



II-009 – GEOTECNOLOGIA APLICADA AO REÚSO DE ÁGUA

Luiara Castro de Lana⁽¹⁾

Engenheira de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente é Analista Sênior de Suporte e Operações da empresa Águas de Niterói.

Endereço⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier 524 sala 5029-F - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 – Brasil – (21) 971012734 - luiaralana@gmail.com

Nyelsen Fernandes de Oliveira⁽²⁾

Graduando em Engenharia Cartográfica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente é estagiário de geoprocessamento no Sistema de Gestão da Geoinformação - SiGeo, Prefeitura de Niterói.

Endereço⁽²⁾: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4032 B - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 - Brasil - Tel.: (21) 96597-9821 - e-mail: nyelsenfernandes2@gmail.com

Marcelo Obraczka⁽³⁾

Engenheiro civil e sanitarista pela FEN UERJ. Mestrado em ciências ambientais pelo PGCA da UFF. Doutorado em planejamento energético e Ambiental pelo PPE/COPPE/UFRJ. Atualmente é Professor Associado da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Endereço⁽³⁾: Rua São Francisco Xavier 524 sala 5029-F - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 – Brasil – (21) 971012734 - obraczka@eng.uerj.br

Sérgio Orlando Antoun Netto⁽⁴⁾

Engenheiro Cartógrafo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Engenharia de Computação, com ênfase em Geomática, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Doutor em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Atualmente é Professor Associado da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Endereço⁽⁴⁾: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4032 B - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 - Brasil - Tel.: (21) 979658710 - e-mail: sergio.antoun@eng.uerj.br

RESUMO

A poluição das principais fontes de água e a crescente escassez de recursos hídricos, exacerbadas pelos efeitos das mudanças climáticas, como evidenciado no incidente de 2014 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), tem um impacto profundo na disponibilidade de água, incentivando a busca por soluções alternativas para atender às necessidades essenciais da sociedade. Neste contexto, o reuso de água surge como uma alternativa viável para suprir as demandas presentes e futuras de diversas regiões, exigindo, no entanto, uma análise metódica das estratégias e soluções adequadas para cada cenário específico. Com o objetivo de facilitar essas análises estratégicas, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados a Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados possibilitam uma manipulação mais eficiente e ágil dos dados, proporcionando benefícios tanto para gestores quanto para pesquisadores. Baseado nesses princípios, este estudo busca desenvolver requisitos atrelados à modelagem de um SIG direcionado ao reuso de água proveniente de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) na RMRJ. Para isso, foram identificados os requisitos relacionados à vazão fornecida e demandada, bem como à distância entre o produtor e o usuário da água de reuso, a obtenção dos dados para a criação de um banco de dados inicial. Finalmente, foram utilizadas ferramentas de SIG. Os resultados obtidos revelaram regiões com alta demanda de água e sua interação com a vazão de efluente tratado das estações próximas. A aplicação de técnicas de roteamento destacou, entre outras potencialidades, a significativa capacidade da ETE Penha para atender à demanda industrial com água de reuso do seu entorno, alcançando aproximadamente 91% dentro de um raio de até 20 km.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de recursos hídricos, Vazão demandada, Potencial de reuso, Análise Espacial.



INTRODUÇÃO

A água é um recurso limitado e essencial para a vida. Dada a atual situação de escassez hídrica, agravada pelas mudanças climáticas, é crucial adotar medidas para planejar e melhor gerir o uso dos recursos hídricos, incluindo controlar o consumo de água. Entre essas medidas estão o uso de dispositivos economizadores em torneiras e chuveiros, o reaproveitamento da água da chuva, a reutilização de água e a conscientização sobre o uso racional da água. Tais ações contribuem para a preservação dos recursos hídricos e garantem sua disponibilidade para as gerações futuras (OBRACZKA et al., 2019).

A demanda por fontes hídricas está em constante crescimento, impulsionada por fatores físicos e socioeconômicos (HUANG; YUAN; LIU, 2021). A falta de água potável e de saneamento básico adequado afeta milhões de pessoas em todo o mundo, resultando em doenças e mortes. O uso de alternativas que controlam o consumo de água pode ajudar a minimizar esse problema, reduzindo a demanda por água potável e aliviando a pressão sobre os sistemas de abastecimento. Portanto, é essencial adotar práticas que controlem o consumo de água para preservar esse recurso vital e promover a saúde e o bem-estar da população (SANTOS et al., 2022).

A implementação de sistemas de reuso de água traz benefícios à saúde pública e ao meio ambiente, prevenindo o despejo de efluentes em corpos d'água, contribuindo para o melhor gerenciamento das bacias hidrográficas, evitando a intrusão de água salgada e a subsidência de terrenos devido ao uso excessivo de aquíferos. Além disso, promove a conservação do solo, aumenta a resistência à erosão, melhora a produção de alimentos e, conseqüentemente, eleva os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais da população (BRAGA et al., 2005; SANTOS; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2019).

No Brasil, o reuso de água é uma alternativa ainda pouco explorada, mesmo diante de crescentes situações de escassez hídrica. Em contraste, países como Namíbia, Estados Unidos, Cingapura e Israel já têm essa prática consolidada, inclusive para fins potáveis (OBRACZKA, 2017; LIMA et al., 2018). Isso se deve, em parte, à falta de uma cultura de reuso e de legislação específica para o reuso de água no Brasil, que dificulta a promoção e implementação de projetos em nível nacional e local (PEREIRA et al., 2020).

Alguns estados brasileiros têm demonstrado interesse em reaproveitar a água de lavagem dos filtros das Estações de Tratamento de Água (ETA), redirecionando-a para o próprio processo de tratamento. Diferente da água de reuso proveniente do tratamento de esgoto, que requer infraestrutura adicional para ser levada até o consumidor, esse processo ainda demanda investimentos significativos em obras e recursos financeiros (OBRACZKA, 2017). O reuso de água é tecnicamente e economicamente viável, podendo ser integrado a atividades que utilizam dados espaciais estratégicos para sua implementação.

