



## VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE EM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA

### **Rubens Francisco dos Santos<sup>(1)</sup>**

Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Engenheiro Mecânico da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP; Docente da Universidade Cidade de São Paulo. Integrante do Grupo de Meio Ambiente e Saúde Ocupacional para o Desenvolvimento Sustentável do Centro Paula Souza.

### **Alexandre da Costa<sup>(2)</sup>**

Técnico em Sistemas de Saneamento da Divisão de Controle Sanitário do Litoral Norte da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

### **Francisco Tadeu Degasperí<sup>(3)</sup>**

Bacharel em Física – IFUSP e mestrado e doutorado FEEC-UNICAMP. Coordenador do Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP. Docente do Programa de Mestrado Profissional do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.

### **Sílvia Pierre Irazustra<sup>(4)</sup>**

Doutora em Ciências Médicas, docente do Programa de Mestrado Profissional do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, membro do Grupo de Meio Ambiente e Saúde Ocupacional para o Desenvolvimento Sustentável do Centro Paula Souza.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida do Estado, 561 Bom Retiro – SP. CEP: 01107-900. Brasil - e-mail: rubens.ceetps@gmail.com

### **RESUMO**

O ribeirão Água Branca situa-se no município de Ilhabela na região costeira norte do estado de São Paulo, com  $Q_{7,10}$  estimado em  $265 \text{ L.s}^{-1}$  desemboca no canal de São Sebastião. O presente trabalho apresenta um estudo sobre a variação da condutividade da água coletada em três pontos distintos, próximos de sua foz, no período compreendido entre novembro de 2016 a janeiro de 2018. Este estudo foi realizado como parte de uma pesquisa exploratória visando avaliar as condições para tratabilidade de água salobra por processo de separação de sais dissolvido na água por membranas de osmose reversa. A condutividade variou entre 200 e  $65.000 \mu\text{S/cm}$ , demonstrando elevada flutuação ao longo do dia em função da cunha salina, que atingiu máxima na preamar, com pico nos períodos de sizígia nos pontos avaliados. A partir da análise das amostras, constatou-se a influência direta entre a variação da maré e da pluviometria na bacia hidrográfica, na variação da salinidade na foz do Ribeirão Água Branca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dessalinização, condutividade, osmose reversa.

### **ABSTRACT:**

The stream Água Branca is located in the municipality of Ilhabela in the northern coastal region of the state of São Paulo, with  $Q_{7,10}$  estimated at  $265 \text{ L.s}^{-1}$  flows into the São Sebastião channel. This paper presents a study on the water conductivity variation collected in three distinct points, near its mouth, in the period from November 2016 to January 2018. This study was carried out as part of an exploratory research aimed at evaluating the conditions for brackish water treatability by the process of separation of salts dissolved in water by reverse osmosis membranes. The conductivity varied between 200 and  $65.000 \mu\text{S/cm}$ , showing a high fluctuation throughout the day due to the salt wedge, which reached maximum in the high tide, with peak in the periods of syzygy at the evaluated points. From the analysis of the samples, it was verified the direct influence between the variation of the tide and of the rainfall in the watershed, in the salinity variation in the mouth of the stream Água Branca.

**KEY WORDS:** Desalination, conductivity, reverse osmosis.



## INTRODUÇÃO

Em cidades turísticas e de veraneio é comum a variação da população ao longo do ano, atingindo valores elevados durante as férias e feriados importantes (SPERLING, 1995, p. 69), considerando que tais localidades geralmente tem a atividade econômica lastreada pelo turismo de veraneio, o desabastecimento de água desfavorece a fidelização do consumidor, que busca locais alternativos para recreação e repouso, nesse sentido, considerando um cenário de escassez hídrica, o aumento sazonal da demanda contribui para a complexidade do dimensionamento dos sistemas de abastecimento público de água, em virtude a necessidade de equilibrar o crescimento econômico com as demandas sociais e ambientais.

