

OCORRÊNCIA DA SALINIZAÇÃO NO BAIXO PARAÍBA DO SUL

Diagnóstico e desenvolvimento de soluções tecnológicas

João Victor França de Abreu Terra

Vicente de Paulo Santos de Oliveira



OCORRÊNCIA DA SALINIZAÇÃO NO BAIXO PARAÍBA DO SUL

Diagnóstico e desenvolvimento de soluções tecnológicas

João Victor França de Abreu Terra

Vicente de Paulo Santos de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T323o

Terra, João Victor França de Abreu

A ocorrência da salinização no Baixo Paraíba do Sul: Diagnóstico e desenvolvimento de soluções tecnológicas [recurso eletrônico] / João Victor França de Abreu Terra, Vicente de Paulo Santos de Oliveira. — 1. ed. — Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia, 2024.

Apoio Prefeitura São João da Barra/ Cultura.

Livro eletrônico (99 p.)

Modo de acesso: World Wide Web: <http://essentiaeditora.iff.edu.br>

Formato: PDF

ISBN 978-65-87500-40-9 (e-book)

1. Água - Salinidade - Paraíba do Sul, Rio, Bacia. 2. Água - Análise - Paraíba do Sul, Rio, Bacia. 3. Abastecimento de água. 4. Irrigação agrícola. 5. Dessalinização da água. I. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de. II. Título.

CDD 628.167098153 23. ed.

OCORRÊNCIA DA SALINIZAÇÃO NO BAIXO PARAÍBA DO SUL

Diagnóstico e desenvolvimento de soluções tecnológicas

João Victor França de Abreu Terra

Vicente de Paulo Santos de Oliveira

Campos dos Goytacazes, 2024

1ª Edição

Apoio



AUTORES

João Victor França de Abreu Terra,

graduando em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense
Campus Campos Guarus e bolsista CNPQ.

Vicente de Paulo Santos de Oliveira,

Bolsista de Produtividade Desen. Téc. e Extensão Inovadora 2
Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de
Viçosa, Brasil (2003)

Professor de Ensino Básico e Tecnológico do Instituto Federal de Edu-
cação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil.

REVISORES

Leonardo Bernardo Campaneli da Silva

Doutorado em CIÊNCIAS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO pela Uni-
versidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil(2018)

Analista Ambiental - Biólogo do Instituto Estadual do Ambiente , Brasil.

Thiago Moreira de Rezende Araújo

Doutorado em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil(2015)

Servidor Público do Instituto Federal Fluminense , Brasil.

COLABORADORES

Carolina Ramos de Oliveira Nunes

Mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense,
Brasil(2021)

Técnica de laboratório-química do Instituto Federal Fluminense, Brasil.

Jairo Antônio Fernandes França,

Técnico em ROV (Veículo Operado Remotamente).

FOTO DE CAPA

Welliton Rangel

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus que mais uma vez me iluminou na elaboração deste trabalho.

Aos meus Pais, Risomar e Jorge Vicente, base da formação e exemplos de luta e dedicação.

A minha esposa, Rose Mara, e as minhas filhas Anna Mara e Karinne — razão do meu viver.

Agradeço à Dr^a Vania Cristina Alexandrino Bernardo que fez a revisão linguística desta obra, com todo carinho e atenção. Mais uma vez, Vania Bernardo revisa meus trabalhos mais importantes.

Agradeço ao Instituto Federal Fluminense, em especial, ao seu programa de Doutorado em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos (AmbHidro) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA), que apoiaram os trabalhos de pesquisa que subsidiaram esta obra.

Aos colegas do AmbHidro, Leonardo Bernardo Campaneli da Silva (INEA) e Thiago Moreira de Rezende Araujo (IFFluminense) pelo apoio e revisão técnica desta publicação.

**“Combati o bom combate,
terminei a corrida,
guardei a fé.”**
(2 Timóteo 4.7)

PREFÁCIO

A salinização de ambientes, sobretudo nas áreas costeiras e locais de contato entre o rio e mar, é um dos temas mais salientes na literatura acadêmica ambiental. É de amplo interesse da comunidade científica, pois é afeito tanto àqueles pesquisadores que se limitam a estudar os ambientes terrestres, marinhos ou dulcícolas, quanto aos que se debruçam para estudar as zonas de contatos entre esses espaços. Esse interesse da comunidade acadêmica é reflexo de uma necessidade premente do ser humano de sobrevivência uma vez que a salinização de águas inviabiliza seus usos múltiplos e impacta negativamente as comunidades biológicas que não conseguem se adaptar às mudanças bruscas que a elevação dos teores de sais impõe aos ecossistemas.

Quando o professor Vicente me enviou este livro para leitura, entendi a importância do volume de conhecimento acumulado por ele, ao longo de alguns anos, bem como a contribuição do seu alto nível de pesquisa a qual norteia reflexões e ações direcionadas ao assunto, em especial, para a região do Norte Fluminense.

O resultado dos seus estudos foi finalmente compilado nesta obra autoral que revela um estado da arte altamente rico sobre o assunto.

Este livro é de fácil leitura e compreensão, apesar da densidade com que desenvolve as discussões nele contidas, de tal forma que pode ser aproveitado como material base para disciplinas acadêmicas que abordam os impactos ambientais, sobretudo a salinização de ambientes por aumento do nível do mar ou perda de capacidade de diluição de rios.

Assim, desejo a todos o melhor proveito possível da singularidade desta obra.

Prof. Leonardo Bernardo Campaneli da Silva

-Biólogo do Instituto Estadual do Ambiente-INEA

-Prof. Colaborador do Curso de Doutorado Profissional em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos (AmbHidro) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense-IFFluminense

APRESENTAÇÃO

A água, inegavelmente, é um dos recursos mais relevantes para assegurar a manutenção da vida em nosso Planeta, assim como o desenvolvimento econômico e social das Nações, garantindo à população padrões adequados de qualidade de vida. No entanto, para que seja possível obter todos os benefícios associados a esse recurso natural, é imprescindível que este esteja disponível, não apenas em quantidade, mas também com a qualidade requerida para os diversos usos. Uma das formas pela qual essas condições são obtidas é por meio do ciclo natural da água, através de que a sua qualidade e disponibilidade têm sido asseguradas, desde quando ela surgiu em nosso Planeta. Contudo, a intensificação do seu uso tem resultado em problemas de escassez, tanto em relação à sua quantidade, como também à sua qualidade.

Nos grandes centros urbanos, o uso da água é bastante intensivo, influenciando, inclusive, o desenvolvimento de atividades agrícolas ou industriais de outras regiões, principalmente devido ao processo de transposição da água entre bacias hidrográficas. Em regiões próximas à costa, o uso intensivo de água doce e a sua transposição para outras regiões podem causar o fenômeno de salinização, por conta do avanço da água do mar para o interior do continente em função do menor deflúvio de água nos rios e da água subterrânea. Estas condições requerem uma avaliação adequada da gestão de recursos hídricos, bem como dos processos de desenvolvimento regionais, de maneira a minimizar os potenciais problemas relacionados à salinização da água.

Para que isso seja possível, é necessário ter uma base de conhecimentos adequados sobre as condições e mecanismos que levam ao processo de salinização, bem como das opções para o enfrentamento do problema naquelas regiões já afetadas. Neste contexto, a presente obra, “Ocorrência da salinização no Baixo Paraíba do Sul: Diagnóstico e desenvolvimento de soluções tecnológicas”, elaborada pelo Professor Vicente de Paulo Santos de Oliveira, apresenta uma abordagem abrangente sobre o fenômeno de salinização da água e os seus impactos nas atividades humanas, partindo de um contexto global, para uma abordagem regional.

Na abordagem regional, são enfatizadas as questões da salinização de água da Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul, que abrange uma das regiões metropolitanas mais importantes do País.

No livro, são descritos os problemas de salinização da água e abordados os principais impactos da sua ocorrência, em especial para a agricultura, utilizando, como base, exemplos práticos que já estão ocorrendo na região que é objeto de estudo, com ênfase na foz do Rio Paraíba do Sul e no 5º Distrito de São João da Barra/RJ, indicando a elevação da concentração de sais dissolvidos na água, o que pode ter um impacto significativo nas atividades desenvolvidas na região, assim como pode comprometer o abastecimento público.

A partir das constatações relacionadas ao processo de salinização, o autor aborda as estratégias para o enfrentamento do problema, passando a tratar de tecnologias para o processo de dessalinização, com maior ênfase para o processo de dessalinização por membranas, com a apresentação de projetos de dessalinização de água do mar em andamento no País, bem como dos desafios relacionados à pesquisa nesta área no País.

Trata-se, portanto, de uma obra que aborda os conceitos sobre os processos de salinização da água e seus efeitos potenciais para as regiões afetadas, que podem ser utilizados como base para a proposta de programas para a gestão de recursos hídricos, assim como traz uma abordagem tecnológica que procura mostrar a viabilidade de adaptação para as regiões que já enfrentam o problema. Neste sentido, o leitor poderá ter uma visão bem abrangente sobre o tema contemplado na publicação, permitindo também a busca por informações complementares, considerando-se a diversidade de referências utilizadas para a sua redação.

Prof. José Carlos Mierzwa

Professor Titular no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Lista de Ilustrações

Figura 1. Vieses e lacunas na literatura atual sobre salinização em escalas (esquerda).....	22
Figura 2. Foz do Rio Paraíba do Sul em Atafona, distrito de São João da Barra – RJ.....	26
Figura 3. Interligação Jaguari-Atibainha.....	28
Figura 4. Esquema do Sistema Hidráulico da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Guandu.	30
Figura 5. Perfil Esquemático do Sistema Taquaril.	33
Figura 6. Perfil de vazão “mínima” (Q7,10) Paraíba do Sul com Túnel Taquaril.	34
Figura 7. Represa de Sodrelândia em Trajano de Moraes – RJ.....	35
Figura 8. Mapeamento da salinidade no município de São Francisco de Itabapoana – RJ.	39
Figura 9. Mapa com a localização dos pontos de coleta de amostras no Rio Paraíba do Sul.	40
Figura 10. Antiga foz do rio Paraíba do Sul fechada em função da redução de vazão	42
Figura 11. Limites das três zonas – ZNA, ZIC e ZM - Rio Paraíba do Sul - Cenário de 50 anos: Extremo (II.2)	44
Figura 12. Monitoramento da condutividade elétrica da água do canal Quitingute, São João da Barra - RJ, no período de novembro de 2011 a janeiro de 2013.	46
Figura 13. Figura 13: Classificação da água utilizada na irrigação das lavouras dos produtores rurais da microbacia do Rio Doce, São João da Barra - RJ quanto à condutividade elétrica em março de 2013.	47
Figura 14. Dias de interrupção de abastecimento de água na sede de São João da Barra de 2015 a 2021.....	63
Figura 15. Nível de passagem de diferentes tipos de membranas.....	69
Figura 16. UTE GNA I – Visão geral (superior) e da planta de osmose reversa (embaixo).	73
Figura 17. % volume sobre a capacidade de reservação – Castanhão.	75
Figura 18. Protótipo do “dessalinizador por osmose reversa baixo custo”. ..	80

Lista de Quadros

Quadro 1. Quadro 1: Resumo sobre as técnicas de recuperação para solos degradados por sais e sódio.....	59
Quadro 2. Características das membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa.....	70

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valores de condutividade elétrica da água para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.....	55
Tabela 2. Valores limites de condutividade elétrica do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.	56
Tabela 3. Tolerância e produção potencial de algumas culturas cultivadas na microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ em função da salinidade da água de irrigação (CEi) ou do solo (CEs), em $\mu\text{mhos/cm}$, a 25°C.	57
Tabela 4. Tabela 4: Dias de interrupção da ETA SJB no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.	64
Tabela 5. Horas de interrupção da ETA SJB no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.....	64

Lista de Abreviaturas e Siglas

°C – grau(s) Celsius

μS/cm – microsiemen(s) por centímetro

AmbHidro – Doutorado Profissional em Modelagem e Tecnologia para o Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos

ANA – Agência Nacional de Águas

Ca²⁺ – cálcio

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CBH BPSI – Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana

CE – Condutividade elétrica

Cedae – Companhia Estadual de Água e Esgoto

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Cl⁻ – cloreto

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO₃²⁻ – carbonato

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

Coppe - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

dS/cm – decissiemens por centímetro

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial

ETA – Estação de Tratamento de Água

FSRU – unidade flutuante de armazenamento e regaseificação

GNA – Gás Natural Açú

GTAOH – Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica

h – hora(s)

ha – hectare(s)

HCO₃⁻ – bicarbonato

hm³ - hectometro cúbico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

IPCC – Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas
K⁺ – potássio
km – quilômetro(s)
km² – quilômetro(s) quadrado(s)
kW – quilowatt(s)
L/dia – litro(s) por dia
LabFoz – Laboratório de Análise e Monitoramento de Águas
m – metro(s)
m/km – metro(s) por quilômetro(s)
m³ – metro(s) cúbico(s)
m³/dia – metro(s) por dia
m³/h – metro(s) por hora
m³/s – metro(s) cúbico(s) por segundo
MBRD – Microbacia do Rio Doce
mg/L – miligrama(s) por litro
Mg²⁺ – magnésio
MW – megawatt(s)
Na⁺ – sódio(s)
NH₄⁺ – amônio
NO₃⁻ – nitrato
NTU – unidades nefelométricas de turbidez
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU – Organização das Nações Unidas
PCA – Análise de Componentes Principais
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
pH – potencial hidrogeniônico
ppm – parte(s) por milhão
PROJIR – Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na região
Norte Fluminense
RAS – relação de adsorção de sódio
RH-IX – Região Hidrográfica IX do Rio de Janeiro
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
RMPS – Região Metropolitana de São Paulo
RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RPS – Rio Paraíba do Sul

SIAA – Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Fortaleza

SO_4^{2-} – sulfato

STF – Supremo Tribunal Federal

ups - Unidades Práticas de Salinidade

UTE – usina termoeétrica

ZIC – zonas de inversão de correntes

ZM – zona de mistura

ZNA – zonas de oscilação de níveis d'água

Sumário

1. Introdução	19
1.1. A salinização no mundo.....	19
1.2. Ocorrência da salinização no Brasil.....	23
1.3. Impactos na bacia do rio Paraíba do Sul: Transposições	26
1.3.1. Impactos na bacia do rio Paraíba do Sul: Transposições.....	27
1.3.2. Transposição do rio Paraíba do Sul para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro	29
1.3.3. Sistema Taquaril: uma nova proposta para abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro	32
1.3.4. Barragem e transposição do rio Macabu para o Rio Macaé.....	34
2. Salinização no Baixo rio Paraíba do Sul	37
2.1. Simulação da salinização da foz do rio Paraíba do Sul.....	42
2.2. Salinização antrópica no 5º distrito de São João da Barra	45
3. Impactos da salinização	49
4. A salinidade na agricultura.....	50
4.1. Principais parâmetros de qualidade de água para fins de irrigação .	51
4.1.1. Perigos da salinidade	52
4.1.2. Perigos da sodificação (alcalinização).....	53
4.1.3. Principais parâmetros de qualidade de solo relacionado a sais..	54
4.1.4. Tolerância das culturas aos sais.....	55
4.1.5. Descrição da área de estudo sob a ótica da salinidade.....	57
4.1.6. Recuperação de áreas salinizadas	58
4.2. Influência da salinidade no abastecimento público de São João da Barra	62
5. Tecnologias de dessalinização.....	65
5.1. Dessalinização da água no mundo.....	65
5.2. Histórico	66
5.3. Processos de dessalinização	66
5.3.1. Sistemas de dessalinização por filtração com membranas	68

5.3.2. Processo de osmose inversa (ou reversa).....	71
5.3.3. Planta de dessalinização industrial – Projeto da Gás Natural Açu 72	
5.3.4. Planta de dessalinização de Fortaleza	74
5.3.5. Desenvolvimento e performance de um sistema piloto de dessalinização por osmose reversa baixo custo.....	77
5.3.6. Desafios da pesquisa sobre dessalinização	81
6. Conclusão	83



FOTO: WELLITON RANGEL

1. INTRODUÇÃO

1.1. A salinização no mundo

O acesso à água potável de forma universal e equitativa é um dos objetivos da Agenda 2030 da ONU (ODS 6). Isto se deve ao fato de ser fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, pois se trata de um insumo imprescindível para a produção de alimentos, energia, para a construção de ecossistemas saudáveis e para a sobrevivência da espécie humana, além de ser essencial para fazer frente às mudanças climáticas, desempenhando, portanto, um papel importante como elo entre a sociedade e o ambiente.

O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>), publicado em 20 de março de 2023, aponta cenários de risco combinado de inundação costeira, erosão e salinização para diferentes regiões do mundo, inclusive na América do Sul, devido a mudanças do nível do mar. Espera-se que a escassez de água doce deva aumentar até 2050, num processo contínuo de salinização dos cursos d'água e do solo associado ao aumento da demanda em função do crescimento da população mundial. Atualmente ocorre um aumento de demanda de 1% em média de água doce no mundo por ano desde a década de 1980, impulsionado por uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e evolução dos padrões de consumo.

Diante desse cenário, a ONU conclui que atualmente no mundo três em cada dez pessoas não têm acesso à água potável, sendo que mais de 2 bilhões vivem em países com um elevado nível de estresse hídrico e, ainda, que cerca de 4 bilhões de pessoas passam por grave escassez de água potável durante, pelo menos, um mês do ano (IPCC AR6 SYR, 2023; ONU Brasil, 2023).

Regiões semiáridas e áridas do mundo, onde a precipitação média anual varia entre 25 e 500 mm, que representam cerca de um terço da área terrestre, são habitadas por aproximadamente 400 milhões de

peças. Muitas dessas terras estão sob constante aumento por demanda humana por água doce, mas também ameaçadas pelo aumento da salinidade. O aumento de salinidade de lagos e rios nessas regiões pode ser o resultado de várias causas, tais como uso intensivo das águas, a remoção da vegetação natural nas bacias hidrográficas e as descargas de águas residuais agrícolas salinas, além do aumento da aridez climática e o uso das águas subterrâneas salinas. A redução da biodiversidade e a menor produtividade de ecossistemas aquáticos têm sido frequentemente observadas, mas além das mudanças ambientais, os impactos econômicos e sociais são significativos. Segundo Williams (1999), a salinização como uma ameaça global tem sido muito subestimada, sendo que, em alguns países com predomínio de terras áridas, ela é vista como uma das ameaças mais importantes aos recursos hídricos.

Entre as atividades antrópicas que favorecem a salinização dos recursos hídricos, destacam-se a agricultura, o uso de sal em regiões frias, a mineração, a intrusão marinha e as mudanças climáticas. Na agricultura, a irrigação excessiva e a consequente drenagem rica em sais e o uso descontrolado de fertilizantes são as principais causas. Já em regiões frias, o uso do sal para evitar a formação de gelo é uma outra fonte de salinização. São importantes os processos de salinização decorrentes da atividade de mineração que promove a exposição de camadas geológicas ricas em sais, e também o processo de intrusão salina em estuários de rios em função da elevação do nível do mar (Portal Tratamento de Água, 2022).

Cañedo-Argüelles *et al.* (2005) afirmam que a salinização pode ter uma origem natural (primária) ou antrópica (secundária). A origem natural pode ocorrer de três formas: por intemperismo geológico na captação; decorrente da pulverização marinha, principalmente em regiões costeiras; e a partir de pequenas quantidades de sais dissolvidos na água da chuva como consequência da evaporação da água do mar. Já a origem antrópica (secundária) envolve o acúmulo de sais provenientes de fontes naturais promovidas pela atividade humana. Os autores consideram que essa origem de salinização é uma ameaça global e crescente, representando o risco de causar graves perdas de biodiversidade e comprometer os bens e serviços ecossistêmicos promovidos pelos rios, pântanos e lagos em todo o mundo. Segundo a Agência de Proteção Ambiental (EPA), a salinização está entre as 15 principais causas de comprometimento de cursos d'água nos

Estados Unidos, sendo tão importante quanto a contaminação por agrotóxicos naquele país. Na Austrália, gestores de bacias hidrográficas também classificaram a salinidade entre os três contaminantes ambientais mais importantes. A salinização secundária pode ter várias causas: agricultura irrigada, mineração de carvão e de sal, remoção da vegetação natural, esgotos e efluentes industriais, degelo de estradas, entre outras. Mas a irrigação e a elevação dos lençóis freáticos foram relatadas como principais causas de salinização secundária, especialmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo, onde a produção agrícola consome grandes quantidades de água. As águas de drenagem, a partir da irrigação, transportam sais que podem ser lixiviados pelo escoamento e atingir os rios, como ocorreu com Amu Darya e Syr Darya na Ásia Central, entre outros. Ainda, segundo o autor, as mudanças climáticas provavelmente aumentarão a salinidade dos rios em algumas regiões, em consequência do aumento da temperatura da água e consequentemente da evaporação. Além disso, está sendo prevista redução de precipitações em diferentes partes do mundo, incluindo América Central, Norte e Sul da África, maior parte da Austrália, países do Oriente Médio, sul da Europa e no Sul dos EUA, o que certamente reduzirá o escoamento superficial, em bacias hidrográficas, tais como a Amazônia, Congo, Danúbio, Nilo, Orinoco, Paraná ou Yangtze.

