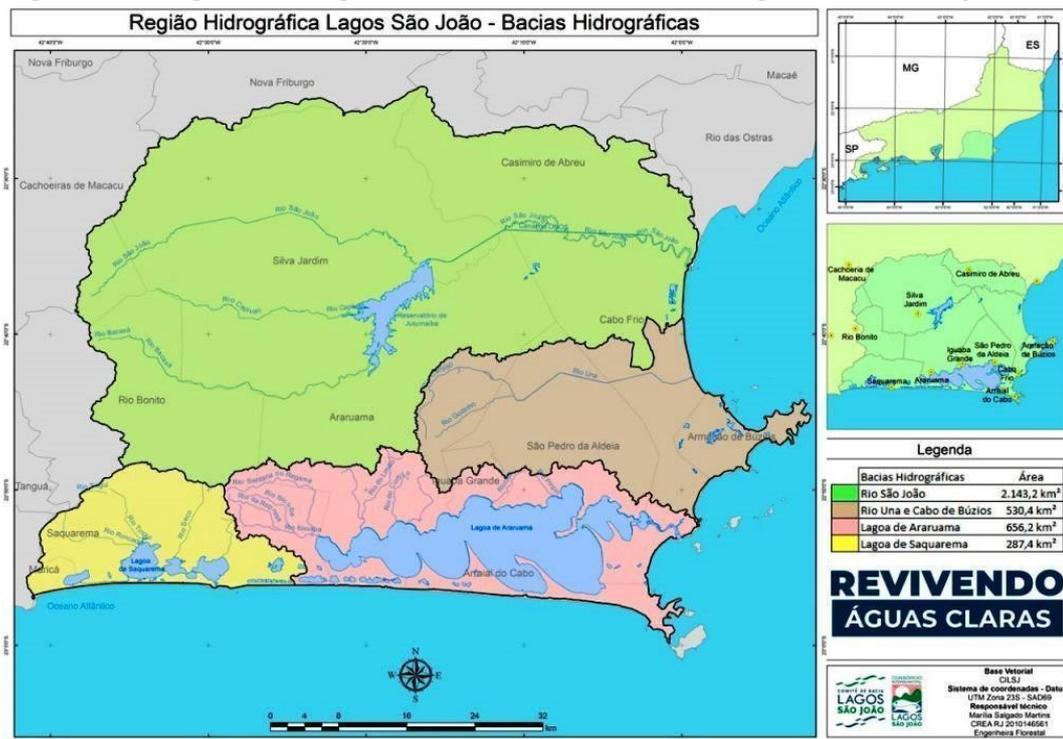
fato de o autor vir atuando na área de recursos hídricos da bacia em questão, facilitando o conhecimento e o levantamento dos dados necessários.

Denominadas de “águas interiores”, os rios e lagoas são a representação de grande parte da Região Hidrográfica Lagos São João, conhecida como “Região dos Lagos”. Destaca-se a Laguna de Araruama, o maior corpo d’água, costeiro hipersalino em estado permanente no mundo.

2.1 Unidades Hidrológicas de Planejamento da RH VI e Características Naturais

A RH VI pode ser subdividida em quatro bacias, conforme ilustrado na Figura 3, segundo suas características hidrológicas, descritos na Tabela 1, a saber: i) bacia do Rio São João; ii) bacia do Rio Una e Cabo de Búzios; iii) bacias drenantes para a Lagoa de Araruama; e iv) bacias drenantes para o sistema lagunar de Saquarema.

Figura 3 - Região Hidrográfica VI e Unidades Hidrológicas de Planejamento



Fonte: CILSJ (2024)

Tabela 1 - Unidades Hidrológicas de Planejamento da RH VI.

Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) da RH V	Abrangência	Área (km²)	Municípios
RH das Lagoas de Saquarema, Jaconé e Jacarepiá.	Reúne as bacias das lagoas de Saquarema, Jaconé e Jacarepiá e a área de restinga entre as lagoas e o mar.	310	Saquarema e Maricá
RH da Lagoa de Araruama e do Cabo Frio	Reúne a bacia da lagoa de Araruama, as restingas de as restingas de Massambaba e Cabo Frio e o acidente geográfico chamado de Cabo Frio	572	Araruama, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Rio Bonito.
RH do Rio Una e do Cabo de Búzios	Reúne a bacia do rio Una, o Cabo de Búzios e as terras à retaguarda das praias do Perú.	626	Cabo Frio, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Araruama e Armação dos Búzios
RH do Rio São João e Represa de Juturnaíba	Reúne o rio São João e seus afluentes.	2160	Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Rio das Ostras e Silva Jardim.

Fonte: CILSJ (2024)

Em termos geográficos e hídricos, a área objeto do presente estudo é definida como a Região Hidrográfica Lagos São João, com 3.640 Km² abrangendo as Sub Regiões Hidrográficas da Lagoa de Araruama e do Cabo Frio, das Lagoas de Saquarema, Jaconé e Jacarepiá, da Bacia do Rio Una e Cabo de Búzios, e do Rio São João.

Entre as bacias da região, a maior delas é a do Rio São João, com 2.166 Km². Oito municípios compõem o território da bacia, sendo eles Araruama, Cabo Frio,

Cachoeiras de Macacu, Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Rio das Ostras e São Pedro da Aldeia encontram-se parcialmente inseridos na bacia, enquanto o município de Silva Jardim está integralmente inserido nela. (CILSJ, 2024).

Segundo maior manancial de água doce do Estado, o Rio São João é o formador do reservatório de Juturnaíba. A segunda maior bacia é a da Lagoa de Araruama, com 657 Km².

A UHP da Lagoa de Araruama e do Cabo Frio cobre uma superfície aproximada de 572 km². Reúne a Laguna de Araruama e as restingas de Massambaba e Cabo Frio. Destaca-se que nesta UHP encontram-se atualmente as cidades de Arraial do Cabo, Cabo Frio, São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande e Araruama.

A UHP das Lagoas de Saquarema, Jacaré e Jacarepiá cobre uma superfície de cerca de 310 km². As bacias hidrográficas dessas lagoas situam-se no município de Saquarema (CILSJ, 2024).

A Unidade Hidrológica de Planejamento da bacia do rio Una e do Cabo de Búzios cobre uma superfície aproximada de 626 km². Compreende a bacia do rio Una, com 539 Km² e o cabo de Búzios. Destaca-se que essa região atualmente é composta pelo município de Armação dos Búzios e por trechos dos municípios de Cabo Frio, São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande e Araruama. (CILSJ, 2024).

2.2 Contexto histórico e de escassez hídrica na RH VI

Desde a conclusão da Ponte Rio-Niterói, em 1974, a Região dos Lagos vivenciou um processo de explosão do fluxo de turistas e veranistas, o que conferiu à região taxas expressivas de crescimento populacional e econômico. Após três décadas deste processo, ao final da década de 90 seus corpos hídricos de perfil lântico (de baixo gradiente hidráulico) passaram a não mais suportar a pressão antrópica e chegaram a um quadro de degradação extremo, com florações de algas recorrentes, mau cheiro, mortandade de peixes, entre outros impactos. (CILSJ, 2015; Pereira, 2014).

Dentre as principais causas que levaram a este cenário podem ser citados: incremento na produção de esgotos, como reflexo da grande ampliação no fornecimento de água tratada, proveniente da lagoa de Juturnaíba; lançamento de esgotos sem tratamento; drenagem urbana inadequada, com manilhamento de

pequenos riachos e várzeas que desempenham uma importante função de autodepuração; aporte de dejetos agropecuários; despejo de resíduos oleosos; invasão das margens de rios e lagoas; estrangulamento/assoreamento das ligações das lagoas com o mar; dentre outros problemas.

A degradação dos corpos hídricos teve reflexos socioeconômicos como: redução do turismo; queda vertiginosa do mercado imobiliário; enfraquecimento econômico; redução da qualidade de vida e bem estar social; setor pesqueiro fortemente prejudicado.

Neste cenário, após uma intensa mobilização social, com participação e coordenação por parte de técnicos vinculados à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMADS), em 1999 cria-se o Consórcio Intermunicipal Lagos - São João (CILSJ), com a participação de 12 municípios, a SEMADS, empresas e mais de trinta associações civis (CILSJ, 2015; Pereira, 2014).

Em 17 de dezembro de 1999, com a maioria dos municípios tendo suas leis autorizativas sancionadas foi instalado o Consórcio Ambiental Lagos – São João (Tabela 2).

Tabela 2 - Leis autorizativas por município da RH VI

MUNICÍPIO	LEI AUTORIZATIVA	PREFEITO
Armação dos Búzios	Lei 153 de 23/06/99	Delmires de Oliveira Braga
São Pedro da Aldeia	Lei 1334 de 09/09/1999	Carlindo José dos Santos
Silva Jardim	Lei 1166 de 30/09/1999	Antonio Carlos de Lacerda
Arraial do Cabo	Lei 1.166 de 30/09/99	Renato Vianna de Souza
Iguaba Grande	Lei 197 de 01/10/99	Hugo Canellas Rodrigues
Saquarema	Lei 394 de 15/10/99	Dalton Borges

Rio das Ostras	Lei 045 de 25 /11/99	Alcebíades Sabino
Araruama	Lei 1.011 de 29/11/99	Vilmar José Dias
Cabo Frio	Lei 1.492 de 14/12/99	Alair Francisco Correia
Rio Bonito	Lei 825 de 28/12/99	Solange Pereira de Almeida

Fonte: CILSJ (2024)

A Região Hidrográfica Lagos São João abrange uma área de 3,8 mil km², e total ou parcialmente 13 municípios, com 520 mil residentes fixos, e podendo chegar a 1,2 milhão no período de férias e feriados (CILSJ, 2005).

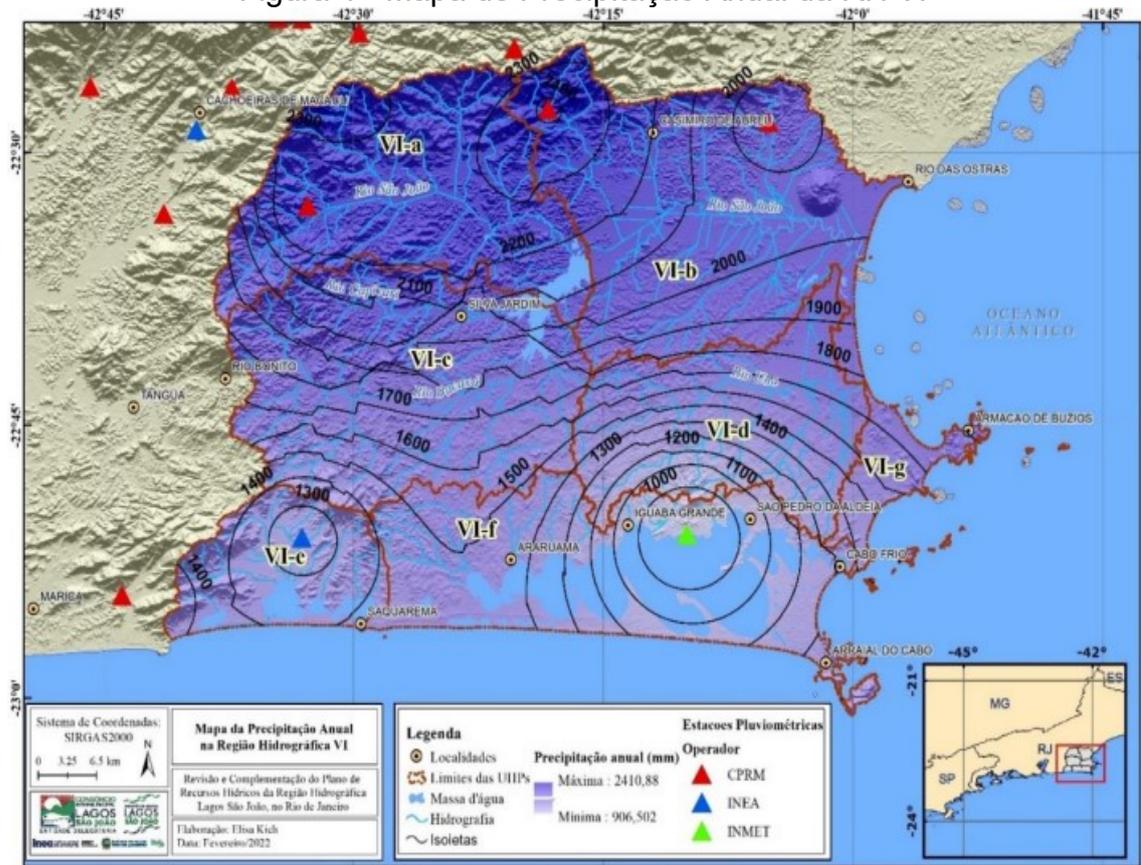
No contexto da RH VI, situada na bacia do rio São João merece destaque a represa de Juturnaíba, manancial responsável pelo abastecimento público de praticamente toda a Região Hidrográfica em estudo, atendendo os municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, Maricá, Rio Bonito, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Silva Jardim.

Portanto, com exceção de outorgas pontuais, a integralidade do abastecimento regional (incluindo usos residencial, industrial, agrícola e demais), depende exclusivamente da represa de Juturnaíba, e não há outras fontes para abastecimento, mesmo em caso de eventos emergenciais.

Esse quadro reflete uma realidade de insegurança hídrica, pois caso ocorra um sinistro na citada represa, compromete-se o abastecimento a nível regional. Agrava-se o quadro pela observação que existe apenas um único rio de maior potencial hídrico, o qual é o único responsável por abastecer toda área abrangida pela RH VI.

Além disso, observa-se que, de acordo com o Mapa de Precipitação Anual da Região Hidrográfica VI, o regime pluviométrico da RH VI é bem reduzido em grande parte (Figura 4), o que coaduna com o quadro de baixa disponibilidade hídrica na região.

Figura 4 - Mapa de Precipitação Anual da RH VI



Fonte: CILSJ (2024)

Outra constatação importante em relação às condições climáticas da RH VI, diz respeito ao Mapa de Distribuição Climática, que demonstra que 87,71% do território da Região Hidrográfica Lagos São João encontra-se clima tropical de savana com estação seca de inverno. (Aw).