Nesse contexto a utilização de equipamentos para dessalinização de água salobra ou salina em localidades litorâneas submetidas à sobrecarga de consumo sazonal, tem se apresentado como uma alternativa promissora em apoio aos sistemas convencionais de abastecimento público. Nesses casos, ainda que apresentando um custo maior de produção em relação aos sistemas convencionais, conforme indicado na tabela 1, tais equipamentos, podem se constituir em uma solução viável, em função da falta de opções para suprir a demanda pontual relacionada à súbita variação populacional nessas localidades sem comprometer as instalações existentes.

As duas técnicas mais adotadas comercialmente para a remoção dos sólidos dissolvidos na água (TDS) para abastecimento público são os processos de destilação térmica e os processos que utilizam membranas de ultra filtração e osmose reversa (SILVEIRA, A.P.P. et al, p.45, 2015).

No entanto, não se identificou na literatura, experiências com os equipamentos de destilação térmica para abastecimento público no Brasil, já em relação às técnicas que utilizam membranas, ocorreram várias experiências recentes, desde a implantação de planta operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA na Ilha de Fernando de Noronha/PE, com capacidade instalada para 15 L.s<sup>-1</sup> (SURIANI e PRADO, 2011, p. 6), a diversos sistemas de pequeno porte para abastecimento em áreas sujeitas à seca na região Nordeste, incentivados pelo programa federal “Água para todos” (Brasil, 2015).

**Tabela 1 – Custo de produção (valores aproximados)**

Tecnologia	Local	Usina	Custo US\$/m <sup>3</sup>	Ano
Dessalinização por membrana (1)	Israel	Ashkelon	0,60	2006
	Bahamas	-	1,48	2003
	Califórnia (USA)	Carlsbad	0,77	2005
	Califórnia (USA)	Moss Landing	1,28	2005
	Singapura	-	0,49	2006
	Argélia	Hamma	0,84	2003
	Tampa Bay (USA)	Flórida	0,66	2004
	Trinidad	-	0,74	2004
	Austrália	Perth	0,92	2005
Sistema de tratamento convencional – Filtração (2)	Brasil	Região Sudeste	0,50	2017

Fonte: (1) Silveira, A. P. P. [et al], 2015 – Dessalinização de águas (adaptado)  
(2) Fonte SNIS – 2015



O sistema de dessalinização por membrana de osmose reversa consiste em um processo de separação de sólidos dissolvidos na água que utiliza a pressão hidráulica para forçar a passagem de um fluido (água salobra ou salina) com alta concentração de sólidos dissolvidos através de uma membrana semipermeável, formando dois fluxos, um de água pura e outro de concentrado (salmoura ou água mais concentrada em sais que a água de alimentação). As membranas geralmente são feitas de poliamidas ou de produtos da celulose. A taxa de filtração varia em função da concentração de sólidos dissolvidos na água, em geral acima de 50% do permeado, sendo o restante descartado juntamente com os sais removidos (SILVEIRA, A.P.P. et al, p.98, 2015).

A disposição desse concentrado deverá ser precedida de estudo das condições do ponto de lançamento a fim de garantir sua diluição sem alterar as características do corpo receptor. A disposição oceânica encarece o custo do investimento, enquanto a disposição na foz dependerá de estudos que permitam avaliar o impacto ambiental no entorno.

A falta de literatura sobre a problemática de sistemas de dessalinização dificulta sua implantação no Brasil, no entanto, observa-se que o mercado mundial apresenta a tecnologia como consolidada e em ampliação, nesse contexto, este estudo visa contribuir com o tema, comparando a captação em água salobra como alternativa a captação direta no mar.

A utilização de fontes de abastecimento com água salobra com salinidade entre 0,5 ‰ e 30 ‰, em substituição a captação marinha em cidades litorâneas pode reduzir o custo de implantação de tais empreendimentos, uma vez que a pressão de operação do sistema e o consumo energético são proporcionalmente reduzidos.

No entanto a variação sazonal da salinidade em função das marés e da hidrologia local dificulta a seleção do sistema de membranas, levando os tomadores de decisão a optarem por sistemas de dessalinização de água salina, em locais característicos de água salobra, tendo em vista os riscos operacionais. Esta alternativa eleva sensivelmente o custo do empreendimento.

Nesse contexto, a definição do ponto de captação, a fim de reduzir a influência das marés na salinidade torna-se essencial para o desenvolvimento de projetos de dessalinização de água salobra.