As ligações entre estresse ambiental, assistência pública e deslocamento populacional foram avaliadas para a Índia costeira e Bangladesh em trabalho desenvolvido por Dasgupta *et al.* (2022). Segundo os autores, à medida que o oceano avança para o interior em função do aumento do seu nível, milhões de habitantes costeiros terão que recuar por falta de opção. Nessa pesquisa, foi utilizado um modelo econométrico para dinâmica espacial de populações que combinou economia local padrão com um modelo de assistência pública. Os autores concluíram que o aquecimento global tende a continuar por décadas e poderá ocorrer uma aceleração do aumento do nível do mar. Apesar das incertezas, as principais projeções de aumento do nível do mar agora incluem elevação de um metro ou mais até 2100, o que poderá proporcionar a ocupação de grandes áreas costeiras até o final do século e estenderá a salinização muito mais para o interior, comprometendo fontes de abastecimento de água para diversos usos, atingindo milhões de habitantes ao redor do mundo.

Cunillera-Montcusí *et al.* (2022) apresentaram uma proposta de agenda de pesquisa sobre salinização da água doce em nível global, regional e local que inclui as lacunas de conhecimento mais urgentes a serem abordadas (Figura 1).

Em escala global, destacam-se como focos principais: coleta de informações de regiões menos estudadas; criação de bancos de dados biológicos e de salinidade, análise das causas e consequências; e dinâmica da salinização da água doce em grandes escalas espaciais.

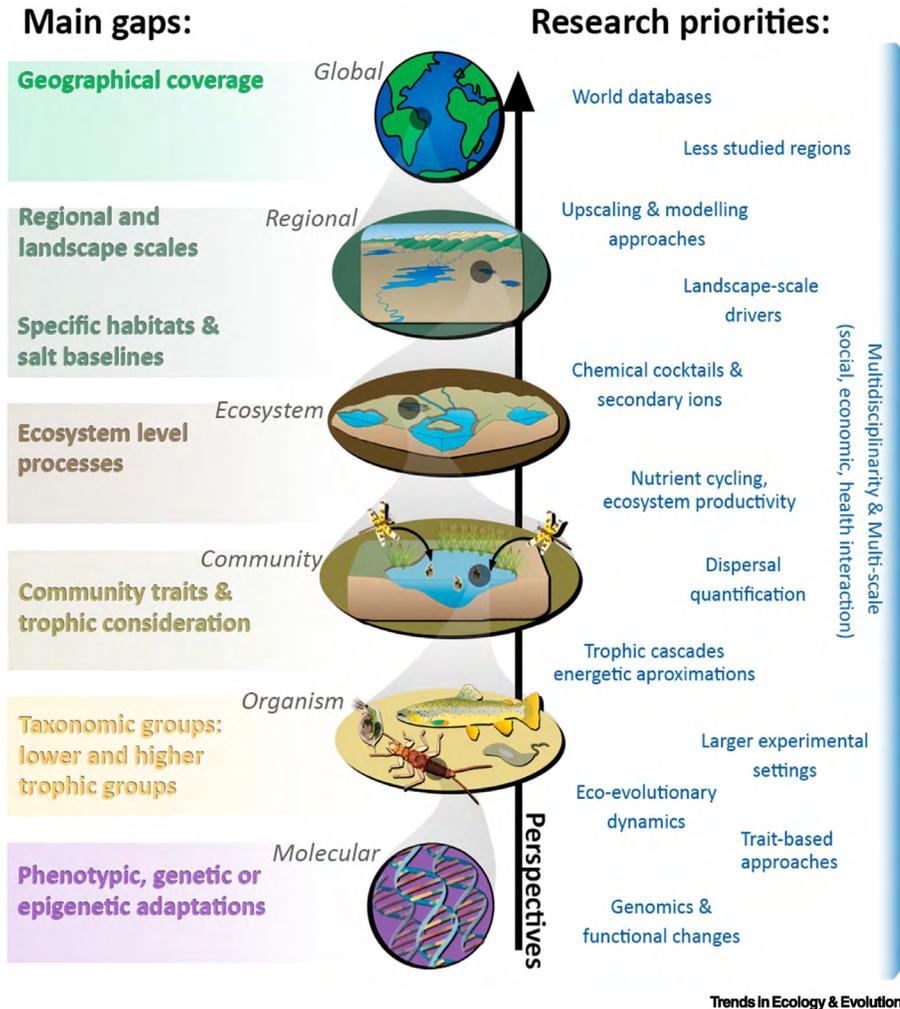


Figura 1. Vieses e lacunas na literatura atual sobre salinização em escalas (esquerda)

Fonte: Cunillera-Montcusí *et al.* (2022)

Regionalmente, sugerem-se como abordagens principais: faixas de salinidade em que há mudança drástica na composição de espécies; monitoramento ambiental; impacto da salinização da água doce; dinâmica de colonização-extinção e biodiversidade regional; e características em nível da bacia. Tais abordagens possibilitam um melhor entendimento sobre a salinização da água doce e permitem a modulação de seus impactos na biodiversidade e nos ecossistemas.

Em escala local, propõem-se focos principais: impacto da salinização da água doce nos níveis tróficos menos estudados e efeitos em cascata no funcionamento do ecossistema; características das espécies relacionadas à tolerância à salinidade com implicações para as funções ecossistêmicas; e adaptação à salinização e consequências para a dinâmica ecoevolutiva como, por exemplo, adaptações de espécies que aumentam sua aptidão populacional com efeito nas funções do ecossistema.

Os autores concluem que a salinização é uma das maiores ameaças aos ecossistemas globais de água doce e à sua biodiversidade associada, bem como ao bem-estar social, uma vez que se espera que tenha impacto na qualidade, no fornecimento de água e nos serviços ecossistêmicos relacionados. Esse desafio precisa ser enfrentado por um esforço conjunto e concentrado da comunidade científica que trabalha em diferentes escalas, envolvendo também outros *stakeholders*. As implicações da salinização em nível ecológico e evolutivo para os ecossistemas de água doce alterarão a sua biodiversidade e funcionamento e, conseqüentemente, afetarão as sociedades humanas que deles dependem tanto em nível econômico como em nível da saúde. A Figura 1 apresenta uma proposição de uma agenda de investigação científica, com pesquisas focadas em preencher lacunas de conhecimento que contribuiriam para avançar significativamente e, concomitantemente, desenvolver melhores estratégias de gestão, tais como as Soluções baseadas na Natureza (SbN), bem como para aumentar a conscientização geral sobre o problema.

1.2. Ocorrência da salinização no Brasil

De acordo com a Portaria Nº 149, de 26 de março de 2015, que definiu Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência

Nacional de Águas (ANA), são encontrados os seguintes conceitos relacionados à salinização:

SALINIZAÇÃO - processo de deterioração das condições do solo por aumento gradual da concentração de sais minerais;

SALINIDADE - concentração de sais minerais dissolvidos na água que infiltram no solo, geralmente por meio da irrigação;

ÁGUA DOCE - água com salinidade igual ou inferior a 0,5‰, segundo a resolução CONAMA, 2005;

ÁGUA SALOBRA - água com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰, segundo a resolução CONAMA, 2005;

ÁGUA SALINA - água com salinidade igual ou superior a 30‰, segundo a resolução CONAMA, 2005.

No Brasil, a região com registros mais importantes de salinização é o Nordeste. A geologia e o clima semiárido são as principais causas da salinização naquela região, onde a evaporação excede à precipitação. Observa-se também, em reservatórios, o processo de salinização progressiva em função do regime de operação, visto que o maior tempo de residência da água aumenta a evaporação e a concentração de sais dissolvidos. É importante destacar que as águas subterrâneas do Nordeste do Brasil apresentam teores elevados de sais, resultado do contato com as rochas cristalinas que predominam na região. Como exemplos de bacias com altos graus de salinidade podemos citar: as dos rios Jucu e Curimataú (Paraíba); dos açudes Santa Cruz e Poço Branco (Rio Grande do Norte); e dos rios Jaguaribe e Litoral (Ceará) (ANA, 2012).

Assim, o uso de tecnologias de dessalinização no Brasil fica restrito a algumas regiões específicas. Isto se deve, principalmente, pela grande oferta de água doce em diferentes regiões do país. Além do Nordeste brasileiro, cidades litorâneas com grande densidade populacional, com crescente demanda hídrica e restrita oferta de água doce, são as principais demandas de uso dessas tecnologias. No Nordeste, as tecnologias de dessalinização têm importância social, pois a geologia de formação dos solos e as altas taxas de evaporação salinizam os mananciais de abastecimento público. Já para os grandes centros urbanos litorâneos, em especial as capitais e as grandes cidades, esta demanda surge em

função do crescimento populacional e das limitações das fontes de água doce potável (ANA, 2012).

Nesse contexto, destaca-se, por exemplo, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com uma população de mais de 13 milhões de habitantes, cuja principal fonte de abastecimento é uma limitada transposição de água do rio Paraíba do Sul (no máximo 160 m³/s) para o rio Guandu, que sofre por crises de abastecimento, em anos de seca da bacia do Rio Paraíba do Sul. No semiárido da Região Hidrográfica do São Francisco, a salinidade de alguns cursos d'água restringe o seu uso para o abastecimento humano, irrigação e dessedentação de animais. Considerando que nessa região a água é escassa e a demanda alta, a salinidade torna-se, portanto, um agravante sob o aspecto qualitativo. Na Bahia (rio Salitre), em Alagoas (rios Traipú e Ipanema) e em Pernambuco (rio Moxotó) têm-se observado limitações para o uso da água nesses mananciais devido à salinidade (ANA, 2012).

Na Região Metropolitana de Recife, verificou-se que diversos poços vêm sofrendo com o processo de salinização em vários bairros da planície, tanto na área das praias, como em bairros centrais. Essa região apresenta grandes áreas de mangues e de estuários de rios com salinidade elevada, sobretudo nos períodos de estiagem, durante a preamar. Com as previsões de elevação dos níveis dos oceanos, há uma tendência de agravamento considerável do processo, promovendo a intrusão da cunha salina a montante de rios e córregos, e, por infiltração, a contaminação dos aquíferos (de PAIVA *et al.*, 2015).

Em 2021, registrou-se a ocorrência de salinização das águas na foz do Rio Amazonas que afetou cerca de 15 mil moradores do Arquipélago do Bailique, conjunto de ilhas que fica a 12 horas de barco de Macapá, Norte do Brasil. A vazão reduzida de setembro a novembro do rio Amazonas associada às marés altas, possibilita o avanço da cunha salina no estuário. Entretanto, observa-se o aumento de salinidade ao longo do tempo no estuário, o que pode ser explicado devido à ocorrência de eventos climáticos extremos. Como consequência, a população residente do arquipélago tem sofrido restrições de uso de água para consumo humano. Em 2022, o fenômeno voltou a ocorrer, porém se agravou ainda mais nos meses de novembro e dezembro. O sistema de educação foi atingido pela falta de água potável em pelo menos 23 escolas espalhadas

pelas ilhas. O uso de sistemas improvisados de armazenamento e coleta de água de chuva foi a solução implementada pela população (AGÊNCIA BRASIL, 2021; O GLOBO, 2022).

1.3. Impactos na bacia do rio Paraíba do Sul: Transposições

Localizada no Sudeste do Brasil, com área estimada de 62.074 km² que se estende por 184 municípios, nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, a bacia do rio Paraíba do Sul vem sofrendo, ao longo de décadas, intervenções antrópicas que alteraram substancialmente suas características ambientais. Originalmente coberta por vegetação de Mata Atlântica, atualmente possui somente 11% da vegetação original e o restante da área é ocupado por pastagens, culturas, reflorestamentos e outros. Quanto ao curso d'água principal, o rio Paraíba do Sul percorre 1.150 km, a partir de uma altitude de 1800m no município de Areias em São Paulo, até desaguar no Oceano Atlântico, no Norte Fluminense, no distrito de Atafona, município de São João da Barra (Figura 2).



Figura 2. Foz do Rio Paraíba do Sul em Atafona, distrito de São João da Barra – RJ.

Fonte: Welliton Rangel

A atual degradação da qualidade das águas da bacia tem diversos fatores causadores, tais como: resíduos dispostos inadequadamente; processo erosivo acelerado em função dos desmatamentos, assoreamento dos cursos d'água provocando e agravando as consequências das enchentes; extração de areia sem a devida recuperação ambiental; uso indiscriminado de agrotóxicos; ocupação irregular das faixas marginais de proteção; pesca predatória; entre outros. Quanto ao saneamento básico, estima-se que diariamente cerca de 1 bilhão de litros de esgotos domésticos sem tratamento afluem nos cursos d'água na bacia, pois aproximadamente 90% dos municípios não dispõem de tratamento de esgotos. Além desses fatores, atualmente ocorrem transposições na bacia, sendo que as principais acontecem para abastecer as duas megacidades do Brasil, as Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e Rio de Janeiro (RMRJ) (CEIVAP, 2022).

1.3.1. Impactos na bacia do rio Paraíba do Sul: Transposições

Em 2014, a bacia do RPS enfrentou grave déficit hídrico por questões climáticas, o que suscitou uma série demandas nos estados do RJ e de SP e exigiu a mobilização das instituições responsáveis e representações do sistema de gestão das águas nos estados envolvidos. Na época, o Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica, na Bacia do Rio Paraíba do Sul (GTAOH), para atuação conjunta com o Comitê da Bacia do Guandu foi criado para discutir acerca da situação dos reservatórios do rio e sobre as vazões máximas de transposição e as mínimas afluentes na represa de Santa Cecília. Segundo a Nota Técnica nº 01-A/2014 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), órgão ambiental executor da gestão dos recursos hídricos do RJ, a segurança hídrica da RMRJ é fortemente dependente das águas da bacia do Rio Paraíba do Sul. O estado de São Paulo propôs naquele período mais uma transposição a partir do reservatório de Atibainha, no trecho superior da bacia, o que foi realizado a partir da homologação de acordo entre os dois estados pelo Supremo Tribunal Federal (STF) em 2015, possibilitando assim, a partir de 2018, outra transposição da bacia RPS

de 5,13 m³/s para RMSP. O déficit hídrico naquele ano também provocou a redução da transposição em Santa Cecília e impôs restrições ao uso da água na RMRJ (CEIVAP, 2022).

Assim, em 2018, dois anos após uma das maiores crises hídricas na RMSP, foi inaugurada a obra de transposição de água Jaguari-Atibainha com o objetivo de suprir o Sistema Cantareira, principal manancial paulista em momentos de restrição. O sistema Jaguari-Atibainha com capacidade de transpor 5,13 m³/s de água de boa qualidade, atende aproximadamente 8% do volume de água consumidos na RMSP. Essa transposição consiste na interligação entre as represas Jaguari (Bacia do Paraíba do Sul) e Atibainha (reservatório Atibainha que faz parte do Sistema Cantareira na bacia hidrográfica do sistema PCJ: Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá). A interligação entre os reservatórios é realizada por adutora com aproximadamente 13,43 km e por um túnel de aproximadamente 6,13 km de extensão (Figura 3). Afirma-se que a interligação possibilitará também a captação no sentido inverso, isto é, da represa Atibainha para a represa Jaguari, mas não se tem informações se esta operação já ocorreu (Portal Tratamento de Água, 2018).

Interligação Jaguari - Atibainha

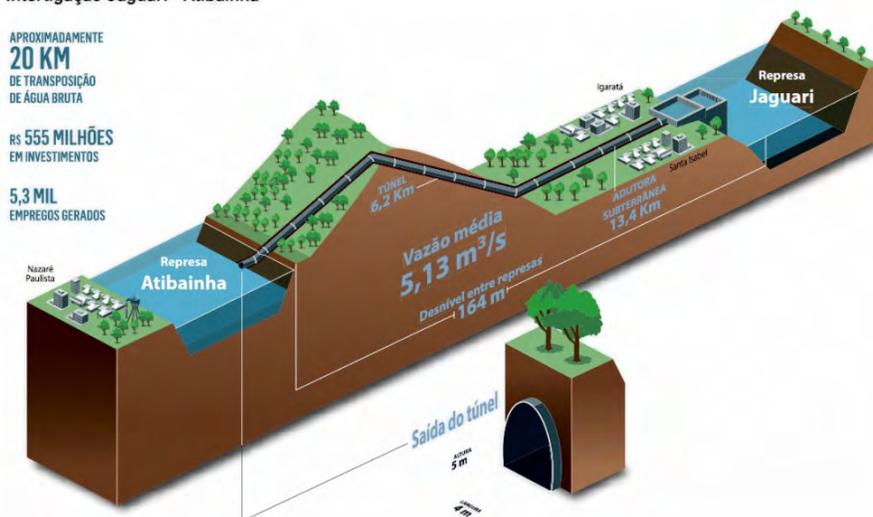


Figura 3. Interligação Jaguari-Atibainha.

Disponível em: <<http://patrocinados.estadao.com.br/sabesp/interligacao-jaguari-atibainha-vai-beneficiar-cerca-de-10-milhoes-de-pessoas>>. Acesso em: 05 de out 2023.

1.3.2. Transposição do rio Paraíba do Sul para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro

O abastecimento de 83% de mais de 13 milhões de habitantes da RMRJ, além do atendimento às indústrias e outros usuários dos 21 municípios que compõem essa região, tem como principal manancial o rio Guandu. Isto só é possível graças ao desvio das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a bacia hidrográfica do rio Guandu, a partir de uma captação de até 160 m³/s pela estação elevatória de Santa Cecília, em Barra do Pirai.

A transposição das águas ocorre, legalmente, por demanda do setor elétrico para geração de energia (Concessão nº 001/96 em favor da Light Serviços de Eletricidade S.A.) prevista até 3 de junho de 2026. Em 1952, a Estação Elevatória de Santa Cecília entrou em operação e em 1955 foi construída a ETA Guandu, passando a se constituir, a partir daquele momento, como a principal fonte de abastecimento da RMRJ. Na verdade, o sistema é composto por dois pontos de transposição captados na bacia do Rio Paraíba do Sul (nos rios Paraíba do Sul e Pirai), ambos de domínio da União. A transposição ocorre por meio de um complexo sistema de canalizações ligado às usinas hidrelétricas de Nilo Peçanha, Fontes Nova, Pereira Passos e a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Paracambi, até encontrar as águas do Ribeirão das Lajes a fim de formar o rio Guandu para abastecer a RMRJ (Figura 4).

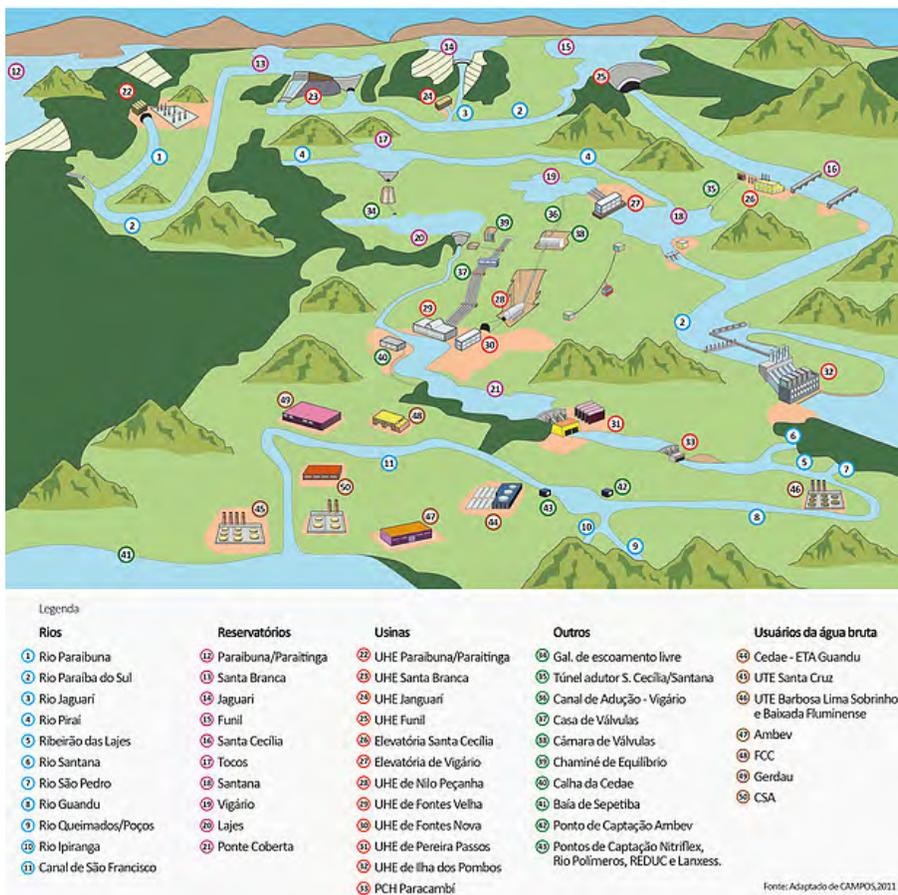


Figura 4. Esquema do Sistema Hidráulico da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Guandu.

Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/monitoramento-dos-reservatorios-do-paraiba-do-sul/>>. Acesso em: 05 de out 2023.

O contrato em favor da Light Serviços de Eletricidade S.A. obriga a concessionária a manter a vazão do Rio Paraíba do Sul, a jusante da Barragem de Santa Cecília, dentro dos limites fixados pela ANA em articulação com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para, em tese, minimizar os eventuais impactos ambientais. Conforme a Resolução ANA nº 211, de 26 de maio de 2003, esta vazão deve ser de, no mínimo, 71 m³/s, podendo alcançar o limite da vazão mínima normal de 90 m³/s, enquanto o limite mínimo para a vazão média de bombeamento, em Santa Cecília (uma das transposições RPS/Guandu), é de 119 m³/s. Em outras palavras, cerca de 63% das águas de Santa Cecília, barragem a

montante do bombeamento do ponto de transposição, situada em Barra do Pirai/RJ, destinam-se à bacia do rio Guandu para atendimento da ETA Guandu e outros usos. Devido à transposição, conforme inciso IV do art. 11 da Lei RJ nº 4.247/03 e a Deliberação CEIVAP nº 52/05, são aplicados, obrigatoriamente, 15% (quinze por cento) dos recursos oriundos da cobrança pelo uso de água bruta na bacia hidrográfica do rio Guandu na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

No âmbito do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), foi desenvolvido um Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais da Bacia Hidrográfica - SIGA-CEIVAP (Disponível em <<http://sigaceivap.org.br/siga-ceivap/salaDeSituacao>>. Acesso em: 05 de out 2023) que tem, entre outros objetivos, monitorar e acompanhar os dados de estações hidrológicas e meteorológicas, possibilitando a divulgação de informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos rios e reservatórios na bacia do rio Paraíba do Sul. É possível atualmente acompanhar, em tempo real, as vazões da transposição para RMRJ e a jusante na estação elevatória de Santa Cecília.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do RJ, vigente na época, apontava uma situação de alta criticidade na bacia do rio Guandu, com valores de 73,6% de comprometimento da sua disponibilidade hídrica e projetava para 2030, mantidas as condições de uso, que este percentual poderia variar de 89,2% (cenário otimista) a 94,7% (cenário tendencial), indicando a necessidade de aumento dos limites da vazão transposta em 12 m³/s em Santa Cecília. Medidas legais da ANA na época regulamentaram os limites de vazão de transposição em função dos níveis de água dos reservatórios a montante de Santa Cecília.

A Nota Técnica do Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itapoana (CBH BPSI) de 2014 e a Nota Técnica CBH BPSI 01/2016 relatam as dificuldades enfrentadas, na região do Baixo Paraíba do Sul, em função das transposições na bacia associadas à condição climática enfrentada naquele ano. As notas apresentaram evidências e registros de redução de vazão média do rio desde 1955 (ano de construção da ETA Guandu) e o intenso processo de salinização em até 8 km no rio a partir da foz (7000% superior, cerca de 5000 µS/mL), comprometendo a captação e o fornecimento de água na estação da Cedae, em São João da Barra, entre outras consequências. Estudos realizados

à época pelo INEA recomendaram a transferência da captação de água para abastecimento da região, em São João da Barra, para cerca de 16 km a montante da foz, no distrito de Barcelos com o aumento da vazão captada (COPPETEC, 2013).

1.3.3. Sistema Taquaril: uma nova proposta para abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Nos dias 8 e 9 de agosto de 2023, foi realizado no IFF Itaboraí, o “1º Encontro técnico sobre alternativas de abastecimento hídrico da região leste da Baía de Guanabara”. O evento foi organizado pela Coordenadoria de Planejamento e Articulação para Segurança Hídrica da Superintendência de Recursos Hídricos, Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade - Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do estado do Rio de Janeiro. Na oportunidade, foram discutidas as limitações de fontes de abastecimento no Leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, além das alternativas de abastecimento para a região. O evento foi transmitido usando a plataforma Youtube e a gravação dos vídeos estão disponíveis em <https://www.youtube.com/watch?v=Rh7pB-gOXIU4> (INEA, 2023).

Entre os projetos apresentados, destaca-se o projeto Sistema Taquaril que, na sua concepção, sugere mais uma transposição do rio Paraíba do Sul. O projeto de transposição Sistema Taquaril propõe a construção de um túnel subterrâneo em rocha com extensão de 47 km e diâmetro de 6 m, o que significará algo em torno de 1,3 milhão de metros cúbicos de escavação. A captação se dará por gravidade a uma vazão média de 30 m³/s de água no rio Paraíba do Sul, no distrito de Anta, Município de Sapucaia, onde o Paraíba do Sul recebe águas dos afluentes Piabanha e Paraibuna. O túnel aduziria água do rio Paraíba do Sul com uma cota de captação de 265 m e alcançaria o Rio Guapiaçu na cota 250 m, em Cachoeiras de Macacu, portanto, com uma declividade mínima de 0,01-0,05% (aproximadamente 0,3 m/km) (Figura 5).

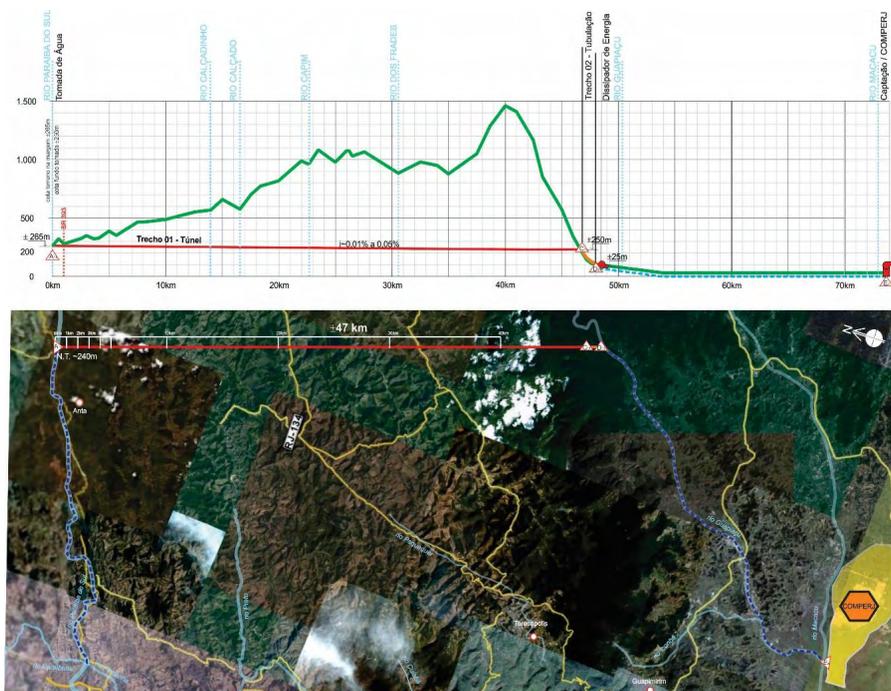


Figura 5. Perfil Esquemático do Sistema Taquaril.

(FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2018)

Segundo os idealizadores do projeto, a viabilidade econômica da proposta só é possível com a geração de hidroeletricidade a partir do desnível geométrico entre a cota na saída do túnel (cota 250 m) e o rio Guapiaçu (cota 25 m) de 225 m, o que possibilitará a geração de energia firme estimada em média de 60 MW. Estima-se que empreendimento, com prazo de construção avaliado em 5 anos, tem seu valor na ordem de 1,25 bilhão de reais, mas a geração de energia poderia gerar uma receita de 45 milhões de reais por ano.

Segundo os estudos preliminares apresentados durante o evento, no ponto a jusante do encontro dos afluentes Piabanha e Paraibuna, no rio Paraíba do Sul, há disponibilidade de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ de vazão outorgável (40% de $Q_{95\%}$ ou 50% da $Q_{7,10}$), isto é, há disponibilidade hídrica no rio para realização de mais uma transposição (Figura 6).

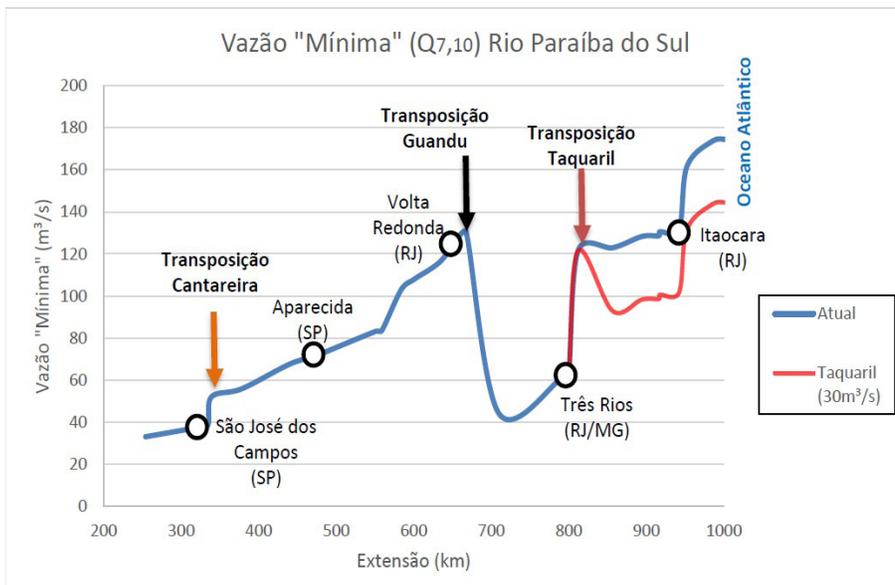


Figura 6. Perfil de vazão "mínima" (Q_{7,10}) Paraíba do Sul com Túnel Taquaril.

(FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2018)

A proposta é justificada para atendimento de demanda na Região Metropolitana do Rio de Janeiro e, prioritariamente, Niterói e Norte da Baía de Guanabara, que atualmente recebem água do sistema Imunana/Laranjal, do rio Macacu e de outros mananciais. Durante a apresentação e nos trabalhos pesquisados, não há qualquer referência sobre os prováveis impactos de mais uma transposição na região do Baixo Paraíba do Sul, em especial no estuário do rio em Atafona, São João da Barra-RJ (FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2018).

1.3.4. Barragem e transposição do rio Macabu para o Rio Macaé

O Rio Macabu nasce nas serras do Macaé e do Macabu, a uma altitude de 1.480 m, seguindo a nordeste por cerca de 14 km até a Barragem do Macabu onde armazena suas águas na Represa da Tapera. Apesar de a barragem possuir um vertedor, poucas vezes a água flui a jusante. Após a barragem na Tapera, o rio Macabu nasce outra vez e segue seu curso por cerca de 77 km até chegar na Lagoa Feia, percorrendo, nesse trajeto, os municípios de Trajano de Moraes, Conceição de Macabu, Campos dos Goytacazes e Quissamã.

A barragem foi construída entre 1939 e 1952 para fins de transposição das águas visando à produção de energia elétrica na região serrana de Macaé. Possui estrutura com cerca de 100 m de curvatura e 40 m de altura, proporcionando a formação de um espelho d'água artificial de 2,972 km² (297,2 hectares) (Figura 7).



Figura 7. Represa de Sodrelândia em Trajano de Moraes – RJ.

Fonte: Autor

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras, um túnel subterrâneo, com cerca de 4,8 km de extensão e queda bruta de 336 m interliga as águas do rio Macabu com as do rio São Pedro, configurando-se, assim, uma transposição, entre a Bacia do Baixo Paraíba do Sul e do Itabapoana e a Bacia do Rios Macaé e das Ostras. O sistema implantado fornece água a uma vazão regularizada de 5,4 m³/s para impulsionar as turbinas da Pequena Central Hidrelétrica Macabu. A PCH Macabu tem uma potência instalada de 21.000 kW sob a gestão da Empresa Quanta Geração S.A. Segundo o Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense (PROJIR), após a construção da barragem, o rio Macabu

sofreu uma redução de vazão média registrada de 1953 a 1981 de 24%, sendo que nos meses de agosto, setembro e outubro, esta redução foi de 27, 30 e 39%, respectivamente.

Além da geração de energia, a transposição de bacias do rio Macabu para a bacia do rio São Pedro, afluente do rio Macaé, tem um papel essencial no abastecimento da Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras, pois aporta quantidades de água relevantes para o balanço hídrico da parte mais a jusante do rio Macaé. Conforme o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras (PRH Macaé/Ostras), as vazões de referência da Q95% e Q7,10 do rio São Pedro mudam dos valores de 2,32 e 1,96 m³/s para vazões de 7,68 e 6,92 m³/s, respectivamente, considerando a transposição a partir do rio Macabu. Estudos de cenários futuros realizados pelo PRH Macaé/Ostras indicam agravamento da crise hídrica na bacia hidrográfica, caso a transposição seja interrompida. Entretanto, o plano de bacia alerta sobre a necessidade de compensação financeira para a bacia do rio Macabu com recursos da cobrança pelo uso da água, considerando a vazão transposta como um uso consuntivo, bem como a definição da fonte geradora dos recursos desta compensação.

Apesar da redução de vazão no rio Macabu afetar diretamente a Lagoa Feia, que recebe águas do rio Paraíba do Sul, portanto, não afetando sua vazão, a transposição pode contribuir, ainda, sim, para um ressecamento na Baixada Campista e agravar a salinização, principalmente em períodos de seca (SEA, 2014; FREITAS *et al.*, 2014).

Conclui-se, portanto, que as transposições de águas na bacia do Rio Paraíba do Sul afetam diretamente a região do Baixo Paraíba do Sul, considerando que a posição hidrográfica da RH-IX, no trecho mais baixo do curso do Rio Paraíba do Sul, em especial na foz do rio no distrito de Atafona em São João da Barra - RJ. Entretanto, os impactos dessas transposições não foram devidamente estudados e esclarecidos, principalmente no que diz respeito aos efeitos da redução da vazão natural em relação ao avanço da água do mar e à consequente salinização da água doce na região (CBHBPSI, 2021).

2. SALINIZAÇÃO NO BAIXO RIO PARAÍBA DO SUL

Pesquisadores investigaram o limite máximo de variação da intrusão da cunha salina no estuário do Rio Paraíba do Sul em condição de baixa vazão. A pesquisa consistiu em determinação de parâmetros de qualidade de água no rio em 21 datas entre julho de 2014 e dezembro de 2015. Os parâmetros medidos com o uso de uma sonda multiparamétrica (modelo 6820 V2, fabricante YSI) foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (mg/L), salinidade e temperatura da água (°C). As leituras foram feitas em 9 pontos fixos com a leitura da superfície e do fundo sempre sendo feitas 5 cm abaixo da superfície e 5 m acima do sedimento do rio. Os dados foram trabalhados utilizando Análise de Componentes Principais (PCA) de forma a agrupar as observações em classes de acordo com a similaridade o que permitiu formular novas hipóteses. Pode-se concluir que a intrusão salina atinge aproximadamente 6,7 km a montante a partir da linha costeira, formando um gradiente decrescente desde o mar até o limite a montante da zona de mistura. Os autores concluíram também que para a manutenção do equilíbrio do ecossistema e para permitir a possibilidade de múltiplos usos sustentáveis da água para as gerações presentes e futuras, deve-se manter uma vazão ecológica mínima de 567,45 m³/s (BARROSO *et al.*, 2019).

Ribeiro *et al.* (2023) desenvolveram uma pesquisa sobre a ocorrência dos eventos de salinização, nos corpos hídricos, devido ao avanço da cunha salina no mundo, no Brasil e no Baixo Paraíba do Sul. Os autores concluíram que uma boa gestão de recursos hídricos deve envolver controle da captação e estudos de monitoramento de longo prazo da salinidade de águas subterrâneas e superficiais para minimizar os impactos atuais e futuros e elevar a qualidade de vida da população e a conservação dos ecossistemas.

Marengo e Alves (2005) analisaram registros hidrometeorológicos da bacia do Rio Paraíba do Sul desde a década de 1920 até 2003 com finalidade de identificar e explicar tendências observadas nas vazões e

correlacioná-las a efeitos antropogênicos ou com causas naturais. Os autores observaram períodos de vazões extremas no Rio Paraíba do Sul no ano de 1955 (ano seco) e nos anos 1967-68 (anos chuvosos). Os autores concluíram que vazões do Rio Paraíba do Sul, observadas em postos fluviométricos de SP e RJ, mostraram uma tendência negativa durante os últimos 50 anos. Entretanto, não se observou, em longo prazo, tendência significativa nas séries de chuvas para o mesmo período que possam explicar as tendências negativas nas vazões e cotas do Paraíba do Sul.

Sob o título “Georreferenciamento dos Índices de Qualidade da Água Subterrânea na Foz das Bacias do Paraíba do Sul e Itabapoana (Brasil)”, Silva *et al.* (2017) desenvolveram um trabalho visando à caracterização de águas subterrâneas na área de influência urbana e rural de São Francisco de Itabapoana – RJ, Brasil, Norte do Estado do Rio de Janeiro, que compreende uma região entre os estuários dos rios Itabapoana e Paraíba do Sul, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas. Tais análises da água subterrânea foram realizadas em 21 localidades do Município de São Francisco de Itabapoana, totalizando 157 domicílios visitados. Os resultados dos ensaios físico-químicos foram comparados com a legislação vigente à época, sendo que os valores máximo e mínimo permitidos para cloro total foram utilizados tendo como referência valores da Organização Mundial de Saúde (OMS) e por alguns estados brasileiros. Entre os resultados obtidos, constatou-se presença de salinidade ao sul do município, nos estuários dos rios Paraíba do Sul e Guaxindiba; e ao norte, as margens do rio Itabapoana. Nestas áreas, verificaram uma tendência de água salobra representada por 29,94% das amostras (Figura 8).

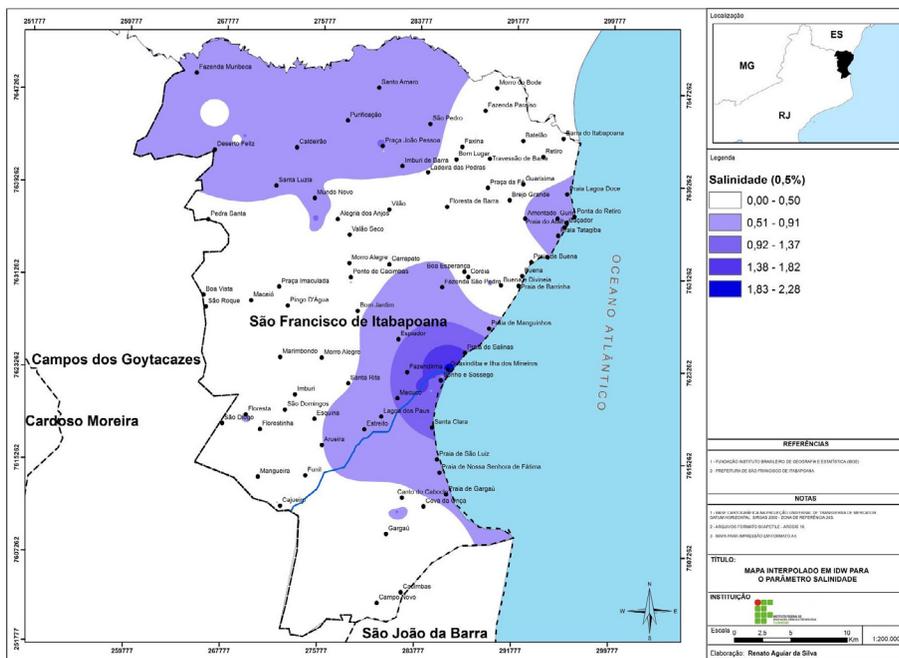


Figura 8. Mapeamento da salinidade no município de São Francisco de Itabapoana – RJ.

Fonte: SILVA *et al.*, 2017

Nunes *et al.* (2022) publicaram trabalho denominado “Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019” com o objetivo principal de avaliar a intrusão salina, a partir da determinação dos valores de salinidade e concentração de íons no estuário do rio Paraíba do Sul, durante a maré alta, em diferentes datas de amostragem. O estuário deltaico apresentava um gradiente distribuído com uma zona de mistura que se estende até 6,7 km a montante da costa e uma superfície de 8,11 km². Foram realizadas amostragens em seis pontos que variaram de 2 a 24 km a partir da foz, conforme mostrado na figura a seguir.

