



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**DEOCLECIO FRANCISCO DO NASCIMENTO FILHO**

**AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO  
LOCALIZADOS EM COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE  
JUAZEIRINHO – PB**

**CAMPINA GRANDE**

**2019**

**DEOCLECIO FRANCISCO DO NASCIMENTO FILHO**

**AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO  
LOCALIZADOS EM COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE  
JUAZEIRINHO-PB**

Monografia apresentada como trabalho de conclusão de curso (TCC), ao departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientadora:** Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**Coorientador:** Me. George Antonio Belmino da Silva

**CAMPINA GRANDE**

**2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N244a Nascimento Filho, Deoclecio Francisco do.  
Avaliação da operação de Sistemas de dessalinização localizados em comunidades rurais do município de Juazeirinho – PB [manuscrito] / Deoclecio Francisco do Nascimento Filho. - 2019.  
42 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.  
"Orientação : Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
"Coorientação: Prof. Me. George Antonio Belmino da Silva , UFCG - Universidade Federal de Campina Grande"  
1. Água subterrânea. 2. Processo de desertificação. 3. Salinização do solo. I. Título

21. ed. CDD 628.114

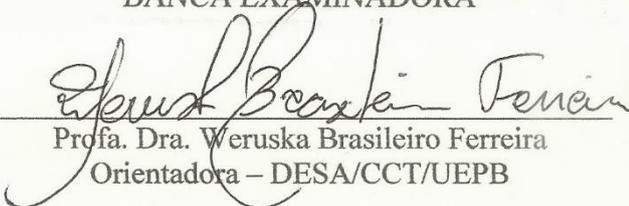
DEOCLECIO FRANCISCO DO NASCIMENTO FILHO

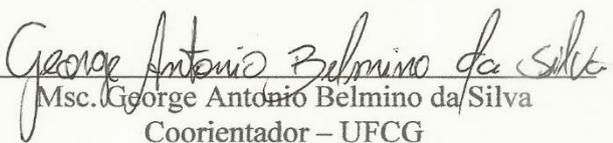
**AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO  
LOCALIZADOS EM COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE  
JUAZEIRINHO-PB**

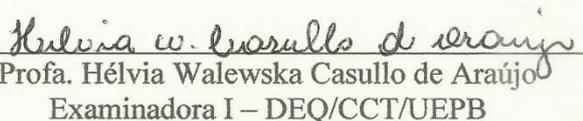
Monografia apresentada como trabalho de conclusão de curso (TCC), ao departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

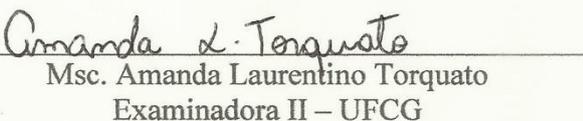
Aprovada em: 12/06/2019

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira  
Orientadora – DESA/CCT/UEPB

  
Msc. George Antonio Belmino da Silva  
Coorientador – UFCG

  
Prof. Hélvia Walewska Casullo de Araújo  
Examinadora I – DEQ/CCT/UEPB

  
Msc. Amanda Laurentino Torquato  
Examinadora II – UFCG

CAMPINA GRANDE – PB  
2019

**Todas as portas estão abertas para os que creem**

## AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, por sua infinita misericórdia e por sempre ter me orientado na tomada de decisões, sendo o pilar central da minha vida.

Á minha família, por todo o apoio durante minha jornada acadêmica, do ensino fundamental à graduação, em especial aos meus pais e minhas avós.

Á Universidade Estadual da Paraíba, por me possibilitar a formação acadêmica necessária para obtenção de um diploma de ensino superior.

Á professora Weruska Brasileiro, por todo apoio e conhecimento transmitido no decorrer do curso, no projeto de extensão e na orientação deste trabalho.

Á meu coorientador George Belmino, pela cooperação nas viagens e coletas, e por toda contribuição para a construção deste trabalho.

Aos meus colegas do LARTECA, em especial à Amanda, Ana, Fernanda, Júlia, Lucas, Natália, Tais, Thyago e Whelton, pela experiência compartilhada, e pelo companheirismo e suporte essenciais que foram oferecidos para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, por terem transmitido conhecimento fundamental para a minha formação acadêmica.

