

Geotecnologia aplicada ao reuso de efluentes na região hidrográfica Lagos São João (RH VI) – Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

A água é um recurso vital, escasso em muitas regiões, o que justifica a busca por alternativas de gestão mais moderna e sustentável dos recursos hídricos, com práticas que aumentem a segurança hídrica e a racionalização do seu uso, entre elas o reuso dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Tendo em vista o crescimento exponencial da demanda por água aliado à baixa disponibilidade de mananciais viáveis, a Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI) é uma das que apresentam maior estresse hídrico no Estado do Rio de Janeiro. Este trabalho objetiva contribuir para o aumento da segurança hídrica na RH VI, avaliando o potencial de reuso de efluentes gerados em ETEs como alternativa para atendimento de demandas não potáveis, com base em uma metodologia aplicada à ETE Praia do Siqueira, a maior da região, no atendimento de demandas referentes a outorgas de captação de água na região estudada. Os resultados demonstram a potencialidade do atendimento de demandas para raios de 10 km, 20 km e 50 km a partir desta ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Escassez Hídrica. Efluente Líquido. Análises espaciais. Água para reuso. Poluição. Impacto Ambiental.

Bernardo Corty dos Santos

bernardocorty@gmail.com
orcid.org/0009-0006-7387-9257
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil.

Loreine Ribeiro da Silva

loreineribeiro@hotmail.com
orcid.org/0009-0002-6026-9223
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Julia Célia Mercedes Strauch

juliastrauch@id.uff.br
orcid.org/0000-0002-9225-0511
Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Sérgio Orlando Antoun Netto

sergio.antoun@eng.uerj.br
orcid.org/0000-0002-0490-3106
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Marcelo Obraczka

obraczka.uerj@gmail.com
orcid.org/0000-0002-7322-9223
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

INTRODUÇÃO

A água é um direito humano, reconhecido pela Assembleia Geral da ONU, em 2010. O acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito humano essencial reconhecido pela ONU como “condição para o gozo pleno da vida e dos demais direitos humanos” (Resolução 64/A/RES/64/292, de 28.07.2010), uma vez que garante o bem-estar da população associado à manutenção das demais formas de vida. Todavia, também é considerada como um bem econômico, com propósito de garantir a produção de bens e commodities na produção agrícola, industrial, mineral e energética (CARMO et al, 2007)

Além de fatores como as mudanças climáticas, a poluição de rios e lagos, o desmatamento, a urbanização, a construção de barragens, o aumento populacional e o crescimento econômico desordenado, os diferentes e múltiplos aspectos de apropriação e uso da água, afetam a segurança hídrica em termos de quantidade e qualidade de água suficientes para satisfazer as necessidades humanas, as atividades econômicas e a conservação de ecossistemas aquáticos (<https://pnsh.ana.gov.br/seguranca>). Desta forma, há uma pressão excessiva sobre os mananciais e sistemas de abastecimento hídrico (INEA, 2018).

Em diversos países, as águas regeneradas são utilizadas há décadas, desempenhando importante função socioambiental e econômica (BILA *et al.*, 2017). Incentivados pela crise e escassez hídrica, esses países apresentam casos consolidados de reutilização de águas servidas, inclusive para fins potáveis, possuindo assim papel estratégico nas suas matrizes de abastecimento e no aumento da segurança hídrica (CAMPOS, 2018). Por exemplo, em Israel, 80% da água destinada à agricultura provém de sistemas de reuso (JORDÃO E SANTOS, 2015)

No Brasil, o reuso ainda 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 e crescentes problemas relacionados à indisponibilidade hídrica e/ou à incapacidade dos sistemas convencionais em atenderem a crescente demanda (OBRACZKA *et al.*, 2017). Além de reduzir a pressão sobre as reservas de água, o reuso pode contribuir para a melhoria da qualidade dos corpos hídricos (SILVA JR., 2017).

Cabe destacar que a irrigação equivale a 2/3 da demanda por água no Brasil, havendo regiões onde as necessidades já superam as disponibilidades hídricas (IPEA, 2022). Uma solução para superar tais déficits seria utilizar, na agricultura, águas que receberam esgoto sanitário, tratado ou diluído (NUVOLARI, 2011).

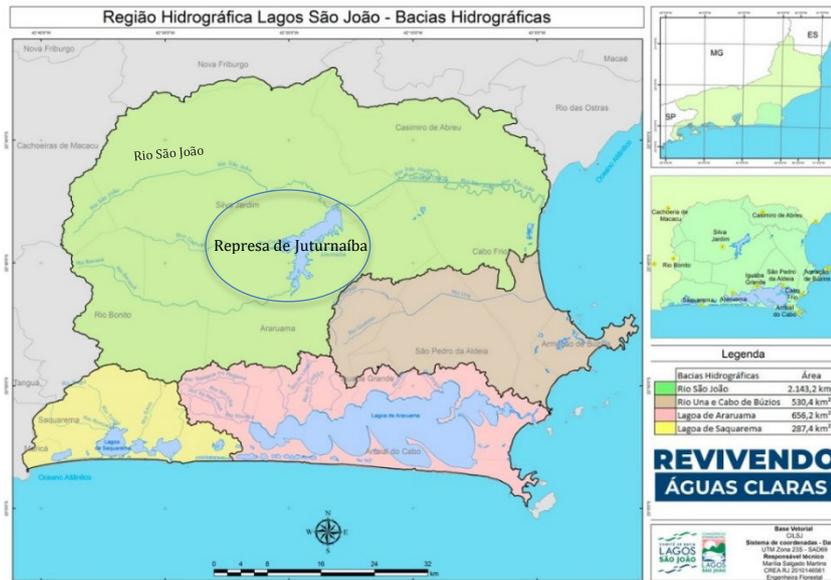
A parte leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro enfrenta, de longa data, um quadro de insegurança hídrica em seu principal manancial abastecedor, o sistema Imunana-Laranjal (GOVERNO DO ERJ, 2014). A Região Hidrográfica Lagos São João é uma das que apresenta maior estresse hídrico no estado, acentuado nos últimos anos com o crescimento populacional e atingindo seu ápice no verão de 2023/2024.