## **OBJETIVO**

Avaliar variação das características físico-químicas da água em função da variação da cunha salina nas proximidades da foz do Ribeirão Água Branca.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

Os materiais utilizados foram: Garrafa de Van Dorn; Condutivímetro; Turbidímetro; Colorímetro; Eletrodos de Íon Seletivo; Cone Inhoff; Extrator Método Soxlet; Bacteriologia (Método Enzimático), Microscópio.

Os métodos de análises foram utilizados conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition (2012) e 23rd Edition (2017) e constam no Escopo de Acreditação ABNT NBR ISO/IEC 17025 INMETRO – RNOC CRL 0284.

O estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa exploratória visando reconhecer as características físico-químicas da água da foz do Ribeirão “Água Branca” em pontos determinados, visando sua adequação aos padrões de potabilidade através de processos de separação por membrana (TRIPP, 2005).

Nesse contexto, o trabalho foi dividido em três etapas: inicialmente procurou-se através de análise documental, identificar a bacia hidrográfica do ribeirão Água Branca e seus contribuintes, os pontos de coleta mais adequados em função do relevo e do acesso ao local para amostragem, ficando definidos três pontos situados após a última confluência do Ribeirão, o ponto 1, distante 1,0 km da foz, o ponto 2 situado a 0,5 Km e o ponto 3 na entrada da foz, conforme indicado na figura 1.

Em seguida procedeu-se a coleta e análise das características físico-químicas das amostras, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, condutividade, cloreto, dureza total, turbidez, cor aparente,



fluoreto, nitrato, nitrogênio amoniacal, sólidos totais em suspensão, óleos e graxas, coliformes totais, *E.coli*, cianobactérias.

A última etapa consistiu no acompanhamento do parâmetro condutividade no ponto de coleta que apresentou o menor TDS, a fim de avaliar sua variação em função das marés e da pluviometria na bacia hidrográfica. A coleta consistiu em 24 amostras coletadas em intervalos de 1 hora ao longo de um dia. Foram realizadas 06 coletas ao longo de 2017 em intervalos variáveis.



**Figura 1 – Pontos de coleta**

## RESULTADOS OBTIDOS

**Tabela 2 – Caracterização das amostras – 28/11/2016 a 05/12/2016**

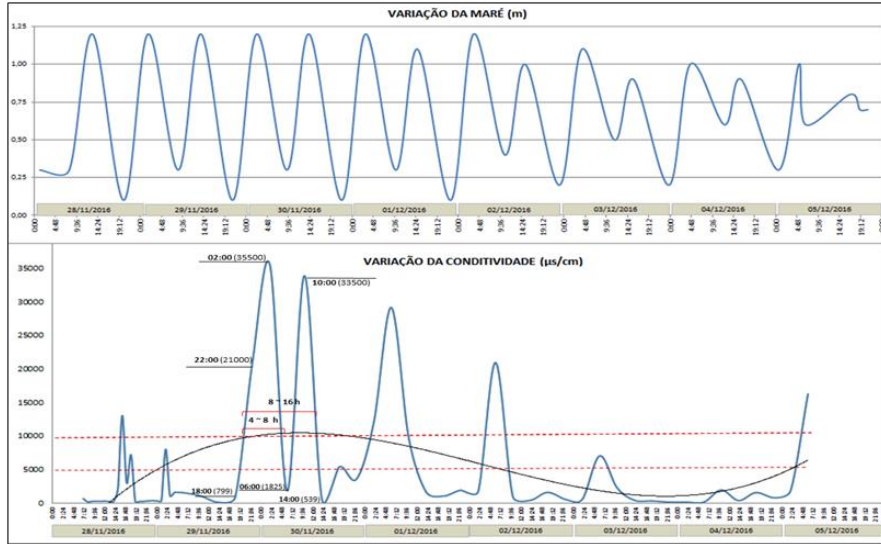
Ponto	Condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$	SAL ‰	pH	Cor Aparente UC	Turbidez NTU	TDS mg/L	ST mg/L	Cl mg/L	CT NMP/100 mL	Enter NMP/100 mL
1	5.360	2,90	6,92	10	0,84	2.840	3.420	1.702	64.880	97
2	7.850	4,30	7,14	10	0,99	4.240	5.300	2.778	77.010	135
3	11.730	10,30	7,40	15	0,92	10.100	12.686	7.972	44.645	140