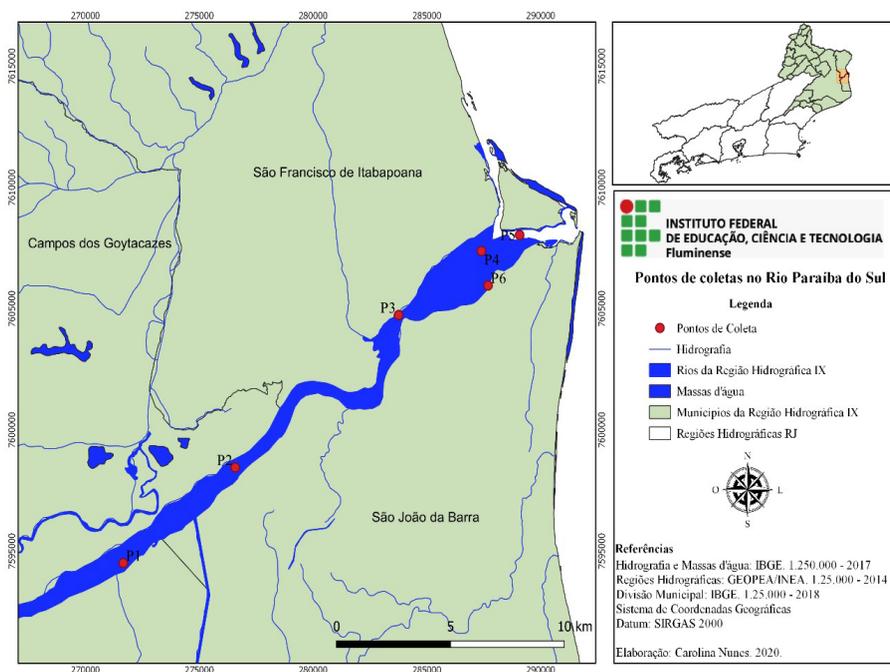


Figura 9. Mapa com a localização dos pontos de coleta de amostras no Rio Paraíba do Sul.

Fonte: NUNES *et al.*, 2022

Nos pontos de coleta, foram realizadas, no mínimo, três amostragens por ponto, a uma profundidade de 2 m no canal central do rio e as amostras de água foram armazenadas em frascos de polipropileno de 500 mL e encaminhados ao Laboratório de Análise e Monitoramento de Águas (LabFoz), no Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense. No LabFoz, as análises foram realizadas em triplicata na determinação de condutividade elétrica, salinidade, sódio (Na^+), amônio (NH_{4+}), potássio (K^+), magnésio (Mg_{2+}), cálcio (Ca_{2+}), cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-). As concentrações de íons foram determinadas pela técnica de cromatografia de íons, com exceção do bicarbonato e carbonato, que foram analisados por titulação. As análises estatísticas foram realizadas com base em uma análise exploratória de dados usando dois métodos matemáticos aplicados a dados multivariados: Análise de Cluster realizada pelo Método Hierárquico e uma Análise PCA. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que o estuário do Rio Paraíba do Sul sofre significativa

influência marinha, principalmente em condições de vazão reduzida do rio quando ocorrem as maiores intrusões salinas. Nos resultados das primeiras quatro coletas de campo (S1, S2, S3 e S4), foram observados valores maiores de condutividade elétrica, salinidade e de íons Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+} , principalmente quando observadas em menores vazões do rio (S1 e S4), quando ocorre maior intrusão salina do mar e, provavelmente, maior transporte de íons para dentro do estuário.

Os resultados do estudo da Análise de Componentes Principais (PCA) indicaram dispersão de nitrato e de pH em relação aos demais parâmetros avaliados, sendo que o pH está negativamente correlacionado com o eixo 2, enquanto o nitrato está positivamente correlacionado com o mesmo eixo. Os dois primeiros eixos respondem por 96,7% da variação total de dados. A condutividade elétrica, salinidade, Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} correlacionaram-se positivamente com o eixo 1.

Os resultados, ainda, indicaram um aumento considerável nos valores de condutividade elétrica, salinidade, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+} na amostragem dos pontos mais próximos do mar em saídas de campo quando foram observadas menores vazões.

Também esses estudos mostraram que o estuário do rio Paraíba do Sul sofre significativa influência marinha, caracterizada por maiores intrusões salinas em condições de vazão reduzida do rio (inferiores a $360 \text{ m}^3/\text{s}$). Os autores destacam a importância de se manter uma vazão mínima do rio de forma a alcançar uma composição química apropriada da água do estuário para fins de manutenção do ambiente natural característico. A Figura 10 mostra a antiga foz em Atafona assoreada provavelmente em função da redução de vazão.



Figura 10. Antiga foz do rio Paraíba do Sul fechada em função da redução de vazão

Fonte: FOLHA 1, 2017.

2.1. Simulação da salinização da foz do rio Paraíba do Sul

Em estudo realizado pelo Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente da UFRJ, foram caracterizadas as diferentes zonas das regiões estuarinas das principais bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, com base em dados secundários e auxílio de modelagem computacional. Os modelos utilizados no desenvolvimento dos serviços fazem parte do Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA[®]) que, até então, tem sido continuamente ampliado e aperfeiçoado na Coppe/UFRJ desde 1987. Nesse estudo, foram analisados cinco estuários: Rio Paraíba do Sul; Rio Guandu/Canal de São Francisco; Rio São João; Rio Macaé; Baía de Guanabara, com foco nas bacias dos rios Iguaçú/Sarapuí, Caceribú e Guapimirim. Especificamente sobre a bacia do Rio Paraíba do Sul foram considerados os cenários atual e de 50 anos, com efeitos de mudanças climáticas, em ambos os casos considerando condições típicas e extremas, para marés de sizígia e vazão de estiagem Q7,10 e de 50% da Q7,10. (COPPETEC, 2013)

Na metodologia de modelagem hidrodinâmica, foram utilizadas,

como mapa base, imagens de satélite extraídas do Google Earth, no dia 05/03/2012, da foz do RPS. A malha de elementos finitos elaborada para o modelo do RPS foi discretizada com uma malha de elementos finitos biquadráticos, com o compromisso de maximizar a representação dos contornos das ilhas, bancos emersos e submersos, além dos meandros dos rios estuarinos. Quanto à batimetria, foram feitas estimativas com dados da literatura de fluviomorfologia, relacionando a largura e a profundidade média das seções dos rios, sendo que os dados das Cartas Náuticas mais próximas de cada região estuarina foram utilizados. Também foi usado um modelo hidrossedimentológico que foi rodado previamente, de modo a ajustar possíveis não conformidades na batimetria criada. A rugosidade equivalente do fundo foi estimada em um valor igual a 0,03 m. O Q7,10 de 247,00 m³/s do RPS foi determinado com base no estudo de regionalização de vazões da sub-bacia 58 elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Na modelagem, foi considerada maré astronômica típica da região da embocadura do RPS, utilizada para o cenário atual, sendo que, para o cenário de 50 anos, considerou-se, uma situação de maré com efeitos de mudanças climáticas no nível médio do mar, o qual deve subir 0,5 m em relação ao nível atual. A salinidade do mar foi considerada igual a 35 Unidades Práticas de Salinidade (ups) e a salinidade afluente aos rios igual a 0 ups, sendo considerada salgada, a partir de 0,5 ups. A condição de vento na foz do RPS considerada foi de direção nordeste e com magnitude de 5 m/s.

A análise parcial dos dados indica, entre outros resultados, que na comparação entre os cenários atuais (I.1 e I.2) e de 50 anos (II.1 e II.2), foram observadas as maiores modificações nos limites de todas as zonas os quais são deslocados para montante, podendo avançar até 5,5 km – limite das ZIC-Sizígias (Figura 11)

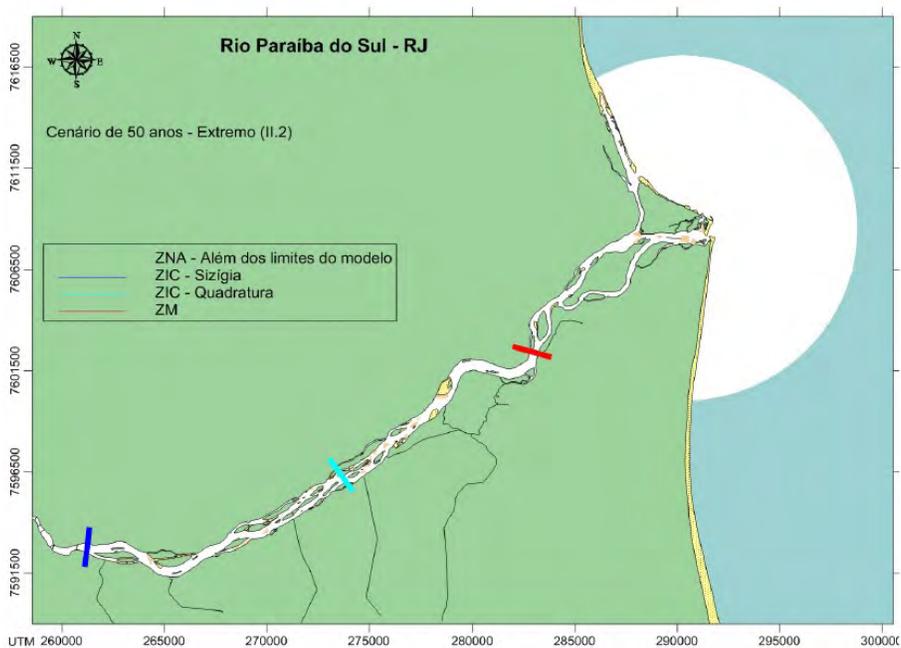


Figura 11. Limites das três zonas – ZNA, ZIC e ZM - Rio Paraíba do Sul - Cenário de 50 anos: Extremo (II.2)

Fonte: COPPETEC, 2013.

Considerando que o conhecimento do comportamento da intrusão salina é fundamental para a gestão de recursos hídricos, fornecendo as bases técnicas necessárias à definição de critérios para a outorga de direito de uso da água em regiões estuarinas e auxiliando na definição da localização de tomadas d'água para usos restritivos à presença de sais, adotou-se como critério operacional limitar a extensão da zona com base na presença de, no mínimo, 0,5 g/L de sal, com permanência, por exemplo, em 30% do tempo. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que, para o RPS, a extensão máxima da zona de intrusão salina alcança 10 km a partir da foz, sendo que a extensão da zona de intrusão salina com permanência acima de 30% do tempo mede 4 km a partir da foz.

Para melhor aprimoramento do modelo desenvolvido, de forma a aumentar o viés quantitativo dos resultados, os dados primários foram coletados em quatro categorias básicas: geográficos e topo-hidrográficos; meteorológicos e oceanográficos; hidrológicos e de vazões afluentes e de captação; e de qualidade de água. Recomendou-se, inclusive, a

instalação de postos fluviométricos para monitoramento hidrológico e de vazões afluentes e de captação, além de monitoramento contínuo da pluma salina na região próxima à ZM do Cenário I.2 (Figura 11- COPPETEC, 2013).

2.2. Salinização antrópica no 5º distrito de São João da Barra

No norte do estado do Rio de Janeiro, 5º distrito do município de São João da Barra (Açu), a construção do Complexo Industrial do Porto do Açu tem sido apontada como principal causa da salinização de lagos e canais da região, prejudicando diretamente a população local, especialmente constituída por produtores rurais de base familiar. O consumo de água é direcionado para diferentes finalidades: consumo próprio dos moradores, irrigação da cultura agrícola local e na dessedentação de animais. Os produtores rurais desse distrito realizam captação da água por meio de poços tubulares ou bombas injetoras com 6 m ou menos de profundidade ou por canais de irrigação/drenagem. Em 2015, após o transportamento do sistema de drenagem da areia oriunda da dragagem do Porto (Depósito 4), a água salgada que deveria retornar ao mar acabou atingindo a Lagoa de Iquipari, os canais de água doce da região e águas subterrâneas; causando, assim, a salinização das águas do Açu (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Um relatório técnico sobre os impactos ambientais causados por esse transportamento de água salina do Depósito 4 foi elaborado por Oliveira *et al.* (2013). Nesse evento, o derramamento provocou um escoamento superficial da água salina que atingiu córregos da região e alcançou o Quitungute, canal que compõe a rede de canais na Baixada Campista (Figura 12).

A equipe que realizou o diagnóstico detalhado que subsidiou a elaboração desse relatório técnico teve a seguinte composição; Coordenação geral: Vicente de Paulo Santos de Oliveira – D. Sc. Engenharia Agrícola (UFV); Coordenação adjunta: Rogério da Silva Burla – Engenheiro Agrônomo (UENF); Técnicos de nível superior: Carmen Maria Coimbra Manhães – D. Sc. em Produção Vegetal (UENF); Joice Cleide de Oliveira

Rita Santos: - D. Sc. em Produção Vegetal (UENF); Mario Celso Colucci: Engenheiro Agrônomo (UEL); Francisco Mauricio Alves Francelino: M. Sc. em Produção Vegetal (UENF); Apoio logístico - Amaro Gonçalves Batista - Assistente em Administração (IFF); José Renato Macieira Caetano - Nível Médio; Estudantes Bolsistas - Valtair da Silva Alves - Técnico em Eletrônica; Sergio Sampaio - Tecnólogo em Produção Agrícola; Heleilson de Oliveira Francelino - Técnico em Agropecuária; Bruna Almeida de Athaide: Bióloga - Técnico em Meio Ambiente; Karoliny Gonçalves Vianna - Técnico em Edificações; Leandro Barreto da Silva - Tecnólogo em Produção Agrícola.

Diante da problemática que atinge a população rural e urbana do Baixo Paraíba do Sul, iniciou-se a busca de soluções viáveis do ponto de vista social e econômico para promover a dessalinização de águas salobras na região.

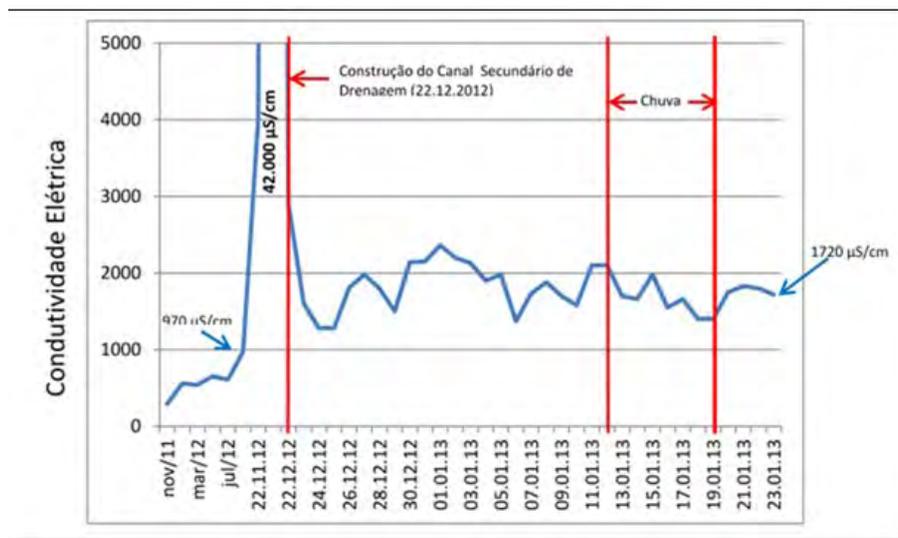


Figura 12. Monitoramento da condutividade elétrica da água do canal Quitungute, São João da Barra - RJ, no período de novembro de 2011 a janeiro de 2013.

Fonte: Gráfico feito utilizando-se dados próprios e os fornecidos pelas empresas OSX e LLX. (ERM, 2013).

Nesse relatório, foram avaliados os parâmetros de qualidade de água, solo e tecido vegetal coletados em março de 2013, a fim de verificar se

houve restrições à agricultura da microbacia do Rio Doce, São João da Barra - RJ. As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório privado credenciado junto aos órgãos oficiais (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Registro nº: MG – 10.644; Fundação Estadual do Meio Ambiente – Registro nº: LOC 006/11; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Registro nº: 2380224; Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura e Agronomia – Registro nº: 029799; Conselho Regional de Química – Registro nº: 16.461; e Instituto Estadual de Florestas – Registro CRFJ nº 275940-5.), localizado em Paracatu, Minas Gerais. Os resultados foram comparados com os dados pretéritos de outras instituições a fim de perceber como se deu a variação dos referidos parâmetros ao longo do tempo.

Os resultados obtidos de análise de água são apresentados na Figura 13. Do total, 5,45% das amostras de água foram classificadas quanto à condutividade elétrica como C3 e 5,45% como C4 em março de 2013.

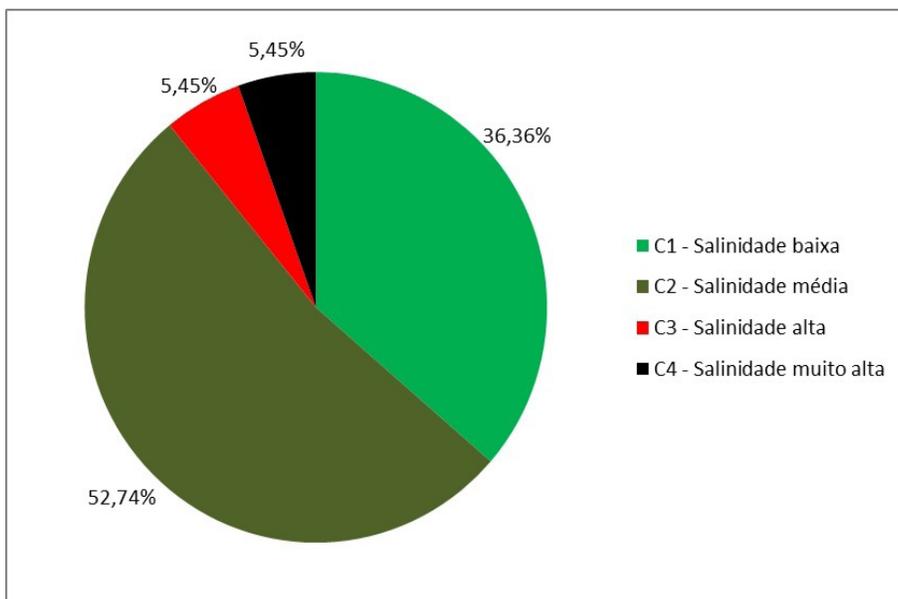


Figura 13. Figura 13: Classificação da água utilizada na irrigação das lavouras dos produtores rurais da microbacia do Rio Doce, São João da Barra - RJ quanto à condutividade elétrica em março de 2013.

Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2013

Os resultados apresentados, na Figura 13, adotaram como critério

valores de condutividade elétrica os quais classificam a salinidade em quatro classes: salinidade baixa, média, alta e muito alta, sendo os pontos divisórios entre classes 0,250; 0,750 e 2,250 dS/cm. Desta forma, considera-se (CORDEIRO, 2001):

C1 - Água de baixa salinidade (com menos de 0,250 dS/cm): pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de desenvolver problemas de salinidade;

C2 - Água de salinidade média, com conteúdo de sais de 0,250 a 0,750 dS/cm: pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, em muitos casos, sem necessidade de práticas especiais de controle da salinidade;

C3 - Água com alta salinidade, com conteúdo de sais maior que 0,750 a 2,250 dS/cm: não pode ser usada em solos com drenagem deficiente e, mesmo com drenagem adequada, podem ser necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só deve ser aplicada na irrigação de plantas tolerantes aos sais;

C4 - Água com salinidade muito alta, com conteúdo de sais maior que 2,250 dS/cm: não pode ser usada em condições normais, apenas ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais, tais como em solos muito permeáveis e plantas altamente tolerantes aos sais.

Os resultados obtidos indicam indícios de que 17 das 60 propriedades rurais estudadas estão dentro da área de influência direta e foram impactadas no acidente ambiental do Depósito 4, sofrendo alteração de qualidade de água e/ou solo (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

3. IMPACTOS DA SALINIZAÇÃO

Os sistemas aquáticos são afetados diretamente a partir de qualquer alteração na concentração natural de sais. Espécies de fauna e flora que vivem em ecossistemas de água doce, tais como rios, lagos e manguezais, precisam suportar um equilíbrio osmótico entre as concentrações de sais no seu sistema fisiológico e no ambiente aquático onde vivem. Desta forma, mudanças significativas na concentração de sais do ambiente podem afetar diretamente o seu desenvolvimento e levá-los a morte. Conseqüentemente, a redução de espécies pode gerar reações em cascata nas comunidades, tais como o aumento de turbidez e a redução de oxigênio dissolvido na água. Outro impacto importante em nível de ecossistema é a alteração de ciclos de fósforo, nitrogênio e carbono em função da interação dos íons de sais com outros elementos químicos, podendo levar à eutrofização das águas e a maiores emissões de dióxido de carbono. Essas alterações podem afetar a qualidade de água para diversos usos, promovendo, por exemplo, o êxodo humano para o interior da região (CUNILLERA-MONTCUSÍ et. al., 2022).

4. A SALINIDADE NA AGRICULTURA

Com o aumento das restrições dos recursos hídricos em todo mundo, a agricultura vem enfrentando dificuldades, forçando muitos produtores a utilizarem água de qualidade inferior na irrigação das culturas. O uso de água de baixa qualidade na irrigação e a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes são as principais causas para o aumento da salinidade dos solos, em diversas áreas de produção ao redor do mundo (GHEYI *et al.*, 2010).

Os efeitos da salinização podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade a íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos), provocando a redução do crescimento e o desenvolvimento das plantas, com implicações de perda de produtividade e de qualidade, ou perda total da produção. A salinização afeta também a germinação e a densidade das culturas, bem como seu desenvolvimento vegetativo, reduzindo sua produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas.