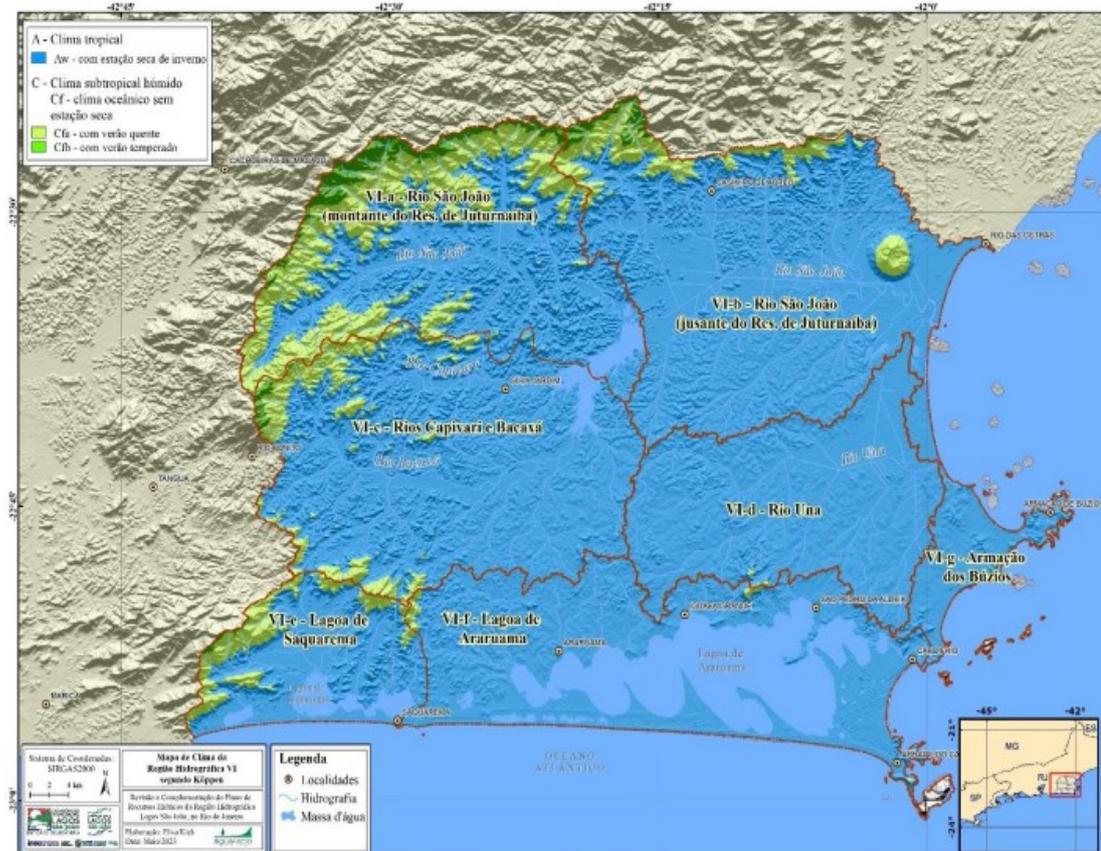
As informações da Tabela 3 são demonstradas graficamente na Figura 5 (Mapa de Distribuição Climática da Região), de acordo com Köppen.

Tabela 3 - Percentual de tipologia climática presente em cada UHP da RH-VI

UHP	Classificação Climática (Köppen)		
	Aw	Cfa	Cfb
VI - a: Rio São João (montante do Reservatório de Juturnaiba)	61,32%	32,08%	6,60%
VI - b: Rio São João (jusante do Reservatório de Juturnaiba)	90,16%	8,21%	1,63%
VI - c: Rios Capivari e Bacaxá	89,83%	9,44%	0,73%
VI - d: Rio Una	99,80%	0,20%	0,00%
VI - e: Lagoa de Saquarema	81,03%	18,28%	0,69%
VI - f: Lagoa de Araruama	99,24%	0,76%	0,00%
VI - g: Armação dos Búzios	99,85%	0,15%	0,00%
TOTAL DA RH-VI	87,71%	10,61%	1,68%

Fonte: CILSJ (2024)

Figura 5 - Mapa de Distribuição Climática da Região de acordo com Köppen



Fonte: CILSJ (2024)

2.3 Dados da Cobertura de Saneamento Básico na RH VI

Através dos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico, foi possível organizar os dados relativos ao esgotamento sanitário e elaborar a Tabela 4.

Tabela 4 - Atendimento por Água e Esgoto Sanitário nos Municípios da RHVI em 2023.

Município	Atendimento total de água	Atendimento total de esgoto	Coleta de esgoto	Tratamento de esgoto	Esgoto Tratado referido à água consumida
Silva Jardim	86,61%	46,23%	61,22%	100%	61,22%
Araruama	96,16%	76,82%	62,24%	100%	62,24%
Cabo Frio	94,13%	77,20%	100%	100%	100%
Armação dos Búzios	95,31%	78,17%	64,83%	100%	64,83%
Saquarema	100%	73,48%	66,81%	100%	66,91%
Iguaba Grande	96,75%	79,35%	100%	100%	100%
São Pedro da Aldeia	96,06%	78,78%	71,34%	100%	71,34%
Arraial do Cabo	97,83%	80,23%	100%	100%	100%
Casemiro de Abreu	100%	55,20%	52,45%	100%	52,45%

Fonte: SNIS. Organização: O autor.

3. CENÁRIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA RH VI CONFORME PERHI

Para atingir o objetivo de propor um cenário para reúso dos efluentes de ETEs, visando o aumento da segurança hídrica na RH VI, devem ser traçados panoramas e projeções de consumo hídrico em diferentes cenários futuros.

Com esse objetivo, buscou-se pesquisar e analisar os dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI).

A partir dos dados fornecidos pelo PERHI, buscou-se ter parâmetros de evolução da demanda hídrica para os cenários de 2020, 2025 e 2030, para os cenários otimista, factível e tendencial.

O PERHI especifica como são definidos os cenários citados, conforme as definições a seguir.

- Cenário otimista: os coeficientes de perda decrescem, a partir de 2015, do patamar atual até o mínimo de 20% no ano de 2030. Observa-se que alguns poucos municípios possuem coeficientes inferiores a esse patamar.
- Cenário factível: os coeficientes de perda decrescem, a partir de 2015, do patamar atual até o mínimo de 30% no ano de 2030. Observa-se que alguns poucos municípios possuem coeficientes inferiores a esse patamar.
- Cenário tendencial: os coeficientes de perda se mantêm inalterados ao longo de todo o horizonte do PERHI (PERHI, 2014).

Dessa forma, buscou-se obter dados para avaliar o balanço hídrico da RHVI para esses três cenários, nos anos de 2020, 2025 e 2030, considerando-se as atividades de abastecimento humano, indústria, mineração, agricultura e criação animal.

Com esses dados retirados do PERHI e baseando-se nas tabelas do citado Plano Estadual, realizou-se a organização de dados em formato de tabelas que possam indicar tendências de consumo hídrico nesses cenários.

Na Tabela 5, especificam-se os dados para o cenário otimista, dividindo-se a Região Hidrográfica VI em suas Unidades Hidrológicas de Planejamento.

Tabela 5 - Vazões de Captação Consolidadas - Cenário Otimista

UHP	Município	Demandas por UHP (l/s)		
		2020	2025	2030
VI-a1	Rio Bonito	365,02	389,25	407,15
VI-a1	Cachoeiras de Macacu			
VI-a1	Silva Jardim			
VI-a1	Araruama			
VI-a2	Silva Jardim			
VI-a2	Araruama			
VI-a2	Cabo Frio			
VI-a2	Casemiro de Abreu			
VI-a2	Rio das Ostras			
VI-b	Araruama	20,19	20,43	20,78
VI-b	Cabo Frio			
VI-b	Iguaba Grande			
VI-b	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Araruama	2.212,25	2.260,90	2.286,33
VI-c	Cabo Frio			
VI-c	Armação dos Búzios			
VI-c	Saquarema			
VI-c	Iguaba Grande			
VI-c	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Arraial do Cabo			

Fonte: PERHI (2024)

Na Tabela 6 especificam-se os dados para o cenário factível, também nos anos de 2020, 2025 e 2030.

Tabela 6 - Vazões de Captação Consolidadas - Cenário Factível

UHP	Município	Demandas por UHP (l/s)		
		2020	2025	2030
VI-a1	Rio Bonito	366,59	397,59	420,29
VI-a1	Cachoeiras de Macacu			
VI-a1	Silva Jardim			
VI-a1	Araruama			
VI-a2	Silva Jardim			
VI-a2	Araruama			
VI-a2	Cabo Frio			
VI-a2	Casemiro de Abreu			
VI-a2	Rio das Ostras			
VI-b	Araruama	20,1	20,24	20,43
VI-b	Cabo Frio			
VI-b	Iguaba Grande			
VI-b	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Araruama	2.229,43	2.378,67	2.463,98
VI-c	Cabo Frio			
VI-c	Armação dos Búzios			
VI-c	Saquarema			
VI-c	Iguaba Grande			
VI-c	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Arraial do Cabo			

Fonte: PERHI (2024)

Na Tabela 7 especificam-se os dados para o cenário tendencial, dividindo-se a Região Hidrográfica VI em suas Unidades Hidrológicas de Planejamento.

Tabela 7 - Vazões Consolidadas - Cenário Tendencial

UHP	Município	Demandas por UHP (l/s)		
		2020	2025	2030
VI-a1	Rio Bonito	371,7	405,47	430,81
VI-a1	Cachoeiras de Macacu			
VI-a1	Silva Jardim			
VI-a1	Araruama			
VI-a2	Silva Jardim			
VI-a2	Araruama			
VI-a2	Cabo Frio			
VI-a2	Casemiro de Abreu			
VI-a2	Rio das Ostras			
VI-b	Araruama	19,96	20	20,05
VI-b	Cabo Frio			
VI-b	Iguaba Grande			
VI-b	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Araruama	2.306,46	2.543,28	2.661,93
VI-c	Cabo Frio			
VI-c	Armação dos Búzios			
VI-c	Saquarema			
VI-c	Iguaba Grande			
VI-c	São Pedro da Aldeia			
VI-c	Arraial do Cabo			

Fonte: PERHI (2024). Organização: Autor

Constata-se que nos três cenários analisados, há um crescimento da demanda hídrica. Esse cenário é condizente com o cenário de crescimento populacional programado para a região em estudo, conforme apresentado pelos dados da Tabela 8.

Tabela 8 - Crescimento Populacional

Município	2020		2025		2030	
	urbano	rural	urbano	rural	urbano	rural
Silva Jardim	19.991	1.787	21.808	609	23.556	-
Araruama	125.649	-	131.011	-	134.477	-
Cabo Frio	165.193	50.980	172.602	57.474	177.815	63.968
Armação dos Búzios	34.340	-	37.525	-	40.587	-
Saquarema	90.889	1.180	100.282	690	108.734	199
Iguaba Grande	28.192	-	30.701	-	33.114	-
São Pedro da Aldeia	97.350	7.013	104.492	6.743	111.359	6.474
Arraial do Cabo	30.462	-	31.462	-	32.255	-
Casemiro de Abreu	34.046	6.424	36.642	6900	39.138	7.377
Total	693.496		738.941		779.053	

Fonte: PERHI (2024).

Como forma de evidenciação da projeção de necessidade hídrica da RHVI, o PERHI procedeu à análise dos dados de Vazão de Consumo Total, Vazão de Diluição e calculou os dados de Vazão de Consumo/Disponibilidade e Vazão de Consumo Diluição/Disponibilidade (Tabela 9).

Tabela 9 - Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica e vazão de consumo/diluição e disponibilidade hídrica nas UHPs de Rios Estaduais - Cenário Tendencial (2030)

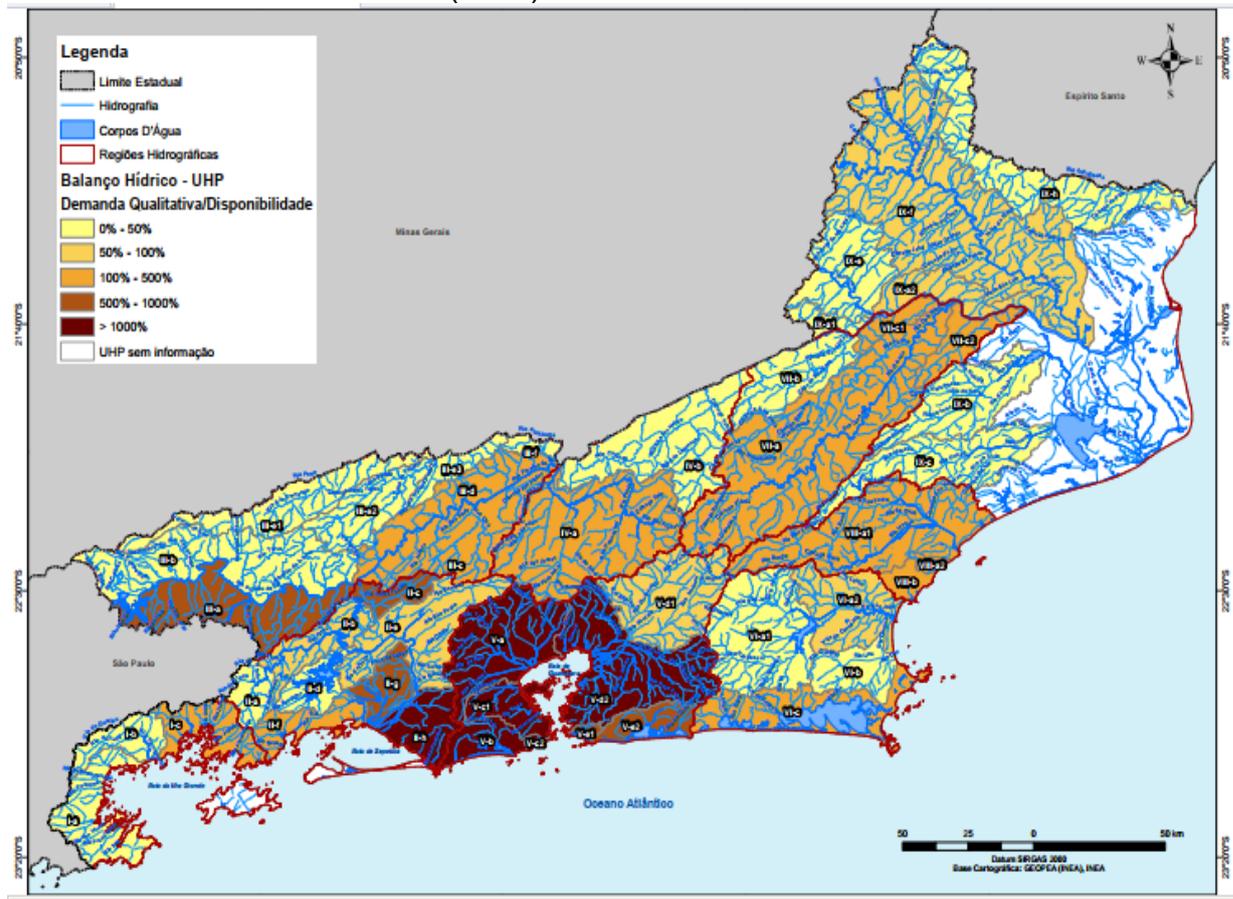
RH	UHP	Área	Disponibilidade (m³/s)	Vazão de Consumo Total (m³/s)	Vazão de Diluição(m³/s)	Vazão de Consumo / Disponibilidade (m³/s)	Vazão de Consumo_Diluição / Disponibilidade (m³/s)
	VI-a1	1.341,00	16	0,0383	0,53	0,2	3,6
VI	VI-a2	817,5	9,8	0,0909	34,7	0,9	50,9
	VI-b	451	5,4	0,016		0,3	0,3
	VI-c	1.030,30	12,3	0,588		4,8	287,1

Fonte: PERHI (2024). Organização: Autor

Demonstra-se, neste cenário tendencial para 2030, que a disponibilidade hídrica para todos os usos necessários no contexto social, é insuficiente, inclusive de maneira bastante acentuada na RH VI-c, exatamente a qual apresenta maior contingente populacional, o que pode ser observado na Tabela 8.

Esses dados são demonstrados na Figura 6, apresentando-se a relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica e vazão de consumo/diluição e disponibilidade hídrica nas UHPs de Rios Estaduais - Cenário Tendencial (2030)

Figura 6 - Relação entre vazão de consumo e disponibilidade hídrica e vazão de consumo/diluição e disponibilidade hídrica nas UHPs de Rios Estaduais - Cenário Tendencial (2030)



Fonte: PERHI. Organização: Autor

Graficamente, evidencia-se na Figura 6 que a RH VI-c, a mais populosa da Região Hidrográfica Lagos São João, estará com o índice “Demanda Qualitativa / Disponibilidade” entre 100 e 500%, o que ratifica o índice encontrado na Tabela 9, que estabelecia o valor de 287,1%.