Uma solução possível seria buscar outra alternativa de abastecimento de água que contribua para aumentar a segurança e a resiliência do sistema existente. Assim, este trabalho aborda a viabilidade do reuso de efluentes líquidos de ETEs como alternativa para atendimento de demandas de água não potável na RH VI.

ÁREA DE ESTUDO: A REGIÃO HIDROGRÁFICA RH VI

Segundo suas características hidrológicas, a RH VI pode ser subdividida em quatro bacias, a saber: i) bacia do Rio São João (maior corpo hídrico e principal manancial da região); 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 (CILSJ,2024)(Figura 1).

Figura 1 – Sub-bacias da RH VI - Lagos São João



Fonte: Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2024)

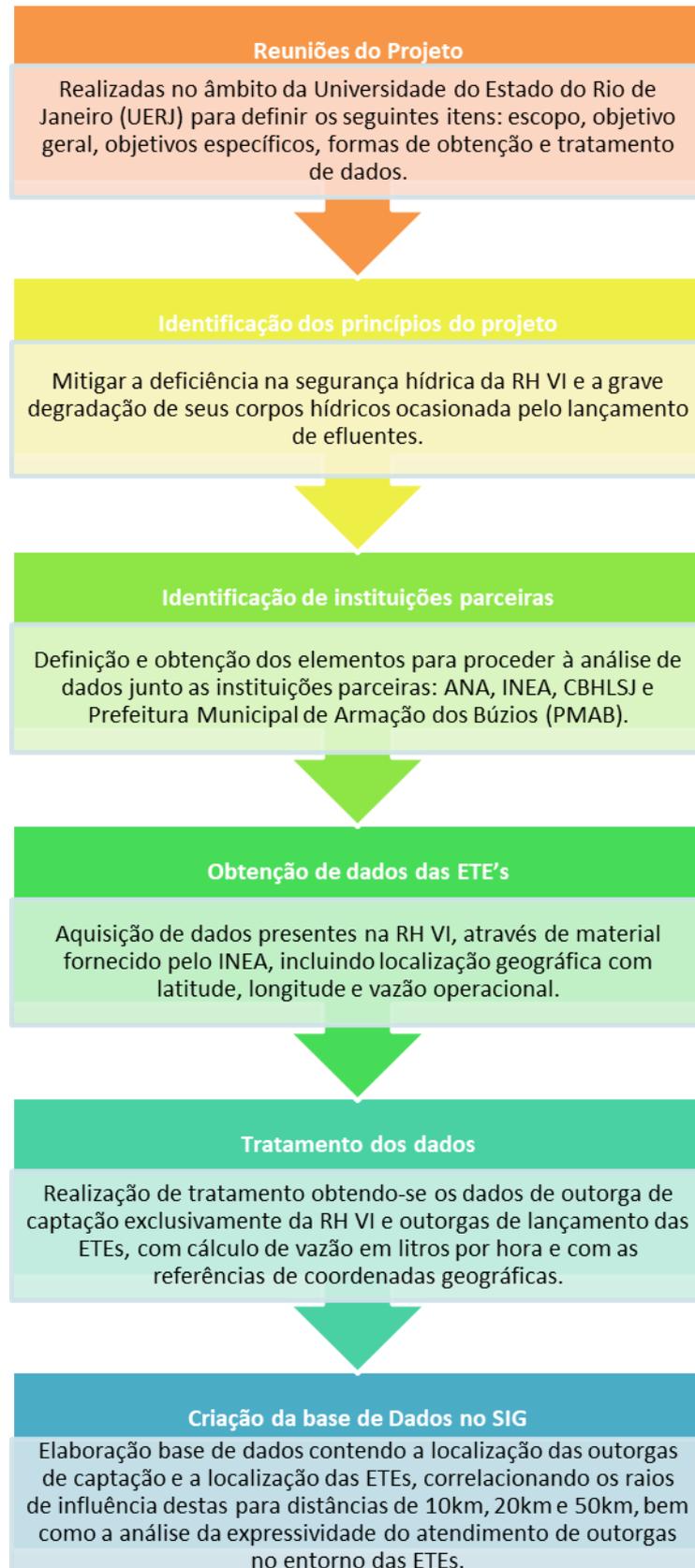
No contexto da RH VI, merece destaque a represa de Juturnaíba, situada na bacia do rio São João, manancial esse responsável pelo abastecimento público de praticamente toda a Região Hidrográfica em estudo, atendendo os municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, 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 outros, depende exclusivamente da represa de Juturnaíba. Ressalta-se que não há outras fontes convencionais de recursos hídricos para abastecimento, mesmo em caso de eventos emergenciais (CILSJ,2024).

METODOLOGIA

Na metodologia, seguiram-se passos operacionais para obtenção, tratamento de dados e desenvolvimento de uma base de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), em que se viabilize realizar uma análise da potencialidade do reúso dos efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) regionais para abastecimento de demandas de água não potáveis. Para essa finalidade foram desenvolvidas as etapas metodológicas apresentadas na Figura 2.

Figura 2– Etapas metodológicas realizadas



Para estimativa das demandas, de forma similar a estudos como o de Campos (2018), Faria (2020), Oliveira *et al.* (2022) e Faria *et al.* (2021), levantaram-se dados quantitativos de outorgas de captação registrados nos órgãos oficiais como a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Estadual do Ambiente-RJ (INEA).

Para a definição da oferta potencial de água para reuso foram considerados os dados de vazão (e localização) referentes às ETEs regionais a partir dos dados disponíveis em três fontes distintas: 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).