Já no solo, os efeitos negativos da salinização são a desestruturação, aumento da densidade aparente, retenção de água no solo e redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos, provocando perda da fertilidade e a susceptibilidade à erosão (GHEYI *et al.*, 2010). De uma maneira geral, em regiões semiáridas, ou seja, de baixa precipitação pluviométrica, a salinização dos solos ocorre em áreas que possuem lençol freático próximo da superfície. Quando esses solos são submetidos à prática da irrigação, apresentam grandes possibilidades de se tornarem salinos, principalmente caso não possuam um sistema de drenagem adequado. Cerca de 20% a 30% das áreas irrigadas em regiões áridas necessitam de drenagem subterrânea para manter sua produtividade. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, estima-se que dos 250 milhões de hectares (ha) irrigados no mundo, cerca de 50% já apresentam problemas de salinização e de saturação do solo e que 10 milhões de ha são abandonados anualmente, em virtude desses problemas (CODEVASE, 2010).

O controle de salinidade em áreas irrigadas pode ser alcançado basicamente a partir da percolação e da drenagem natural ou artificial, garantindo o fluxo da água e do sal para baixo da zona radicular das culturas, entretanto onde o dreno efetuar sua descarga haverá aumento na concentração de sais. No Nordeste do Brasil, aproximadamente 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos apresentam problemas de salinização, sendo que algumas dessas áreas já não produzem e os custos de sua recuperação podem ser considerados inviáveis (CODEVASF, 2010).

4.1. Principais parâmetros de qualidade de água para fins de irrigação

A água de irrigação contém sais dissolvidos que afetam diretamente as características químicas e físicas dos solos irrigados, sendo de grande importância para a manutenção da sua capacidade produtiva. Os sais dissolvidos, íons predominantemente encontrados nas águas de irrigação são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- , sendo que a proporção relativa desses íons é muito importante para possibilitar seu uso na água de irrigação, pois, dependendo da textura, estrutura e permeabilidade do solo, determinada água poderá ser utilizada ou não (BERNARDO *et al.*, 2005).

No que diz respeito à proporção relativa do íon sódio em relação ao cálcio e magnésio, essa pode resultar em solo sódico, o que causa a dispersão dos coloides, devido ao fato do sódio deslocar o cálcio e o magnésio adsorvidos no solo. Para fins de avaliação da qualidade da água para irrigação, em relação ao perigo de sódio para o solo, considera-se o parâmetro a relação de adsorção de sódio (RAS) como principal parâmetro (ALLISON, 1964; FULLER, 1967).

Na classificação e uso de água para fins de irrigação, são considerados os seguintes aspectos: características químicas, condições agronômicas e condições edafológicas. As características químicas se referem aos constituintes químicos presentes na água e seu perigo potencial nos efeitos diretos e indiretos sobre os cultivos. Já as condições agronômicas dizem respeito à aplicabilidade da água em estar sujeita à susceptibilidade de danos que possam ocasionar aos cultivos ao serem irrigados, a partir da correlação dos valores de condutividade elétrica do extrato

de saturação com os danos que possam ocasionar na redução dos rendimentos das colheitas. Quanto às condições edafológicas, essas consideram o fato que os sais da água de irrigação podem se concentrar na camada do solo aonde se desenvolve o sistema radicular das plantas, alcançando níveis prejudiciais aos cultivos. Esta última condição pode ser controlada com a aplicação de uma lâmina de irrigação excedente à necessidade real da cultura em quantidade suficiente para remover o excesso de sais no solo (CORDEIRO, 2001).

Inúmeros pesquisadores em todo o mundo têm contribuído para melhor entendimento sobre a qualidade da água para irrigação e conseqüentemente a sua classificação. Para avaliação da qualidade da água, são estabelecidos esquemas de classificação empíricos, baseados em algumas características químicas da água e fisiologia das plantas. A classificação mais adotada é a do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, publicada em 1954, representada por um diagrama de classificação combinando a RAS e a concentração total de sais (condutividade elétrica), para formar 16 classes de água, variando de C1 a C4 e de S1 a S4 em todas as combinações possíveis (RICHARDS, 1954).

4.1.1. Perigos da salinidade

Segundo sua condutividade elétrica (CE), as águas são divididas em quatro classes: salinidade baixa, média, alta e muito alta, sendo os pontos divisórios entre classes 250, 750 e 2250 $\mu\text{mho/cm}$, respectivamente (BERNARDO *et al.*, 2005; CORDEIRO, 2001).

- C1** - Água de baixa salinidade (com menos de 250 $\mu\text{S/cm}$ de CE): pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de desenvolver problemas de salinidade;
- C2** - Água de salinidade média, com conteúdo de sais de 250 a 750 $\mu\text{S/cm}$: pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, em muitos casos, sem necessidade de práticas especiais de controle da salinidade;
- C3** - Água com alta salinidade, com conteúdo de sais maior que 750 a

2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$: não pode ser usada em solos com drenagem deficiente e, mesmo com drenagem adequada, podem ser necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só devem ser aplicadas na irrigação de plantas tolerantes aos sais;

- C4** - Água com salinidade muito alta, com conteúdo de sais maior que 2250 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$: não pode ser usada em condições normais, apenas ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais, tais como em solos muito permeáveis e plantas altamente tolerantes aos sais.

4.1.2. Perigos da sodificação (alcalinização)

De acordo com a atividade relativa dos íons de sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo, as águas são divididas em classes segundo a RAS. Tomando-se como base o critério de perigo de sódio, a água é classificada em quatro classes: baixo, médio, alto e muito alto (BERNARDO *et al.*, 2005; CORDEIRO, 2001; UFRRJ, 2013a).

- S1 (RAS de 0 a 10)** - Água com baixo teor de sódio: pode ser usada para irrigação em quase todos os tipos de solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação;
- S2 (RAS de 10 a 18)** - Água com teor médio de sódio: deve ser usada em solos de textura arenosa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade, uma vez que, em solos de textura fina (argilosos), o sódio representa perigo;
- S3 (RAS de 18 a 26)** - Água com alto teor de sódio: pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maior parte dos solos; necessitando, assim, de práticas especiais de manejo tais como: drenagem, lavagem do solo e aplicação de matéria orgânica;
- S4 (RAS acima de 26)** - Água com teor muito alto de sódio: é geralmente inadequada para irrigação, exceto, quando a salinidade for baixa ou média ou o uso de gesso ou de outro corretivo torne possível o uso dessa água.

4.1.3. Principais parâmetros de qualidade de solo relacionado a sais

Em solos de situações propensas à salinização, tais como áreas de planícies sujeitas a inundações e solos submetidos à irrigação e drenagem, normalmente a determinação do extrato de saturação do solo se faz necessária, a partir de medições da quantidade de sais solúveis e da CE em solos, extremamente importantes tanto para fins pedológicos quanto para monitoramento de salinização em ambientes fechados (estufas) ou em projetos de irrigação e drenagem. A classificação de solos salinos em zonas semiáridas, áreas costeiras e nas interpretações de uso e manejo dos solos é determinada a partir da CE do solo (IBGE, 2015). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS *et al.*, 2018), os solos afetados por sais podem ser classificados:

- **Caráter Sódico:** é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem saturação por sódio maior que 15% ($PST = (Na^+/CTC) \cdot 100$);
- **Caráter Solódico:** é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem saturação por sódio variando de 6 a 15% ($PST = (Na^+/CTC) \cdot 100$);
- **Caráter Salino:** propriedade referente à presença de sais mais solúveis em água fria que o sulfato de cálcio (gesso), em quantidade que interfere no desenvolvimento da maioria das culturas. É indicada pela CE do extrato de saturação igual ou maior que 4000 $\mu S/cm$ e menor que 7000 $\mu S/cm$ (a 25 °C), em alguma época do ano.

Nos solos, a presença de altas concentrações de sais está relacionada às seguintes situações: material de origem do solo rico em sais; precipitação insuficiente para a lixiviação do excesso de sais no solo; alta evapotranspiração e regiões costeiras que recebem aporte de sais, entre outros. Por outro lado, se o manejo de irrigação for conduzido de modo racional, provavelmente acarretará sérios danos ao solo, possivelmente com o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, reduzindo a fertilidade do solo, e, em longo prazo, provocando a desertificação da área afetada (D'ALMEIDA *et al.*, 2005).

4.1.4. Tolerância das culturas aos sais

A disponibilidade da água no solo é reduzida pelo efeito da salinidade, mas nem todas as culturas sofrem o mesmo efeito para o mesmo nível de salinidade, isto é, algumas são mais tolerantes que outras, podendo extrair água com mais facilidade (GHEYI *et al.*, 2010). As plantas mais tolerantes ao meio salino aumentam a concentração salina no seu interior, de modo que permaneça um gradiente osmótico (diferença na concentração de sais dentro e fora das células das raízes das plantas) favorável para absorção de água pelas raízes. Plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na solução do solo, podendo atingir o estresse hídrico por osmose. Quando as plantas absorvem sais do solo junto com a água, pode ocorrer toxidez por excesso de sais absorvidos, sendo que os danos mais aparentes são lesões na bordadura e no ápice das folhas. Com o sódio, os danos mais comuns são queimadura ou necrose das bordas das folhas. Normalmente a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro, sendo que para os dois primeiros pode ocorrer absorção foliar quando se realiza irrigação por aspersão (GHEYI *et al.*, 2010).

A tabela 1 mostra os valores limites de CE da água para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas e a tabela 2 indica os valores limites de CE do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.

Tabela 1. Valores de condutividade elétrica da água para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.

Nome comum	Espécie	Condutividade elétrica (dS/m)	Condutividade elétrica (µmhos/cm)
Abacaxi	Anananas comosus	3,0	3000
Quiabo	Abelmoschus esculentus	1,5	1500
Maxixe	Cucumis anguria L.	2,0	2000
Cana de açúcar	Saccharum officinarum	9,15	9150
Coqueiro	Cocos nucifera	20,0	20000

(GUIMARÃES *et al.*, 2008; Lacerda e Medeiros *et al.*, 2009; Marinho *et al.*, 1998; 2005; BERNARDO *et al.*, 2005)

Tabela 2. Valores limites de condutividade elétrica do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.

Nome comum	Nome científico	CEes (dS/m)	CEes (µmhos/cm)
Abobrinha	Cucumis sativus	2,5	2500
Alface	Lactuca sativa	1,3	1300
Batata doce	Ipomoea batatas	1,5	1500
Beterraba	Beta vulgaris	4,0	4000
Cana de açúcar	Saccharum officinarum	1,7	1700
Espinafre	Spinacia oleracea	2,0	2000
Feijão	Phaseolus vulgaris	1,0	1000
Laranja	Citrus sinensis	1,7	1700
Milho doce	Zea mays	1,7	1700
Pimentão	Capsicum annuum	1,5	1500
Tomate	Lycopersicon lycopersicum	2,5	2500
Abacaxi	Anananas comosus	3,0 – 6,0	3000 – 6000
Melancia	Citrullus lanatus	1,3 – 3,0	1300 – 3000
Banana	Musa spp.	< 1,3	< 1300
Quiabo	Abelmoschus esculentus	1,3	1300

(Gheyi *et al.*, 2010; Maas, 1984)

A produção potencial de algumas culturas, de acordo com os valores de condutividade elétrica da água e do solo, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Tolerância e produção potencial de algumas culturas cultivadas na microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ em função da salinidade da água de irrigação (CEi) ou do solo (CEs), em $\mu\text{mhos/cm}$, a 25°C.

Culturas	Produção Potencial									
	100%		90%		75%		50%		"Zero %"	
	CEs	CEi	CEs	CEi	CEs	CEi	CEs	CEi	CEs	CEi
Cana-de-açúcar	1700	1100	3400	2300	5900	4000	10000	6800	19000	12000
Feijão	1000	700	1500	1000	2300	1500	3600	2400	6300	4200
Milho	1700	1100	2500	1700	3800	2500	5900	3900	10000	6700
Alface	1300	900	2100	1400	3200	2100	5200	3400	9000	6000
Batata-doce	1500	1000	2400	1600	3800	2500	6000	4000	11000	7100
Pepino	2500	1700	3300	2200	4400	2900	6300	4200	10000	6800
Tomate	2500	1700	3500	2300	5000	3400	7600	5000	13000	8400

(BERNARDO *et al.*, 2005)

4.1.5. Descrição da área de estudo sob a ótica da salinidade

A caracterização da qualidade da água do lençol freático da Baixada Campista, entre outros dados, foi detalhada no PROJIR realizado no início de 1980 pelo extinto Instituto do Açúcar e do Alcool, IAA/PLANALSUCAR. Foram amostradas as áreas mais afetadas por problemas de salinidade vinculados invariavelmente a problemas de lençol freático alto e cotas relativas baixas, sendo que grande parte das terras cultivadas na região, mesmo não apresentando solo salino, possuíam lençol freático salino.

No estudo do PROJIR foi demonstrado que o rio Paraíba do Sul e as precipitações alimentam o lençol freático na região. Desta forma, em períodos de grandes secas e que simultaneamente o rio encontra-se em cotas baixas, há uma redução do volume de água doce na alimentação do lençol

freático, aumentando a salinidade em diferentes regiões da Baixada Cam-pista (PROJIR, 1983; UFRRJ, 2013a).

Na Microbacia do Rio Doce (MBRD), no 5º Distrito de São João Bar-ra, a atividade agrícola de base familiar é bastante intensa, em pequena escala e em terrenos arenosos. A água utilizada para irrigação provém prioritariamente de poços rasos escavados que extraem a água do lençol freático e dos canais (MANSUR *et al.*, 2004).

A irrigação é realizada de forma improvisada, normalmente de for-ma manual com a utilização de mangueiras. Em alguns poucos casos, observou-se a irrigação por aspersão (caso de grandes cultivos de aba-caxi) e gotejamento (grandes cultivos de maracujá) (MANSUR *et al.*, 2004).

Nessa região do 5º distrito de São João da Barra, há processos na-turais de salinização da água, tanto da água de lençóis freáticos quanto das águas superficiais. O rio Açú, por exemplo, já se encontrava com níveis elevados de salinidade, havendo solicitações dos pescadores des-sa região para que a SERLA (atual INEA) abrisse a barra do Açú, para possível renovação da água e entrada de peixes (MANSUR *et al.*, 2004).

Devido ao fato de ser uma microbacia por registros de dados de qua-lidade de água, há a necessidade de estudos específicos para a verificação do estado atual dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, assim como de um monitoramento contínuo, para que se possa acompanhar o processo de degradação (MANSUR *et al.*, 2004).

Com relação aos solos arenosos da MBRD, esses apresentam baixa fertilidade natural, em função da pobreza do material de origem e com pouca capacidade de retenção de bases, além da fitotoxidez causada por excesso de salinidade e tiomorfismo (acidificação do solo causada pela oxidação de compostos de enxofre) encontrados em algumas unidades pedológicas (MANSUR *et al.*, 2004).

4.1.6. Recuperação de áreas salinizadas

O uso de práticas que evitem o impacto de acumulação de sais em longo prazo, assim como, a salinidade temporária e a acumulação de sais em curto prazo são algumas das possibilidades de manejo de sali-nidade em solos. Segundo Ayers e Westco (1991), existem alternativas

que podem ser utilizadas separadamente ou em combinação para fins de controle da salinidade.

Santos e Hernandez (1997) afirmam que as técnicas de recuperação para solos degradados por sais e sódio podem ser agrupadas em fundamentais e auxiliares. As técnicas fundamentais são baseadas na lavagem do solo e no melhoramento químico do solo; enquanto as técnicas auxiliares incluem drenagem, aração profunda, subsolagem, aplicação de resíduos orgânicos, biodrenagem, sistematização e nivelamento da área, lavras superficiais, misturas com areia e inversão de perfis. O quadro a seguir mostra um resumo das técnicas de recuperação para solos degradados por sais e sódio (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Quadro 1. Quadro 1: Resumo sobre as técnicas de recuperação para solos degradados por sais e sódio.

Método	Princípio	Aplicação	Resultados Esperados
Lavagem do Solo (técnica fundamental)	Eliminação dos sais solúveis através da passagem pelo solo de certa quantidade de água que arrasta consigo os sais solúveis.	Aumento na quantidade de água aplicada em cada irrigação, pode reduzir o nível de salinidade do solo devido ao aumento do volume de água percolado abaixo da região radicular da cultura.	A lavagem de sais pode ser realizada para reduzir a alta salinidade inicial do solo até níveis toleráveis pelas culturas, denominado lavagem de recuperação (RHOADES <i>et al.</i> , 1992).
Melhoramento Químico (técnica fundamental)	Possível ocorrência da substituição do sódio trocável do complexo de troca do solo pelo cálcio proveniente da dissolução de minerais do solo.	Aplicação de gesso agrícola, cloreto de cálcio, ou da água de irrigação com íons de cálcio (SANTOS & HERNANDEZ, 1997).	A recuperação de solos sódicos ou salino-sódicos torna-se mais difícil e demorada em virtude da dispersão da argila e da matéria orgânica pelo sódio, reduzindo a agregação das partículas e desestruturando o solo, dificultando o manejo do solo e o desenvolvimento radicular (NUNES, 2008).

Método	Princípio	Aplicação	Resultados Esperados
Drenagem (técnica auxiliar)	Aplicação de uma lâmina de água adicional, além daquela exigida pela evapotranspiração da cultura, para que o excesso de água passe por meio da zona do sistema radicular e lixivie os sais para a rede de drenagem.	Implantação de uma rede de drenagem artificial, mas com o cuidado para não ocorrer elevação do lençol freático e consequentemente aumentar a salinização do solo e reduzir a aeração. Deve ser dimensionada para suportar o fluxo de água proveniente da lixiviação e do lençol freático (MACEDO <i>et al.</i> 2007).	Drenagem adequada tem como objetivo conduzir a água salgada proveniente da exigência de lixiviação e do balanço de sais, para fora da área irrigada.
Manejo agrônômico (técnica auxiliar)	Redistribuição dos sais no perfil do solo, de modo que a ruptura do solo e a formação de torrões favoreçam a infiltração da água durante uma ou duas irrigações, diminuindo a salinidade na zona de semeadura, o que pode melhorar a germinação e desenvolvimento inicial das culturas.	A aração profunda pode redistribuir os sais no perfil do solo. Subsolagem, que tem como objetivo quebrar as camadas impermeáveis e reduzir ou eliminar as camadas compactadas (JUNIOR & SILVA, 2010). Adição de grandes volumes de resíduos vegetais no solo e de esterco para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. utilização de adubação verde, por meio de leguminosas, como por exemplo, guandu, feijão de porco (AYERS & WESTCOT, 1991).	Ruptura do solo e a formação de torrões favorecem a infiltração da água durante uma ou duas irrigações, diminuindo a salinidade na zona de semeadura, o que pode melhorar a germinação e desenvolvimento inicial das culturas. Resíduos orgânicos reduzem a ascensão de água e o movimento de sais nos solos salinos e facilitam a lixiviação pelas chuvas. Adubação verde age quimicamente na adição de nitrogênio, possuem características que melhoram fisicamente os solos, tais como, a estabilidade dos agregados, a densidade global, a porosidade, a taxa de infiltração e a retenção de umidade (DEPOLLI <i>et al.</i> , 1996).

Método	Princípio	Aplicação	Resultados Esperados
Biodrenagem (técnica auxiliar)	Processo de extração de água do solo através do sistema radicular das plantas, e sua eliminação na forma de vapor, por meio dos processos de evaporação e transpiração (HEUPERMAN <i>et al.</i> , 2002; RAM <i>et al.</i> , 2008).	Escolha de espécies com uma alta demanda evapotranspirométrica que devem apresentar tolerância aos efeitos dos sais, uma vez que a capacidade de absorção de água pode ser diretamente afetada e que atendam aos requisitos da técnica de biodrenagem.	Espécies vegetais promovem uma intensa demanda evapotranspirométrica, além de propiciar uma remuneração ao produtor: madeira, frutas, forragens, entre outros (MEDEIROS <i>et al.</i> , 2010).
Sistematização e nivelamento (técnica auxiliar)	Movimentação do solo de forma a atingir profundidade suficiente para romper a camada subsuperficial compactada e permitir a infiltração de água (EMBRAPA, 2004).	Sistematização e nivelamento, evitando cortes profundos no terreno e a remoção da matéria orgânica do solo.	A sistematização do solo proporciona uma boa distribuição da água, da umidade do solo na zona radicular das plantas e facilita a drenagem superficial (STONE & SILVA, 2004).
Lavras superficiais (técnica auxiliar)	Promoção da quebra de crostas presentes na superfície e em profundidade do solo (EMBRAPA, 2004).	Escarificações superficiais com implementos agrícolas.	Eliminação de plantas daninhas e aumento da permeabilidade e drenagem no solo.
Misturas com areia (técnica auxiliar)	Melhoria da textura dos solos muito argilosos, em que ocorrem problemas de infiltração de água.	Adição de areia à camada superficial do solo para melhorar a permeabilidade.	Melhoria nas propriedades físicas do solo, com aumento na permeabilidade e da lixiviação dos sais presentes, que percolarão pelo perfil, juntamente com a água da chuva ou da irrigação (ROSA <i>et al.</i> , 2012).
Inversão de perfis (técnica auxiliar)	Inversão das camadas de solo, de tal modo que as menos salinas passem para a parte superficial do perfil.	A inversão de camadas do solo pode ser realizada pela aração do solo com uso de grades e arados.	A tendência da salinidade é ser mais elevada e prejudicial ao desenvolvimento das plantas nas camadas superficiais do solo. A técnica visa melhorar o estabelecimento inicial das plantas (ROSA <i>et al.</i> , 2012).