Os conflitos pela água em torno da Bacia Paraíba do Sul vêm se tornando persistentes e afetam diretamente o Estado do Rio de Janeiro, um dos mais populosos e economicamente pujantes do país. A escassez hídrica e a carências de uma gestão mais sustentável e integrada dos recursos hídricos dessa bacia estratégica representam riscos significativos para a Região Metropolitana do RJ, que dela depende quase que integralmente para seu abastecimento. Além do estado de degradação e deterioração da maior parte dos mananciais disponíveis e da saturação do sistema Guandu, a demanda de água vem crescendo como comprovado pelos dados de consumo per capita em 2021, bem superior à média nacional, segundo dados do SNIS (BRASIL, 2022). A crise hídrica vivenciada entre 2014 e 2015 evidenciou ainda mais a situação, demonstrando a urgência de medidas para assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (BRITTO, FORMIGA-JOHNSSON, CARNEIRO, 2016; FORMIGA-JOHNSSON E BRITTO 2020).

A utilização de tecnologias espaciais para coleta e tratamento de informações, conhecida como geoprocessamento, possui grande potencialidade devido à sua diversidade de aplicações. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são responsáveis por realizar funções de geoprocessamento, permitindo a captura, armazenamento, análise, manipulação, visualização e apresentação de dados geográficos (CÂMARA, 2002; REGHINI; CAVICHOLI, 2020). Esses sistemas facilitam a criação de mapas digitais e a análise de dados espaciais, ajudando a entender melhor as relações entre diferentes locais e características geográficas. Nos últimos anos, em função de várias demandas acadêmicas e técnicas, um grupo de pesquisa composto por



docentes e pesquisadores da FEN/UERJ vem se debruçando sobre aplicações ambientais e sanitárias de SIG, tendo adotado como ponto de partida o emprego de SIG para análise e planejamento de ações prioritárias de reuso de efluentes de ETE's como estratégia de aumento da segurança hídrica no ERJ.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver e apresentar as análises de um SIG aplicado à água de reuso proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) localizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Os objetivos específicos incluem: a) avaliar os dados de vazão das ETEs e das empresas na RMRJ, considerando as suas localizações geoespaciais; b) implementar os requisitos do SIG projetado em um ambiente real, incorporando os dados de ETEs e potenciais consumidores de água de reuso para emprego industrial da região; e c) avaliar o impacto da implementação do SIG no contexto do reuso de água e de uma gestão mais sustentável de recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo utilizou a RMRJ, localizada no Estado do RJ, região Sudeste do Brasil, como área para o projeto piloto, conforme mostrado na Figura 1. Instituída em 1974 e modificada pela última vez em 2018, a região atualmente compreende 22 municípios, incluindo Rio de Janeiro, Niterói e Duque de Caxias, e abriga cerca de 75% da população do estado (IBGE, 2022).

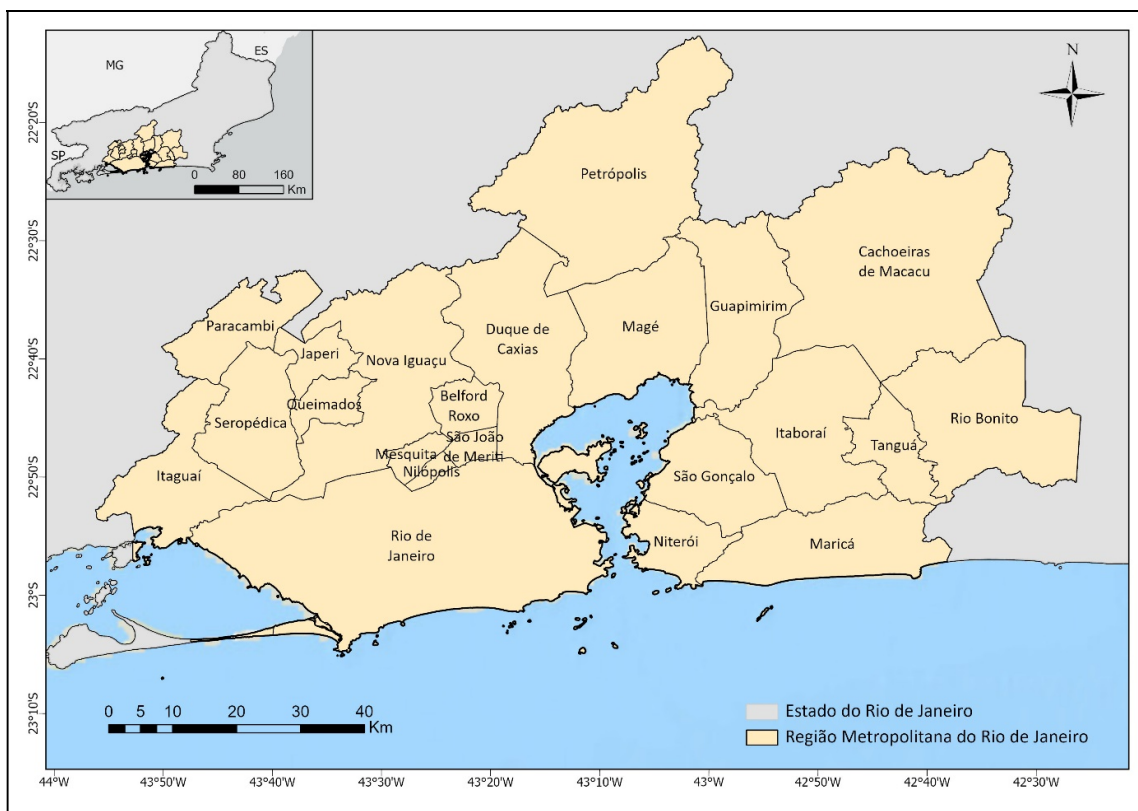


Figura 1: Mapa Localização da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Fonte: LANA, 2023.

Base Cartográfica: IBGE, 2020.

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000.