Analisando-se os dados disponibilizados no capítulo 4, evidencia-se que a RH VI, especialmente em sua região RH VI-c, a de maior pressão populacional, enfrentará, no cenário tendencial para 2030, um quadro de severo estresse hídrico e expressiva deficiência para o atendimento de suas necessidades.

Ressalta-se que, em efeito cumulativo, adotando-se a proposta do presente trabalho, de proceder ao reúso dos efluentes de ETEs, não apenas a disponibilidade hídrica aumenta, como também a vazão de diluição necessária será reduzida, otimizando dessa forma o índice “Demanda Qualitativa / Disponibilidade”.

4. METODOLOGIA

Inicialmente, foi levantada uma gama de referências bibliográficas, documentos técnicos e legislação sobre reúso de efluentes sanitários e geotecnologias aplicadas ao planejamento e gestão de recursos hídricos nas seguintes fontes: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (2014).

A partir da análise das prioridades estabelecidas pelo PERHI e documentos técnicos consolidados (FIRJAN, 2021 e SEAS, 2023), foi definida a bacia de estudo como sendo a Região Hidrográfica Lagos São João, denominada RH VI, tendo em vista que de acordo com a pesquisa realizada apresenta uma situação de estresse hídrico que deve se agravar já em 2030.

Para o desenvolvimento de um panorama geral do potencial de reúso na RH VI, foram levantadas, informações de caráter quantitativo e qualitativo. De forma a quantificar a demanda hídrica potencial para fins industriais, foram levantados os dados de localização e vazão de potenciais consumidores de água de reúso com base em dados de pontos de outorga de captação, disponíveis/registrados na ANA e no INEA, existentes nos municípios pertencentes à RHVI. De forma a quantificar a disponibilidade de água para reúso, foi feito levantamento dos dados geográficos e de vazão de 12 ETEs existentes na região, a partir do banco de dados disponíveis no ICMS Ecológico e no Procon Águas. Com esses dados disponíveis, foi realizada uma análise de potencialidade a partir da correlação entre potenciais fornecedores e potenciais consumidores de água para reúso, utilizando os dados numéricos e mapeamento.

Com base em estudos de CAMPOS (2018) e FARIAS *et al.* (2021), foram analisados os raios de alcance de 10, 20 e 50 km das 3 ETEs de maior vazão para atendimento das demandas dos potenciais consumidores identificados.

Para proporcionar uma análise sistêmica, em seguida, foram desenvolvidos mapas de calor (SEAS, 2023), considerando-se os locais de maiores concentrações da demanda, representados neste modelo pelas outorgas de captação.

Para apresentar o quadro atual, utiliza-se a geotecnologia de geoprocessamento dos dados disponíveis. A utilização de tecnologias espaciais para coleta e tratamento de informações é conhecida como geoprocessamento e atualmente tem grande empregabilidade, devido a sua diversidade de aplicações e formas de relacionar os dados (LANA, 2023). Os sistemas responsáveis por realizar

funções de geoprocessamento são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e é utilizando esses programas que são processados dados que nos permitem executar diversos tipos de análises (INPE, 2002; REGHINI; CAVICHIOLI, 2020).

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aliado ao geoprocessamento mostra-se evidente em diversos setores, pois abrange desde o planejamento urbanístico até o controle demográfico, e passa pelo gerenciamento do uso do solo e pela localização de municípios. Em geral, o conhecimento da localização exata onde os problemas ocorrem e a capacidade de visualizá-los espacialmente são de extrema utilidade, uma vez que facilitam significativamente o entendimento da situação e nos proporcionam percepções sobre as possíveis soluções, se não as únicas (LANA et. al., 2022).

Como ponto de partida para a realização de geoprocessamento, busca-se determinar quais são os pontos de outorga de captação e suas correspondentes vazões, registrados na ANA e no INEA, para que seja possível quantificar a demanda hídrica.

Para traçar um quadro da metodologia utilizada no presente trabalho, foi desenvolvido o fluxograma exposto na Figura 7.

Figura 7 - Etapas realizadas na metodologia



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.1. Modelagem de Dados para Outorgas de captação

Para o estabelecimento da demanda hídrica, utiliza-se as informações de outorgas de captação de recursos hídricos e seus dados geográficos, previamente autorizadas pela ANA e pelo INEA, extraídos do portal Gov.br e do Governo Estadual,

com o total de 43.653 outorgas, as quais representam dados disponíveis de todos os estados do Brasil.

Importante ressaltar que, como o foco deste trabalho é a RH VI do ERJ, necessita-se proceder a utilização de ferramentas que proporcionem o adequado tratamento dos dados disponíveis neste arquivo.

Para esse objetivo utiliza-se o ambiente *Google Colaboratory (Colab)*, que disponibiliza gratuitamente interface tipo “notebook”, ou seja, um caderno em formato digital no qual se executam códigos com linguagens de programação. Para este trabalho, optou-se pela linguagem Python, a qual possui legibilidade viável e alta praticidade para tratamento de dados em larga escala, como no banco de dados disponível, o qual possui inicialmente cerca de 50.000 registros. Além disso, a linguagem *Python*, através de sua biblioteca *Folium*, que permite a criação de mapas interativos a partir de dados geográficos, proporcionando grande potencial de distribuição geoespacial por meio da realização de mapas, além de sistematização e análise das informações nesses mapas, configura-se como uma Geotecnologia prática e robusta. Trata-se de uma biblioteca útil para quem trabalha com dados, pois permite visualizar informações de forma fácil e dinâmica.

Procede-se então às operações de filtragem e limpeza desses elementos utilizando-se a biblioteca Pandas da linguagem Python. Carregam-se os dados ambientais no notebook diretamente do *Google Drive*.

Com o ambiente de execução *Colab* e a linguagem de programação *Python*, em função de ambos proporcionarem acesso no modelo “*open software*” e possibilidade de operação integralmente online, evita-se a necessidade de proceder *download* de arquivos e/ou investimentos em *hardware* para maior capacidade no processamento de dados.

Para utilizar a operação computacional integralmente online, deve-se proceder à etapa “*Mount Drive*”, conforme a Figura 8, a qual viabiliza a leitura dos dados arquivados no Google Drive.

Figura 8 - Conectando *Notebook Colab* ao *Google Drive*

Permitir que este notebook acesse seus arquivos do Google Drive?

A conexão com o Google Drive permite que o código executado neste notebook modifique arquivos na plataforma até que o acesso seja revogado.

Não

Fonte: Autoria própria, 2024.

Inicialmente buscou-se fazer leitura dos dados globalmente, a nível nacional. Para isso, realiza-se a importação da biblioteca Pandas, com o uso da função *import* e a leitura dos dados, nomeando-se o arquivo inicial como “outorgas_brasil”. Procedeu-se à sua leitura com a função “*pd.read_csv*”, conforme a linha de código 3 da Figura 9.

Figura 9 - Leitura do arquivo outorgas_brasil

```

1 import pandas as pd

1 # chamar/up load do arquivo outorgas_brasil
2
3 outorgas_brasil = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/1)Tratamento de dados/1_outorgas_geral_brasil.csv")

1 # ler arquivo outorgas_brasil
2
3 outorgas_brasil

```

	Município	UF	Finalidade_Principal	Tipo_Interferencia	Latitude	Longitude	Data_de_vencimento	Categoria	VolumeAnual_m³
0	SÃO JOÃO DA BARRA	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-21,64228	-41,07625	23/07/2018	Direito de Uso	3923078.40
1	CASANOVA	BA	Irrigação	Captação	-9,14514	-41,04861	15/07/2024	Direito de Uso	124950.00
2	MARIZÓPOLIS	PB	Irrigação	Captação	-6,87775	-38,34392	06/09/2018	Direito de Uso	81139.50
3	GLÓRIA	BA	Irrigação	Captação	-9,0825	-38,36197	29/11/2027	Direito de Uso	82240.00
4	PILÃO ARCADO	BA	Outras	Captação	-10,07111	-42,42806	NaN	Direito de Uso	21830.40
...
43647	COLATINA	ES	Mineração - Extração de Areia/Cascalho em Leit...	Captação	-19,54194	-40,46056	NaN	Direito de Uso	120960.00
43648	GARARU	SE	Irrigação	Captação	-9,98889	-36,97472	25/05/2020	Revogação	103920.96
43649	URANDI	BA	Abastecimento Público	Captação	-14,76803	-42,79528	21/09/2024	Preventiva	166440.00
43650	SOBRADINHO	BA	Irrigação	Captação	-9,45542	-40,84197	NaN	Direito de Uso	38183.86
43651	BELÉM	PA	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-1,36267	-48,458	04/09/2028	Preventiva	83920.80

43652 rows x 9 columns

Fonte: Autoria própria, 2024.

Observa-se que, na Figura 9, existem dados disponíveis de diferentes estados do país, os quais não são escopo deste trabalho, de forma que é necessário proceder a esse ajuste, e exclusão de informações não pertinentes. Portanto, no segundo passo busca-se reduzir o banco de dados apenas para os correspondentes ao ERJ, definindo-se assim o novo Data Frame e salvando-o com o nome “outorgas_erj.csv”, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Outorgas restritas ao Estado do Rio de Janeiro

The screenshot shows a Jupyter Notebook interface. The top part contains Python code for filtering and saving data. The bottom part displays a data table with 10 columns: 'Município', 'UF', 'Finalidade_Principal', 'Tipo_Interferencia', 'Latitude', 'Longitude', 'Data_de_vencimento', 'Categoria', and 'VolumeAnual_m³'. The table lists various water concessions across different municipalities in Rio de Janeiro, such as São João da Barra, Laje do Muriaé, Santo Antônio de Pádua, São Fidélis, Resende, Bom Jesus do Itabapoana, Varre-Sai, Rio das Flores, Volta Redonda, and Barramansa.

```

2
3 outorgas_erj = (outorgas_brasil.loc[outorgas_brasil['UF'] == 'RJ'])
4
5 # salva o arquivo outorgas_erj
6 outorgas_erj.to_csv("outorgas_erj.csv")
7
8 # ler arquivo outorgas_erj
9
10 outorgas_erj

```

	Município	UF	Finalidade_Principal	Tipo_Interferencia	Latitude	Longitude	Data_de_vencimento	Categoria	VolumeAnual_m³
0	SÃO JOÃO DA BARRA	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-21,64228	-41,07625	23/07/2018	Direito de Uso	3923078.4
53	LAJE DO MURIAÉ	RJ	Mineração - Extração de Areia/Cascalho em Leit...	Captação	-21,18275	-42,13161	NaN	Direito de Uso	2700.0
90	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	RJ	Irrigação	Captação	-21,70306	-42,25917	NaN	Direito de Uso	NaN
104	SÃO FIDÉLIS	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-21,64611	-41,74417	23/07/2018	Direito de Uso	2557920.0
142	RESENDE	RJ	Abastecimento Público	Captação	-22,47061	-44,50092	01/01/2038	Direito de Uso	2803200.0
...
43612	BOM JESUS DO ITABAPOANA	RJ	Irrigação	Captação	-21,13594	-41,65861	28/12/2031	Direito de Uso	64050.0
43620	VARRE-SAI	RJ	Outras	Captação	-20,85611	-41,74806	NaN	Direito de Uso	15.0
43630	RIO DAS FLORES	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-22,23222	-43,42194	16/12/2011	Revogação	171520.8
43640	VOLTA REDONDA	RJ	Outras	Captação	-22,50583	-44,08006	04/09/2018	Direito de Uso	8640.0
43643	BARRAMANSA	RJ	Indústria	Lançamento	-22,52417	-44,19056	13/08/2019	Direito de Uso	120288.0

1846 rows x 9 columns

Fonte: Autoria própria, 2024.

Em seguida, procede-se a novas operações de filtragem e limpeza de dados, a partir do Data Frame “outorgas_erj.csv”. Nesse estágio foram realizadas as seguintes operações:

- I. retirada de valores nulos, em termos dos parâmetros de vazão, latitude e longitude, o que dificultaria sobremaneira e causaria erro durante a operação com a biblioteca Folium para elaboração de mapas do SIG.
- II. no banco de dados fornecidos pela ANA, os valores de consumo foram disponibilizados em termos de volume anual. Portanto procede-se à inserção de nova coluna, na qual calculam-se os dados de vazão em metros cúbicos por hora.
- III. com os novos valores obtidos para vazão das outorgas de captação, obtém-se números com quantidade elevada de casas decimais. Assim, procede-se a padronização para números com apenas duas casas decimais, o que facilita a leitura do arquivo.
- IV. outra modificação é a restrição da coluna “Tipo_Interferencia”, a qual possuía inicialmente dados correspondentes a valores de captação e

lançamento. Procede-se, assim, a limitação apenas para outorgas de captação.

- V. reinício da coluna índice, para que seja possível ter a proporção da quantidade de linhas/pontos de outorga totais presentes na tabela.
- VI. Dessa forma, obtém-se o arquivo denominado de “outorgas_erj_filtrado.csv”, o qual faz-se a exposição na Figura 11.

Figura 11 - Outorgas restritas ao Estado do Rio de Janeiro já filtradas

```

1 # retirar os valores nulos
2
3 outorgas_erj = outorgas_erj.dropna(axis=0)
4
5 #Dados disponíveis de consumo são referentes ao Volume Anual de consumo
6 #Adiciona-se uma coluna com o cálculo de vazão em m³/h
7
8 outorgas_erj['vazao(m³/h)'] = outorgas_erj['VolumeAnual_m³'] / 8760
9
10 # ajustar o número de casas decimais
11
12 pd.set_option('display.precision', 2)
13
14 #restringe-se os dados apenas para outorgas de captação
15
16 outorgas_erj = (outorgas_erj.loc[outorgas_erj['Tipo_Interferencia'] == 'Captação'])
17
18 #reseta o índice apenas para fins numéricos
19
20 outorgas_erj.reset_index()
21
22 #salva o arquivo outorgas_erj já filtrado
23
24 outorgas_erj.to_csv('outorgas_erj_filtrado.csv')
25
26 #faz a leitura do arquivo outorgas_erj_filtrado salvo no Drive
27 outorgas_erj_filtrado = pd.read_csv("/content/outorgas_erj_filtrado.csv")
28 outorgas_erj_filtrado

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para limitar o escopo da pesquisa, restringe-se a quantidade de dados qualitativos não primordiais na análise. Nesse contexto, remove-se as colunas "Tipo_Interferencia", "UF", "Data_de_vencimento", "Categoria" e "VolumeAnual_m³". A exclusão dessas colunas de dados dá-se porque o tipo de interferência já havia sido restrito a operações de captação, o estado já havia sido selecionado como Rio de Janeiro, a categoria também não representava fator determinante e o volume anual não apresentava dados primordiais por já dispor-se dos valores de vazão em metros cúbicos por hora.

Nesse quadro, as características que podem influenciar a análise de dados do presente trabalho e sua conseqüente elaboração de mapas SIG, são as correspondentes às colunas “Município”, “Vazão”, “Latitude”, “Longitude” e “Finalidade_Principal”.

Portanto, prioriza-se neste estágio a exposição dessas informações, de forma que possam ser determinadas com precisão e legibilidade em formato gráfico na biblioteca Folium. Nesse quadro, obtém-se como resultado, na Figura 12 o data frame denominado “vazao_por_municipio”, que contém apenas as outorgas de captação de recurso hídrico presentes na Região Hidrográfica Lagos São João.

Figura 12 - Outorgas Segregadas por Municípios da RHVI.

	Município	Latitude	Longitude	Vazão(L/s)
0	Saquarema	-22.882	-42.498	0.2
1	Saquarema	-22.882	-42.498	1.5
2	Araruama	-22.877	-42.342	0.8
3	Araruama	-22.877	-42.342	0.8
4	Arraial do Cabo	-22.968	-42.022	1.0
...
581	Saquarema	-22.888	-42.634	72.0
582	São Pedro da Aldeia	-22.826	-42.123	576.0
583	Saquarema	-22.859	-42.565	60.0
584	Iguaba Grande	-22.635	-42.299	6480.0
585	Saquarema	-22.893	-42.584	165.0

586 rows × 4 columns

Fonte: Autoria própria, 2024.

Observa-se que o número de dados válidos pelo qual dispõe-se agora é de 586 pontos de captação, após a filtragem e tratamento do banco de dados inicial da ANA. Com os dados já tratados, de acordo com as ferramentas disponíveis na biblioteca Pandas, tarefa realizada no item 5.1, inicia-se a elaboração do georreferenciamento

Figura 13 - Carrega data frame “Pts_de_Outorga_RHVI.csv”

```

1 #Importa a biblioteca
2
3 import folium
4 import pandas as pd
5
6 #carrega os dados
7
8 #importa os dados do drive
9
10 data = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/outorgas/dados/Pts_de_Outorga_RHVI.csv")
11
12 data.head()
13

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Como primeiro passo, procede-se à importação da biblioteca pandas, para organização do banco de dados com fins gráficos, e da biblioteca *Folium* para

execução do mapa. Em seguida, os dados são trazidos do *Google Drive*, e é avaliado seu “head” para fins de observação.