4.2. Influência da salinidade no abastecimento público de São João da Barra

A sede municipal de São João da Barra – RJ fica a cerca de 4 km a montante da foz do Rio Paraíba do Sul. O abastecimento é realizado a partir da captação de água do rio na Estação de Tratamento de Água da CEDAE, concessionária que atua no município. Em função do fenômeno da intrusão da cunha salina no rio, a ETA funciona de forma intermitente, paralisando a captação e o tratamento durante o ano, principalmente em períodos de baixas vazões no rio, provocando instabilidade no abastecimento para a sede do município. Técnicos da Cedae fazem monitoramento contínuo das condições do manancial, no ponto de captação do rio e quando há suspensão de abastecimento, a população é orientada a fazer o uso restrito de água (JORNAL DA TERCEIRA VIA, 2019; PARAHYBANO, 2014; TRIBUNANF, 2022).

A suspensão do abastecimento causa transtornos para a população e limitação dos usos de água. Capucci (2003) afirma que o abastecimento do município como um todo poderia ser realizado com água subterrânea com boa qualidade de água, a baixos custos de implantação e tratamento, resolvendo de forma definitiva o problema, independente da possibilidade de ocorrência de cunha salina, na foz do Rio Paraíba do Sul, em épocas de combinação de estiagens prolongadas com marés altas.

O INEA, por um período, realizou o monitoramento da salinidade das águas na foz do Paraíba do sul, em função das reduções de vazão do rio e para que fosse possível avaliar quaisquer possíveis impactos na captação para o abastecimento em São João da Barra.

A Figura 14 e as tabelas 4 e 5 apresentam dados tabulados sobre suspensão de abastecimento em São João da Barra – RJ. Os dados foram fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente do município que por sua vez foram cedidos pela Cedae.

A Figura 14 apresenta graficamente os dias de interrupção no abastecimento na sede do município. Observa-se que, no período monitorado (2015 a 2021), os meses de julho a outubro apresentaram maior ocorrência dos problemas no abastecimento em função da salinidade, indicando que neste período pode-se adotar abastecimento alternativo

a partir, por exemplo, de água subterrânea. Nesses meses, a vazão do rio é reduzida a valores abaixo da vazão ecológica mínima de 567,45 m³/s indicada nos estudos de Barroso *et al.* (2019).

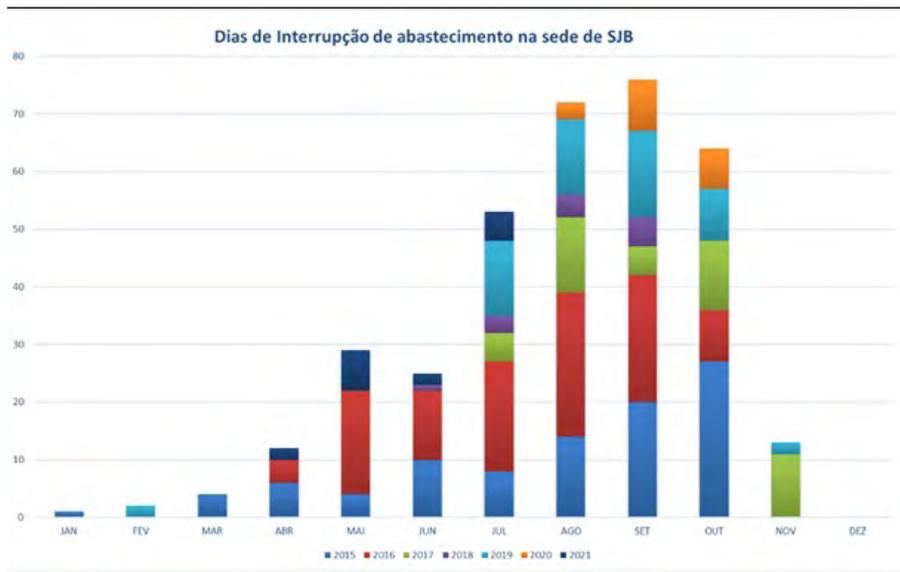


Figura 14. Dias de interrupção de abastecimento de água na sede de São João da Barra de 2015 a 2021.

Fonte: Autor

A tabela 4 indica que no período de sete anos monitorados, praticamente em um ano (351 dias), houve interrupção no abastecimento, totalizando aproximadamente 3900 horas de suspensão no fornecimento, equivalente a 162 dias. Pela tabela 5, percebe-se que, nos anos de 2015 (agosto a outubro) e 2016 (maio a outubro), foram observadas os maiores tempos de interrupção, totalizando, nos anos, valores de 1056,62 e 1562,20 h respectivamente.

Tabela 4. Tabela 4: Dias de interrupção da ETA SJB no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2015	1	0	4	6	4	10	8	14	20	27	0	0	94
2016	0	0	0	4	18	12	19	25	22	9	0	0	109
2017	0	0	0	0	0	0	5	13	5	12	11	0	46
2018	0	0	0	0	0	1	3	4	5	0	0	0	13
2019	0	2	0	0	0	0	13	13	15	9	2	0	54
2020	0	0	0	0	0	0	0	3	9	7	0	0	19
2021	0	0	0	2	7	2	5	0	0	0	0	0	16
Total													361

Tabela 5. Horas de interrupção da ETA SJB no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2015	10,25	0,00	22,40	22,30	22,05	93,05	38,40	210,65	271,62	365,90	0,00	0,00	1056,62
2016	0,00	0,00	0,00	38,32	260,35	159,55	259,50	408,42	332,45	103,62	0,00	0,00	1562,20
2017	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	38,30	102,40	28,00	138,73	119,50	0,00	438,93
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	28,67	26,98	42,33	0,00	0,00	0,00	99,73
2019	0,00	9,42	0,00	0,00	0,00	0,00	74,33	159,07	107,50	63,08	20,33	0,00	433,73
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,00	84,50	51,00	0,00	0,00	166,50
2021	0,00	0,00	0,00	25,00	15,67	30,17	9,50	54,33	0,00	0,00	0,00	0,00	134,67
Total													3892,38

Mesmo em períodos em que captação, tratamento e distribuição de água estejam em condições normais na sede do município de São João da Barra, há reclamações da população sobre a qualidade de água fornecida pela concessionária.

5. TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO

5.1. Dessalinização da água no mundo

Um dos países mais conhecidos pelos projetos de dessalinização no mundo é Israel. Pode-se citar o projeto na cidade de Hadesa, na província de Haifa, onde funciona uma das maiores usinas de dessalinização por osmose reversa do mundo, com capacidade de produzir até 127 milhões de metros cúbicos de água potável por ano, sendo possível abastecer cerca de 1 milhão de israelenses. Países como Arábia Saudita, Emirados Árabes, Estados Unidos, Espanha, Kuwait e Japão possuem maior número de estações instaladas e maior capacidade de produção total de água dessalinizada. Outros países como Índia (usina em Madras com 100 milhões de litros de água diariamente, filtrando água do mar em alta pressão), China (usinas em diversos pontos do litoral, prevendo o agravamento da escassez de água devido ao crescimento industrial acelerado) e Austrália (em torno de 50 usinas de tratamento com capacidade superior a 10 mil litros por dia de água tratada) têm desenvolvido projetos, preparando-se para as secas em decorrência das mudanças climáticas. Estimativas de crescimento global do mercado de dessalinização estavam na ordem de 50% entre 2008 e 2012. Apesar da abundância de recursos hídricos, no Brasil, as demandas por dessalinizadores ocorrem principalmente na região Nordeste, no semiárido nordestino, em função de processos de salinização dos aquíferos, devido às condições de solo (cristalino) e alta evaporação, além de regiões densamente povoadas e com limitações de abastecimento como a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

5.2. Histórico

Nos últimos 60 anos, grande parte das tecnologias de dessalinização foram desenvolvidas em função do abastecimento dos exércitos, sendo que o grande avanço tecnológico ocorreu após a Segunda Guerra Mundial. Os Estados Unidos deram importante contribuição neste avanço tecnológico com aprovação de leis que, em 1952, resultaram no estabelecimento do Departamento de Águas Salgadas, o qual contribuiu fortemente para pesquisa na área e na redução de custos de implementação, custos operacionais e impactos ambientais. Outros países como Inglaterra, Itália, França, Espanha, Alemanha e Japão tiveram destaque na descoberta de novos métodos e técnicas de dessalinização de águas.

O interesse industrial no uso de água dessalinizada em seus processos iniciou nos anos 1980, período quando ocorreu crescimento em investimento na fabricação e diversificação de equipamentos. Nos anos 1990, em decorrência dos avanços tecnológicos e o crescimento de demandas de água potável, tornou-se viável a instalação de usinas de dessalinização para produzir água potável para cidades. Apesar do custo relativamente alto, em algumas regiões do mundo, essa é a única opção de abastecimento de água doce para população e para a produção de alimentos, em ilhas, navios, plataformas de petróleo, estuários com forte influência das marés ou em regiões com fontes de águas salobras, como ocorre na região do estuário do rio Paraíba do Sul (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2013).

5.3. Processos de dessalinização

A salinização naturalmente ocorre na natureza, mas pode ser acelerada por interferência do homem. Isto ocorre devido a manejo inadequado na irrigação de lavouras com esta água ou na perfuração inadequada de poços.

Segundo Natureza e Meio ambiente (2023), há décadas, os métodos de dessalinização eram limitados em razão do seu elevado custo de implantação e manutenção, mas atualmente apresentam-se mais acessíveis. Estão disponíveis algumas alternativas técnicas para promover a dessalinização de águas salobras que serão detalhadas na sequência.

Os processos de dessalinização térmica, eletrodialise e de osmose reversa são os mais utilizados no mundo. Outras possibilidades utilizam processos com técnicas mistas ou pouco comuns, como congelamento, destilação com membranas, resina de troca iônica e evaporação por energia solar.

A dessalinização térmica por energia solar é um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água, sendo utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente. Tem sido bastante utilizada em indústrias a partir de aproveitamento de energias térmicas dissipadas pelas caldeiras ou fornos do próprio processo industrial, viabilizando economicamente o seu uso nestes casos. Atualmente representa algo em torno de 20% das usinas de dessalinização em funcionamento no mundo.

No processo de congelamento, ocorre a mudança rápida da fase líquida para sólida, com a separação dos sais na formação dos cristais de gelo que se concentram junto às paredes do reservatório. Os sais são removidos e os cristais de gelo são descongelados obtendo-se água doce.

Outra possibilidade de dessalinização é a combinação da destilação e filtração, em que a produção de vapor pelo aquecimento da água passa por uma membrana seletiva e, em seguida, é condensada, produzindo água dessalinizada.

O uso de resinas naturais e sintéticas como condutores é uma alternativa. As resinas atraem íons retirando sais dissolvidos, em especial cálcio e magnésio. Por ser uma alternativa de alto custo, quando empregada, é em complemento a unidades de purificação de água em indústrias, sendo considerada inviável para águas com alto teor de sais.

Na destilação solar, o aquecimento da água com sais ocorre num recipiente de tampo de vidro e a água doce é produzida a partir da condensação dos vapores em uma superfície fria, que é recolhida após escorrer na parte interna do próprio vidro. Por exigir grandes áreas de coleta de energia (produz aproximadamente quatro litros/dia de água doce), este método é pouco utilizado. O avanço das pesquisas recentes busca otimizar o design do sistema e a captação de energia solar, de forma que o equipamento possa ser utilizado para produzir água quente, energia elétrica e calor para dessalinização.

Na técnica de destilação multiestágios, utilizada em grandes usinas

de dessalinização da água do mar, é utilizado vapor em alta temperatura para que a água do mar passe pelas células de ebulição-condensação (multiestágios), reduzindo substancialmente a concentração de sais, sendo que a própria água do mar funciona como condensador do vapor nas células.

A eletrodialise se refere a um processo de filtração que usa a corrente elétrica na água salgada e a separação dos íons dos sais por meio de membranas especiais (eletrodialíticas). A passagem da água pela membrana ocorre forçadamente pela diferença de potencial aplicada a um par de eletrodos. O consumo de energia por metro cúbico de água tratada neste processo varia de 1,5 a 2,0 kWh, sendo que este sistema corresponde a cerca de 5% do volume de água dessalinizada no mundo.

O processo de dessalinização da osmose reversa é o método comumente mais utilizado, pois é viável economicamente devido ao seu custo ser bem inferior comparado a outras técnicas. Tem se mostrado a melhor opção na relação custo-benefício. O custo operacional restringe-se apenas ao suprimento de filtros de cartucho, aos gastos com energia elétrica e a outras pequenas despesas, possibilitando a autonomia de gestão às comunidades que a utilizam (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2013).

5.3.1. Sistemas de dessalinização por filtração com membranas

As técnicas de filtração estão em constante evolução devido ao uso de tecnologia avançada em novos equipamentos, que reduzem custos e tempo de operação, otimizando processos de tratamento de água.

Devido ao desenvolvimento de novas tecnologias para retenção de partículas finas como os sais, os materiais e produtos decorrentes das pesquisas com membranas cresceram muito no mundo. Basicamente é realizada uma filtração, podendo ser um filme semipermeável seletivo combinado com um material cerâmico, de forma a permitir a passagem das moléculas de água, retendo bactérias, compostos químicos e até vírus (Figura 15).



Figura 15. Nível de passagem de diferentes tipos de membranas.

Fonte: SNATURAL, 2023

De acordo com o tamanho do poro, determina-se qual o tipo de membrana a ser utilizada, assim como suas aplicações e os materiais que poderão ser retidos. Atualmente no mercado estão disponíveis as membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. O quadro a seguir apresenta maiores informações sobre estas membranas.

Quadro 2. Características das membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa

Tipo	Princípio	Diâmetro de poros (µm)	Utilização	Aspecto
Microfiltração (MF)	Baixa pressão com fluxo cruzado com membrana separadora de partículas coloidais e em suspensão.	10 – 0,1	Clarificação de caldo de fermentação e recuperação de biomassa; - esterilização bacteriana.	
Ultrafiltração (UF)	Processo de fracionamento utilizando pressões até 10 bar onde se concentram sólidos suspensos e solutos de alto peso molecular (maior que 1.000). O permeado ou filtrado contém solutos de baixo peso molecular orgânicos e sais.	0,1 – 0,01	Largamente utilizada para o fracionamento do leite e soro, fracionamento de proteínas, remoção de particulados, bactérias e a maioria dos vírus e colóides. Recuperação de óleos.	
Nanofiltração (NF)	Processo usado quando a osmose reversa (RO) ou a ultrafiltração (UF) não são a escolha ideal para a separação.	0,001 – 0,005	Separação de compostos orgânicos, sais divalentes, de desmineralização; Purificação de proteínas; remoção de cor; dessalinização; dessulfatação de água marinha.	
Osmose Reversa (RO)	Utilização de alta pressão. É usada para concentrar substâncias de baixo peso molecular em solução ou de águas residuais e tem a habilidade de concentrar todos os sólidos dissolvidos e suspensos. O permeado contém uma concentração muito baixa de sólidos dissolvidos.	< 0,002	Dessalinização da água do mar, desmineralização de água para uso industrial, abastecimento de caldeira, processos especiais e potabilização.	

Quanto ao formato, as membranas podem ser de placas planas, espirais, capilares e tubulares, sendo que do tipo espiral são as mais utilizadas. Baseia-se no princípio de que cada elemento é constituído por pacote de

membranas e espaçadores enrolados em volta de um tubo coletor por onde sai a água filtrada. Assim, uma unidade dessalinizadora é composta por diversos vasos, onde são instaladas uma ou mais membranas. Para ganhar produtividade e eficiência na remoção dos sais, os grandes sistemas são compostos por diversos vasos e membranas, paralelos e em série.

As membranas são meios filtrantes estruturados de diversos tipos de polímeros, sendo que algumas ainda são de matérias inorgânicas. A diferença entre os filtros convencionais e as membranas é o seu grande poder de retenção, em função da presença de poros de dimensões variadas, que servem tanto para separar partículas como para fracionar moléculas de diferentes massas molares.

Quanto à vida útil de uma membrana, isso dependerá basicamente da manutenção e controle das incrustações. Alguns processos de filtração usam tecnologia de membranas associada ao bombeamento da água, com bombas variando de baixa até alta pressão (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2013; SNATURAL, 2023).

5.3.2. Processo de osmose inversa (ou reversa)

Dessalinização por osmose reversa (ou osmose inversa) ocorre quando é exercida uma forte pressão numa solução salina, sendo necessária uma energia a fim de dar pressão à água de alimentação. Segundo Prêmio Jovem Cientista (2013), a osmose reversa é um processo induzido de aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica, do lado da solução mais concentrada, obrigando a formação de um fluxo no sentido da solução menos salina. Esse princípio físico é utilizado na concepção de operação de dessalinizadores, nos quais se utilizam membranas semipermeáveis sintéticas. No processo, além dos sais, é possível remover dureza, turbidez, microrganismos, compostos orgânicos, pesticidas e a maioria dos demais contaminantes presentes na água. Nos grandes sistemas de dessalinização com esta tecnologia, a água precisa receber um pré-tratamento com adição de anti-incrustante antes de passar pelas membranas. A osmose reversa é utilizada na dessalinização de águas salinas (do mar), salobras e de superfície. A principal função das membranas é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento. Atualmente essa tecnologia corresponde a mais de 80% das estações de dessalinização no mundo, produzindo em torno de 45% de todo

volume de água dessalinizada. O consumo de energia é alto nesta técnica. Para dessalinizar água do mar, por exemplo, são necessários de 3 a 6,5 kWh/m³. E a eficiência da dessalinização pode variar de 30 a 50% de água tratada em relação ao total que entra no sistema, dependendo do projeto do equipamento e do teor de sais da água bruta. A falta de monitoramento, operadores não qualificados, falta de pré-tratamento ou pré-tratamento inadequado e erros no uso das membranas são os problemas mais comuns em sistemas instalados no Brasil. Essa tecnologia pode ser aprimorada para ganhar eficiência e, então, alcançar escala significativa e atender principalmente demandas sociais como proposto neste trabalho. Aliás, as estações de dessalinização mais modernas utilizam tecnologia de ponta, com membranas osmóticas sintéticas (Galdino *et al.*, 2018). Os sistemas de membranas por ultrafiltração são usualmente empregados para o pré-tratamento de água de alimentação de osmose reversa com o intuito de evitar as incrustações, pois possuem microporos que variam de 0,005 a 0,05µm. Sendo assim, a ultrafiltração é utilizada para remoção de material em suspensão, coloides, moléculas orgânicas de massa molecular elevada e para retenção de vírus, bactérias, cistos de protozoários e oocistos (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2013; SNATURAL, 2023).

Independente do processo de dessalinização utilizado, quanto à estrutura das estações de dessalinização, as grandes estações possuem os seguintes componentes: equipamentos para captação de água bruta e alimentação do sistema; equipamento de pré-tratamento para remover sólidos em suspensão e preparar a água para entrar no sistema de dessalinização; equipamento dessalinizador propriamente dito, que então separa os sais e as impurezas, produzindo água tratada (dessalinizada) e rejeito; equipamento de pós-tratamento para evitar corrosão nas tubulações; equipamento de distribuição da água tratada para o consumo e sistema de gerenciamento da água de rejeito (CNPq, 2014).

5.3.3. Planta de dessalinização industrial – Projeto da Gás Natural Açú

Em setembro de 2021, entrou em operação a Usina Termoelétrica Gás Natural Açú (UTE GNA I), no Porto do Açú, município de São João da Barra (RJ). A unidade constituída por 3 turbinas a gás e 1 turbina a vapor tem potencial de geração de 1,3 GW em ciclo combinado que é

conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) via uma linha de Linha de Transmissão de 345 kV de 52 km de extensão a Subestação de Furnas em Campos dos Goytacazes-RJ.

A UTE GNA I utiliza para seu funcionamento água do mar captada pela unidade flutuante de armazenamento e regaseificação (FSRU). Para isto, conta com torre salina para o sistema de resfriamento e planta de dessalinização a fim de produzir água potável e industrial, ou seja, a captação é majoritariamente de fontes alternativas, não pressionando fontes de água doce disponíveis na região (rio Paraíba do Sul, canais da Baixada Campista e aquíferos subterrâneos). Como garantia de funcionamento do sistema, água de poços tubulares profundos é utilizada em casos de falhas e paradas para manutenção no processo de dessalinização. A Figura 16 apresenta uma Visão Geral UTE GNA I e da planta de osmose reversa.



Figura 16. UTE GNA I – Visão geral (superior) e da planta de osmose reversa (embaixo).

Fonte: GNA, 2023.

Da água do mar captada pela unidade FSRU, a maior parte é direcionada para torre de resfriamento para ser empregada no condensador da

turbina à vapor, sem, contudo, ter a necessidade de remoção de sais. A outra parte, utilizada nas caldeiras de recuperação de calor e geração de vapor, passa por um sistema de dessalinização e, em seguida, por um processo de desmineralização, em que os sais remanescentes são retirados.