Destaca-se que as etapas relacionadas à ciência de dados - como mineração, tratamento estatístico, obtenção dos dados de outorga de lançamento das ETEs exclusivamente da RH VI, com cálculo de vazão em L/h, com coordenadas geográficas, bem como a criação da base de dados no SIG - foram desenvolvidas no ambiente de execução Google Colaboratory. Para isso foi utilizada a linguagem Python e suas bibliotecas, como Pandas, Matplotlib, Folium e GeoPandas.

Google Colaboratory é uma plataforma gratuita que permite escrever e executar código Python. Além disso, os resultados podem ser visualizados diretamente no navegador, sem a necessidade de configuração ou instalação local de software. Foi adotada a metodologia do Google Colaboratory para geoprocessamento por se tratar de modelo que permite o livre acesso dos usuários, ou seja, independe da aquisição de licenças.

As bibliotecas Python para SIG podem adicionar a possibilidade de criar mapas de interação aberta em navegadores e outras funcionalidades, no caso de utilização de um conjunto de insumos livres, tais como: visualização de bases cartográficas contínuas do mundo; adicionar e agrupar feições, projeto de mapas coloridos de calor ou densidade de Kernel; adicionar símbolos pontuais personalizados; adicionar imagens georreferenciadas ou não e gráficos; adicionar pop-up às feições; adicionar mapa de localização; a possibilidade de editar formas (ex.: ponto, linha, polígono) e medição de áreas e comprimentos. (AMORIM; SCHMIDT, 2021).

Dentre as principais bibliotecas Python para SIG podem-se destacar: Pandas, Matplotlib, Folium e GeoPandas, que proporcionam a visualização e análise de SIG, gerenciamento de dados espaciais e tarefas de administração de sistemas SIG.

Folium é uma biblioteca na qual podemos manipular os dados usando linguagem de programação e visualizar o resultado imediatamente em um mapa interativo. Alguns trabalhos que utilizam o Folium podem ser encontrados na literatura, dentre os quais Jawla *et al.* (2020) para visualização de dados de crimes e Pappalardo *et al.* (2019) para visualização de dados de mobilidade urbana.

A biblioteca Pandas é utilizada para troca de dados estatísticos com excelente desempenho computacional. Os frames de dados são otimizados para trabalhar com big data. Matplotlib é usado para exibição visual por intermédio de gráficos, tabelas e mapas, enquanto que o GeoPandas adiciona um componente geográfico.

Assim, as bibliotecas Python para SIG permitem o gerenciamento, análise e visualização de dados espaciais em um Sistema de Informação Geográfica, que é definido como um conjunto de ferramentas computacionais para Geoprocessamento no qual permite manipular e integrar dados de diversas fontes,

podendo ser criado um banco de dados digital com informações georreferenciadas (CÂMARA e DAVIS, 2001).

A iniciativa de usar um ambiente não SIG tradicional para as análises especiais partiu da constatação de ser necessário que essas análises não dependam de softwares tradicionais, bem como as ferramentas utilizadas são gratuitas, o que facilita sua utilização, dependendo-se exclusivamente de conhecimento básico sobre seu funcionamento e de disponibilidade de acesso à internet.

Foram realizadas duas formas gráficas de abordagem conceitual para análise da potencialidade do emprego de água de reuso, tomando como base o estudo de caso do seu fornecimento ser realizado a partir da ETE Praia do Siqueira.

A primeira se baseia na análise do atendimento de outorgas a partir de três raios de alcance (10, 20 e 50 km), similar aos estudos realizados por Campos (2018) e Farias (2022).

A segunda abordagem se baseia na análise da expressividade do atendimento de outorgas no entorno dessa ETE, demonstrada através de mapas de calor, em conformidade com os estudos efetuados pela Oliveira *et al.* (2022) e Farias (2023). Segundo Oliveira *et al.* (2022), entende-se expressividade como um indicador do quão significativa é a demanda em um ponto do espaço quando comparada com a região de seu entorno, limitada por uma distância de busca radial.

Foram elaborados mapas de calor empregando para o cálculo de expressividade a razão entre a vazão demandada pelo ponto de outorga e o somatório de vazões demandadas por todas as indústrias na região de análise, em conformidade com Oliveira *et al.* (2022).

Vale salientar que todos os mapas foram elaborados utilizando-se a API do Google Maps.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados em três subseções: a) tratamento e análise dos dados de outorga de captação de água, b) obtenção dos dados das ETEs da RH VI e c) elaboração das bases de dados no SIG.

TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS DAS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Inicialmente procederam-se às operações de filtragem e limpeza desses elementos, utilizando-se a biblioteca Pandas da linguagem Python. A primeira consulta buscou realizar uma leitura dos dados presentes no âmbito nacional, utilizando-se a função: `outorgas_brasil = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ETEs/1)Tratamento de dados/1_outorgas_geralbrasil.csv")`.

Foram obtidos cerca de quarenta e três mil dados de outorgas para todo o Brasil, o que apresentou um elevado grau de dificuldade no tratamento estatístico.

A seguir, buscou-se filtrar os dados utilizando-se apenas aqueles correspondentes ao Estado do Rio de Janeiro. Para isso utilizou-se a função `(outorgas_erj = (outorgas_brasil.loc[outorgas_brasil['UF'] == 'RJ'])` (Figura 3).