A etapa subsequente consiste em utilizar-se uma escala de cores e uma escala de tamanho de raio, para que os pontos de captação possam ser identificados de acordo com sua vazão. Assim, utilizou-se o seguinte código na Figura 14.

Figura 14 - Variação dos raios e cores proporcionalmente às vazões

```

86 ### MAPA
87 #função para mudar as cores
88 def color_change(vazao):
89     if (vazao <= 1):
90         return('blue')
91     elif(1 < vazao <= 2):
92         return('red')
93     elif(2 < vazao <= 3):
94         return('orange')
95     else:
96         return('green')
97
98 #função para mudar os raios
99 def radius_change(vazao):
100     if (vazao <= 1):
101         return 4
102     elif(1 < vazao <= 2):
103         return 8
104     elif(2 < vazao <= 3):
105         return 10
106     else:
107         return 12

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Após o carregamento do banco de dados para determinação das variáveis de latitude, longitude e vazão foi realizada a operação de qualificação gráfica, de acordo com a vazão e o raio de cada ponto de outorga, para que seja possível, imediatamente após visualizar o mapa, obter percepção sobre o volume das vazões de outorga.

No caso da adequação de cores para vazão adota-se: para vazão menor que $1\text{m}^3/\text{h}$, cor azul; para vazão maior que $1\text{m}^3/\text{h}$ e menor ou igual a $2\text{m}^3/\text{h}$, cor vermelha; para vazão maior que $2\text{m}^3/\text{h}$ e menor ou igual a $3\text{m}^3/\text{h}$, cor laranja; e para vazão maior que $3\text{m}^3/\text{h}$, cor verde.

No caso da adequação de raios para vazão, adota-se: para vazão menor que $1\text{m}^3/\text{h}$, raio 4; para vazão maior que $1\text{m}^3/\text{h}$ e menor ou igual a $2\text{m}^3/\text{h}$, raio 8; para vazão maior que $2\text{m}^3/\text{h}$ e menor ou igual a $3\text{m}^3/\text{h}$, raio 10; e para vazão maior que $3\text{m}^3/\text{h}$, raio 12.

A partir da linha de código número 109 da Figura 15, cria-se o mapa base com a função Open Street Map, e é feita a fronteira entre Municípios, com a função Geojson. Posteriormente, é realizada a plotagem dos marcadores no mapa,

especificando-se suas características, como o diâmetro do símbolo, cor interna e externa dos pontos, sua posição georreferenciada e a mensagem ao clique do mouse.

Figura 15 - Definição do mapa-base e plotagem dos marcadores

```

109 #cria o mapa base/plano de fundo do mapa
110 mapa_outorgas_rhvi = (folium.Map(location = [-22.777, -41.942], zoom_start=10, tiles= "OpenStreetMap", control_scale=True))
111
112 #adicionando a fronteira dos municípios
113 estilo = lambda x: {"color":"black",
114                   "fillOpacity":0,
115                   "weight":1}
116
117 folium.GeoJson(geojson_arquivo,
118               style_function = estilo,
119               name = "Municipios ERJ", ).add_to(mapa_outorgas_rhvi)
120
121 #Plot Markers
122 #plotagem Dos marcadores
123 for lat, long, vazao in zip(lat, long, vazao):
124
125     folium.CircleMarker(location=[lat,long], radius= radius_change(vazao),
126                       popup= str(vazao)+" l/s",
127                       fill_color=color_change(vazao), color="gray", fill_opacity = 0.9).add_to(mapa_outorgas_rhvi)
128
129 #salva o mapa
130 mapa_outorgas_rhvi.save("mapa_outorgas_rhvi.html")
131 #mostra o mapa
132 mapa_outorgas_rhvi

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 Modelagem de Dados para Outorgas de Lançamento

Para a obtenção de informações de vazão das ETEs (oferta), foram utilizados os acervos de dados oferecidos por três fontes nos respectivos anos ou períodos: a) Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos do Inea (Procon Água) (2019-2021); b) ICMS Ecológico (2020); c) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – Atlas Esgotos (ANA, 2017) – (2013-2017).

Foram adotadas para as vazões de oferta, as vazões de operação, que representam as vazões de tratamento das ETEs que estão operando na prática.

Dessa forma, iniciou-se o procedimento para representação gráfica, admitindo-se as ETEs como as fontes de água para reúso disponíveis.

De posse dos dados disponíveis, consolida-se uma tabela geral sobre as ETEs da RH VI, conforme exposto na Figura 16.

Figura 16 - Coordenadas e Vazões das ETEs da RH VI

```

1 from google.colab import drive
2 drive.mount('/content/drive')

[ ] 1 data_etes

```

	ETE	LAT	LONG	VAZÃO(L/S)
0	ETE Praia do Siqueira	-22.884	-42.053	275.0
1	ETE Ponte dos Leites	-22.879	-42.336	125.3
2	ETE São Pedro	-22.826	-42.126	111.5
3	ETE Jardim Esperança	-22.820	-42.085	95.5
4	ETE São José	-22.777	-41.942	86.5
5	ETE Arraial do Cabo	-22.966	-42.031	69.5
6	ETE Iguaba	-22.849	-42.240	64.5
7	ETE Bacaxá	-22.902	-42.483	41.1
8	ETE Idaiaçú	-22.899	-42.452	30.0
9	ETE Novo Horizonte	-22.943	-42.149	12.2
10	ETE Itaúna	-22.930	-42.499	7.6
11	ETE Saquarema	-22.777	-41.942	4.0

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para a execução do mapa denominado de mapa_etes, realizou-se o tratamento dos dados obtidos. Inicialmente, importa-se as bibliotecas Pandas e Folium, para obter suas ferramentas e são carregados os dados do arquivo data_etes, exposto na Figura 17, o qual fornece os dados necessários. Com esses dados, os quais proporcionam informações de Latitude, Longitude e Vazão, estabelece-se e nomeia-se quais variáveis serão utilizadas pela biblioteca *Folium* na função “Folium.CircleMarker”

Figura 17 - Leitura do Arquivo ETEs_rhvi.csv e definição de variáveis

```

1 #Importa a biblioteca
2
3 import folium
4 import pandas as pd
5
6 #carrega os dados
7
8 #importa os dados do drive
9
10 data_etes = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/ete's_rhvi.csv")
11 geojson_arquivo = "/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/3) OUTORGAS/geojson_municipios_rj"
12
13 #carrega os dados
14 lat_ete = data_etes["LAT"]
15 long_ete = data_etes["LONG"]
16 vazao_ete = data_etes["VAZÃO(L/S)"]
17 vazao_ete = vazao_ete.astype(float).astype(int)

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Nesse contexto, foram definidas as variáveis para Latitude (lat_ete), Longitude (long_ete) e Vazão (vazao_ete) de cada ETE. Esses dados são carregados de forma que possam ser disponibilizados para leitura na elaboração do mapa.

Na etapa seguinte elabora-se o mapa-base, que representa as configurações básicas visuais a serem exibidas durante a leitura do mapa e o limite dos municípios através da leitura do arquivo *geojson*, além de estabelecer o seu estilo, conforme a Figura 18.

Figura 18 - - Configuração do mapa-base

```
28
29 #cria o mapa base
30
31 mapa_etes = folium.Map(location = [-22.777, -41.942], zoom_start=10, tiles="OpenStreetMap", control_scale=True)
32
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

O estilo de mapa de fundo selecionado para foi “OpenStreetMap”, o qual permite visualização de referenciais nas proximidades dos pontos de outorga. Além disso, o parâmetro de início foi estabelecido como ETE Jardim Esperança, em termos de latitude e longitude e o zoom de início com o valor 10. Em seguida, são estabelecidos os parâmetros necessários para utilizar-se a biblioteca *Folium* e sua correspondente função *Folium.CircleMarker*, fazendo-se então a plotagem dos marcadores de ETEs no mapa_etes conforme a Figura 19.

Figura 19 - Configuração de Parâmetros do Mapa

```
#plotagem Dos marcadores
for lat_ete, long_ete, vazao_ete in zip(lat_ete, long_ete, vazao_ete):

    folium.Marker(location=[lat_ete,long_ete], icon=folium.Icon(color="red"), popup= str(vazao_ete)+" l/s",
                  fill_opacity=0.9).add_to(mapa_etes)

#adicionando a fronteira dos municípios
estilo = lambda x: {"color":"black",
                  "fillOpacity":0,
                  "weight":1}

folium.GeoJson(geojson_arquivo,
               style_function = estilo,
               name = "Municipios ERJ", ).add_to(mapa_etes)
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Determinou-se, ainda, nas linhas de código da Figura 19, que as ETEs da RH VI são representadas pelo ícone *Icon*, da biblioteca *Folium*, na cor vermelha e que, ao clicar-se em cada ponto representativo, será explicitada sua vazão.

4.3 Desenvolvimento de Mapas Correlacionando Outorgas de Lançamento e Captação

Para correlacionar-se quantitativa e geograficamente os pontos de outorgas de captação e de lançamento, faz-se necessário que ambos os conjuntos de dados sejam disponibilizados no mesmo mapa. Portanto, o tipo de símbolo foi utilizado de forma a discernir os elementos de cada um dos conjuntos de dados.

Nesse ponto do trabalho é importante apreender que se toma como base tecnicamente já consolidada o desenvolvimento dos itens 5.1 (Modelagem de Dados para Outorgas de Captação de Água) e 5.2 (Modelagem de Dados para Outorgas de Lançamento de Efluentes) de forma que seria desnecessário discorrer novamente sobre a metodologia usada nessas etapas. Conduz-se, dessa forma, a execução do trabalho sem repetições incessantes, otimizando-se sobremaneira a clareza do processo de leitura e referenciamento. Como primeira etapa deste item, determinam-se as propriedades do mapa-base, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Configuração do mapa base das outorgas de captação e lançamento

```

120 #cria o mapa base/plano de fundo do mapa
121 mapa_outorgas_rhvi = (folium.Map(location = [-22.777, -41.942], zoom_start=10, tiles= "OpenStreetMap", control_scale=True))
122
123 #adicionando a fronteira dos municípios
124 estilo = lambda x: {"color":"black",
125                   "fillOpacity":0,
126                   "weight":1}
127
128 folium.GeoJson(geojson_arquivo,
129               style_function = estilo,
130               name = "Municipios ERJ", ).add_to(mapa_outorgas_rhvi)

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Posteriormente, demarcam-se os pontos de outorgas de lançamento e de captação, através do seguinte código em linguagem Python e sua biblioteca Folium, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Plotagem dos marcadores base das outorgas de captação e lançamento

```

132 #Plot Markers
133 #plotagem dos marcadores de captação
134 for lat, long, vazao in zip(lat, long, vazao):
135     folium.CircleMarker(location=[lat,long], radius= radius_change(vazao),
136                       popup= str(vazao)+" l/s",
137                       fill_color=color_change(vazao), color="gray", fill_opacity = 0.9).add_to(mapa_outorgas_rhvi)
138
139 #plotagem dos marcadores de Lançamento
140 for lat_ete, long_ete, vazao_ete in zip(lat_ete, long_ete, vazao_ete):
141
142     folium.Marker(location=[lat_ete,long_ete], icon=folium.Icon(color="red"), popup= str(vazao_ete)+" l/s",
143                 fill_opacity=0.9).add_to(mapa_outorgas_rhvi)
144

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

No primeiro bloco de código, linhas 132 a 137, da Figura 21, estabelece-se as coordenadas dos pontos de outorgas de captação, com círculos de diâmetro variável e a cor de preenchimento variável, ambos correspondentes ao volume de vazão, conforme exposto na seção 6.1. Além disso, define-se a opacidade 0.9, e título igual a sua vazão, quando se clica com o mouse na coordenada de latitude e longitude da respectiva ETE.

Com as linhas de código de 138 a 143, da Figura 21, estabelece-se que para todos os dados geográficos disponíveis de ETEs, a demarcação dá-se através do marcador Icon, com cor vermelha e título correspondente à sua vazão, exposto quando se clica com o mouse na coordenada de latitude e longitude da respectiva ETE.

4.4 Estabelecimento dos Raios de Alcance para Quantificação Geográfica e Correlação das Outorgas de Lançamento e Captação

Nesse ponto torna-se necessário, para avaliar a capacidade de atendimento de cada ETE, elaborar-se uma estrutura de avaliação das potencialidades de acordo com os raios de alcance em termos geográficos.

Para definição da ordem de prosseguimento, considerando-se que existem doze ETEs a serem analisadas, optou-se por seguir a ordem decrescente de vazão das Estações, conforme os parâmetros da Figura 16, iniciando-se pela de maior vazão, que é a ETE Praia do Siqueira, seguindo para a ETE Ponte dos Leites, segunda maior, e ETE São Pedro, a terceira maior vazão.

Portanto, para equacionamento da problemática de oferta vs demanda de água para reúso pressupõe-se que sejam avaliados os possíveis cenários de atendimento dessa demanda por meio de ETEs que geograficamente estejam nas proximidades dos pontos de outorga, para viabilizar economicamente a operação.

Nesse quadro, opta-se por analisar, para as três ETEs de maior vazão da RHVI, a potencialidade da demanda nos raios de 10 km, 20 km e 50 km.

Para isso, utiliza-se a função "Folium.Circle", estabelecendo-se um raio de determinado alcance, conforme proposto. Opta-se pelo preenchimento do círculo na cor verde com baixa opacidade, para gerar efeito de destaque no mapa.

4.4.1 ETE Praia do Siqueira, Q = 275 l/s

Por ser a ETE de maior vazão e também por estar situada em uma cidade de mais de 200.000 habitantes, tem-se a percepção de elevada potencialidade para consumo de água para reúso. Entretanto, essa potencialidade precisa ser demonstrada através de Geotecnologia, que correlacione expressamente a posição geográfica da ETE e as possíveis distâncias de distribuição.

Para a análise, foi realizado SIG com centro na ETE, conforme a Figura 26. O mapa base foi estabelecido no modelo "Open Street Map" através da função Tiles, de forma a representar a urbanização e elementos relevantes do entorno. Além disso, foi estabelecido o controle de escala com a função control_scale e o ponto central do mapa foi definido com Latitude e Longitude da ETE Praia do Siqueira, para um zoom_start de 8 unidades, na Figura 22.

Figura 22 - - Configuração do mapa base das outorgas de captação