Fonte: SABESP 2017

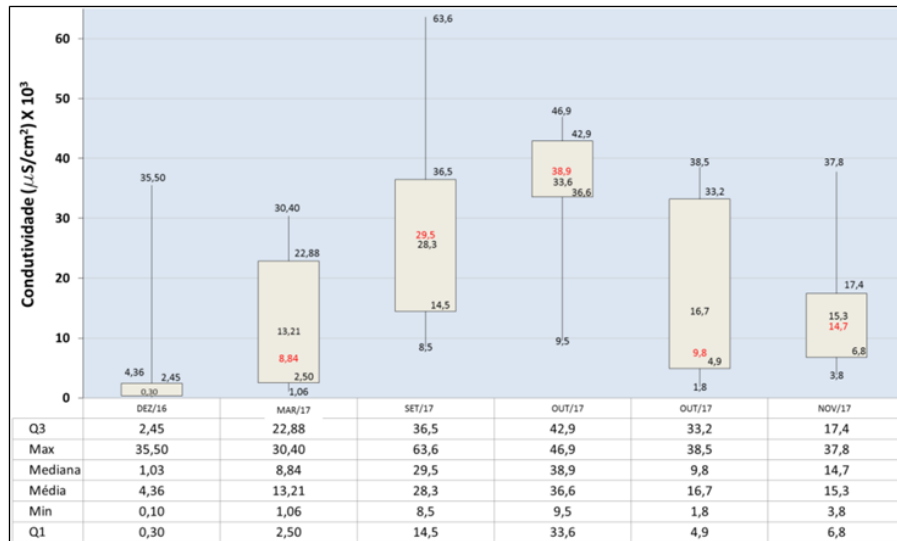
**Tabela 3 – Caracterização das amostras – Ponto 1**

Data	Condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$	SAL ‰	pH	Cor Aparente UC	Turbidez z NTU	N-NH3 mg N/L	OG mg/L	E.coli NMP/ 100 mL
18/01/2018	6.940	3,8	6,62	25	4,12	< 0,2	< 11	2430
25/01/2018	29.100	17,9	7,58	20	4,37	< 0,2	< 11	980

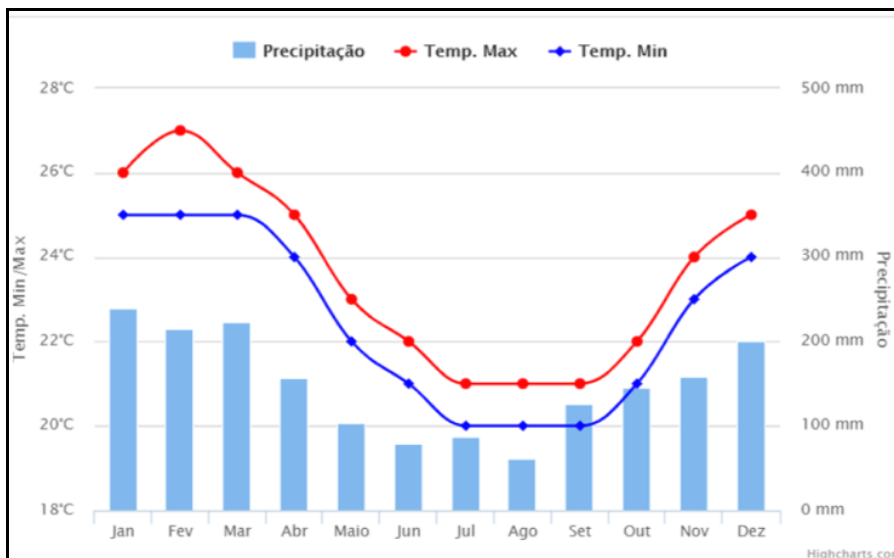
Fonte: SABESP 2018.