Figura 3 – Filtragem dos dados de outorga de captação de água para a RH VI do Rio de Janeiro

```

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 DABARRA	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-21,04228	-41,07826	23/07/2018	Direito de Uso	3923078.40
1	CASANOVA	BA	Irrigação	Captação	-9,14614	-41,04861	16/07/2024	Direito de Uso	124950.00
2	MARIZÓPOLIS	PB	Irrigação	Captação	-8,87775	-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	Minação - Extração de Areia/Cascalho em Leit...	Captação	-19,54194	-40,46056	NaN	Direito de Uso	120960.00
43648	GARARU	SE	Irrigação	Captação	-9,98889	-38,97472	26/05/2020	Revogação	103920.96
43649	URANDI	BA	Abastecimento Público	Captação	-14,76803	-42,79528	21/09/2024	Preventiva	168440.00
43650	SOBRADINHO	BA	Irrigação	Captação	-9,45542	-40,84197	NaN	Direito de Uso	38183.86
43651	BELÉM	PA	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-1,36287	-48,468	04/09/2028	Preventiva	83920.80

43652 rows x 9 columns

Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, procedeu-se a outras operações de filtragem e limpeza de dados, a partir do *Data Frame* “outorgas_erj.csv”. Nessa etapa foram realizadas as seguintes operações:

- I. Retirada de valores nulos nos parâmetros de vazão, latitude e longitude, uma vez que isso causa erro na operação com a biblioteca Folium.
- II. Tendo em vista que no banco de dados fornecido pela ANA, os valores de consumo foram disponibilizados em termos de volume anual, foi inserida uma nova coluna, com os dados de vazão em metros cúbicos por hora, de forma compatível aos dados referentes às ETes.
- III. Como os valores obtidos para vazão das outorgas de captação apresentavam-se com um número elevado de casas decimais, procedeu-se a padronização para valores com apenas duas casas decimais.
- IV. Efetuou-se a restrição no atributo “Tipo_Interferencia”, que apresentava dados correspondentes tanto para captação e como para lançamento, procedendo-se, a limitação apenas para os dados referentes às outorgas de captação.
- V. Para obter a exata quantidade de linhas/pontos de outorga totais na tabela para a Região Hidrográfica Lagos São João, a coluna índice foi reindexada.

Dessa forma, obteve-se o arquivo denominado de “outorgas_erj_filtrado.csv” (Figura 4).

Figura 4 – Amostra do resultado do tratamento de dados das outorgas de captação para a RH VI do Rio de Janeiro

Unnamed: 0.1	index	Unnamed: 0	Município	Latitude	Longitude	vazao(m³/h)	
0	0	686	ANGRA DOS REIS	-22,93175	-44,398	44.96	
1	1	522	ANGRA DOS REIS	-22,97814	-44,54611	4.11	
2	2	705	ANGRA DOS REIS	-22,97833	-44,54569	392.91	
3	3	469	ANGRA DOS REIS	-23,00111	-44,54161	4.11	
4	4	86	ANGRA DOS REIS	-22,98967	-44,54444	4.11	
...	
1016	1016	173	NaN	Cabo Frio	-22,756	-42,068	1.00
1017	1017	174	NaN	Cabo Frio	-22,888	-42,026	1.00
1018	1018	175	NaN	Cabo Frio	-22,756	-42,068	1.00
1019	1019	176	NaN	Cabo Frio	-22,878	-42,01	0.80
1020	1020	177	NaN	Cabo Frio	-22,877	-42,319	1.00

1021 rows x 7 columns

Fonte: Autoria própria (2024).

A seguir, esta tabela foi inserida no ambiente SIG de forma a representar os dados localizando os pontos de outorgas de captação de água inseridos na RH VI (Figura 5).

Figura 5 - Localização de Outorgas de Captação na RH VI



Fonte: Autoria própria (2024).

MAPEAMENTO DOS DADOS DE ETES DA RH VI

De posse dos dados referentes às ETES, consolidou-se um arquivo/tabela denominada ETES_rhvi.csv (Figura 6):

Figura 6 - Coordenadas e Vazões das ETEs – arquivo “ETEs_rhvi.csv”

```
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 Idaiacú	-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 representação das ETEs e suas respectivas vazões no ambiente SIG, inicialmente importou-se as bibliotecas Pandas e Folium, para através de suas ferramentas dar a carga dos dados do arquivo “data_etes” (Figura 7).

Figura 7 - 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
12 #carrega os dados
13 lat_ete = data_etes["LAT"]
14 long_ete = data_etes["LONG"]
15 vazao_ete = data_etes["VAZÃO(L/S)"]
16 vazao_ete = vazao_ete.astype(float).astype(int)
17
```

Fonte: Autoria própria (2024).

Com os dados de latitude (lat_ete), longitude (long_ete) e vazão (vazao_ete), estabeleceu-se quais variáveis serão utilizadas pela biblioteca Folium na função “Folium.CircleMarker” (Figura 8).

Figura 8 - Definição 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).

Para o mapa base foi selecionado para o presente trabalho o “OpenStreetMap” através da função Tiles. O OpenStreetMap permite representar a urbanização do entorno e visualizar referenciais nas proximidades dos pontos de outorga, facilitando a identificação por parte dos usuários. O ponto de início foi estabelecido como sendo a ETE Búzios, em termos de latitude e longitude. Em

seguida, foram estabelecidos os parâmetros necessários para utilizar a biblioteca Folium e sua correspondente função Folium.CircleMarker (Figura 9).

Figura 9 - Geração de raios das áreas de influência