```

46
47 # cria o mapa base
48 mapa_outorgas_estadual = folium.Map(location = [-22.884, -42.053], zoom_start=8, tiles="OpenStreetMap", control_scale=True)
49
50

```

Fonte: Aatoria Própria, 2024

A seguir, foram demarcados os pontos de outorgas de lançamento e captação, de acordo com o código Python demonstrado na seção 5.3 do presente trabalho. Prosseguindo-se, estabelece-se nova fronteira de código na Figura 23, determinando-se o raio de alcance da ETE em 10 km, conforme abaixo:

Figura 23 - Configuração dos raios de alcance da ETE Praia do Siqueira com 10 km

```

163 #marcando círculos de 10.000m na ete Praia do Siqueira
164
165     radius = 10000
166     folium.Circle(
167     location=[-22.884, -42.053],
168     radius=radius,
169     color="black",
170     weight=1,
171     fill_opacity=0.05,
172     opacity=0.05,
173     fill_color="green",
174     fill=False, # gets overridden by fill_color
175     popup="{} meters".format(radius),
176     tooltip="I am in meters").add_to(mapa_outorgas_rhvi)

```

Fonte: Aatoria Própria, 2024.

Com as linhas de código da Figura 23, foi estabelecido o centro do mapa nas coordenadas de latitude e longitude da ETE, com função “radius” igual a 10 km, cor verde com opacidade de preenchimento de 0.05, para melhor observação do conjunto urbano no entorno.

4.4.2 - ETE Ponte dos Leites, Q = 125 l/s

Para a Estação de Tratamento de Esgoto Ponte dos Leites foi desenvolvida a mesma metodologia de programação da ETE Praia do Siqueira, alterando-se apenas os valores de Latitude, Longitude e Vazão.

4.4.3 - ETE São Pedro, Q = 111.5 l/s

Para a Estação de Tratamento de Esgoto de São Pedro foi desenvolvida a mesma metodologia de programação das ETE Praia do Siqueira, alterando-se apenas os valores de Latitude, Longitude e Vazão.

4.5 Mapas de Calor

Trata-se de representação gráfica para compreender a expressividade da demanda para este estudo de potencialidade da operação de atendimento das demandas não potáveis, utilizando-se água para reúso, proveniente dos efluentes de ETEs.

Para adequada compreensão e avaliação da potencialidade desse processo é indispensável analisar-se em quais locais a demanda é maior em termos do número de potenciais consumidores e vazão por eles demandada.

Na Figura 24 importou-se as bibliotecas *Folium*, *Branca.Colormap*, *NumPy* e *plugins* do *Folium*, para execução dessa etapa. A seguir foram importados os arquivos *geojson* com a fronteira dos municípios e o arquivo de dados contendo coordenadas de latitude, longitude e vazão dos pontos de outorgas de captação. O arquivo *geojson* foi adicionado ao “mapa_calor”, proporcionando a leitura gráfica das fronteiras dos municípios.

Figura 24 - Tratamento de dados para execução do Mapa de Calor.

```

1 #importa bibliotecas
2 import folium
3 import branca.colormap
4 import numpy as np
5 from folium.plugins import HeatMap
6
7 #importação dos dados através do Google Drive
8 geojson_arquivo = "/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/6) Mapas_de_Calor/Dados/geojson_municipios_rj"
9 dados = np.genfromtxt("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/6) Mapas_de_Calor/Dados/Dados_29_agosto.csv", delimiter = ",")
10
11 #adicionar o plano de fundo
12 mapa_calor = folium.Map(location = [-22.777, -41.942], zoom_start=8, tiles= "OpenStreetMap", control_scale=True)
13
14
15
16 #adicionando a fronteira dos municípios
17 estilo = lambda x: {"color": "black",
18                   "fillOpacity": 0,
19                   "weight": 1}
20 folium.GeoJson(geojson_arquivo,
21               style_function = estilo,
22               name = "Municipios" ).add_to(mapa_calor)

```

Fonte: Autoria própria, 2024

Na Figura 25 estabeleceu-se os parâmetros de execução Mapa de Calor

Figura 25 - Configuração gráfica do Mapa de Calor

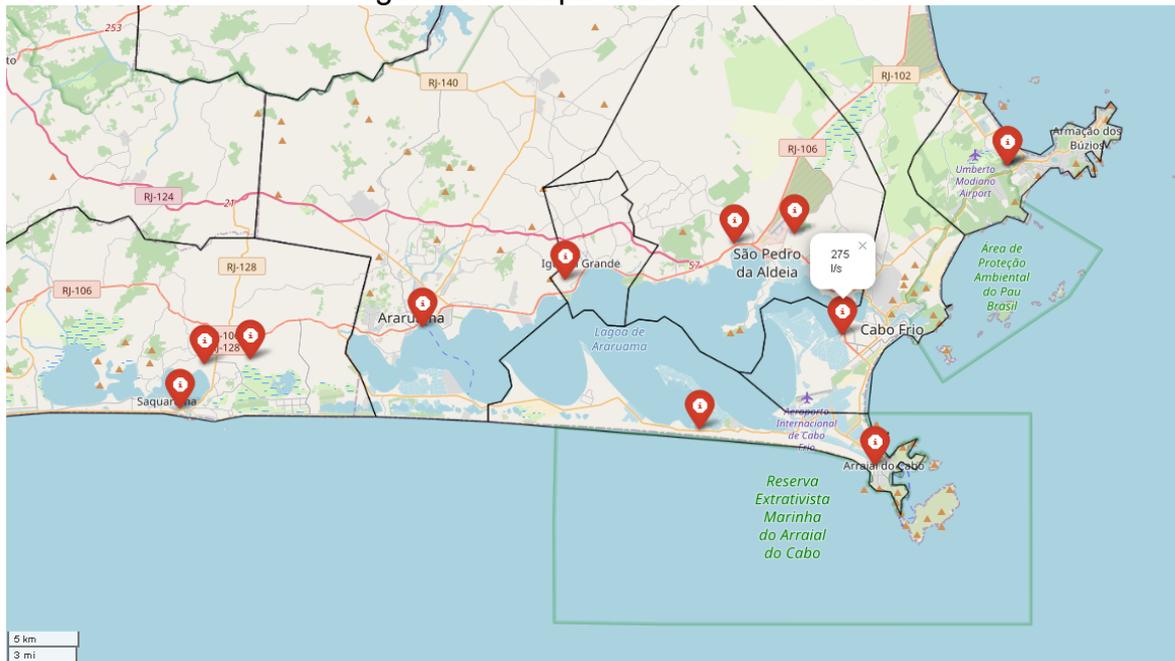
```