A água doce produzida pela planta de dessalinização da UTE GNA I é responsável pelo abastecimento dos tanques de água de serviço e combate a incêndio. Atualmente, sua capacidade é de 80 m³/h e futuramente deverá ser ampliada para 160 m³/h visando ao fornecimento adicional para a UTE GNA II, em construção. A eficiência do sistema é de 40% (taxa de recuperação nominal), isto é, para produção de 80 m³/h de água dessalinizada é necessária uma vazão de alimentação de 200 m³/h, sendo que futuramente será aumentada para 400 m³/h para atender as 2 unidades.

A água salina residuária do processo de dessalinização retorna ao terminal para ser misturada ao restante da água já utilizada no processo regaseificação na FSRU e é descartada no mar, com uma temperatura próxima à temperatura da água do mar captada, reduzindo o impacto no ambiente marinho.

Na etapa de clarificação, ocorre a redução de sólidos totais suspensos de 280 para 2 ppm. Na sequência, a água clarificada é bombeada para quatro filtros multimídia (4 × 33%) e, em seguida, para plataformas de dessalinização (3 × 50%) que operam de acordo com o princípio de osmose reversa de passagem única. Ao final do processo, ocorre a redução dos sólidos dissolvidos totais de 35.000 mg/L para 500 mg/L. Posteriormente, a água dessalinizada é enviada ao tanque de água fresca e bombeada para o tanque de água de serviço (2.480 m³) da UTE GNA I com o fim de fornecer água de combate a incêndio para as duas unidades (GNA, 2023).

5.3.4. Planta de dessalinização de Fortaleza

Um dos estados mais atingidos pela seca no Brasil é o Ceará. Por muitos anos, tem enfrentado grandes crises hídricas, comprometendo fortemente o abastecimento público no estado. Sua infraestrutura de abastecimento possui cerca de 155 açudes que, muitas vezes, ficam com o volume abaixo dos 30% de reserva técnica. Assim, não é incomum que as bacias hidrográficas estejam em estado crítico, comprometendo

o sistema integrado de abastecimento de água de Fortaleza (SIAA).

Na Região Metropolitana, em 2017, a bacia hidrográfica principal contava com apenas 16,72% de sua capacidade de armazenamento, ou seja, 230,72hm³; e a do médio Jaguaribe com 2,49%, 183,84hm³. O principal reservatório/açude da bacia do médio Jaguaribe, o Castanhão, com 6.700hm³ de capacidade de armazenamento, se interliga ao sistema SIAA através do canal da integração que leva suas águas ao açude Gavião, onde as estações de tratamento de água Gavião e Oeste abastecem a região metropolitana. Naquele ano o açude estava com apenas 2,71% de sua reserva total, ou seja, 181,69hm³ (Figura 17).



Figura 17. % volume sobre a capacidade de reservação – Castanhão.

Fonte: CAGECE, 2020

Diante deste cenário de insegurança hídrica, a necessidade de alternativas para garantia do abastecimento público se faz oportuna. A região metropolitana de Fortaleza, por se localizar próxima ao litoral, tem a dessalinização da água do mar como possível alternativa de abastecimento de água doce, solução já adotada em outras cidades do mundo, na ausência de outras fontes de água doce, seja por inexistência ou contaminação do corpo hídrico. Como já descrito anteriormente, a dessalinização por osmose reversa, em síntese, consiste na retirada dos íons de sal da água do mar através do uso de membranas submetidas à alta pressão. Além da remoção dos sais, microrganismos e impurezas também são retidos, deixando passar apenas a água pura, que posteriormente

são enquadradas nos padrões de potabilidade da legislação vigente.

A partir desta demanda, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) elaborou um projeto para Estudos de uma Planta de Dessalinização de Água Marinha para a Região Metropolitana de Fortaleza. O projeto se encontra em fase de licenciamento. Em 25 de agosto de 2023, ocorreu a audiência pública para a apresentação e discussão do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) referentes à Planta de Dessalinização de Fortaleza.

O projeto inicial apresenta os seguintes parâmetros:

- Produção de projeto: 86.400 m³/dia
- Número de linhas: 4
- Produção por linha: 21.600 m³/dia

A capacidade de produção incluindo o fator de segurança (FS=1,003):

- Produção do projeto: 86.659 m³/dia
- Número de linhas: 4
- Produção por linha: 21.664,8 m³/dia

A vazão de captação da água do mar:

- Vazão nominal de captação: 192.576 m³/dia
- Vazão máxima durante lavagem de filtros: 207.388,8 m³/dia

Taxa de conversão da usina:

- Conversão da osmose reversa: 45%
- Conversão global: 44,86%
- Conversão global durante lavagem: 41,66%

O projeto prevê uma disponibilidade de funcionamento da usina de dessalinização 95,89% ao ano, considerando, assim, paradas para manutenção, de forma a garantir o funcionamento ininterrupto do sistema.

A água produzida pelo sistema deverá ser entregue pela Cagece para o consumidor final atendendo aos padrões de potabilidade de acordo com legislação vigente.

A implantação de usinas de dessalinização de água do mar parece ser uma das alternativas viáveis para atendimento ao abastecimento público de água doce em grandes cidades litorâneas do Brasil (CAGECE, 2020).

5.3.5. Desenvolvimento e performance de um sistema piloto de dessalinização por osmose reversa baixo custo

Com o objetivo de propor soluções sustentáveis e inovadoras para monitoramento e instrumentação dos recursos hídricos no estado do RJ, buscando contribuir para a melhoria da qualidade de água no Norte Fluminense, está em desenvolvimento um projeto de pesquisa denominado “Dessalinizador por osmose reversa baixo custo” que visa ao desenvolvimento de um protótipo de dessalinizador por osmose reversa de baixo custo para atendimento a diferentes usos na área rural (abastecimento domiciliar, dessedentação animal e irrigação).

Atualmente esse Projeto está sendo conduzido pela seguinte equipe: Thiago Moreira de Rezende Araujo (pesquisador - docente AmbHidro – IFF); João Víctor França de Abreu Terra (pesquisador - graduando Engenharia Ambiental – IFF); Jairo Antônio Fernandes França (pesquisador - Técnico – Voluntário); e Vicente de Paulo Santos de Oliveira (coordenador - docente AmbHidro – IFF).

Para consecução dos objetivos dessa pesquisa, estão sendo utilizadas metodologias já consolidadas e reconhecidas para análise, monitoramento e instrumentação dos parâmetros físico, químico e microbiológicos de água e efluentes, assim como está sendo desenvolvido estudo de alternativas sustentáveis para promover a adequação de qualidade e a dessalinização das águas salobras dos rios, lagos, açudes e poços da região.

A região do Baixo Paraíba do Sul, assim como acontece em outras regiões litorâneas do estado do Rio de Janeiro, do Brasil e do mundo, vem enfrentando um processo de salinização de rios, lagoas e canais. As possíveis causas deste fenômeno estão relacionadas à redução das vazões médias dos rios, à redução dos totais precipitados ao longo dos anos, à poluição dos recursos hídricos, a desmatamentos, entre outros. Em São João da Barra, município na foz do Rio Paraíba do Sul, o alto nível de salinidade faz com que a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae) suspenda a captação e abastecimento de água em diferentes dias e horários ao longo do ano. O sistema de captação direta no Paraíba do Sul atende a 37 municípios, sendo 26 no Rio de Janeiro e 11 em São Paulo, com uma população de 11,2 milhões de pessoas.

O monitoramento da qualidade de água em 13 pontos a partir da foz do

rio Paraíba do Sul, em São João da Barra, indicou níveis de salinidade de até 20 (‰), inviabilizando o tratamento de água em estações convencionais. Monitoramento realizado pelo IFFluminense, a partir do projeto “Monitoramento do Processo de Salinização dos Canais da Baixada Campista”, apontou que os canais Quitungute, São Bento e Coqueiros na Baixada Campista, uma rede com cerca de 1200 km no Norte Fluminense, têm apresentado altos índices de salinidade. Outros rios e lagoas da região têm apresentado aumento de salinidade causando prejuízos ao setor agropecuário (irrigação e dessedentação de animais) e ao abastecimento humano. O trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2017), no município de São Francisco de Itabapoana (RJ), constatou que algumas localidades apresentaram tendência de água salobra, sendo que cerca de 29,94% das amostras estavam fora do padrão oficial de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Esse Projeto propõe buscar alternativas de baixo custo, viáveis, para atendimento a comunidade rural para dessalinizar a água nos níveis que são encontrados nos recursos hídricos na região do Baixo Paraíba do Sul. O objetivo é apresentar um estudo acerca da viabilidade técnica da Dessalinização de água salobra por osmose reversa, para aplicabilidade tanto no município de São João da Barra, podendo ser aplicado em outras regiões com os mesmos níveis de salinidade. Está sendo realizado um diagnóstico do nível de salinidade em rios, lagoas e canais da região, além do desenvolvimento de um protótipo de um dessalinizador de osmose reversa. Atualmente estão sendo realizados testes para validar o equipamento em termos de eficiência, produção de resíduos, consumo de energia, além da sua viabilidade técnico-econômica e social.

A relevância do projeto, principalmente do ponto de vista social, deve-se ao fato que o Baixo Paraíba do Sul, onde se localiza o estuário do rio Paraíba do Sul, vem enfrentando nos últimos anos processo contínuo de salinização dos rios, canais e lagoas na região. Na baixa vazão do Rio Paraíba do Sul (RPS), segundo Monitoramento realizado pelo INEA, o parâmetro no qual se revela maior variação de seus valores é a salinidade, mostrando ser esta a variável limnológica mais sensível à dinâmica advinda da interação mar-rio, com registros que as águas salobras alcançaram 6,7 Km a montante a partir da foz do RPS. Além do mais, no 5º Distrito do município de São João da Barra, a construção do Complexo Industrial do Superporto do Açú tem sido apontada como principal causa da salinização

de lagos e canais da região, possivelmente prejudicando diretamente pequenos produtores rurais de base familiar.

O projeto está sendo desenvolvido com o apoio do Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul (LABFOZ) pertencente ao Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do IFFluminense, unidade credenciada na Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial - EMBRAPII (<https://embrapii.org.br/unidades/unidade-embrapii-de-monitoramento-e-instrumentacao-para-o-meio-ambiente-if-fluminense/>). O Polo possui estrutura suficiente para desenvolvimento do protótipo do projeto, possibilitando a sua montagem, assim como as análises físico-químicas e microbiológicas de água.

Até o momento, foi projetado e construído um protótipo de dessalinizador capaz de atender a uma demanda familiar da região, em termos de água doce. A salinidade encontrada em poços da região tem atingido valores de até 3,6‰, sendo que, a partir de 0,5‰, a água é considerada salobra e não adequada para o consumo humano. O monitoramento realizado nas águas de poços da região revelou que essas águas têm apresentado os seguintes indicadores: condutividade de 1628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (máximo de 100), turbidez de 37,0 NTU (máximo de 5,0), salinidade de 3,6‰ (máximo de 0,5) e teor de ferro de 0,4 mg/L (máximo de 0,3).

Com base em revisão bibliográfica, pôde-se identificar que a tecnologia de osmose reversa por membranas é ainda muito atrativa, trazendo os melhores custos-benefícios operacionais. Assim, desenvolveu-se projeto de unidade dessalinizadora a partir do Programa TALENTOS-PARA-INOVAO” – CAPES/EMBRAPII (Processo nº 23038.012673/2017-37.), sendo que atualmente estão sendo realizados testes em laboratório (TRL 4). A Figura 18 apresenta imagem do protótipo desenvolvido com a indicação dos seus componentes.

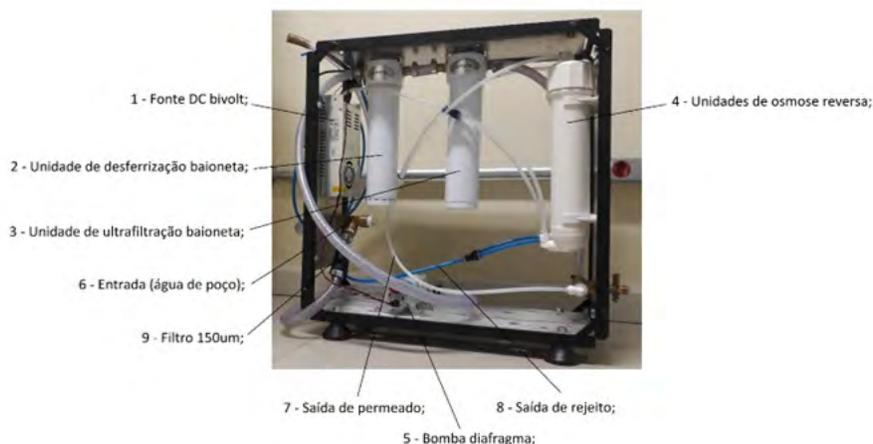


Figura 18. Protótipo do “dessalinizador por osmose reversa baixo custo”.

Fonte: Autor

Os testes realizados até o momento indicam que a unidade se mostrou capaz de realizar o processo de osmose reversa, atendendo à demanda de 720L/dia (mínimo) de água doce produzida (Figura 19). Em termos de produção acadêmica, foram publicados artigos e realizadas apresentações em eventos, além do registro de Modelo de Utilidade (Número do registro: BR20202100630) sob o título: “SISTEMA COMPACTO DE FILTROS COM RETROLAVAGEM”, junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), sendo que o depósito foi realizado em 31/03/2021 (CAPES; IFF e UERJ). Também foi desenvolvido um manual básico de especificações e de operação do equipamento.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram realizadas visitas técnicas ao Laboratório de Processos de separação com Membranas da UFRJ e ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - POLI/USP, sob a coordenação do Prof. José Carlos Mierzwa. Também foi visitada a empresa Pam Membranas Seletivas Ltda – Me no Parque Tecnológico da UFRJ.

O projeto apresenta grande potencial para se tornar um produto comercial de baixo custo. Neste caso, há a necessidade de parceiros industriais e/ou público (prefeituras) para seu desenvolvimento. Esse projeto está contemplado com um dos projetos prioritários que será desenvolvido no Doutorado Profissional em Modelagem e Tecnologia para o Meio

Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos (AmbHidro) do IFFluminense. Nas próximas etapas de desenvolvimento do projeto, pretende-se aperfeiçoar o sistema de monitoramento e de controle das fases pré-tratamento e osmose reversa, automatizando o equipamento e tornando-o mais seguro e de fácil operação.

5.3.6. Desafios da pesquisa sobre dessalinização

A conjunção do aumento populacional e o comprometimento das fontes de água potável no mundo, alternativas como dessalinização para produção de água potável têm despertado cada vez mais interesse dos governos. No Brasil, devido à grande oferta de água doce, esta alternativa só é considerada para produção de água potável quando não há outra solução eficiente. Mas de fato, a tecnologia de dessalinização ainda enfrenta alguns desafios para se tornar uma técnica sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Do ponto de vista econômico, o desafio é a redução dos custos dos equipamentos, do consumo de energia por volume tratado e a utilização de fontes renováveis de energia.

Do ponto de vista tecnológico, o desenvolvimento de novos materiais deve ser pesquisado, contemplando não somente membranas, como também tubulações, conexões, bombas de alta pressão, capazes resistir à agressividade de águas salobras e salinas. Neste contexto, a pesquisa para desenvolvimento de equipamentos com tecnologia brasileira pode baratear ou tornar mais eficiente todo o processo em território nacional.

Outra questão importante é que os equipamentos utilizados no Brasil normalmente são importados, entretanto existem empresas privadas, órgãos públicos ou centros de pesquisa nacionais que, a partir de incentivos públicos e privados, podem atender uma boa parcela deste mercado.

Do ponto de vista ambiental e social, faz-se necessário avaliar os impactos ambientais do processo de dessalinização, como, por exemplo, a destinação dos sais retirados da água. Existem ainda muitos sistemas de dessalinização que lançam a água com sais concentrados de volta ao mar, impactando a vida marinha; mas, em outros lugares, exige-se

uma mistura prévia do rejeito com água marinha, de forma a diluir um pouco as altas concentrações. Novas opções de aproveitamento do rejeito supersalgado devem ser estudadas em busca de soluções de descarte menos agressivos. o efluente concentrado com sais pode ser aproveitado, por exemplo, na criação de peixes e crustáceos; ou, ainda, para cultivo de plantas halófitas (resistentes à salinidade) com fins de alimentação de animais (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2013).

6. CONCLUSÃO

A tecnologia de dessalinização se apresenta como uma alternativa imediata para resolver problemas de abastecimento em várias partes do mundo. No Brasil, apesar da grande disponibilidade de água doce potável, existem regiões, principalmente no Nordeste e cidades na costa brasileira, nas quais o uso da tecnologia da dessalinização pode ser uma alternativa viável, considerando um crescimento populacional e a limitada disponibilidade de água doce.

Apesar, ainda, do seu alto custo, a tecnologia de dessalinização tende a ser mais viável economicamente quando os equipamentos ganharem escala. Atualmente a dessalinização da água do mar já é uma realidade em países do Oriente Médio, norte da África, Índia, China e Austrália, enquanto a dessalinização de águas salobras é muito usada nos Estados Unidos. No Brasil, o seu uso se restringe principalmente em algumas indústrias e ao semiárido nordestino.

Na região do Baixo Paraíba do Sul, no estuário do rio Paraíba do Sul, o processo de salinização tem se intensificado ao longo dos anos, devido à contínua redução de vazão, consequência dos impactos na bacia do RPS, em especial as transposições nas regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. O impacto da salinização no estuário do RPS precisa ser monitorado e estudado para melhor entendimento dos impactos causados a médio e longo prazos. Mas o impacto no abastecimento de água, na sede do município de São João da Barra – RJ, já ocorre há muitos anos, com interrupções no abastecimento, normalmente de maio a outubro, período quando se observam grandes reduções de vazões no rio.

Entre as técnicas disponíveis, a osmose reversa é a de maior utilização por ser mais eficiente na remoção de sais com baixo consumo de energia, quando comparada as outras tecnologias de dessalinização. Entretanto, a tecnologia de dessalinização, ainda, tem o desafio de se tornar mais confiável do ponto de vista ambiental/social e mais atraente sob a ótica econômica.

Referências

Agência Brasil. Quase 15 mil pessoas sofrem com a salinização do rio Amazonas no Amapá. 2023. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2021-10/quase-15-mil-pessoas-sofrem-com-salinizacao-do-rio-amazonas-no-amapa>>. Publicado em 20/10/202. Acesso em: 5 out. 2023.

ALLISON, L. E. Salinity in Relation to Irrigation. *Advances in Agronomy*, 16, 139-180. 1964. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60023-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60023-1)>. Acesso em: 5 out. 2023.

Ambiental t4h. Salinização dos ecossistemas de rios e lagos: uma agenda de pesquisa para uma ameaça global. 2023. Disponível em: <<https://ambiental.t4h.com.br/noticias/salinizacao-dos-ecossistemas-de-rios-e-lagos-uma-agenda-de-pesquisa-para-uma-ameaca-global/>>. Publicado em: 1/2/2022. Acesso em: 5 out. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012. 264 p.; il. ISBN: 978-85-8210-007-3. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023.

AYERS , R. S.; WESTCOT, D. W.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS DE , J. F.; DAMASCENO, F. V. A. A qualidade da água na agricultura: Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. Revisada 1. ed. rev. Campina Grande: UFPB: FAO, 1991. 218 p.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura: Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 29. Trad. H. R. GHEYI *et al.*, Campina grande: UFPB: FAO, 1999. 153p.

AYERS, R.S. e WESTCOT D.W. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: FAO, 1985. 174p.

AYERS, R.S. e WESTCOT, D.W. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No, 29 (Rev 1), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: FAO, 1976. Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>>. Acesso em: 5 out. 2023.

BARROSO, G. C.; SILVA, L. B. C.; OLIVEIRA, V. P. S. “Analysis of the correlation between salinity and environmental variables in the estuary of the Paraíba do Sul River – Brazil”. In: As Ciências do Mar em todos os seus Aspectos. Org. por Rodrigues, T. A.; Neto, J. L.; Galvão, D. O. 1ª ed. Atena Editora, Ponta Grossa – PR, 2019, pp. 103-117.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 7. ed. Viçosa-MG: UFV, 2005. 611 p. ISBN 85-7269-198-7.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, ano 2001, v. 5, ed. 1, p. 76-80, 1 abr. 2001. DOI <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100014>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/mSFpSg9VzXCtJKyySF3X4Fr/?lang=pt>>. Acesso em: 5 out. 2023.

BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; DE MELO, R. F. Subterrânea: Disponibilidade hídrica subterrânea. In: Bioma Caatinga: Água - Subterrânea. Brasília, DF: Embrapa, Superintendência de Comunicação / Embrapa Agricultura Digital, 8 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/agua/subterranea>>. Acesso em: 5 out. 2023.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará. SECRETARIA DAS CIDADES / GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (Região Hidrográfica VI). Novembro de 2019. Planta de Dessalinização de Fortaleza: Projeto Referencial, Fortaleza - CE, p. 1-305, 11 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/EdiciaisContratacoes/PPP1/DocumentosdeLicita%C3%A7%C3%A3o/>>

AnexosdoTermodeRefer%C3%Aancia/ANEXO-2B-PROJETO-REFERENCIAL-Ver_Licita%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023.