Para desenvolver um Sistema de Informações Geográficas (SIG), é essencial levantar requisitos que o sistema deve atender, considerando deficiências de sistemas existentes e necessidades futuras. Para a distribuição de água de reuso, o SIG utilizará análises de qualidade e quantidade do efluente, bem como as distâncias entre potenciais fornecedores e consumidores (LANA, 2023).



A modelagem conceitual para o desenvolvimento de um SIG de água de reuso envolveu ajustar os requisitos levantados para um modelo conceitual, que foi implementado e possivelmente modificado conforme as necessidades do sistema. A modelagem de dados foi realizada usando um Diagrama Entidade Relacionamento (DER), criando entidades, atributos, relacionamentos e cardinalidade.

O modelo relacional para a modelagem de dados foi desenvolvido usando o programa *ERD Plus*. Inicialmente, todo o diagrama de dados foi gerado e, em seguida, suas partes foram individualizadas para demonstrar de maneira mais simples e organizada como elas se relacionam.

A modelagem de processos utilizou um diagrama de contexto e um Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), elucidando as entidades que interagem com o SIG, o que foi inserido no sistema e o que retornará aos interessados, tais como informações de fornecedores e consumidores. O diagrama de contexto foi desenvolvido para as principais entidades interessadas no consumo, distribuição e fiscalização da água de reuso, destacando sua importância na gestão de recursos hídricos.

O uso de bancos de dados é essencial para simplificar a manipulação de dados. Em sua pesquisa, Faria et al. (2021) criaram um inventário detalhado de água de reuso, identificando tanto os consumidores quanto os fornecedores em potencial. No entanto, essas informações são estáticas, não permitindo atualizações contínuas. Integrar um banco de dados com um SIG oferece aos usuários a capacidade de acessar os dados de forma ágil e acessível, facilitando o desenvolvimento de aplicações. A infraestrutura implementada alocou os dados em um banco de dados geográfico, garantindo maior flexibilidade e segurança.

Para este trabalho o *PostgreSQL* foi selecionado como o sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), principalmente devido à sua capacidade de adaptação aos requisitos de hardware comuns nos computadores modernos. De código aberto e objeto-relacional, este sistema não apenas amplia as funcionalidades da linguagem SQL, mas também oferece uma série de recursos robustos para lidar com cargas de trabalho de dados complexas (VILORIA et al., 2019).

Segundo Guarda et al. (2020), o *PostgreSQL* facilita o relacionamento entre dados tabulares e espaciais. Sua flexibilidade é fundamental, especialmente para aplicações que envolvem dados geográficos, onde foi instalada a extensão *PostGIS*. O *PostGIS* é uma ferramenta de código aberto que transforma o PostgreSQL em uma plataforma completa para gerenciar informações geográficas e espaciais, permitindo armazenar, consultar e analisar dados geoespaciais com eficiência (GUARDA et al., 2020). Em relação à administração do banco de dados, a escolha recaiu sobre o *pgAdmin4*, uma ferramenta de código aberto amplamente reconhecida por sua interface gráfica intuitiva e funcionalidades avançadas.

Para o levantamento de dados de demanda potencial, o estudo analisou o consumo de água em indústrias, baseando-se no relatório “Água na Indústria: uso e coeficientes técnicos” da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2017). Utilizou-se o número de funcionários e o setor de atividades para estimar o consumo total, considerando apenas empreendimentos com mais de 20 funcionários na RMRJ. Os dados foram extraídos do cadastro industrial da FIRJAN (2015/2016) e convertidos de PDF para Excel usando *Python*, sendo posteriormente complementados com informações de latitude e longitude. Ao todo, 1365 empresas foram analisadas.

O estudo também obteve dados de vazões de uso de recursos hídricos outorgadas para fins industriais, fornecidos pela SEAS, totalizando 347 outorgas válidas para análise de reuso. Estes dados foram também utilizados para a elaboração do livro “*Panorama geral das oportunidades de reuso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos*” (RIO DE JANEIRO, 2022) bem como para subsidiar vários trabalhos técnicos e de conclusão de curso (TCC) e dissertações de mestrado.

Assim como os dados de outorga das indústrias, as vazões das ETEs também foram fornecidas pela SEAS. As fontes para obtenção desses dados incluem o Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos do Inea (2019-2021), ICMS Ecológico (2020), Atlas Esgotos da ANA (2017), planos municipais de saneamento básico (2000-2021) e dados de empresas/concessionárias (2000-2021).

O sistema desenvolvido para localização de consumidores e fornecedores potenciais de águas de reuso utiliza dados de latitude e longitude para calcular a menor distância em vias públicas. Para isso, foram inseridos esses



dados no banco e utilizada a extensão *PostGIS*, juntamente com o *pgRouting* e a função *pgr_dijkstra*, utilizando SQL para desenvolver a funcionalidade.

A análise da demanda de água de reuso usou dados fornecidos pela FIRJAN e SEAS, com um indicador de expressividade medido pela vazão industrial demandada. Este indicador permite a criação de mapas de expressividade global e local, variando conforme os parâmetros utilizados. A expressividade global avalia a vazão total de todas as indústrias na RMRJ, enquanto a expressividade local considera a vazão necessária por indústrias dentro do alcance de uma ETE, destacando áreas de maior demanda relativa (RIO DE JANEIRO, 2022).

Para a aplicação desses indicadores, foi utilizada a análise de densidade de Kernel, uma ferramenta probabilística que transforma a distribuição de pontos em uma superfície de densidade, facilitando a identificação de concentrações e distribuições espaciais. A configuração incluiu um tamanho de *pixel* de 50 e um raio de 10 km, com interpolação quártica e o peso dos dados de vazão.

Nos mapas resultantes, uma escala de cores do azul claro ao escuro representa a intensidade da demanda industrial, enquanto empresas com demanda muito alta são pontuadas para evitar interferência como *outliers*. Assim, foi possível identificar e localizar áreas industriais com maior demanda potencial para reuso de água, dentro dos raios de cobertura a partir das ETES. Para esses raios foram adotados os valores de 5, 10 e 20 km, segundo metodologia também adotada pelos trabalhos de Lana (2023) e SEAS (2022). No presente trabalho, porém, os mapas apresentados tem como parâmetro intermediário de 10km.