24 indices = [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]
25
26 colormap = branca.colormap.StepColorMap(["green", "yellow", "red", "brown"],
27                                       index = indices,
28                                       caption = "Vazão das Outorgas de Captação RHVI (L/H)")
29
30 dicionario_cores = {0: "green",
31                    0.25: "green",
32                    0.251: "yellow",
33                    0.5: "yellow",
34                    0.501: "red",
35                    0.75: "red",
36                    0.751: "brown",
37                    1.0: "brown"}
38 # colormap.scale demonstra que os valores vão de 0 a 10, em geral
39 colormap.scale(0,10).add_to(mapa_calor)
40
41 #Mapa de Calor
42 HeatMap(dados,
43         gradient = dicionario_cores,
44         min_opacity = 0.25,
45         radius = 20,
46         blur = 2).add_to(mapa_calor)
47
48 #Controle de camadas
49 folium.LayerControl(position = "topleft").add_to(mapa_calor)
50
51 mapa_calor.save("mapa_calor_rhvi.html")
52 mapa_calor

```

Fonte: Autoria própria, 2024

Figura 27 - Mapa das ETEs da RH VI



Fonte: Autoria própria, 2024.

No exemplo acima, a ETE em destaque é aquela localizada na Praia do Siqueira, sobre a qual quando se procede o clique no mapa é exposta a vazão de 275 l/s, o que representa a estação de maior vazão da região.

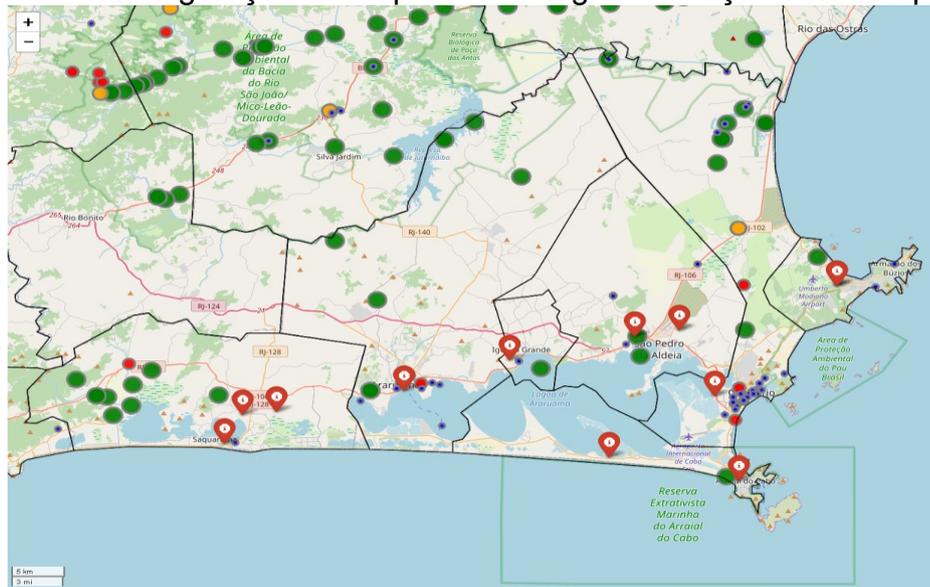
Como tem-se o total de doze ETEs, o tratamento de dados é menor do que o realizado no item 6.1 para outorgas de captação, e o SIG representa uma quantidade menor de informações, em função do menor número de pontos em estudo.

5.3 Desenvolvimento de Mapas Correlacionando Outorgas de Lançamento e Outorgas de Captação

Com essas informações obtidas na metodologia (Capítulo 5), obtém-se a Figura 28, a qual correlaciona as outorgas de captação e lançamento, demonstrando-se graficamente que é viável em termos de deslocamento, proporcionar que o efluente das ETEs possa ser deslocado para potenciais e efetivos consumidores, de acordo com sua vazão e qualificação de uso.

Essa medida gera não somente a preservação dos mananciais de captação, mas também evita que efluentes de ETEs sejam lançados em corpos hídricos gerando sua consequente contaminação.

Figura 28 - Configuração do mapa das outorgas de lançamento e captação



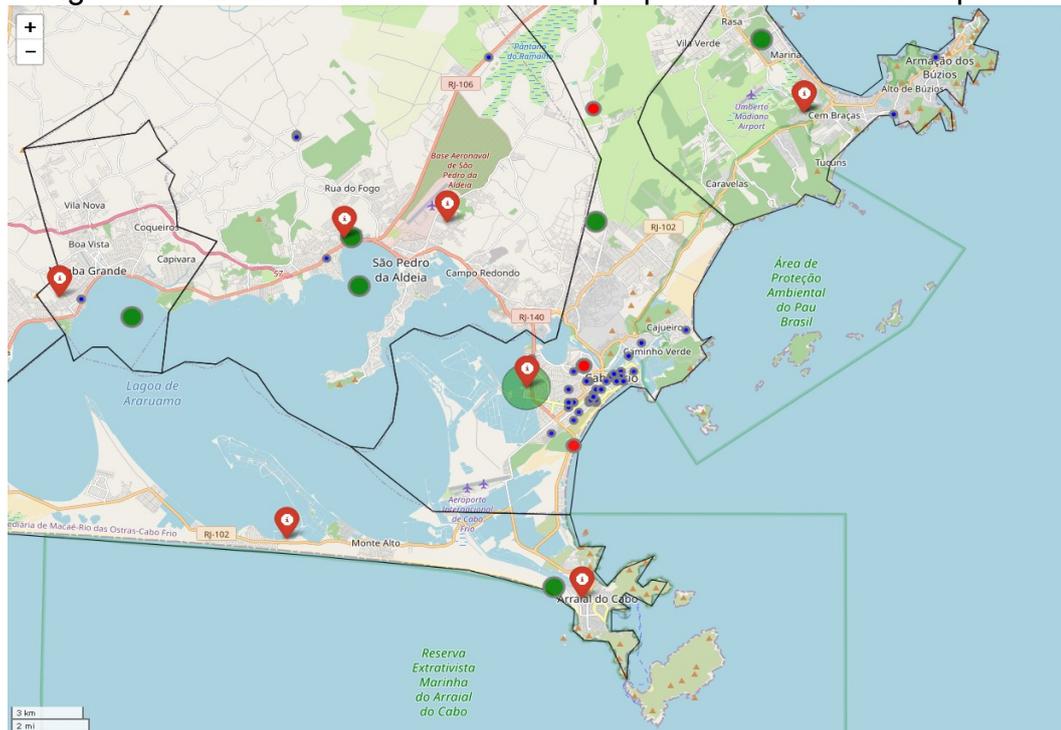
Fonte: Autoria própria, 2024.

5.4 Estabelecimento dos Raios de Alcance para Quantificação Geográfica e Correlação das Outorgas de Lançamento e Captação

5.4.1 - ETE Praia do Siqueira, $Q = 275$ l/s

A partir dos resultados do Capítulo 5, a ETE Praia do Siqueira é representada na Figura 29.

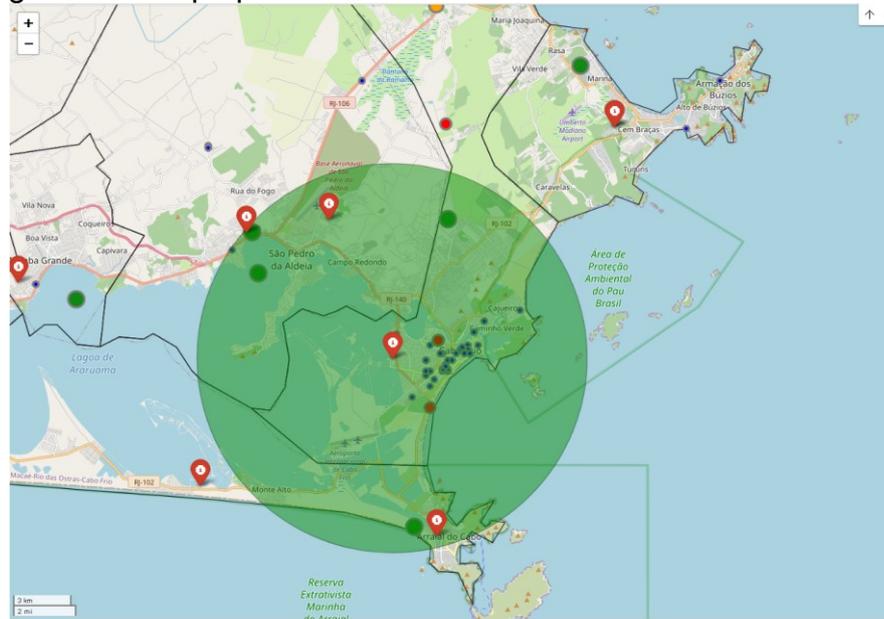
Figura 29 - ETEs da RH VI com destaque para ETE Praia do Siqueira



Fonte: Autoria Própria, 2024

Procede-se, então, a execução do raio de alcance de 10km. Compreende-se que no mapa apresentado na Figura 30 é possível proceder análises aprofundadas sobre o balanço hídrico ora em estudo. Informações, como por exemplo, quais municípios podem ser atendidos pela água de reúso dessa ETE, a deslocamentos potencialmente viáveis, em quais volumes, além de qual seria a ordem de abastecimento e se seria possível exportar efluente excedente para atender demandas não potáveis além do alcance de 10km. Além disso, observa-se que a geração de água para reúso ocorre no entorno do conjunto urbano-populacional de Cabo Frio, o que corrobora a tese de elevada potencialidade para esse sistema de abastecimento.

Figura 30 - Mapa para raio de alcance de 10 km e escala 1: 3.000



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para a análise de raio de alcance de 20km e 50km, altera-se apenas a dimensão do raio, seguindo-se às mesmas linhas de código. Prosseguindo-se, determina-se o raio de alcance da ETE Praia do Siqueira em 20km, conforme a Figura 31.

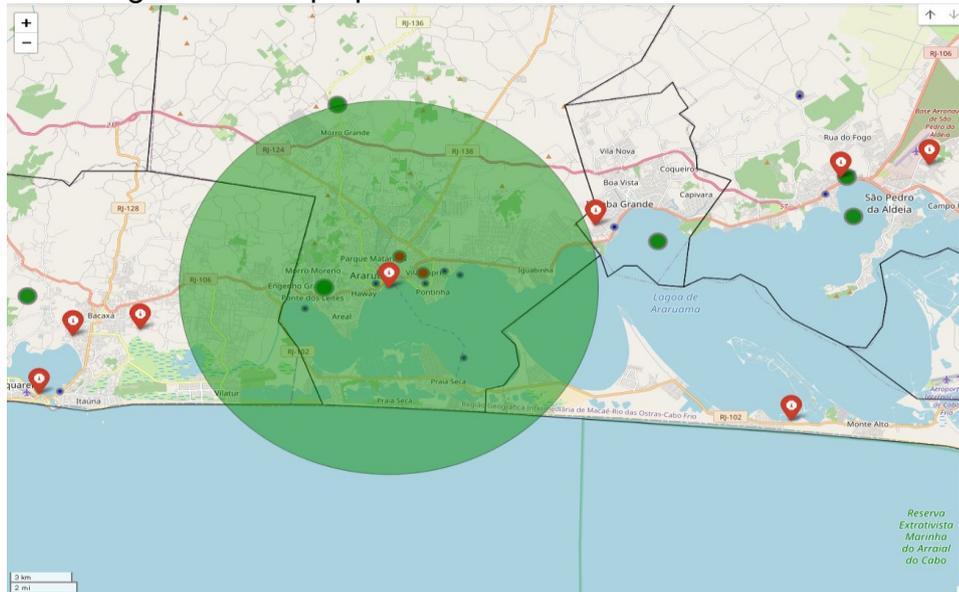
Figura 31- Mapa para raio de alcance de 20 km e escala 1:5.000



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para o próximo mapa, foi realizado o centro na ETE Cabo Frio/Praia do Siqueira, com raio de 50km, conforme Figura 32.

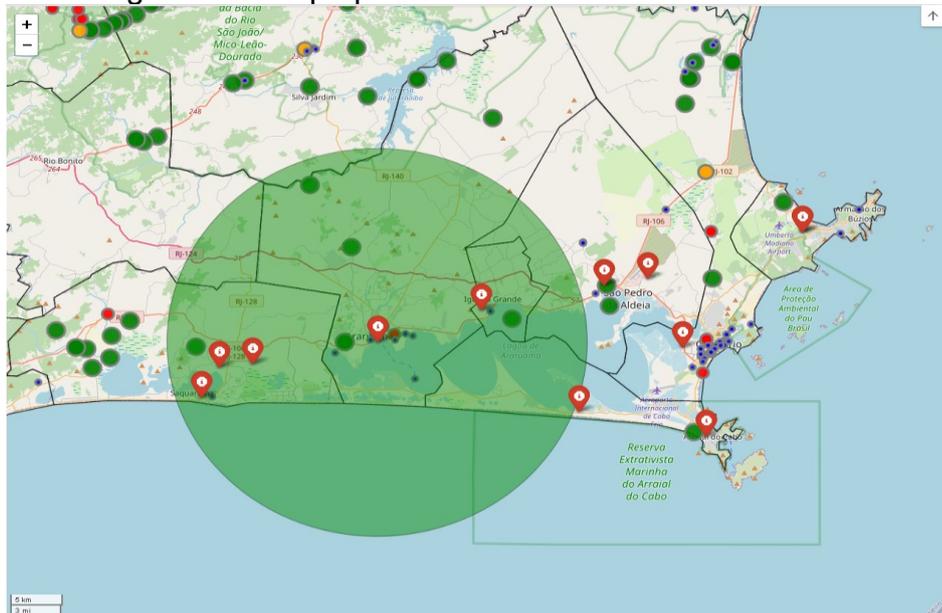
Figura 34 - Mapa para raio de 10 km e escala 1:3.000



Fonte: Autoria própria (2024)

A segunda análise da ETE Ponte dos Leites, foi realizado o centro na ETE, conforme a Figura 35, com raio de 20km:

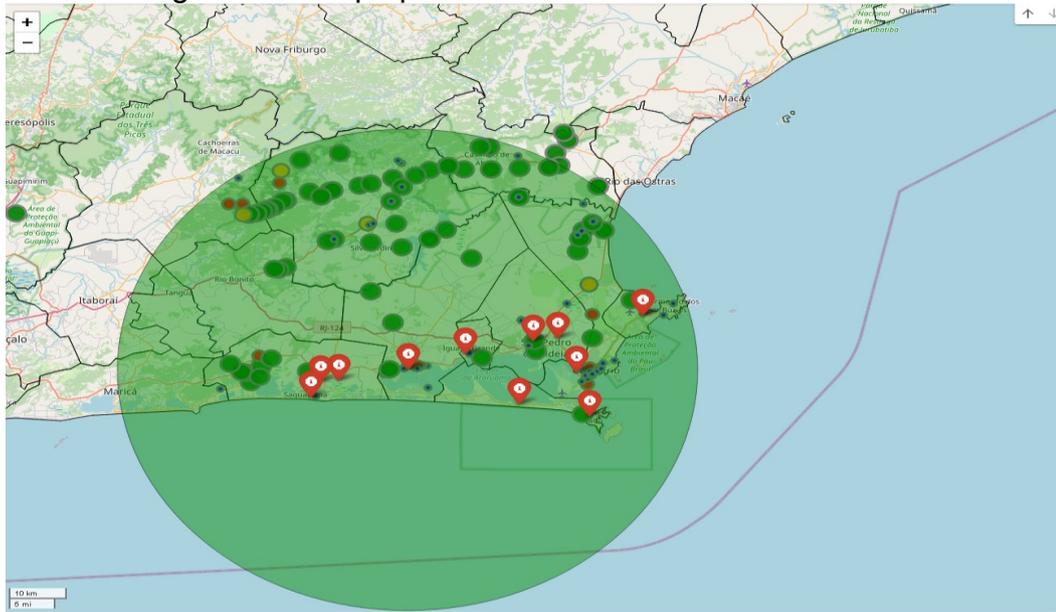
Figura 35 - Mapa para raio de 20km e escala 1:5.000



Fonte: Autoria própria, 2024

Por fim, para a terceira análise da ETE Ponte dos Leites, foi realizado o centro na ETE, conforme a Figura 36, com raio de 50km.

Figura 36 - Mapa para raio de 50km e escala 1:10.000

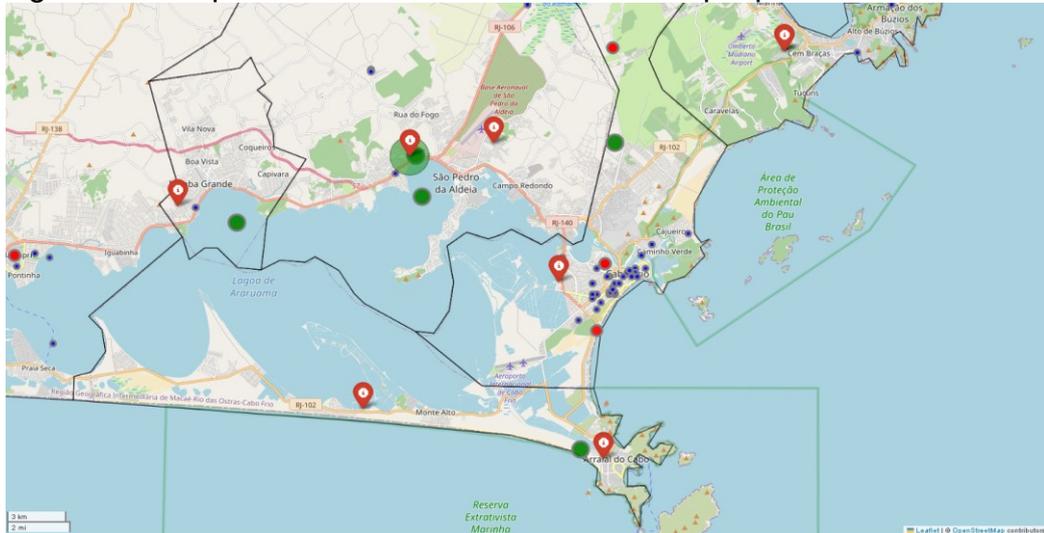


Fonte: Autoria própria, 2024

5.4.3 - ETE São Pedro, $Q = 111.5$ l/s

Prossegue-se com a análise da ETE São Pedro, localizada na Figura 37.

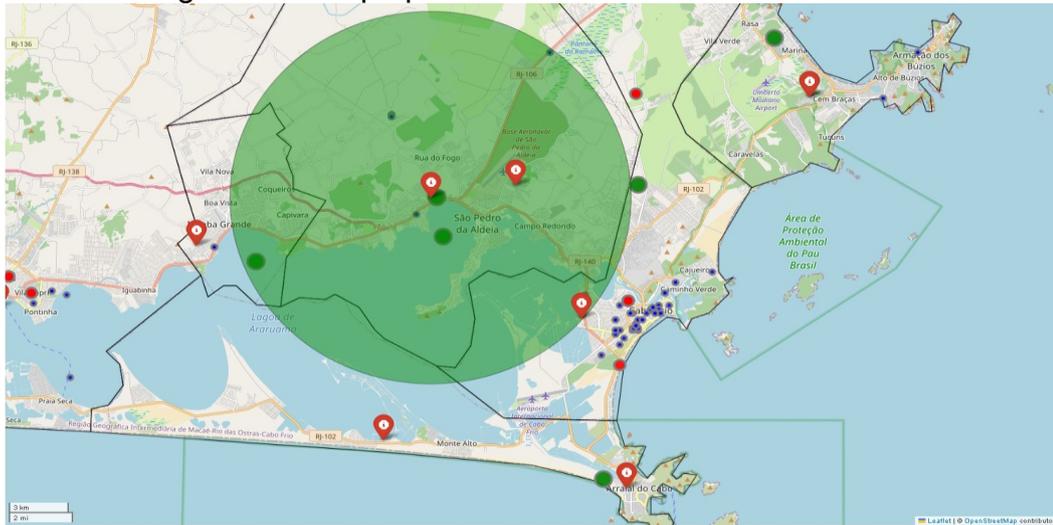
Figura 37 - Mapa das ETEs da RH VI com destaque para ETE São Pedro



Fonte: Autoria própria, 2024

Para a primeira análise da ETE São Pedro foi realizado o centro na ETE, conforme a Figura 38, com raio de 10km:

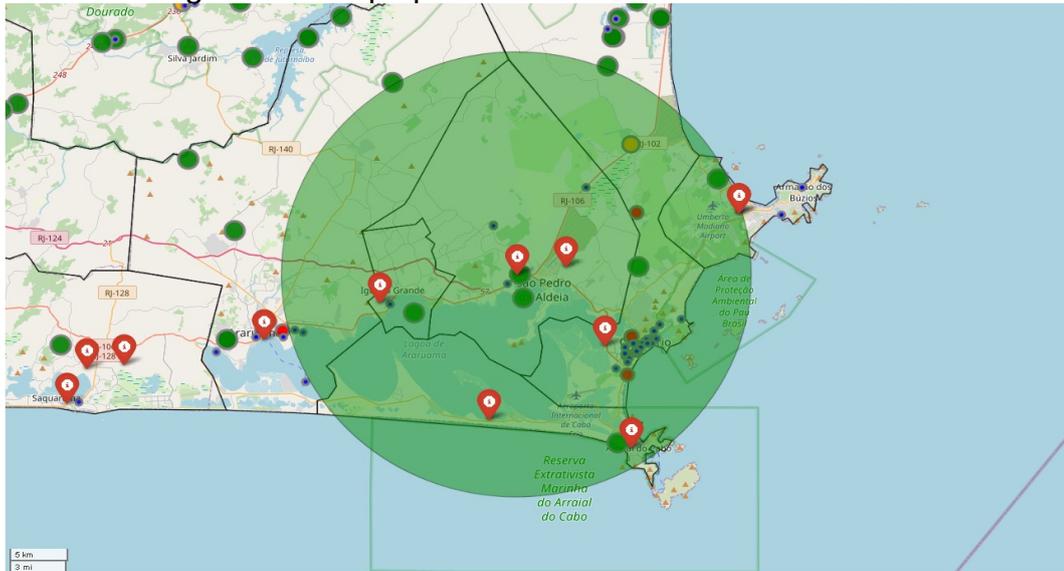
Figura 38 - Mapa para raio de 10km e escala 1:3.000



Fonte: Autoria própria, 2024

Para prosseguir a análise da ETE São Pedro, foi realizado o centro do mapa na ETE, conforme a Figura 39, com raio de 20km:

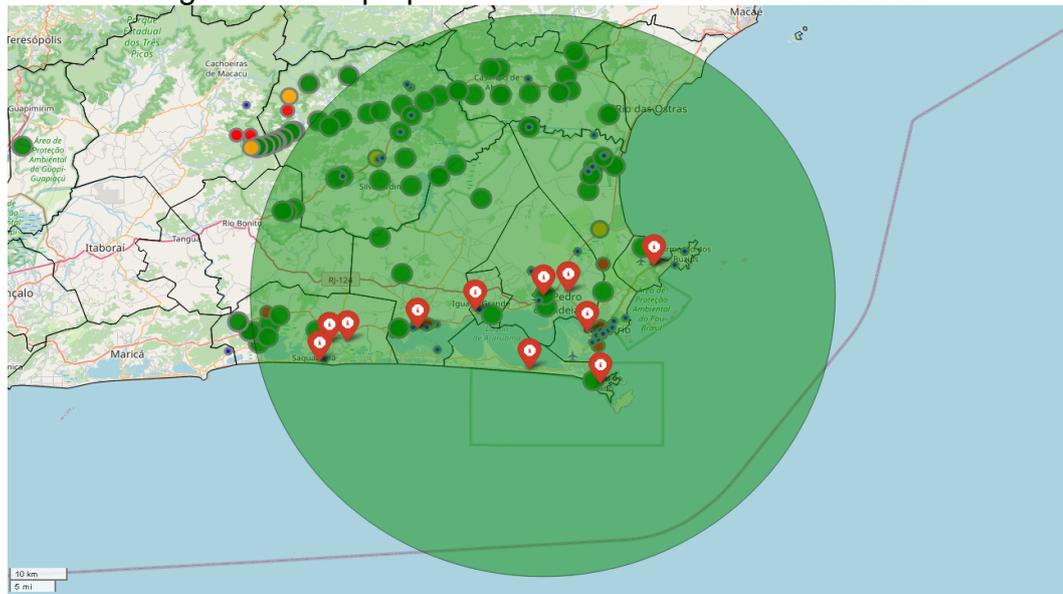
Figura 39 - Mapa para raio de 20km e escala 1:5.000



Fonte: Autoria própria, 2024

Por fim, na terceira análise da ETE São Pedro, foi realizado o centro do mapa na ETE, conforme a Figura 40, com raio de 50km:

Figura 40 - Mapa para raio de 50km e escala 1:10.000



Fonte: Autoria própria, 2024

5.5 - Correlação de Raios de Alcance das ETEs

Para análise conjunta das ETEs Jardim Esperança, Ponte dos Leites e São Pedro, procedeu-se novo mapa para avaliar graficamente a potencialidade de atendimento conjunto, aproveitando-se, dessa forma a sinergia desses elementos no sistema de distribuição de água para reúso, conforme a Figura 41.

Figura 41- Mapa para raio de alcance 50km na ETE Ponte dos Leites, 10km nas ETEs Jardim Esperança e São Pedro, e escala 1:5.000

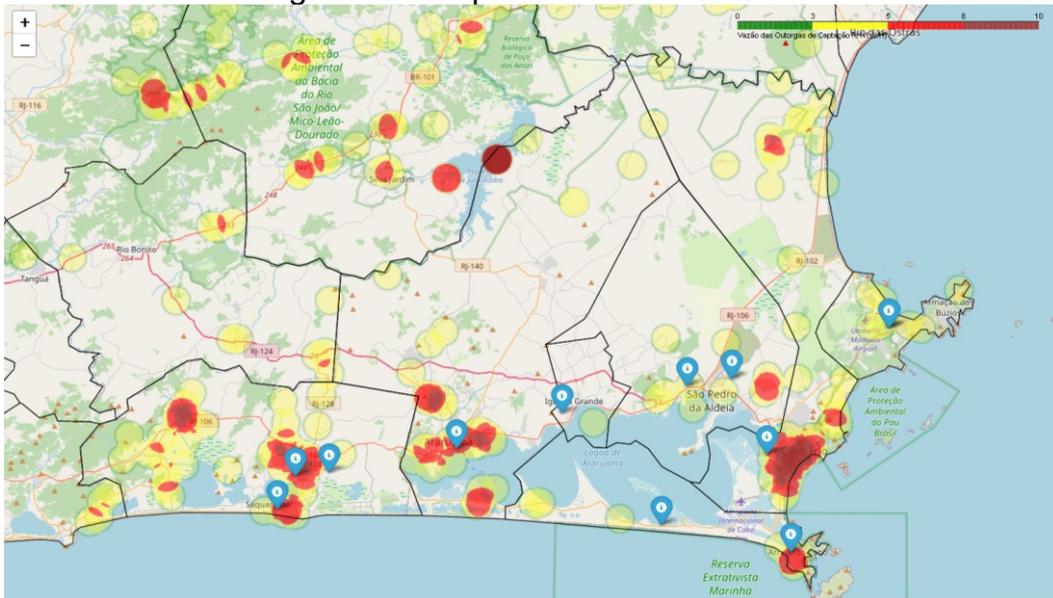


Fonte: Autoria própria, 2024

5.6 - Mapas de Calor

Cumprе ressaltar que a função kernel utilizada nos mapas de calor foi a quártica. O Mapa de Calor da Figura 42 na escala de 1:10.000 demonstra a intensidade da demanda, de acordo com a escala de cores.

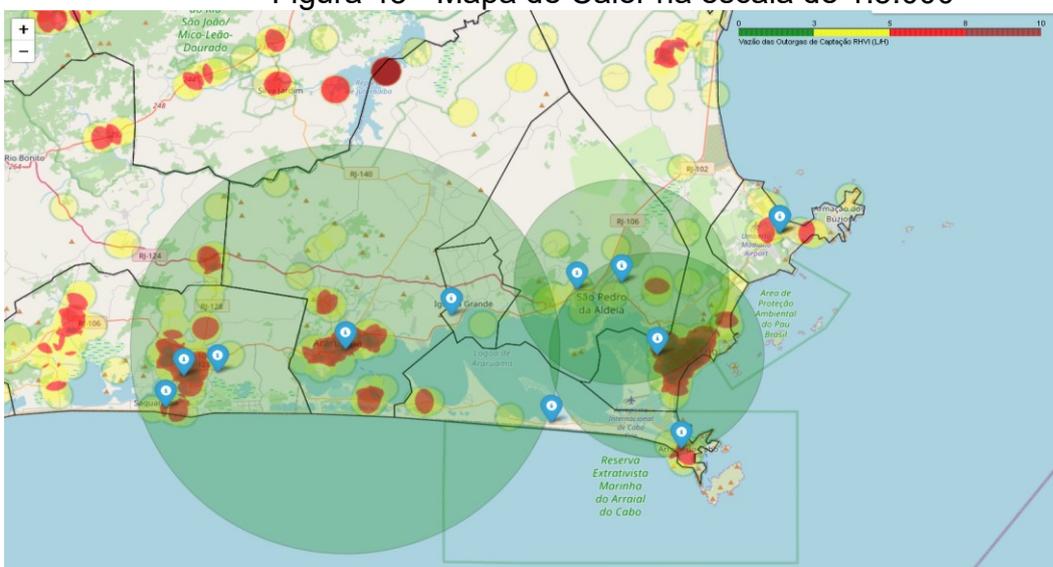
Figura 42 - Mapa de Calor na escala de 1:10.000



Fonte: Autoria própria, 2024

O Mapa de Calor da Figura 43, na escala de 1: 5.000, demonstra a intensidade da demanda, de acordo com a escala de cores.

Figura 43 - Mapa de Calor na escala de 1:5.000



Fonte: Autoria própria, 2024

Na Figura 43 demonstra-se o Mapa de Calor com os raios de alcance estabelecidos para as ETEs Praia do Siqueira em 10km, ETE Ponte dos Leite em 50km e ETE São Pedro em 10km, para proceder-se avaliação sobre a potencialidade de atendimento da possível demanda, representada nas regiões de cores mais intensas e conseqüentemente demandas mais elevadas.

6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As análises efetuadas demonstram potenciais demandas não potáveis (outorgas de uso de água) e potenciais ofertas (ETEs), para raios de 10 km, 20 km e 50 km a partir das ETEs, e, em termos de concentrações, os mapas de calor representam os locais de maior acúmulo de potencial demanda. Através destes elementos é possível estabelecer correlações e analisar estratégias e alternativas de abastecimento e gestão de recursos hídricos de forma sistêmica e integrada.

O estudo de caso apresentado para a ETE Praia do Siqueira, a ETE de maior vazão da RH VI, por exemplo, demonstrou sua ampla potencialidade para utilização como fonte de água para reúso na sua localidade. A metodologia aplicada pode ser estendida a outras ETEs em operação na Região Hidrográfica Lagos São João.

Observa-se que a distâncias de 10km, é possível fornecer recursos para suprir geograficamente a quase totalidade das outorgas situadas no Município de Cabo Frio.

Outrossim, destaca-se pela observação dos mapas de atendimento com raios de 10, 20 e 50km, que a fonte de recurso hídrico para fins não potáveis, ou seja, as três ETEs analisados no Capítulo 6 (Resultados), localizam-se geograficamente a curtíssimas distâncias do potencial mercado a ser atendido, o que reduz gastos de transporte, construção de redes de abastecimento, além da dependência e incerteza de mananciais situados a grandes distâncias, como é o caso a represa de Juturnaíba. Nesse quadro, toda a operação logística de abastecimento se torna uma operação predominantemente local e mais eficiente a qual se pode realizar com maior flexibilidade de atendimento.

Do ponto de vista da questão ambiental, observa-se outra vantagem da proposta apresentada no presente trabalho. A ETE Praia do Siqueira descarta seu efluente na Praia do Siqueira, em Cabo Frio, operação esta que pode ser evitada caso adote-se a política de reúso proposta neste trabalho. Com a adoção do reúso, em acordo com o estudado no presente trabalho, o descarte de efluentes nesse local reduzirá, em decorrência de seu reaproveitamento para abastecimento dos demandantes locais. Reduz-se, assim, o impacto ambiental nesse importante corpo hídrico regional, a Lagoa (Laguna) de Araruama, maior corpo hídrico hipersalino do mundo

Aplicou-se a mesma metodologia à ETE Ponte dos Leites, que possui vazão nominal de 126 L/s e dispõe de elevado potencial de abastecimento de água para

reúso com fins não potáveis no atendimento de demandas no seu entorno. Por esta ETE situar-se em posição geográfica diametralmente oposta à ETE Praia do Siqueira, no contexto da Região Hidrográfica Lagos São João, pode proporcionar o atendimento a pontos de outorga de captação distintos dos pontos atendidos pela ETE Praia do Siqueira.

Os percentuais das classes de expressividade das demandas, identificadas nos Mapas de Calor, concentram-se em determinados núcleos no entorno das ETEs Praia do Siqueira, Ponte dos Leites e São Pedro, demonstrando uma demanda com certo padrão de distribuição em termos geográficos que demonstra a potencialidade de atendimento. Com isso, nota-se que os núcleos mais expressivos de outorgas de captação, os potenciais demandantes, encontram-se geograficamente a distâncias entre 10km e 20km da ETE mais próxima, representando uma grande vantagem logística e operacional. Como as ETEs podem ser interpretadas como produtoras de água para reúso, destaca-se que esse centro produtor se encontra nos três casos citados, nas imediações diretas de centros urbanos com as maiores outorgas de captação

Outro resultado de destacada importância é que o reúso pode reduzir pressões sobre mananciais/sistemas de abastecimento, postergando a necessidade de sua expansão, e aumentando a segurança hídrica (OBRACZKA *et al.* 2019).