**Figura 2 - Variação da condutividade e da maré no ponto 1.**



**Figura 3 – Variação da condutividade no ponto 1 – 2017.**



**Figura 4: Variação da precipitação ao longo do ano - Fonte Climatempo.**



## **ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O Ribeirão Água Branca em Ilhabela está situado em uma bacia hidrográfica com área estimada em 41,21 km<sup>2</sup>, com sua foz localizada ao lado do canal de São Sebastião. As vazões estimadas para Q<sub>7.10</sub> e Q<sub>95</sub> são respectivamente 265 L.s<sup>-1</sup> e 382 L.s<sup>-1</sup>.

Baseado na caracterização inicial das amostras, conforme indicado na tabela 2, constatou-se que a foz do Ribeirão Água Branca apresentou característica de água salobra no ponto 3 e potável nos pontos 1 e 2, com a salinidade sendo diluída em função do comprimento da cunha salina (2,9 ‰ < 4,3 ‰ < 10,3 ‰). Tendo em vista que as amostras foram pontuais não levando em consideração a variação da maré e pluviometria, optou-se por acompanhar a variação do ponto 1, doravante denominado ponto de coleta, aparentemente mais favorável ao tratamento por filtração por membranas, por ter apresentado a menor concentração de salinidade entre as análises realizadas em novembro de 2016.

O parâmetro utilizado para acompanhamento foi a condutividade, que apresenta uma relação aproximada com o total de sólidos dissolvidos na água, Metcalf e Eddy (p. 88, 2017), sugere uma relação de 0,55 a 0,70 da condutividade medida em µS/cm para o total de sólidos dissolvidos em mg.L<sup>-1</sup>, dependendo do íon prevalente. Ainda que aproximada, essa relação se adequa a uma análise qualitativa, tendo em vista tratar-se de um estudo exploratório, permitindo o acompanhamento periódico da variação da salinidade de forma mais simples e direta, nas amostras iniciais coletadas entre 26/Nov/2016 e 05/dez/2016, nas quais foram medidos ambos os parâmetros essa relação variou entre 0,55 a 0,74.

Na análise dos resultados constatou-se a influência significativa da maré ao longo do dia, com variação entre 0,25 m a 1,25 m, no ponto de coleta, destacando-se o aumento da condutividade nos períodos de maré cheia, conforme indicado na figura 2.

Em várias coletas a condutividade esteve abaixo de 30.000 µS/cm, caracterizando-se como água salobra, no entanto verificou-se uma variação acentuada no parâmetro, com médias variando entre 4.360 µS/cm e 36.600 µS/cm, atingindo picos de até 63.600 µS/cm. A variação de mínima condutividade foi observada nos períodos de baixa-mar, principalmente na ocorrência de maior precipitação pluviométrica na bacia do ribeirão conforme pode ser constatado nas figuras 3 e 4. Neste caso, considerando o relevo no qual o curso de água esta inserido, pondera-se que o aumento do caudal em virtude das chuvas na bacia hidrográfica propiciou uma maior diluição dos sais dissolvidos na água, além de influenciar o deslocamento da cunha salina para o oceano.

Caso se optasse por dessalinizar a água desse ponto, a variação da salinidade se refletiria nas características físico-químicas do concentrado. Como referência ao estudo, estima-se que para filtrar a água salobra, com características similares às do ponto 1 e concentração de sólidos totais dissolvidos na faixa de 10.000 mg.L<sup>-1</sup>, utilizando membranas de osmose reversa com taxa de recuperação em torno de 60%, o sistema produziria aproximadamente 13,5 L.s<sup>-1</sup> de concentrado com até 24.834 mg.L<sup>-1</sup> de TDS, ou seja, o concentrado do processo nessas condições ainda apresentaria características de água salobra.

Em síntese para produzir 20 L.s<sup>-1</sup> de água dessalinizada, nas condições descrita, seria necessária captar aproximadamente 33,5 L.s<sup>-1</sup> de água salobra, retornando 13,5 L.s<sup>-1</sup> para o curso de água, com uma carga maior de TDS (24.834 mg.L<sup>-1</sup>). Neste contexto, sugere-se a continuidade do estudo visando avaliar as condições do lançamento do concentrado nessas condições nas proximidades do ponto 1, tendo em vista a significativa diluição alcançada em função do Q<sub>7.10</sub> (265 L.s<sup>-1</sup>). estimado neste local

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

A partir da análise dos relatórios dos relatórios de qualidade da água nos pontos 1, 2 e 3 constatou-se elevada variação da condutividade ao longo do dia na foz do Ribeirão Água Branca influenciada, tanto pela maré, como pela pluviometria sobre a bacia hidrográfica, que varia de acordo com a estação do ano. Os picos de leitura foram obtidos na preamar de sizígia durante o período de estiagem.