Os requisitos identificados destacaram a importância das análises espaciais para a implementação e utilização eficaz da água de reuso. Em resposta, foi desenvolvido o requisito que consiste na capacidade do sistema de consultar potenciais consumidores de água de reuso sem outorga de água, priorizando os mais viáveis em termos de distância e demanda, seja por caminhão pipa ou adutora. Para alcançar esse objetivo, foram empregados os dados do Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro, referentes aos anos de 2015 e 2016, para a cidade do Rio de Janeiro. Utilizando a metodologia da ANA para determinar a vazão requerida, foram selecionadas as 10 empresas com maiores demandas. Com o intuito de assegurar uma diversidade representativa e relevante de potenciais clientes, foram escolhidas exclusivamente indústrias com pelo menos 20 funcionários, em seguida foram selecionadas as 10 empresas com as maiores demandas.

Primeiramente foi analisada a situação tomando como base o estudo de caso da ETE Penha, considerada pelo estudo de Faria (2021) e Rio de Janeiro (2022), como prioritária para implementação do reuso. Pois, possui localização estratégica e a presença de um sistema de tratamento de água de reuso (RIO DE JANEIRO, 2022). Posteriormente foi analisada a situação de todas as ETES envolvidas no estudo de maneira sinérgica através da elaboração de um mapa de calor.

RESULTADOS

A distribuição geográfica das indústrias avaliadas é apresentada na Figura 2. Os produtos foram gerados separadamente para cada fonte, permitindo comparar dados de outorga com a estimativa de consumo total baseada na atividade industrial e número de funcionários.

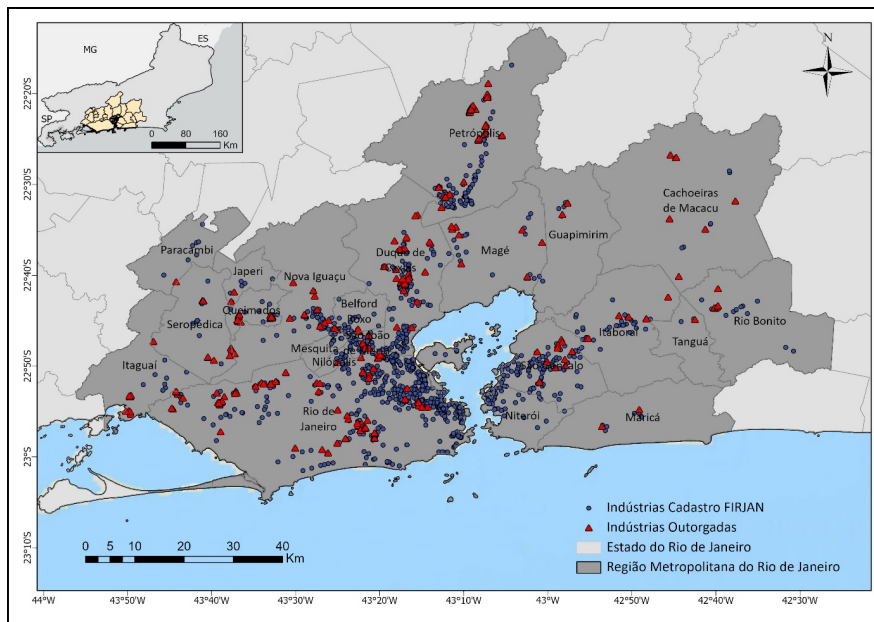


Figura 2 - Indústrias da RMRJ. Fonte: LANA, 2023. Base Cartográfica: IBGE, 2020. Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000.

A Figura 3 ilustra a distribuição das ETEs na RMRJ, a partir dos dados fornecidos pelas fontes consultadas. A simbologia utilizada considerou a capacidade das estações, classificando-as como pequeno, médio e grande porte de acordo com a vazão em l/s

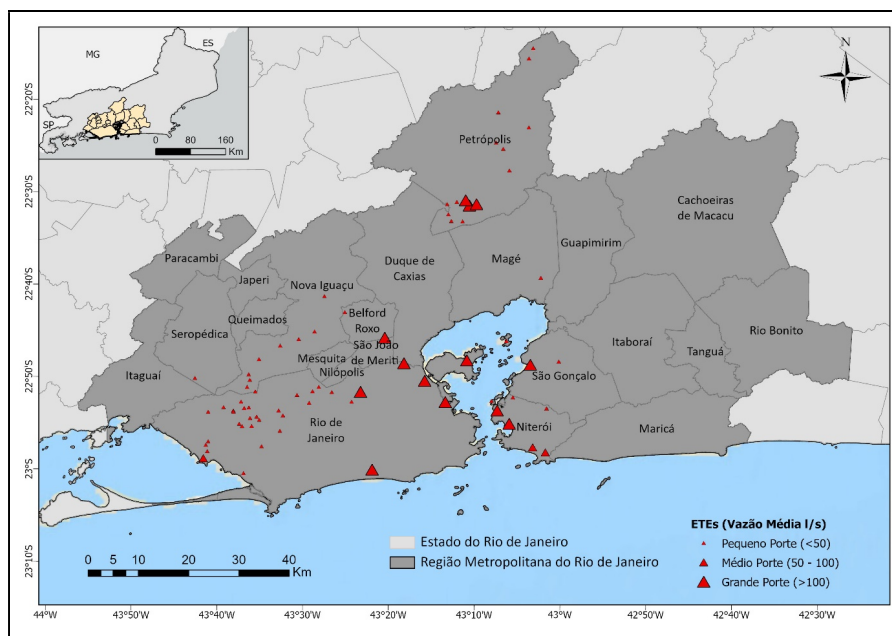


Figura 3 - Localização das ETEs na RMRJ. Fonte: LANA, 2023. Base Cartográfica: IBGE, 2020. Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000.