Registre-se que outras operações alternativas colocadas como opção de abastecimento hídrico, no caso da RH VI, tornam-se de difícil implementação. Por exemplo, o aproveitamento de água de chuva, tendo em vista o regime hidrológico regional, com índices pluviométricos muito reduzidos comparáveis a região do Nordeste brasileiro, dificulta sobremaneira sua implementação, assim como a operação em maior escala da exploração de aquíferos subterrâneos. Além dessas, o elevado custo e a dificuldade operacional e logística, da dessalinização por exemplo, torna pouco provável sua adoção com êxito. E, por fim, a racionalização de uso é uma política de maior prazo de efetivação por depender de políticas educacionais, de conscientização e fiscalização.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou demonstrar o desenvolvimento e aplicação de iniciativas que possam aperfeiçoar a utilização de recursos disponíveis a nível local. Isso reduz a necessidade de pesquisar novas fontes de abastecimento hídrico e potencializa a política de reutilização de materiais que seriam descartados.

No contexto socioeconômico e ambiental da Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI), consta-se que a solução proposta de reúso dos efluentes de ETEs para fins não potáveis, equaciona os dois problemas crônicos a nível regional, que afetam a qualidade de vida da população, por estarem diretamente conectados a fortes impactos na cadeia turística e, conseqüentemente, na economia regional: a) a insegurança hídrica; e, b) os impactos ambientais decorrentes do descarte de efluentes tratados de ETEs em corpos hídricos locais.

Considerando essa realidade que envolve problema de escassez hídrica por um lado e ambiental por outro, viabilizar a prática de utilização da água para reúso, com fins não potáveis torna-se ainda mais atraente.

Cabe destacar ainda, que diferentemente de fontes alternativas que dependem de fatores cada vez mais imprevisíveis, pelo contexto de mudanças climáticas, como é o caso de águas de chuva, o reúso de efluentes a partir de ETEs se consolida a partir de vazões operacionais aproximadamente constantes, concentradas em pontos estratégicos junto aos centros consumidores. Isso pode reduzir as distâncias e despesas com o transporte da água, seja por caminhões pipa, seja por meio de tubulações.

Assim, através do desenvolvimento neste trabalho de uma base de dados em ambiente de SIG para avaliar a potencialidade do emprego de água de reúso na RH VI gerou-se uma metodologia capaz de subsidiar ações de política ambiental - urbanística e de saneamento básico, com o objetivo de obter melhoria da segurança hídrica.

Cabe destacar que essa metodologia é pertinente no momento oportuno atual, devido a quarta revisão quinquenal do contrato de concessão da concessionária regional de água e esgoto. A gestão de recursos hídricos e o planejamento da segurança hídrica pelo emprego de água de reúso, com apoio técnico para planejamento e busca de soluções, pode proporcionar uma análise mais integrada e a otimização de ações e esforços.

Nesse contexto, além da revisão quinquenal do contrato de concessão, está sendo realizada a revisão conjunta dos Planos Municipais de Saneamento Básico de todos os Municípios da RHVI, na qual o autor participa representando o Município de Armação dos Búzios. A abordagem de revisão conjunta otimiza o alcance de soluções regionais para problemas de saneamento, por ser evidente constatar, através dos SIGs gerados no Capítulo 6 (Resultados) deste trabalho, que a integração regional

viabiliza e otimiza soluções. Destaca-se que a inserção e institucionalização do tema reúso na revisão dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs) será alvo de debate neste âmbito.

7 CONCLUSÃO

De acordo com as análises apresentadas, pode-se concluir pela procedência da potencialidade nas operações de atendimento das demandas hídricas não potáveis na RHVI, com efluentes líquidos provenientes de ETEs da RHVI.

Dessa forma, considerando-se particularidades locais favoráveis como a relativa proximidade geográfica dos municípios da região em um contexto geral, e das alternativas de potenciais ofertas (ETEs) e demandas (outorgas de uso de água), em particular, os resultados da análise demonstram a potencialidade do emprego dessa metodologia. A análise espacial aplicando técnicas de geoprocessamento é uma ferramenta que contribui na elaboração de políticas e intervenções para aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos, aumentando a resiliência do sistema de abastecimento de água.

Ressalta-se também que a modelagem através da linguagem Python, utilizando-se Geotecnologia, foi capaz de demonstrar uma expressiva potencialidade do atendimento de possíveis consumidores.

Dessa forma, reduz-se substancialmente, a necessidade de construção de nova tubulação para transporte do recurso hídrico. Esse fator, em termos de custo de instalação da operação proposta é extremamente significativo e evidencia-se sobremaneira mais favorável que a atual operação de abastecimento hídrico pelo fato de a ETA de Juturnaíba, única existente na RHVI, situar-se a distância média de 70 km dos centros urbanos regionais.

Além disso, outra importante conclusão é que, priorizando-se o abastecimento por efluentes de ETEs para os fins não potáveis na região, pode-se privilegiar o recurso hídrico tratado na ETA para as necessidades humanas de fins potáveis. Posterga-se, no quadro dessa proposta, possíveis necessidades de ampliação da Estação de Tratamento de Água existente e sua correspondente malha de distribuição, minimizando-se a necessidade de novos investimentos financeiros por parte dos operadores.

Diante do exposto, pode-se afirmar que o objetivo geral do presente trabalho foi atingido, qual seja contribuir para aumentar a segurança hídrica na RH VI, utilizando Geotecnologia para avaliar a potencialidade de reúso de efluentes gerados em ETEs da região, como alternativa para abastecimentos não potáveis, reduzindo-se o impacto ambiental do despejo desse material em corpos hídricos.

Além disso, o primeiro objetivo específico, qual seja, mapear as outorgas de captação dos maiores consumidores hídricos para desenvolvimento de mapas foi atingido nos Capítulos 5 (Metodologia) e 6 (Resultados), nos quais obteve-se os dados de outorgas e procedeu-se à realização dos mapas dessas outorgas na RHVI.

O segundo objetivo específico, mapear as ETEs utilizando-se Geotecnologia para identificar e verificar potencialidade de atendimento às outorgas de captação, também foi atingido nos Capítulos 5 (Metodologia) e 6 (Resultados). Nestes identificou-se os dados das doze ETEs da RHVI e procedeu-se à realização dos mapas de localização, realizando-se, ainda, mapas conjuntos das 576 outorgas de captação e 12 outorgas de lançamento, com raios de influência nestas variando entre 10, 20 e 50km, além de Mapas de Calor, demonstrando nesses mapas, a potencialidade da operação.

O terceiro objetivo específico, avaliar o potencial de reúso sob a ótica da Lei Federal 14.026/2020, Novo Marco do Saneamento Básico, para atendimento de demandas não potáveis na RHVI, foi demonstrado, com embasamento no item 3.3, através da Tabela 4. O NMSB, conforme exposto, requer que a rede de esgoto sanitário atenda 90% da população da área de concessão até dezembro de 2033. Como demonstrado na Tabela 4, os municípios da RHVI ainda não atingiram esse objetivo. Dessa forma, é esperada uma expansão da rede de coleta de esgoto, o que acarretará aumento da geração de efluentes resultantes do tratamento em ETEs locais e, portanto, aumento da potencialidade de distribuição da água para reúso, tendo-se um volume maior para destinar aos potenciais consumidores.

Portanto, observa-se que o presente trabalho demonstrou de fato a existência de potencialidade para operação de um sistema de abastecimento de recursos hídricos para fins não potáveis da RHLSJ.

Para efetiva funcionalidade e abastecimento de um mercado consumidor, utilizando-se o material gerado, é adequado proceder à compatibilização entre a composição do material requerido por determinado público usuário de recurso hídrico não potável e o material gerado em cada estação de Tratamento de Esgoto. Pode-se, ainda, correlacionar-se ainda com as informações geográficas, para determinar por exemplo a ETE ideal de abastecimento e seu volume.

Conclui-se, dessa forma, que uma vez demonstrada a potencialidade do abastecimento, o trabalho futuro de correlação entre os fatores: composição do

material, distância rodoviária, volume de abastecimento e custo, é o caminho necessário para proceder a operação efetivamente.

Em termos de trabalhos futuros, um objetivo é prosseguir o tema com a pesquisa de doutoramento, aprofundando o desenvolvimento para a parte qualitativa e especificando os reais consumidores de água para reúso.

Além disso, projeta-se que a proposta seja aplicada na revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico, que está em desenvolvimento no segundo semestre de 2024, abrangendo os municípios da RH VI.

Registra-se que para otimizar o funcionamento do ciclo hidrológico nas Bacias Hidrográficas, faz-se necessário proceder à recuperação desses ambientes, através de medidas adequadas, como por exemplo a revegetação na cabeceira e margens dos corpos hídricos. Dessa forma, melhora a retenção de água no solo, possibilitando maior recarga hídrica dos aquíferos e tornando a bacia menos suscetível a eventos de estresse hídrico.

Outro ponto de relevante interesse para o desenvolvimento da técnica apresentada neste trabalho é que as ETEs realizem tratamento efetivamente terciário. Essa condição pode viabilizar que um maior quantitativo de consumidores possa ser de fato atingido por essa política de reaproveitamento de água para reúso.

Deve-se, entretanto, levar em consideração a heterogeneidade dos tipos de tratamento realizados nas ETEs, e disponíveis na literatura técnica brasileira. Ainda há de se destacar a necessidade de adequados processos de licenciamento e fiscalização para garantir a efetividade desse processo.

REFERÊNCIAS

ABD ELLAH, R. G.; SPARAVIGNA, A. C. Combining bathymetric measurements, RS, and GIS technologies for monitoring the inland water basins: A case study of Toshka Lakes, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 49, n. 1, p. 138, 2022.

ANDRADE, V. S.; ROSMAN, P. C. C.; AZEVEDO, J. P. S. Parte II: uso de modelagem computacional para análises tempos característicos e de qualidade da água na Baía de Guanabara. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu, PR: ABRH, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Ministério do Desenvolvimento. Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos 2019: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <http://snirh.ana.gov.br/>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: 12 out. 2021.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLIOUS, G. Water reuse: from ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6, 11 maio 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00026/full>. Acesso em: 12 out. 2021.

AQUAPOLO. c2022. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/>. Acesso em 12 out. 2021.

ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C.; OHNUMA JUNIOR, A. A. Aspectos econômicos para o reuso na agricultura na bacia do Rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3., 2018, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora, MG: UFJF, 2018. p. 206-215. Disponível em: <https://www.ufjf.br/srhps/trabalhos/anais/>. Acesso em: 12 out. 2021.