```
43
44 #plotagem Dos marcadores
45 for lat_ete, long_ete, vazao_ete in zip(lat_ete, long_ete, vazao_ete):
46
47     folium.CircleMarker(location=[lat_ete,long_ete], radius=5, popup= str(vazao_ete)+" l/s",
48                          fill_color="black", color="gray", fill_opacity=0.9).add_to(mapa_etes)
49
```

Fonte: Autoria própria (2024).

Definiu-se que as ETEs fossem representadas por círculos pretos com bordas cinza e ao clicar-se sobre elas seriam expostas suas vazões. Na Figura 10 é destacada a ETE Praia do Siqueira, a maior da região, sobre a qual se procedeu ao clique no mapa, expondo-se sua vazão de 275 L/s.

Figura 10 - Mapa de localização das ETEs na RH VI, com destaque para a ETE Praia do Siqueira



Fonte: Autoria própria (2024).

ELABORAÇÃO DAS BASES DE DADOS NO SIG

A proposta deste trabalho consistiu em avaliar a relação entre a oferta e demanda de água de reuso, apoiada basicamente no mapeamento das vazões e localizações dos potenciais usuários fornecedores (ETEs) e potenciais consumidores (outorgados para captação de água).

Para fins de demonstração, adotou-se como estudo de caso a análise da situação referente a ETE Praia do Siqueira, localizada em Cabo Frio, cujos efluentes tratados são descartados junto a Praia do Siqueira, na Lagoa de Araruama.

Para avaliar a potencialidade de atendimento dos pontos de outorga de captação no entorno da ETE Praia do Siqueira foram definidos três possíveis cenários de atendimento dessas demandas de água de reuso. a partir de três raios de alcance, aplicando-se a função "Folium. Circle".

Análise de viabilidade de reuso a partir da ETE Praia do Siqueira com raios de alcance de 10 km, 20 km e 50 km

Para efetuar essa análise foi considerado o seu centro na ETE Praia do Siqueira, com base em suas coordenadas geográficas (Latitude e Longitude). Além disso, foi estabelecido o controle de escala com a função `control_scale` para um `zoom` inicial de 8 unidades (Figura 11).

Figura 11 – Código da configuração do mapa base

```
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: Autoria própria (2024).

Em seguida, foram demarcados os pontos de outorgas de lançamento e captação, de acordo com o código Python.

Para a delimitação do raio foi criado o código com um raio de alcance da ETE Praia do Siqueira em 10 km (Figura 12). Para sua representação e efeito de destaque no mapa escolheu-se a cor de preenchimento do círculo em verde com opacidade de preenchimento 0.6.

Em sequência foi executado o mesmo código considerando os raios de alcance de 20 km e 50 km, respectivamente.

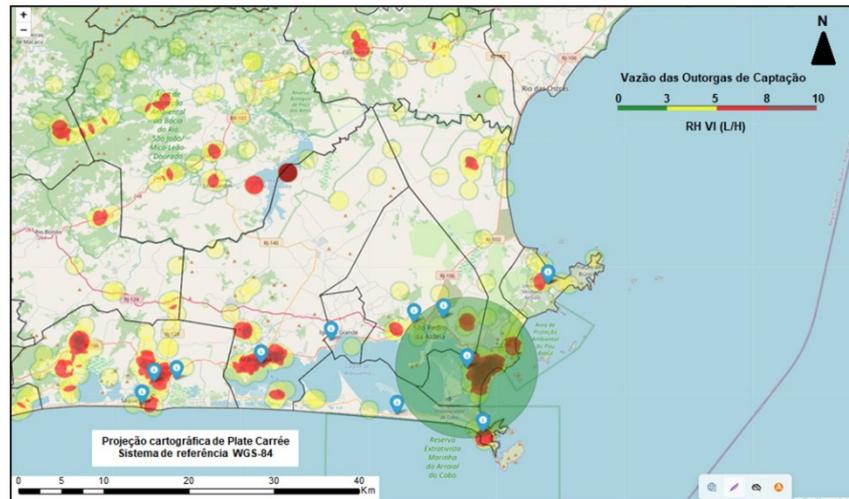
Figura 12 – Código do círculo limítrofe para determinação de pontos de outorga situados no raio de alcance de 10 km a partir da ETE Praia do Siqueira

```
75 # plotar círculo de 10.000 metros com centro na Praia do Siqueira
76
77 radius = 10000
78 folium.Circle(
79     location=[-22.884, -42.053],
80     radius=radius,
81     color="black",
82     weight=1,
83     fill_opacity=0.6,
84     opacity=1,
85     fill_color="green",
86     fill=False, # gets overridden by fill_color
87     popup="{} meters".format(radius),
88     tooltip="I am in meters",
89 ).add_to(mapa_outorgas_estadual)
```

Fonte: Autoria própria (2024).

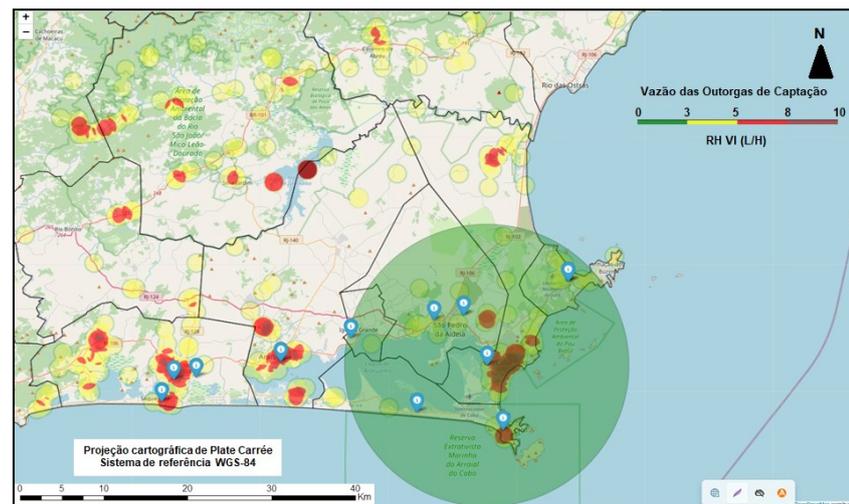
Os mapas resultantes (Figuras 13, 14 e 15) demonstram quais outorgas em quais municípios podem ser atendidas por água de reuso proveniente da ETE Praia do Siqueira, para os raios de alcance de 10, 20 e 50 km.

Figura 13 - Atendimento de outorgas situadas no raio de alcance de 10 km a partir da ETE Praia do Siqueira



Fonte: Autoria própria (2024).