Análise de vazão metodologia ANA - ETE Penha

A maior demanda identificada está no Centro do Rio de Janeiro, aproximadamente a 15,66 km da ETE da Penha, e é três vezes superior à capacidade de tratamento da estação, que é de 288,3 l/s. A capacidade operacional de tratamento da ETE da Penha atende às sete menores demandas das dez empresas analisadas, enquanto sua capacidade nominal atende a oito dessas empresas. Os valores podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1: Demanda e fornecimento de água de reuso (dados FIRJAN)

Estação de Tratamento de Esgoto	Vazão (l/s)		Demanda (l/s)	
	Operacional	Nominal	7 Empresas	8 Empresas
ETE Penha	288,3	600,0	220,1	299,1

Fonte: LANA, 2023.

A menor distância entre a ETE Penha e um consumidor está em Vigário Geral, onde a demanda é de 11,81 l/s, uma quantidade que a estação poderia atender com facilidade. Por outro lado, a maior distância é de 50,15 km até Santa Cruz, o que, apesar de ser considerável, não inviabilizaria a utilização da água de reuso, já que, de acordo com Araújo et al. (2017), no Estado do Rio de Janeiro, distâncias de até 110 km ainda são economicamente viáveis. Para essa situação, a vazão nominal da ETE seria suficiente para atender à demanda. Os detalhes desses dados em comparação com a capacidade de fornecimento da estação estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Levantamento das 10 empresas com maior vazão no município do Rio de Janeiro

<u>Bairro</u>	<u>Q (l/s)</u>	<u>km</u>	<u>Operacional (l/s)</u> <u>ETE PENHA</u>	<u>Nominal (l/s)</u> <u>ETE PENHA</u>
Centro	975,53	15,66		
Santa Cruz	567,13	50,15		
Bancários	78,99	14,92		
Maracanã	69,68	11,98		
Caju	67,71	10,02	288,3	600,0
Realengo	28,40	21,24		
São Cristóvão	17,83	10,73		
Manguinhos	13,41	7,76		
Vigário Geral	11,81	5,94		
Caju	11,25	11,30		
Vazão total	1841,74			

Fonte: LANA, 2023.

Na Figura 4, ilustra-se a melhor rota entre o fornecedor (ETE Penha) e os consumidores ora considerados. É relevante observar que consumidores como o de Santa Cruz podem também ter acesso a outras estações que



poderiam fornecer água de reuso de forma mais próxima, como a ETE Sepetiba, que possui uma vazão média de 82 l/s e está localizada a uma distância de cerca de 6 km.

Isso poderia atender parte das necessidades de água de reuso e reduzir a demanda por água potável. Além disso, nas proximidades existem ETES de menor porte que também poderiam contribuir com mais recursos.

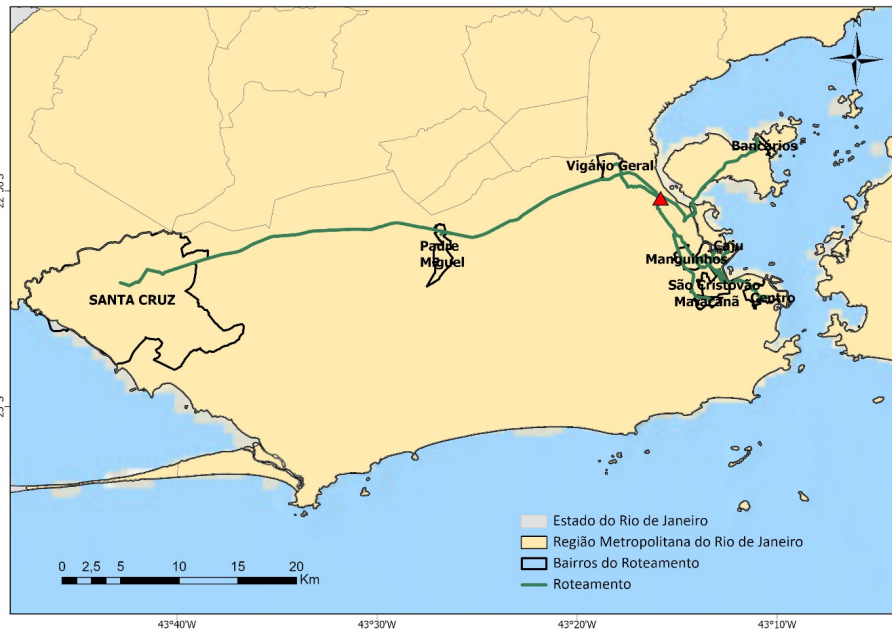


Figura 4 - Rota definida entre a ETE Penha e os dez maiores consumidores do município do Rio de Janeiro. Autora: LANA, 2023. Fonte: Autora, 2023. Base Cartográfica: IBGE, 2020. Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000.

Análise de vazão metodologia ANA - ETE Penha

A presença de um banco de dados geográficos oferece aos usuários uma maior capacidade de manipulação dos dados por meio de um software SIG (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020). Isso possibilita a aplicação do conceito de expressividade por ETE, como exemplificado pela ETE Penha, que além de apresentar dados de qualidade representativos, tem um potencial significativo de atendimento em sua área circundante, dada a demanda expressiva identificada na região do seu entorno.

A Figura 5 ilustra a demanda nas proximidades da ETE Penha em um raio de 10 km para consumidores outorgados, abrangendo municípios como São João de Meriti e Nilópolis, e se estendendo até Duque de Caxias, conhecido por seu importante polo industrial.