BILA, D. M.; SANTOS, A. S.; OHNUMA JR., A. A. Evaluation of Potential Routes for Wastewater Reuse Management in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. In: IWA International Conference on Water Reclamation and Water Reuse, 11., 2017. Anais [...]. Long Beach, CA: IWA, 2017.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984. *Diário Oficial União*, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. MIDR - Departamento de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas. Minuta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.gov.br/participamaisbrasil/resolucao-do-cnrh-reuso-nao-potavel> >. Acesso em: 19 de ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento 3 SNS. Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Brasília. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento 3 SNS. Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. Série Histórica. 2021. Disponível em: < <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#STEA> >. Acesso em: 12 de ago. 2023.

BRASIL. Resolução CNRH no 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Diário Oficial da União. Brasília, 2005.

BRK AMBIENTAL. Saneamento em pauta. O uso de fontes alternativas de água é estímulo para um consumo consciente. c2022. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/fontes-alternativas-de-agua/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CAMPOS, A. M. S., 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.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). Reuso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial. Brasília, DF: CNI, 2017. 44 p. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/50/2b/502b9ba-b-e4e9-458d-a19c-743ce08b021a/reuso_de_efluentes_1_1.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO (CILSJ), 2024.

FARIAS A. A. OBRACZKA M. SILVA JR L. C. S. DA OHNUMA A.A. JR DE OLIVEIRA K. e MURICY B. C. Avaliação Quantitativa do Potencial de Reuso Industrial a Partir dos Efluentes de Quatro Estações de Tratamento de Esgoto na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil Revista S&G, Volume 16, Número 2, pp. 196-213, 2021. DOI: 10.20985/1980-5160. 2021. v16n2.1727

FARIAS, A.A de, 2020. Análise do potencial de reuso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

FERNANDES, J.G; SANTOS, P.R. Uso racional dos recursos hídricos. O desenvolvimento rural sustentável e a agropecuária em Pernambuco. Recife. p. 65-83. 2022.

FORTE e FERRAZ. Como é o sistema para aproveitar água da chuva? UOL, 2010. Disponível em: <https://mulher.uol.com.br/casa-e-decoracao/colunas/fernando-forte-e-rodrigo-marcondes-ferraz/2010/08/13/como-e-o-sistema-para-aproveitar-agua-da-chuva.htm>
Acesso em 01/08/2024

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Diretrizes para o aumento da segurança hídrica da região metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2015. 5 p.
Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/diretrizes-para-o-aumento-da-seguranca-hidrica-da-regiao-metropolitana-do-rio-de-janeiro.htm>.
Acesso em: 12 out. 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Oportunidades e desafios para o reúso de água na indústria do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2019. 8 p. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/oportunidades-e-desafios-para-o-reuso-de-agua-na-industria-do-rio-de-janeiro.htm>. Acesso em: 12 out. 2021.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: Abes, 2006

GBCBrasil. Green Building Council Brasil. Certificação LEED. 2014. Disponível em <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>
Acesso em: 15 junho. 2024

HUANG, Z.; YUAN, X.; LIU, X. The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. Journal of Hydrology, v. 601, p. 126658, 1 out. 2021.

INEA - PROCON ÁGUA. Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (Procon Água)
Disponível em <https://www.inea.rj.gov.br/procon-agua/>
Acesso em: 18 junho. 2024

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA (Rio de Janeiro). Governo do Estado do Rio de Janeiro. Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos - PROCON Água: Relatórios de Acompanhamento de Efluentes Líquidos (RAEs). Rio de Janeiro, RJ: INEA, 2019-2021.

Instituto Trata Brasil. Falta de saneamento básico prejudica potencial de uso das águas subterrâneas do país; recurso indispensável à segurança hídrica das cidades. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/RELEASE_-_Estudo_-_A%CC%81guas_Subterra%CC%82neas_-_versa%CC%83o_FINAL.pdf
Acesso em: 10/08/2024

JONES, E.; QADIR, M.; VLIET, M. T. H.; SMAKHTIN, V; KANG, S. The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, p. 1343–1356, 2019.

JORDÃO E. P.; SANTOS, A. S. Normas e Padrões para Reúso de Águas Servidas, Curso ABES/RS sobre Reúso de Águas Servidas, Aula 02, Porto Alegre (RS), 2015.

LANA, LUIARA CASTRO de, 2023. Desenvolvimento de um protótipo de SIG para aplicação de água de reúso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

LANA, L. C. et. al. Desenvolvimento de um sistema de informações geográficas para aplicações ambientais e de saneamento: SIGAS 3 UERJ. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 10, n. 4, p. 260-278, out./dez. 2022.

LEMBO, T., & CAMARA, G. (2006). Georreferenciamento: Introdução e aplicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil

LIMA E. P. C., 2018. Water and Industries - Experiences and Challenges. *Infinita Imagem*. 119p Brasília, 2018.

LIMA, M. A. M. et al. Irrigação com água de reúso no Brasil: aplicação do modelo semi quantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [S. L.], v. 9, n. 2, p. 71–86, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/45534>. Acesso em: 11 out. 2021.

LOUZADA, I. S. B. . Aplicação da água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144316>. Acesso em: 16 nov. 2021.

MOREIRA, T. M.; BEZERRA, S. R. A. Dessalinização: um recurso para o enfrentamento da escassez hídrica. In: 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. ABES-RS. 19 a 21 de outubro de 2016, Porto Alegre.

MOREIRA, C. M.A., et al. APROXIMAÇÃO COM A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL E NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: breves referências históricas e tópicos de legislação entre 2018 e 2020. *Revista Interdisciplinar de Literatura e Ecocrítica*, v.1, n.12, p.24-37, Janeiro-Fevereiro, 2024
Disponível em: www.asle-brasil.com/journal

NOTA-TÉCNICA-ICMS-ECOLÓGICO-2023-SEAS-INEA ...

Disponível em:

<https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/NOTA-T%C3%89CNICA-ICMS-ECOL%C3%93GICO-2023-SEAS-INEA-REVISADA.pdf>

NUVOLARI A. Esgoto sanitário - Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola, selo: Blucher | 2011 - 2ª edição

OBRACZKA, M. et al. Estado da arte e perspectivas de reúso de efluente de tratamento secundário de esgotos sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: Congresso ABES FENASAN 2017. São Paulo. Anais... Rio de Janeiro, n. 1, p. 1315, 2017.

OBRACZKA, M. et al. Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reúso em áreas urbanas. In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019, Natal, RN. Anais Eletrônicos. Natal, RN: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2019.

Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/anaiseletronicos/trabalhos.php?evento=45&grupo=1>. Acesso em: 12 out. 2021.

OLIVEIRA, Fernando Freitas. Avaliação de filtros lentos de areia como pré-tratamento para o controle de biofouling em plantas de osmose reversa aplicadas na dessalinização de água do mar. 2012. Dissertação (Mestre em Biotecnologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ONS/CONSÓRCIO FAHMA- DZETA, “Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo nas Principais Bacias do Sistema Interligado Nacional”, 2005.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2014.

PIRES, A. P. F. (Coord). Relatório temático água: BPBES Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2020. p. 120. Relatório técnico.

PORTE EMPRESA JR. Captação de águas pluviais. 2016

Disponível em: <https://portejr.com.br/captacao-de-aguas-pluviais/>
Acesso em 15 de junho de 2024.

REBELO, A. et al. Water reuse in Portugal: new legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. Water Cycle, [S. L.], v. 1, p. 41-53, 2020. Elsevier BV.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445320300076>.
Acesso em: 12 out. 2021.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 3293339, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/750>.

Acesso em: 5
de maio de 2023.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria do Estado do Ambiente e Sustentabilidade. Panorama geral das oportunidades de reúso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos. Rio de Janeiro: SEAS: UERJ, 2022. 102 p.

SANTOS A. S. P., VIEIRA J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 8, n. 1, p. 50-68 – ISSN:2317-563X50, 2020.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Condições de aplicabilidade de efluentes tratados para uso urbano e agrícola – Parte 1: Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. Nota Técnica aprovada para publicação no Caderno de Notas Técnicas Desenvolvido pelo INCT ETEs Sustentáveis pela Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental (RESA) em novembro de 2021.

SANTOS, K. M. S.; OLIVEIRA, M. F. DE; ALBUQUERQUE, T. M. A. Reúso de água como alternativa de gestão de oferta. In: Encontro de Recursos Hídricos, 12., 2019, Sergipe. Água para Todos: Não Deixar Ninguém para Trás. Sergipe: ABRHIDRO, **Anais** [...], 2019. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4775>>. Acesso em: 5 de maio de 2023.

SANTOS, V. DOS S. S.; MARQUES, G. G. L.; SANTOS, F. P. DOS. A SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO DA COVID-19. *Revista Mundo Livre*, v. 7, p. 893109, 2021.

SILVA JUNIOR, L. C. S. DA; OBRACZKA, M. Reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto no Beneficiamento de Concreto. *MIX Sustentável*, v. 6, n. 4, p. 85–92, 2020.

SILVA JR., L. C. S., Panorama do Reúso 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, 2017.

SILVA JUNIOR, L. C. S. et al. Panorama do reúso de efluentes nas estações de tratamento de esgoto da região Sudeste. In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, RN, 2019. Anais Eletrônicos. Natal, RN: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2019.

Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/anaiseletronicos/trabalhos.php?evento=45&grupo=1>. Acesso em: 12 out. 2021.

SILVA, R. Poluição: lixo, esgoto e metais pesados ameaçam os rios do Brasil. [S. l.], 31 ago. 2021. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/poluicao-lixo-esgotoe-metais-pesados-ameacam-os-rios-do-brasil>. Acesso em: 18 out. 2022.

SOUSA, D. L.; ARAÚJO, R. B. A.; STUDART, T. M. de C. O exemplo de Israel: técnicas para o combate à seca no estado do Ceará. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, Curitiba, v. 11, n. 23, p. 72-88, 2022.

Universidade de São Paulo, Projeto Aflorar.

Disponível em: <https://sites.usp.br/atlassanca/bacias-hidrograficas/>

Acesso em 01/09/2024

WRI BRASIL, 2021. Ranking mostra onde há maior risco de faltar água no Brasil e no mundo. Disponível em: Acesso em: 20 de out. de 2021.

ZOBY, J.L.G. & MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.