Aos meus amigos, em especial a Alzinete, Erika e Olga, pelo apoio, incentivo, conselhos, e por toda a solidariedade no convívio acadêmico.

E por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse dar este importante passo na minha vida profissional, que é finalizar um curso superior.

## RESUMO

O município de Juazeirinho, estado da Paraíba, encontra-se na área de abrangência do semiárido brasileiro, que é acometido pela escassez de água. Desta forma, quando a água superficial, de fácil acesso, se esgota, é necessário recorrer a outras formas de abastecimento, como a água subterrânea. Porém, por assentar-se sobre o escudo oriental, os poços perfurados no município apresentam águas com altos teores salinos, o que inviabiliza seu consumo direto, requerendo tratamento com técnicas avançadas, uma vez que o tratamento convencional não é efetivo na remoção de sais. O processo de separação por membranas é um método largamente difundido no mundo para dessalinização de água, todavia, como sugere o nome, o processo gera dois efluentes separados, um permeado e um concentrado. Em Juazeirinho há sistemas de dessalinização de água subterrânea localizados em sete comunidades rurais, dos quais três foram escolhidos para a realização deste estudo, são eles os sistemas Escurinha, Massapê e Mendonça. Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras das águas bruta, permeada e concentrada de cada sistema para análise de sólidos dissolvidos totais e cloreto, e amostras de solo em seis pontos para análise da condutividade elétrica. Constatou-se que nenhum dos sistemas estudados possui eficiência na produção de água permeada acima de 50%, que é o mínimo concebível, e que ocorre salinização do solo pelo lançamento do efluente concentrado tanto no sistema Escurinha quanto no Massapê. No sistema Escurinha há indicativo de que impacto ambiental verificado adentra propriedades vizinhas, em discordância do que acontece no sistema Massapê, onde o impacto se restringe ao local de lançamento.

**Palavras-Chave:** Água subterrânea; Processo de desertificação; Salinização do solo; Semiárido;

## ABSTRACT

The county of Juazeirinho Paraíba is in the area covered by the Brazilian semi-arid region, which is affected by water scarcity. In this way, when surface water, which is easily accessible, runs out, it is necessary to resort to other forms of supply, such as groundwater. However, because it is based on the eastern shield, wells drilled in the municipality have high saline contents, which makes their direct consumption unfeasible, requiring treatment with advanced techniques, since conventional treatment is not effective in removing salts. The membrane separation process is a widespread method in the world for water desalination, however, as the name suggests, the process generates two separate effluents, a permeate and a concentrate. In Juazeirinho there are groundwater desalination systems located in seven rural communities, of which three were chosen for this study, are the Escurinha, Massapê and Mendonça systems. In order to perform this work, samples of the raw, permeated and concentrated waters of each system were collected for analysis of total dissolved solids and chloride, and soil samples at six points for the analysis of the electrical conductivity. It was verified that none of the studied systems has an efficiency in the production of permeate water above 50%, which is the least conceivable, and that soil salination occurs by the launch of the concentrated effluent in both the Escurinha and Massapê systems. In the Escurinha system, there is an indication that the environmental impact verified penetrates neighboring properties, in disagreement with what happens in the Massapê system, where the impact is restricted to the launch site.

**Keywords:** Underground water; Desertification process; Soil salinization; Semi-arid;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Juazeirinho no estado da Paraíba .....	16
Figura 2 – Índices pluviométricos médios mensais do município de Juazeirinho-PB .....	16
Figura 3 – Potencial hidrogeológico do Nordeste do Brasil.....	17
Figura 4 – Processo de separação por membranas .....	18
Figura 5 – Localização do município de Juazeirinho no núcleo de desertificação do Seridó..	19
Figura 6 - Sonda multiparâmetro utilizada nas análises de SDT e condutividade elétrica .....	21
Figura 7 - Filtragem a vácuo da amostra de solo.....	21
Figura 8 - Localização dos sistemas de dessalinização no município de Juazeirinho.....	22
Figura 9 – Sistema de dessalinização da comunidade rural Escurinha, em Juazeirinho-PB....	23
Figura 10 – Poço de alimentação do sistema Escurinha.....	23
Figura 11 - Disposição do efluente concentrado do sistema Escurinha .....	23
Figura 12 - Sistema de dessalinização da comunidade rural Massapê, em Juazeirinho-PB ....	24
Figura 13 – Poço de alimentação do sistema Massapê.....	24
Figura 14 - Disposição do efluente concentrado do sistema Massapê .....	25
Figura 15 - Caixa d'água utilizada para armazenar o efluente concentrado do sistema Massapê .....	25
Figura 16 – Sistema de dessalinização da comunidade rural Mendonça, em Juazeirinho-PB.	25
Figura 17 - Poço de alimentação do sistema Mendonça .....	26
Figura 18 – Tanque de contenção para evaporação do efluente concentrado do sistema Mendonça .....	26
Figura 19 - Medidores de vazão do sistema Escurinha .....	27
Figura 20 – Gráfico da vazão de água permeada <i>versus</i> água concentrada no sistema Escurinha .....	28
Figura 21 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Escurinha .....	29
Figura 22 - Perfil da variação da condutividade elétrica de acordo com a distância horizontal no sistema Escurinha .....	31
Figura 23 – Perfil de variação da condutividade elétrica de acordo com a profundidade no sistema Escurinha .....	31