CAÑEDO-ARGÜELLES, M.; KEFFORD, B. J.; PISCART, C.; PRAT, N.; SCHÄFER, R. B.; SCHULZ, C.-J. Salinisation of rivers: An urgent ecological issue. *Environmental Pollution*, Rio de Janeiro - RJ, v. 20, ed. 2, p. 215-226, 1 mar. 2005. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.011>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749112004502?via%3Dihub>>. Acesso em: 5 out. 2023.

CAPUCCI, E. Água subterrânea na Baixada Campista. *Águas Subterrâneas*. 2003. Recuperado a partir de <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23934>>. Acesso em: 5 out. 2023.

CBHBPSI - COMITÊ DE BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA... [ET AL.]. (Região Hidrográfica IX). Profill. Plano de Bacia. Maio de 2021. Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (RH-IX), Campos dos Goytacazes - RJ: AGEVAP, n. ISBN 978-65-89981-25-1, p. 1-518, 1 maio 2021. Disponível em: <http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_002-2018_PF05_BPSI.pdf>. Acesso em: 5 out. 2023.

CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Bacia do Rio Paraíba do Sul - Dados Gerais. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/dados-gerais>. Publicado em 09/12/2022>. Acesso em: 5 out. 2023.

CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba). 2010. Salinização do solo. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/irrigacao/salinizacao-do-solo>. Acesso em: 15 abr. 2013.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução 357

de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2013.

COPPETEC - Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro - R3-B – Temas Técnicos Estratégicos - RT-07 – Estudos de Avaliação da Intrusão Salina - Revisão 01 - Fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/Diagn%C3%B3stico-Estudios-Hidrol%C3%B3gicos.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2023.

CORDEIRO, G. G. Qualidade de água para fins de irrigação. Conceitos básicos e práticas. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001. 32 p. ; il.; 21 cm - Embrapa Semi-Árido. Documentos; 167. ISSN 1516-1633

CUNILLERA-MONTCUSÍ, D.; BEKLIOĞLU, M.; CAÑEDO-ARGÜELLES, M.; JEPPESEN, E.; PTACNIK, R.; AMORIM, C. A.; ARNOTT, S. E.; BERGER, S. A.; BRUCET, S.; DUGAN, H. A.; GERHARD, M.; HORVÁTH, Z.; LANGENHEDER, S.; NEJSTGAARD, J. C.; REINKAINEN, M.; STRIEBEL, M.; URRUTIA-CORDERO, P.; VAD, C. F.; ZADEREEV, E.; MATIAS, M.. Freshwater salinisation: a research agenda for a saltier world. Trends in Ecology & Evolution, Riverport Lane, Maryland Heights, MO 63043, USA, v. 17, p. 440-453, 17 jan. 2022. DOI 10.1016/j.tree.2021.12.005. Disponível em: <[https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(21\)00340-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0169534721003402%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(21)00340-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0169534721003402%3Fshowall%3Dtrue)>. Acesso em: 5 out. 2023.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, 2005, v. 25, n.3, p. 615-621.

DASGUPTA, S.; WHEELER, D.; BANDYOPADHYAY, S.; GHOSH, S.; ROY, U. Coastal Dilemma: Climate change, public assistance and population displacement, *World Development*, Volume 150, 2022, 105707, ISSN 0305-750X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105707>>. Acesso em: 5 out. 2023.

DE PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. da S. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA SOBRINHO, A. F. Aumento do risco de salinização da água subterrânea na planície de Recife devido à elevação do nível do mar. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 2015. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28391>>. Acesso em: 8 out. 2023.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L; FRANCO, A. A. Adubação verde: Parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. Londrina: IAPAR/SBCS, 1996, p.225-242.

DRINKING-WATER. World Health Organization. Genebra, Suíça, 15 set. 2023. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>. Acesso em: 5 out. 2023.

ERM - ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT. Águas superficiais e subterrâneas na região do Complexo Industrial do Superporto do Açu (RJ). São João da Barra, 2013. 30 p. Referência: 0183131. (Material cedido pela LLX).

FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. Análise técnica e econômica da proposta do túnel Taquaril para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Folha da Manhã. Atafona não é mais a foz do Rio Paraíba. Campos dos Goytacazes - RJ, 10 mar. 2020. FOLHA 1 - Folha na Foz, 2019, p. 1-1. Disponível em: <https://www.folha1.com.br/_conteudo/2019/10/>

na_foz/1254154-atafona-nao-e-mais-a-foz-do-rio-paraiba.html>. Acesso em: 5 out. 2023.

FREITAS, L. N.; FERREIRA, M. I. P.; PINHEIROS, K.; MELLO, D. S.; OLIVEIRA, V. P. S. Barragem e transposição do Rio Macabu: conflitos gerados pelo uso da água e a integração de bacias hidrográficas no gerenciamento de recursos hídricos. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes - RJ, ano 2014, v. 8, ed. 2, p. 57-75, 9 dez. 2015. DOI 10.19180/2177-4560.v8n214-05. Disponível em: <<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/2177-4560.v8n214-05>>. Acesso em: 5 out. 2023.

FRESHWATER Ecosystems Analysis and Case Stories: Download the SDG 6.6.1 indicator report and explore examples from around the world. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Quênia. Disponível em: <https://stories-sdg661-app.translate.google/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR#/story>. Acesso em: 5 out. 2023.

FULLER, W. H. Water, soil and crop management principles for the control of salts. Tucson: The University of Arizona, Bulletin, 1967, A-43. 21p.

GALDINO, S. M.; SOUSA, R. M. R; COSTA, S. M. G.; FERREIRA, J. P. C. Estudo prospectivo de tecnologias potenciais para a solução da crise hídrica no Brasil. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 11, Edição Especial, p.198-210, 2018.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010, 472p.

GONÇALVES, A. N. Fatores para o Fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento de árvores em regiões áridas e semi-áridas do nordeste. Série Técnica IPEF, Piracicaba, 1982, v.3, n.10, p.99 – 105.

GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, F. A.; FREITAS, A. V. L.; MEDEIROS, M. A.; OLIVEIRA, M. K.T. Germinação e vigor de sementes de maxixe irrigado com água salina. Revista Verde, Mossoró – RN – Brasil, 2008, v.3, n.2, p.50-55.

HEUPERMAN, A. F.; KAPOOR, A. S.; DENECKE, H. W. Biodrenagem: Principles, experiences and applications. Rome: FAO, 2002, 79p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia/IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. - : il. - (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ; n. 4). Acompanha um CD-ROM, em bolso. ISBN 978-85-240-4359-8

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. 1º Encontro técnico sobre alternativas de abastecimento hídrico da região leste da Baía de Guanabara. Disponível em: Canal do Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Rh7pBgOXIU4>>. Transmitido ao vivo em 9 de ago. de 2023. Acesso em: 5 de out. 2023.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial / Instituto Estadual do Ambiente; coordenação geral: Silvia Marie Ikemoto ; coordenação executiva: Patrícia Rosa Martines Napoleão. – Rio de Janeiro, 2018. 464 p.: il. color. Bibliografia: p. 431-444. ISBN: 978-85-63884-24-4. 1. Manancial – Rio de Janeiro (Estado). 2. Abastecimento de água – Rio de Janeiro (Estado). 3. Recursos hídricos – Administração – Rio de Janeiro (Estado). I. Ikemoto, Silvia Marie. II. Napoleão, Patrícia Rosa Martines. III. Título. CDU 351.778.3

IPCC AR6 SYR. SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6). Nações Unidas – Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2023-04/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Acesso em: 5 de out. 2023.

Jornal da Terceira Via. Captação de água em São João da Barra é interrompida pela Cedae. Campos dos Goytacazes - RJ, p. 1-1, 6 ago. 2019. Disponível em: <<https://www.jornalterceiravia.com.br/2019/08/06/captacao-de-agua-em-sao-joao-da-barra-e-interrompida-pela-cedae/>>. Acesso em: 5 out. 2023.

JUNIOR, J. A. L.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 2010. vol. 6, nº 11.

LACERDA E MEDEIROS, M. J.; HERCULANO, L.; GRANJA, M. M. C., SILVA, L. E.; AMANCIO, A.; WILLADINO, L. Efeito da salinidade em plantas de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento. 2009. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0800-3.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2013.

LYERLY, P.J.; LONGENECKER, D.E. Salinity control in irrigation agriculture. College station, Texas. Agricultural Experiment Station. 1962. Bulletin, 876. 19p.

MAAS, E.U. Crop tolerance. Califórnia Agric., California – EUA, 1984. v.38, p.20-1.

MACEDO, L.S., SOUSA, M.R., MORRILL, W.B.B. Drenagem para controle da salinidade. Tecnol. & Ciên. Agropec., João Pessoa, 2007. 1:69-71.

MANSUR, K. L.; MARQUES, A.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R.B.; FERAZ, R. P. D.; GONÇALVES, A. O.; DANTAS, M. Diagnóstico do meio físico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce / Canal Quitungute (BHRD) – RJ. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 59 p. 2004. (Embrapa Solos. Documentos; n. 62) ISSN 1517-2627.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (Brasil). Embrapa Soja. Embrapa Soja. In: TECNOLOGIAS de produção de soja - Paraná 2005: Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 5. Londrina:

Embrapa Soja, 2004., 3 dez. 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54357/1/Sistemas-de-Producao-5.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2023.

MARENCO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwilv--2zaiAAxVeppUCHXJuAbAQFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fm16b.sid.inpe.br%2Fattachm.cgi%2Fcpotec.inpe.br%2Fwalmeida%2F2004%2F04.08.12.39%2Fdoc%2Fmarengo_tendencias.pdf&usg=AOvVaw0uA2WCTB_fBKcKEj0G5wd3&opi=89978449>. Acesso em: 05 de out. 2023.

MARINHO, F. J. L.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 1998, v. 2, n. 1, p. 1-5.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2005, v.9, n.3, p.334-340.

MEDEIROS, S.S., FERNANDES, P.D., SANTOS JR, J.A., GHEYI H.R. Biodrenagem. In: Parte V - Drenagem para controle da salinidade e recuperação de áreas afetadas por sais. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Instituto nacional de ciência e tecnologia em salinidade, INCTSal, Fortaleza, 2010, (ISBN 978-85-7563-489-9).

NAÇÕES UNIDAS – Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental. Disponível em: <<https://unric.org/pt/agua/#:~:text=Factos%20sobre%20a%20%20C3%A1gua%3A&text=1%20C5%20milh%C3%B5es%20de%20crian%C3%A7as,relacionados%20com%20a%20%20C3%A1gua%20>>. Acesso em: 05 de out. 2023.

Natureza e Meio Ambiente. Escassez de água impulsiona boom de dessalinização. Deutsche Welle (DW), Germany, 22 mar. 2023. Disponível em: <<https://amp.dw.com/pt-br/escassez-de-%C3%A1gua-impulsiona-boom-de-dessaliniza%C3%A7%C3%A3o/a-65052327>>. Acesso em: 5 out. 2023.

NUNES, C. R. de O.; PRÉ, H. L. da S.; DA SILVA, K. C.; BURLA NETO, P.; OLIVEIRA, V. de P. S. de; ARAÚJO, T. M. de R. Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019. *Regional Studies in Marine Science*, [s. l.], v. 55, p. 1-12, 29 jun. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102507>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352485522001773?via%3Dihub>>. Acesso em: 5 out. 2023.

NUNES, E. M. Efeito do gesso, fósforo e adubo verde na absorção de nutrientes pelo feijoeiro (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) cultivado em solo. Salinosódico. Dissertação (Mestre em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Patos, 2008. 46p.

O Globo. G1. Salinização do Rio Amazonas volta a deixar ribeirinhos sem água potável em arquipélago no Amapá. 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2022/12/09/salinizacao-do-rio-amazonas-volta-a-deixar-ribeirinhos-sem-agua-potavel-em-arquipelago-no-amapa.ghtml>>. Publicado em 09/12/2022. Acesso em: 05 de out. 2023.

OLIVEIRA, V. P. S.; BURLA, R. DA S.; MANHAES, C. M. C.; SANTOS, J. C. O. R.; COLUCCI, M. C.; FRANCELINO, F. M. A.; BATISTA, A. G. Parecer Técnico conclusivo sobre os possíveis impactos na agricultura da microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ, decorrentes do processo de alteração da salinidade pontual e transitória do Canal Quintigute. São João da Barra – RJ, 2013.

ONU BRASIL - Nações Unidas – Brasil. Semana da Água alertou países sobre deterioração de fontes de água doce. Disponível em: <<https://>

brasil.un.org/pt-br/197531-semana-da-%C3%A1gua-alertou-pa%-C3%ADses-sobre-deteriora%C3%A7%C3%A3o-de-fontes-de-%C3%A1gua-doce>. Acesso em: 05 de out. 2023.

PARAHYBANO. Salinidade causa interrupção d'água em São João da Barra. 2023. Disponível em: <<https://parahybano.com.br/salinidade-causa-interruptao-dagua-em-sao-joao-da-barra/>>. Publicado em 19/8/2014. Acesso em: 05 de out. 2023.

PETERSEN, F.H. (1996). Water testing and interpretation. In: Reed, D.W. (Ed.) Water media, and nutrition for greenhouse crops. Batavia: Ball, cap.2, p.31-49.

Portal Tratamento de Água. Interligação entre as represas Jaguari e Atibainha transposição de bacias com possibilidade de reversão. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/interligacao-entre-represas/>>. Publicado em 12/07/2018. Acesso em: 05 de out. 2023.

Portal Tratamento de Água. Salinização, um mundo cada vez mais salgado. 2023. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/salinizacao-um-mundo-cada-vez-mais-salgado/>>. Publicado em 28/03/2022. Acesso em: 05 de out. 2023.

Prêmio Jovem Cientista (27: Brasília: 2013) Água: desafios da sociedade {kit pedagógico} / XXVII Prêmio Jovem Cientista. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2013. 184 p. : il. color ; 23 x 28cm. Disponível em: <https://estatico.cnpq.br/portal/premios/2018/pjc/assets/pdf/01_cadernoProfessor_2013_pjc_web.pdf>. ISBN 978-85-7484-560 -9. Acesso em: 05 de out. 2023.

Projeto de novo sistema de abastecimento de água para o Rio de Janeiro divide opiniões. Portal Clube de Engenharia, 2023. Disponível em: <<https://portalclubedeengenharia.org.br/2016/10/21/projeto-de-novo-sistema-de-abastecimento-de-agua-para-o-rio-de-janeiro-divide-opinioes/>>. Publicado em 21/10/2016. Acesso em: 05 de out. 2023.

- PROJIR. Relatórios Técnicos Setoriais volume I Tomo 1 a 3. Estudos e Levantamentos Pedológicos. Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense – RJ. 1983.
- RAM, J.; DAGAR, J. C.; SINGH, G.; LAL, K.; TANWAR, V. S.; SHOERAN, S. S.; KALEDHONKAR, M. J.; DAR, S. R.; KUMAR, M. (2008). Biodrainage: Eco-Friendly Technique for Combating Waterlogging & Salinity. Karnal: Central Soil Salinity Research Institute, 24p. Technical Bulletin.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 133p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48.
- Ribeiro, J. P.; Araújo, T. M. de A.; Oliveira, V. P. S. Avanço da salinização nas regiões costeiras do mundo, do Brasil e do Baixo Paraíba do Sul / Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. ABRHidro, 2023. Campos dos Goytacazes-RJ. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14534>>. Acesso em: 05 de out. 2023.
- RICHARDS, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, U. S. Department of Agriculture Handbook, Vol. 60, Washington D. C., USA. p.160.
- ROSA, A. H., FRACETO, L. F., MOSCHINI-CARLOS, V. (2012) Meio Ambiente e Sustentabilidade. Editora: Bookman Companhia Editora LTDA. 412p. ISBN: 9788540701960.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. ed. Brasília, DF: Embrapa, 09/08/2018. E-book: il. color. ISBN: 978-85-7035-817-2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/>

item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 05 de out. 2023.

SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F. Recuperação de solos afetados por sais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997, Campina Grande. Manejo e Controle da Salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, Cap.4, p.320-361.

SEA - SECRETARIA ESTADUAL DE AMBIENTE / INEA - INSTITUTO ESTADUAL DE AMBIENTE (Região Hidrográfica VI). Consórcio Macaé e das Ostras / Engeplus / PETROBRAS. Plano de Bacia. Fevereiro 2014. Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras: Relatório Síntese, Macaé - RJ, p. 1-182, 1 fev. 2014. Disponível em: <<https://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2020/06/RSF-Relato%CC%81rio-Si%CC%81ntese-do-Plano-de-Recursos-Hi%CC%81dricos-Macae%CC%81Ostras.pdf>>. Acesso em: 05 de out. 2023.

SILVA, A. P.; SANTOS, C. J. O.; SANTOS, J. B.; CAVALCANTE, L. F. (2001). Crescimento vegetativo do quiabeiro em função da salinidade da água de irrigação. Disponível em: <<http://200.145.140.50/ojs1/viewarticle.php?id=62&layout=abstract>>. Acesso em 27 de ju. 2013.

SILVA, R. A.; DA HORA, H. R. M.; OLIVEIRA, V. de P. S. Georreferenciamento dos índices de qualidade da água subterrânea na foz das bacias do Paraíba do Sul e Itabapoana (Brasil). Águas Subterrâneas, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 255–271, 2017. DOI: 10.14295/ras. v31i3.28799. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28799>>. Acesso em: 15 de ago. 2023.

SNATURAL AMBIENTE. Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e Osmose Reversa no Tratamento de Água. 2023. Disponível em: <https://www.snatural.com.br/membranas-ultrafiltracao-filtracao-agua/>. Publicado em 6/8/2019. Acesso em: 05 de out. 2023.

- STONE, L. F., SILVA, J. G. (2004). Cultivo do arroz irrigado no Estado do Tocantins. Embrapa arroz e feijão. n°3, ISSN 1679-8869.
- TRIBUNANF– Seu Jornal On Line. Intrusão salina causa instabilidade no abastecimento de água em São João da Barra. 2023. Disponível em: <<https://www.tribunanf.com.br/intrusao-salina-causa-instabilidade-no-abastecimento-de-agua-em-sao-joao-da-barra/>>. Publicado em 30/8/2022. Acesso em: 05 de out. 2023.
- UFRRJ (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Leonel Miranda). (2013a) Contribuição para o entendimento da questão da salinidade dos solos e lençol freático em São João da Barra (Relatórios anuais de 2007 a 2013), 100p. 2013. Material cedido pela LLX.
- UFRRJ (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Leonel Miranda). (2013b) Precipitação pluviométrica. Disponível em: <<http://www.campuscg.ufrj.br/>>. Acesso em: 02 jul. 2013.
- United Nations Environment Programme (UNEP). Países precisam intensificar esforços para proteger fontes de água doce. United Nations Environment Programme. 2023. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/paises-precisam-intensificar-esforcos-para-protoger-fontes-de>>. Publicado em: 25/8/2022. Acesso em: 05 de out. 2023.
- Williams, W. D. Salinisation: A major threat to water resources in the arid and semi-arid regions of the world. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 4: 85-91. 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.1999.00089.x>>. Acesso em: 05 de out. 2023.

Índice remissivo

A

água salina24, 45, 74

água salobra..... 24, 38, 66, 71, 77,78,79,81,83

B

Baixo Paraíba do Sul 1, 3, 8, 9, 31, 34, 35, 36, 37, 46, 77, 78, 83

C

contaminação21,25,75

cunha salina25,37,62

E

estuário..... 20, 25, 34, 37, 38, 39, 40,41, 42, 66, 78, 83

F

foz 9, 25, 26, 31, 32, 36, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 62, 77, 78

I

impacto 7, 8, 9, 20, 22, 23, 26, 27, 30, 34, 36, 37, 45, 49, 58, 62, 66, 74, 76, 81, 83

L

lençol freático..... 50, 57, 58, 60

O

osmose reversa 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83

R

RPS 27, 30, 43, 44, 78, 83

S

sais 7, 9, 20, 21, 23, 24, 44, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61,
67, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 81, 82, 83

salinidade..... 20,21 22, 23, 24, 25, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 48,
50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 62, 77, 78, 79, 82

salinização 1, 3, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
32, 37, 38, 43, 46, 50 ,51, 52, 55, 59, 61, 66, 67, 78, 79, 84

Esta obra foi publicada
com recursos do Edital Carlos Sá de Literatura,
em Minion Pro e Myriad Pro

Este livro é de fácil leitura e compreensão, apesar da densidade com que desenvolve as discussões nele contidas, de tal forma que pode ser aproveitado como material base para disciplinas acadêmicas que abordam os impactos ambientais, sobretudo a salinização de ambientes por aumento do nível do mar ou perda de capacidade de diluição de rios.

Trecho do prefácio, do Professor Leonardo Bernardo Campaneli da Silva

Apoio



PREFEITURA
**SÃO JOÃO
DA BARRA**
CULTURA