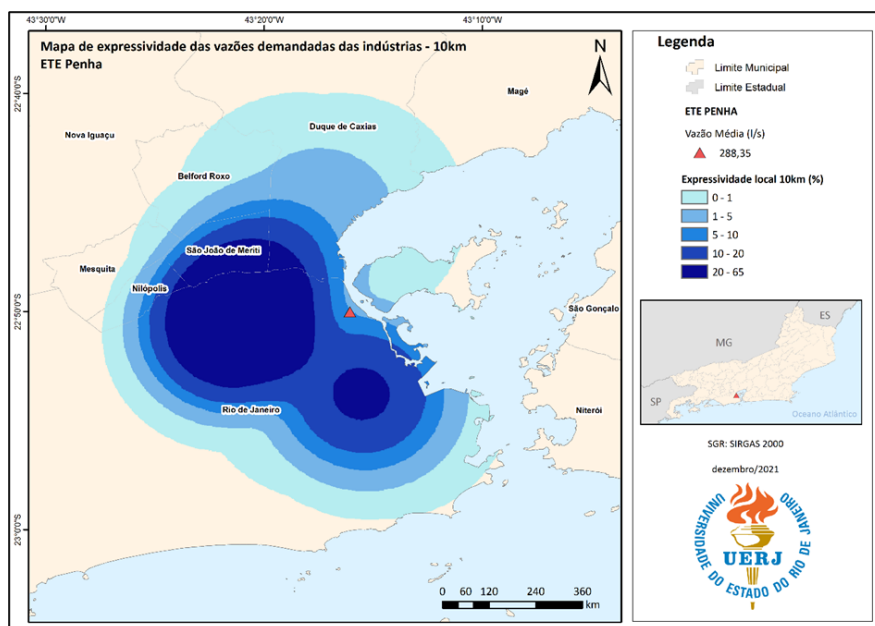


Figura 5 - Expressividade da demanda de vazão de indústrias com outorga para ETE Penha – 10km. Fonte: RIO DE JANEIRO, 2022.

Para enriquecer a análise da potencialidade de emprego de água de reuso de uma determinada ETE, é possível considerar raios de abrangência mais restritivos ou menos restritivos. O gráfico da Figura 6 ilustra essa relação, apresentando os dados de vazão média e nominal da ETE Penha em comparação com os dados de vazão requerida em raios de 5, 10 e 20 km. É importante ressaltar que um SIG para água de reuso oferece diversos tipos de relatórios, abrangendo dados analíticos e geográficos, e possibilita diferentes formas de visualização em formatos variados (LANA, 2023).

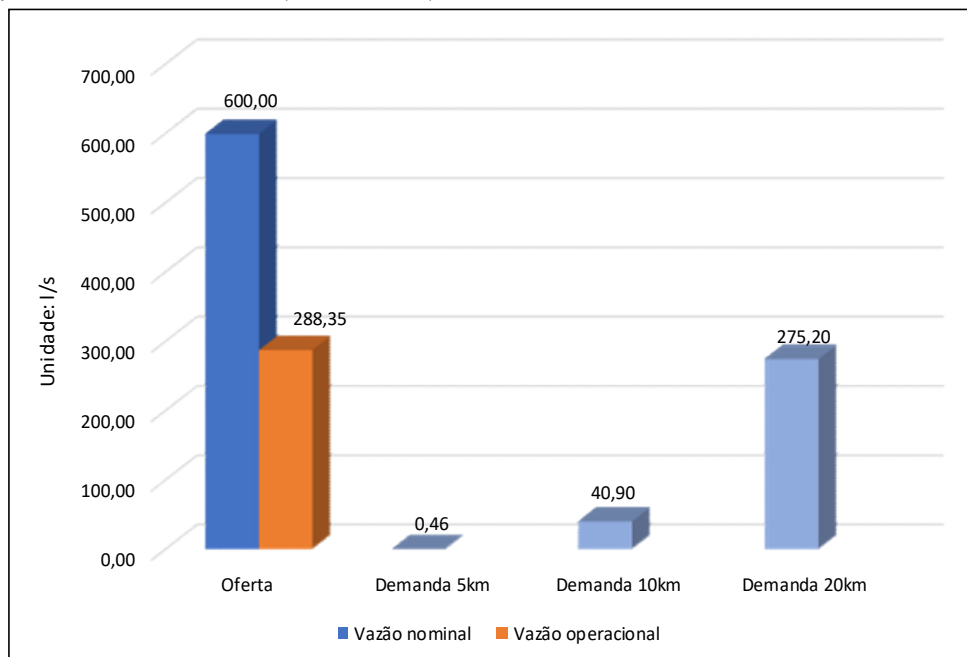


Figura 6 - Gráfico das vazões demandadas e ofertadas pela ETE Penha. Fonte: LANA, 2023.



A partir dos dados acima pode-se depreender que a vazão operacional atenderia com sobras as demandas até 10km e quase toda a demanda potencial de água de reuso a 20 km, enquanto que a vazão nominal da ETE é quase o dobro da necessária para atendimento de todo o conjunto de demandas potenciais analisados.

Análise de vazão metodologia ANA – Demais ETEs

Dando continuidade nas análises a Figura 7 exibe o mapa de calor contendo todas as vazões identificadas nesse estudo. Contudo, é possível perceber que embora o município de Duque de Caxias não tenha ETEs em seu território, o mesmo está próximo de outros municípios cujas ETEs poderiam fornecer água de reuso, como Rio de Janeiro e Petrópolis. É o mesmo caso de Itaguaí, que poderia obter água de reuso de algumas estações próximas, localizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro.

Em contrapartida, região central do Rio de Janeiro tem alta demanda por água de reuso, mas conta com ETEs como Alegria, Penha e Pavuna, com grande capacidade de tratamento que poderiam atender a boa parte dessa demanda potencial.

No município de Petrópolis, as empresas interessadas por água de reuso para fins industriais poderiam ter acesso a três estações de tratamento com diferentes vazões. A demanda das empresas é cerca de 72% da vazão da menor estação, a ETE Piabanha, e o município tem condições ideais para fornecer água de reuso.