Nesse cenário conclui-se que a seleção de membranas dessalinização de água salobra ou salina para a produção de água potável que utilizam mananciais sujeitos a variação da salinidade necessitam de estudo aprofundado das condições de entorno da captação, influência da cunha salina em função da variação da



maré ao longo do dia, pluviometria da bacia hidrográfica ao longo do ano e caracterização físico-química da água a ser tratada, entre outros, a fim de definir os limites de produção desejados e o ponto de lançamento do concentrado adequado.

Os sistemas de dessalinização que utilizam membranas para água salobra, por trabalharem com pressões menores e equipamentos de menor porte, devem se adequar a essas variações através da instalação de reservatórios de água bruta ou tratada dimensionados para os períodos de maior salinidade, característicos da preamar, nos quais a captação deixaria de ser utilizada.

A opção por sistemas de dessalinização que utilizam membranas para água salina permitiria operar a estação de dessalinização acima dos limites para o tratamento da água salobra, no entanto, por trabalharem com pressões superiores e equipamentos de maior porte, tendem a um custo de implantação superior ao dos equipamentos destinados ao tratamento da água salobra, dessa forma, em ambos os casos deve-se proceder a uma análise de viabilidade econômica financeira da solução a ser adotada.

Não obstante a seleção de equipamentos que se adequem a condição de maior salinidade, deve-se avaliar a disposição do concentrado que será descartado, quanto maior a taxa de recuperação do sistema maior a concentração de sais no rejeito, nesse sentido, a diluição próximo ao ponto de lançamento poderia limitar a vazão de água potável a ser produzida, podendo levar a disposição oceânica do concentrado e consequente encarecimento do custo de disposição.

Tendo em vista em vista o caráter exploratória da pesquisa recomenda-se a continuidade das análises do ponto de coleta 1 a fim de validar os resultados obtidos e caracterizar as amostras em seus constituintes físico-químicos, avaliando sua variação em função da cunha salina e das condições hidrodinâmicas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Água Branca, a fim a permitir a seleção do processo de tratamento mais adequado.

#### **AGRADECIMENTOS:**

À equipe do laboratório de Controle de Sanitário do Litoral Norte da Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo - Sabesp

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington: American Public Health Association; 2017, 1504 pp. ISBN 978-162576-240-5
3. BRASIL – Associação Brasileira de normas técnicas ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro. 2017
4. BRASIL – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – 2010, <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=355070&search=sao-paulo|sao-sebastiao>, acessado em 06/03/2015, às 16h30min.
5. BRASIL – Ministério da integração nacional – 2015. <<http://www.mi.gov.br/agua-para-todos>>. Acesso em 17/01/2018, às 16h30min.
6. METCALF & EDDY. 2015. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. McGraw – Hill. 2008 p. ISBN: 9788580555233.
7. Climatempo. <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/799/ilhabela-sp>>. Acesso em 04/05/2018, às 17:15.
8. SABESP, 2017; Relatório de Consulta Prévia – Estação de dessalinização do Ribeirão Água Branca. 56 p.
9. SPERLING M. V. 1995. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3º Ed. Editora UFMG 425 p. Belo Horizonte.
10. SILVEIRA, A.P.P., NUVOLARI, A., DEGASPERI, F. T. D., FIRSOFF, W. São Paulo. Dessalinização de águas. 2015. 288 p. Oficina de Textos. ISBN 978-5-7975-194-3.
11. SURIANI, W; PRADO, A. Revista SANEAR nº 16 p. 6 a 15. DEZ 2011.- ISSN 1983-7461
12. TRIPP, D. – Pesquisa – ação: uma introdução metodológica, Educação e pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005.