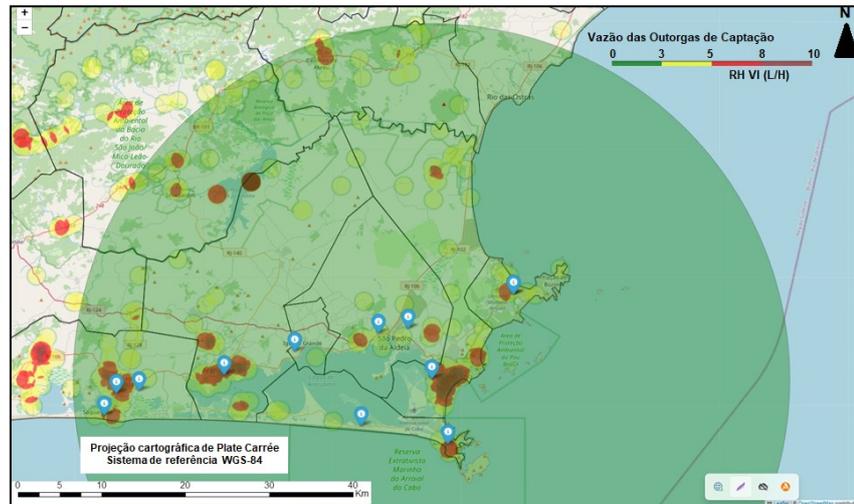
Figura 14 - Atendimento de outorgas situadas no raio de alcance de 20 km a partir da ETE Praia do Siqueira.



Fonte: Autoria própria (2024).

No mapa da Figura 15 - no qual são avaliadas as outorgas em um raio de 50 km - é possível verificar-se a viabilidade do atendimento das demandas de água referentes às outorgas de captação ora mapeadas em todos os municípios da RH VI.

Figura 15 - Atendimento de outorgas situadas no raio de alcance de 50 km a partir da ETE Praia do Siqueira



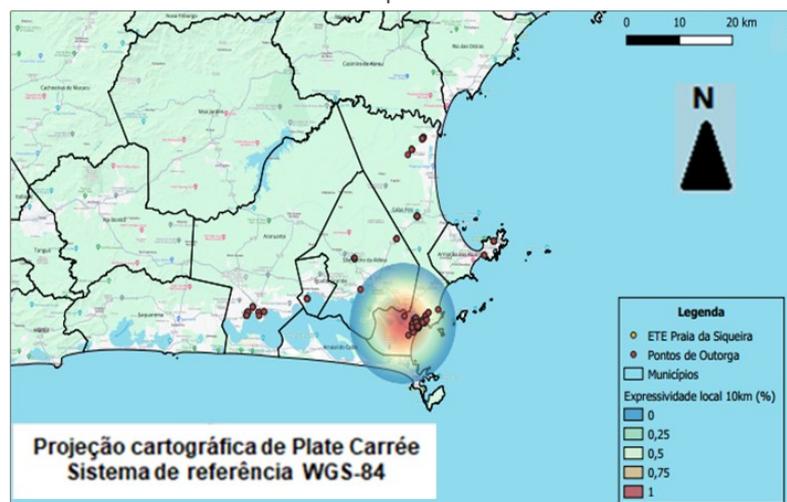
Fonte: Autoria própria (2024).

Análise da expressividade para ETE Praia do Siqueira

A segunda abordagem utilizada para avaliação da potencialidade de uma ETE (no presente caso a de Praia do Siqueira) no atendimento de demandas de água de potenciais consumidores de água para reuso se baseou na análise da expressividade das outorgas mapeadas e situadas dentro dos três raios de alcance no seu entorno.

As Figuras 16, 17 e 18 apresentam graficamente essas expressividades através de mapas de calor para os raios de 10 km, 20 km e 50 km, respectivamente.

Figura 16 - Mapa de calor das outorgas de captação situadas a 10 Km da ETE Praia do Siqueira.

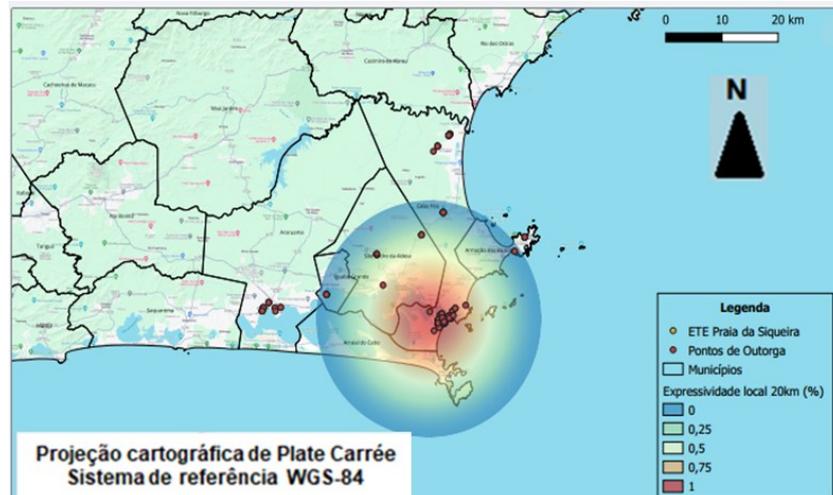


Fonte: Autoria própria (2024).

A partir da análise da Figura 16, é possível notar que para o raio de alcance de 10 km, a mancha representativa de maior expressividade das outorgas de captação

e de potenciais demandas de água de reuso fica mais concentrada no Município de Cabo Frio, reduzindo-se à medida que se afasta do mesmo.