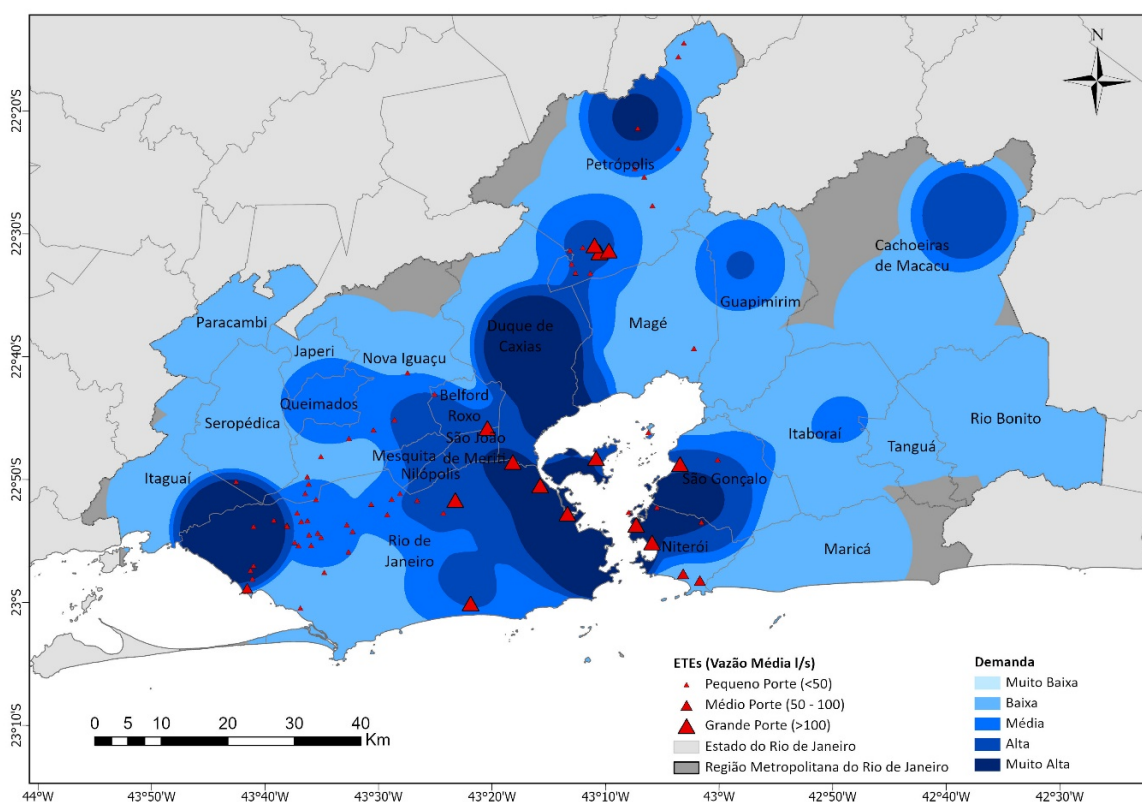


Figura 7 - Expressividade das demandas hídricas - 10 km (dados FIRJAN). Fonte: Autora, 2023. Base Cartográfica: IBGE, 2020. Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000.

Na Tabela 2 é apresentada a relação entre as empresas e as vazões calculadas com os dados disponíveis pela FIRJAN. Cabe destacar que apesar de ser composta apenas por 35 de todas as 1365 empresas, as vazões acima de 10 l/s são responsáveis por cerca de 78% da vazão total.

Tabela 2 - Análise de vazões de demanda (dados FIRJAN)

Vazão (l/s)	Quantidade de Empresas	Somatório das vazões de demanda	% da demanda
< 1	1152	269,43	7,5
1 – 10	178	521,77	14,5
> 10	35	2799,49	78
Somatório	1365	3590,69	100

Análise de vazão – Dados Parceria SEAS/UERJ

A Figura 8 revela os agrupamentos presentes na região, sendo uma informação crucial para orientar investimentos, formular políticas públicas, estabelecer parcerias intermunicipais e outras iniciativas relevantes.

Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Rio de Janeiro mostram alta demanda de vazão outorgada, com potencial para parcerias intermunicipais na comercialização de água de reuso, especialmente considerando que apenas Belford Roxo e Rio de Janeiro possuem estações de tratamento. A região oeste do Rio de Janeiro destaca-se no mapa, sugerindo áreas de investimento relevantes, como a proximidade da ETE Barra. São Gonçalo também é notável, com duas ETES e proximidade com Niterói. No entanto, municípios como Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Rio Bonito carecem de ETES, mas podem ser alvo de futuras considerações para venda de efluente tratado. A identificação de áreas com alta demanda de água para fins não potáveis é crucial para implementação de adutoras para água de reuso, enquanto parcerias municipais e abordagens conjuntas entre concessionárias podem otimizar a gestão de recursos. Em Petrópolis, apesar da alta demanda, há fornecedores capazes de atendimento, como indicam estudos para as estações do Estado do Rio de Janeiro, demonstrando condições favoráveis para empresas com outorga (RIO DE JANEIRO, 2022).