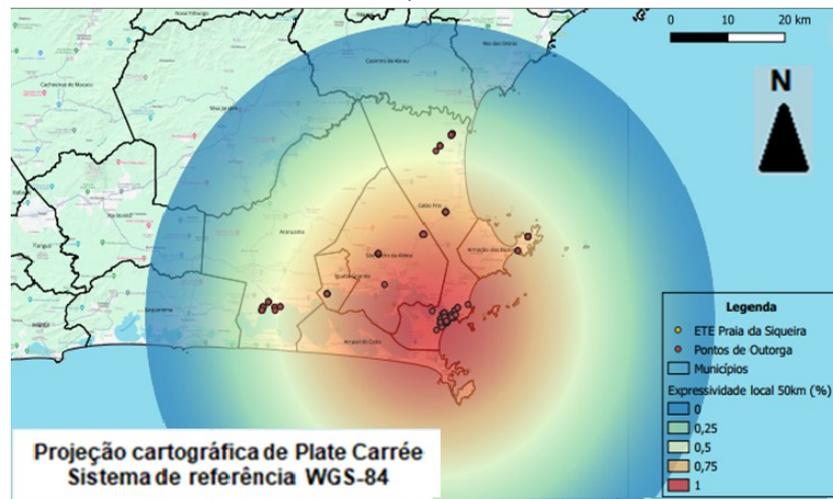
Figura 17 - Mapa de calor das outorgas de captação situadas a 20 Km da ETE Praia do Siqueira.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para o raio de 20 km (Figura 17), a mancha de maior expressividade passa a englobar também os municípios de São Pedro da Aldeia e Arraial do Cabo, embora ainda não alcance plenamente os pontos de outorga mapeados nesses municípios e não atinja aqueles ainda mais afastados.

Figura 18 - Mapa de Calor das outorgas de captação situadas a 50 Km da ETE Praia do Siqueira.



Fonte: Autoria própria (2024).

Já para o raio de 50 km (Figura 18), a área da mancha de expressividade correspondente foi a mais abrangente, compreendendo todas as demandas mapeadas (pontos de outorga) nos outros municípios da Região Hidrográfica Lagos São João, ainda que essa expressividade também vá se reduzindo à medida que se afasta do município de Cabo Frio (e onde se localiza a ETE considerada, Praia do Siqueira).

Os municípios que estiveram em áreas de maior expressividade em termos de demanda não potável foram: Cabo Frio, Armação dos Búzios, São Pedro da Aldeia, Arraial do Cabo, e Iguaba Grande, além de ser possível detectar alguma demanda potencial também no Município de Araruama.

DISCUSSÃO

A partir desse trabalho foi possível estabelecer diversas correlações e analisar estratégias e alternativas de abastecimento e gestão de recursos hídricos de forma mais sistêmica e integrada.

Os mapeamentos que fundamentaram as análises efetuadas demonstram a viabilidade de atendimento de potenciais demandas industriais (outorgas de uso de água) através de potenciais ofertas a partir da ETE da Praia do Siqueira, para raios de 10 km, 20 km e 50 km, podendo ser inferido que o mesmo pode ser estendido em relação às demais ETEs da região.

Os percentuais das classes de expressividade das demandas diminuíram com o aumento do raio de abrangência no entorno da ETE estudada (Praia do Siqueira), demonstrando uma demanda mais bem distribuída entre as outorgas analisadas na área de interesse. Por exemplo, para o raio de 10 km, a última classe de expressividade varia de 50 a 100%, enquanto que, para o raio de 20 km, a última classe varia de 20 a 45%. De forma similar aos resultados obtidos nos estudos da Oliveira et al. (2022) e Farias (2023), nota-se que o aumento do raio de alcance da ETE representa uma diminuição na expressividade isolada de um potencial consumidor de água de reuso, pois aumenta-se a quantidade de indústrias no somatório das vazões demandadas.

De qualquer forma, considerando-se as 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 corroboram com o emprego de água de reuso ser uma alternativa a considerada visando a melhoria do atendimento no abastecimento de água e aumento da segurança hídrica regional.

Os resultados obtidos no desenvolvimento da presente análise também demonstram a potencialidade do emprego da metodologia utilizada para embasamento na elaboração de políticas e instrumentos de planejamento visando uma gestão mais racional e sustentável de recursos hídricos.

CONCLUSÃO

No contexto socioeconômico e ambiental da Região Hidrográfica Lagos São João (RH VI), constatam-se dois problemas crônicos que afetam a qualidade de vida da população, por estarem diretamente conectados a impactos na cadeia turística e, conseqüentemente, na economia regional: a) a crescente insegurança hídrica e a não disponibilidade de alternativas de fontes de água convencionais; e b) carências do sistema de abastecimento de água.

O presente trabalho buscou demonstrar a viabilidade no uso aplicado de geotecnologias através do desenvolvimento de um SIG para avaliar a

potencialidade do emprego de água de reuso de forma a contribuir com a otimização na utilização de recursos hídricos na RH IV.

A análise espacial aplicando técnicas de geoprocessamento é uma ferramenta que pode contribuir na elaboração de políticas e instrumentos de planejamento bem como subsidiar a adoção de medidas para o aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos, o aumento da resiliência de sistemas de abastecimento de água, e a redução da necessidade de pesquisar novas fontes de abastecimento hídrico.

O reuso se configura como a única fonte alternativa viável, já que outras - como o aproveitamento de água de chuva - são inviáveis tendo em vista o regime hidrológico regional, com índices pluviométricos muito reduzidos, comparáveis a região do Nordeste brasileiro. Considerando essa realidade que envolve problemas de escassez hídrica por um lado e a disponibilidade de efluentes tratados em diversas ETEs distribuídas pela região, a prática de reuso de águas servidas, notadamente para fins não potáveis, torna-se mais atraente.

Cabe destacar que diferentemente de fontes alternativas - que dependem de fatores cada vez mais imprevisíveis, como é o caso de águas de chuva - o reuso de efluentes a partir de ETEs se consolida a partir de uma garantia de retaguarda por dispor de vazões bem mais 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.