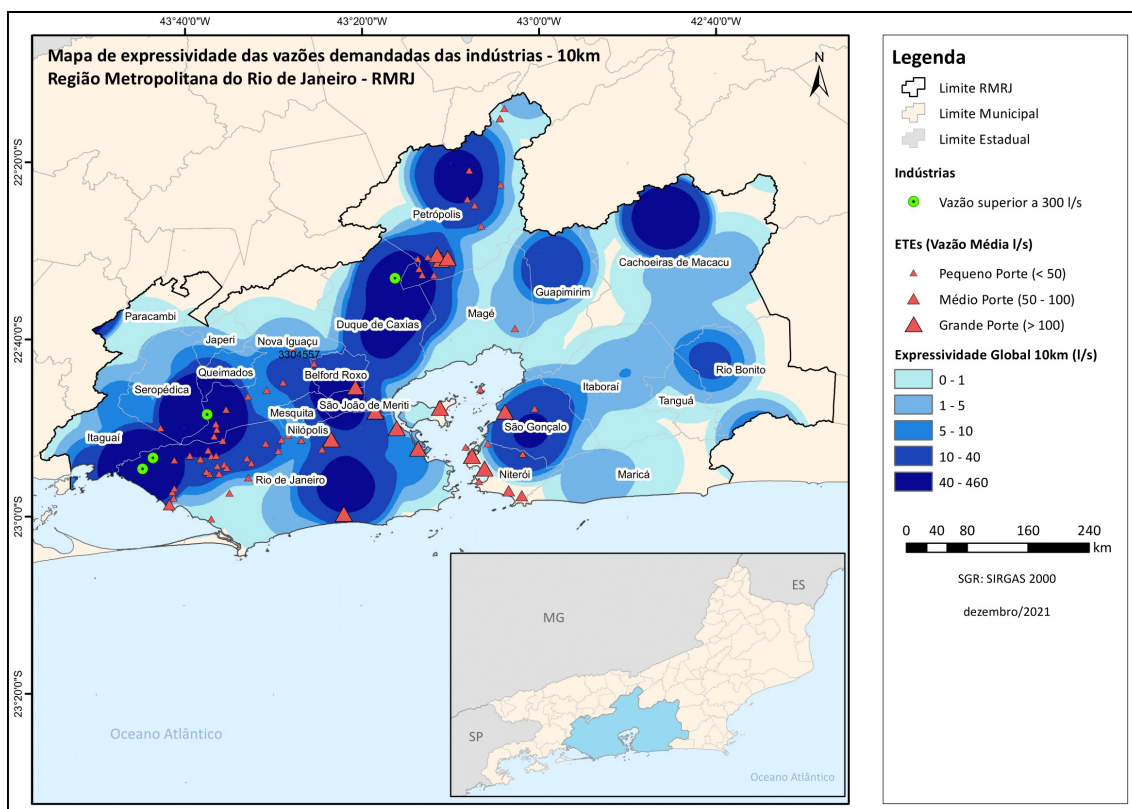


Figura 8 - Expressividade de demanda de vazões outorgadas das indústrias na RMRJ



CONCLUSÕES

A definição e o desenvolvimento de requisitos de um SIG aplicado ao reuso de água a partir de Estações de Tratamento de Efluentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) demonstra a importância fundamental desse processo para garantir o cumprimento eficaz dos requisitos da geotecnologia adotada. Ao levantar e discriminar os envolvidos e definir as informações necessárias de forma criteriosa, embasada em fontes seguras, a metodologia se apresenta como uma base sólida sobre a qual sistemas bem-sucedidos podem ser construídos, proporcionando uma abordagem estruturada e eficiente para a gestão do reuso de água em ETEs.

A análise dos dados de vazões potenciais de oferta e demanda respectivamente de ETEs e de diversas empresas na RMRJ demonstrou em uma análise preliminar a viabilidade do reuso de água em diversas regiões do Estado, do ponto de vista quantitativo. Também pode ser identificado ainda áreas com expressiva demanda potencial por água de reuso porém em municípios carentes de ETEs, e dessa forma evidenciando a importância de se considerar esse aspecto na definição quanto a implementação dessas estruturas em locais estratégicos.

Esta pesquisa valida não apenas a importância do reuso de água, mas também aponta para a oportunidade de direcionar esforços e investimentos para áreas com maior necessidade de fornecimento sustentável de água para empreendimentos, contribuindo assim para a gestão eficiente dos recursos hídricos na região.

A gestão eficiente do reuso de água é um componente crucial da estratégia para enfrentar os desafios hídricos atuais, e a integração de bancos de dados geográficos em ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG) oferece uma ferramenta relevante para maximizar a eficácia dessa gestão, permitindo maior liberdade de análise e uma interface aprimorada entre informações críticas.

A implementação do SIG no reuso de águas revela-se como uma importante ferramenta para a eficiência na gestão pública e o avanço da pesquisa nesse campo, direcionando de maneira mais precisa os esforços do poder público e promovendo uma abordagem mais estratégica e sustentável na alocação de recursos. A integração do SIG no contexto do reuso não apenas pode contribuir no planejamento e enfrentamento dos grandes desafios atuais de gestão hídrica, mas também sinaliza um caminho promissor para outras demandas da sociedade, como gestão de resíduos sólidos e de desastres naturais, de forma a auxiliar na construção de comunidades mais resilientes e conscientes no uso dos recursos naturais.

AGREDECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos da SEAS que contribuíram para elaboração do livro *Panorama geral das oportunidades de reuso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos* e consequentemente para elaboração desse trabalho.

Também a FAPERJ pelo fomento ao projeto REGEN: águas regeneradas para reuso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro como alternativa de abastecimento em caso de escassez e crise hídrica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: PEARSON PRENTICE HALL, 2005.

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.

BRITTO, A. L.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; CARNEIRO, P. R. F. Abastecimento público e escassez hidrossocial na metrópole do Rio de Janeiro. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 41, p. 185-208, jan./mar 2016



CÂMARA, Gilberto; ORTIZ, Manoel Jimenez. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. Divisão de Processamento de Imagens 3 DPI. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**, 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/analise.pdf>>. Acesso em 3 de novembro de 2021.

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; BRITTO, A. L. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. **Revista ambiente e sociedade**, São Paulo, v. 23, p. 1323, 2020.

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.

LANA, Luiara Castro de. *Desenvolvimento de um protótipo de SIG para aplicação de água de reuso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. 2023. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) 3 Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

LIMA, J. P.; LOBATO, K. C. D.; LEAL, F. Aplicação Do Idef-Sim Na Modelagem Conceitual De Processos De Seleção De Resíduos Sólidos Urbanos. In: XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2011. São Paulo. **Anais...** São Paulo, p. 290432913, 2011.

PEREIRA, V. R. et al. Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 11, n. 3, p. 1063121, 2020.

OBRACZKA, M. et al. Estado da arte e perspectivas de reuso 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. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 3, p. 2913309, 8 out. 2019a.

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 reuso 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, K. M. S.; OLIVEIRA, M. F. DE; ALBUQUERQUE, T. M. A. Reuso 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, 2019. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4775>>. Acesso em: 5 de maio de 2023.



SANTOS, A. S. P. et al. Progress on legal and practical aspects on water reuse with emphasis
88 on drinking water an overview. **Water Supply**, v. 22, n. 3, p. 300033014, 2022.