O estudo de caso apresentado para a ETE Praia do Siqueira demonstrou sua potencialidade para utilização como fonte de água para reuso. A metodologia adotada pode ser estendida a outras ETEs em operação na RH VI como a ETE Ponte dos Leites, situada no Município de Araruama. Com vazão nominal de 126 L/s, dispõe de elevado potencial de abastecimento de água para reuso com fins não potáveis no atendimento de demandas no seu entorno. Por situar-se em posição geográfica diametralmente oposta à ETE Praia do Siqueira, pode proporcionar o atendimento a pontos de outorga de captação distintos dos pontos melhor atendidos por essa última.

Geotechnology applied to the reuse of effluents in the lakes region – Rio de Janeiro

ABSTRACT

Water is a vital resource that is already scarce in many regions, which justifies the search for more modern and sustainable management alternatives for water resources, enabling practices that increase water security and rationalize its use, including effluent reuse practices and techniques. Given the exponential growth in demand for water combined with the low availability of viable water sources, the Lagos São João Hydrographic Region (RHLSJ) of the State of Rio de Janeiro (ERJ), called RH VI, is one of the regions with the greatest water stress in ERJ, which has increased in recent years with population growth and reached its peak in the summer of 2023/2024. The main objective of this research is to contribute to enabling increased water security in RH VI, using GIS methodology to assess the potential for reusing effluents generated in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) of RH VI as an alternative source of supply to meet non-potable demands. In addition, the secondary objectives are: a) to survey/map water collection permits in the region; b) to survey/map the main potential suppliers of reused water; c) to identify the main attributes to be adopted by the GIS in the analysis of reuse potential; and d) to evaluate another beneficial aspect of the reuse of effluents from WWTPs, namely, the pollution avoided by mitigating the environmental impacts resulting from the discharge of treated effluents into important local water bodies. To achieve these objectives, data were collected from all 11 Wastewater Treatment Plants (WWTPs) located in RH VI. The following parameters were considered for feasibility analysis: a) flow rate of WWTPs; b) Grants and corresponding flow rates, which are the potential consumers of water for reuse; and c) Distances from WWTPs to potential consumers, analyzed through heat maps and distance radii of WWTPs. The data were analyzed through the Geographic Information System, and the reuse potential was evaluated based on the flow rates of the respective WWTPs, in addition to their distances to potential consumers.

KEYWORDS: Water Scarcity. Liquid Effluent. Wastewater Treatment Plant. Geographic Information System. Water for reuse. Pollution. Environmental Impact.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Armação dos Búzios (PMAB) e ao Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelo apoio as atividades de pesquisa e na fundamentação de informações.

REFERÊNCIAS

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/>.

AMORIM, F. R.; SCHMIDT, M. A. R. WebMapa: Desenvolvimento de Mapas Web por um Complemento QGIS. **Rev. Bras. Cartogr.**, v. 73, n. 3, 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.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds. e orgs.). *Introdução à ciência da geoinformação*, INPE, São Paulo, 2001.

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.

CARMO R. L.; OJIMA A. L. R. de O., OJIMA R. e do NASCIMENTO, T. T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água **Ambiente & Sociedade**. Campinas v. X, n. 1 p. 83-96 jan.-jun. 2007 Disponível em <https://www.scielo.br/j/asoc/a/NvzFvhH57HQWjMKMKZLm4ph/?format=pdf&lang=pt>

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. v16 n2. 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.

GOVERNO DO ESTADO DO RJ. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro Relatório Síntese Maio 2014 PERHI-RJ. Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos - COPPETEC Disponível em <http://www.bomjardim.rj.gov.br/e-sic/arquivos/Relatorio-Sintese.pdf>

INEA - PROCON AGUA. Disponível em <https://www.inea.rj.gov.br/procon-agua/>

Instituto Estadual do Ambiente (INEA) (RJ). Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial / Instituto Estadual do Ambiente – Rio de Janeiro, 2018. Disponível em <https://www.comiteguandu.org.br/conteudo/atlas-mananciais.pdf>

Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA). Cenários para a Segurança Hídrica no Brasil Água, Capítulo 5 in Problemas Complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica. Cesar Nunes de Castro (autor e org). Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/216724_lv_seguranca_hidrica_cap5.pdf

JAWLA, A.; SINGH, M.; HOODA, N. Crime Forecasting using Folium. 2020.

JORDÃO E. P.; SANTOS, A. S. Normas e Padrões para Reuso de Águas Servidas, Curso ABES/RS sobre Reuso 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 reuso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro** (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

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 reuso agrícola, selo: Blucher | 2011 - 2ª edição.

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.

OLIVEIRA, M. C. S.; SOUZA, N. F.; RIBEIRO, G. S. B. S.; ROMANO, L. S. E.; NUNES, D. M.; LANA, L. C.; SANTOS, A. S. P.; OBRACZKA, M.; BADOLATO, I. S.; ANTOUN NETTO, S. O.; SILVA, S. M. L.; OLIVEIRA, V. B. 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. 1. ed. Rio de Janeiro: INEA, v. 1. 102p, 2022.

PAPPALARDO, L.; SIMINI, F.; BARLACCHI, G.; PELLUNGRINI, R. scikit-mobility: A Python library, 2019

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

SANTOS A. S. P., VIEIRA J. M. P. Reuso 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, 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, **Anais** [...], 2019. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4775>>. Acesso em: 5 de maio de 2023.

SILVA JR., L. C. S., **Panorama do Reuso de Efluentes nas Estações de Tratamento de Esgoto nas Concessionárias de Saneamento da Região Sudeste**, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2017.

Recebido: 02 ago. 2024

Aprovado: 06 dez. 2024

DOI: 10.3895/rbgeo.v12n2.18917

Como citar: SANTOS, B. C.; SILVA, L.R.; STRAUCH, J.C.M.; ANTOUN NETTO, S. O.; OBRACZKA, M. Geotecnologia aplicada ao Reuso de Efluentes na Região dos Lagos – Rio de Janeiro. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 235-254, jul./dez. 2024. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Sergio Orlando Antoun Netto

Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4032 bloco B, CEP 20550-013, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