Figura 24 – Medidores de vazão do sistema Massapê .....	32
Figura 25 - Gráfico da vazão de água permeada <i>versus</i> água concentrada no sistema Massapê .....	33
Figura 26 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Massapê .....	34
Figura 27 – Perfil da variação da condutividade elétrica de acordo com a distância horizontal no sistema Massapê .....	35
Figura 28 – Perfil de variação da condutividade elétrica de acordo com a profundidade no sistema Massapê .....	36
Figura 29 – Medidores de vazão do sistema Mendonça.....	37
Figura 30 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Mendonça .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Escurinha .....	27
Tabela 2 – Comparativo entre as vazões do sistema Escurinha .....	28
Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Escurinha.....	29
Tabela 4 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Escurinha .....	29
Tabela 5 – Resultados da análise do extrato de saturação do solo do sistema Escurinha .....	30
Tabela 6 – Aumento percentual da condutividade elétrica no solo superficial do sistema Escurinha .....	30
Tabela 7 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Massapê .....	32
Tabela 8 – Comparativo entre as vazões do sistema Massapê .....	33
Tabela 9 – Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Massapê.....	33
Tabela 10 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Massapê .....	34
Tabela 11 – Resultados da análise do extrato de saturação do solo do sistema Massapê .....	35
Tabela 12 - Aumento percentual da condutividade elétrica no solo superficial do sistema Massapê .....	35
Tabela 13 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Mendonça.....	37
Tabela 14- Comparativo entre as vazões do sistema Mendonça .....	38
Tabela 15 - Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Mendonça .....	38
Tabela 16 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Mendonça .....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência executiva de gestão das águas do estado da Paraíba
ANA	Agência nacional de águas
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
CPRM	Companhia de pesquisa de recursos minerais
EMBRAPA	Empresa brasileira de pesquisa agropecuária
FWR	Foundation for water research
INSA	Instituto nacional do semiárido
LARTECA	Laboratório de referência em tecnologia em águas
MMA	Ministério do meio ambiente
ONU	Organização das nações unidas
OMS	Organização mundial da saúde
PAD	Programa água doce
PNRH	Política nacional de recursos hídricos
SiBCS	Sistema brasileiro de classificação de solos
SIGSAB	Sistema de gestão da informação e do conhecimento do semiárido brasileiro
SINGREH	Sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos
SNIS	Sistema nacional de informações sobre saneamento
SUDENE	Superintendência do desenvolvimento do nordeste
UEPB	Universidade estadual da Paraíba
UNICEF	Fundo das nações unidas para a infância
VMP	Valor máximo permitido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos .....	13
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
3.1	Panorama do abastecimento de água.....	14
3.2	Legislação relacionada .....	15
3.3	Município de Juazeirinho e seu potencial hidrogeológico.....	15
3.4	Processo de separação por membranas .....	17
3.5	Salinização do solo e processo de desertificação .....	18
3.6	Programa água doce (PAD) .....	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
4.1	Coletas e escolha dos pontos .....	20
4.2	Métodos analíticos.....	20
4.3	Caracterização dos sistemas de dessalinização .....	21
4.3.1	<i>Sistema Escurinha</i> .....	22
4.3.2	<i>Sistema Massapê</i> .....	24
4.3.3	<i>Sistema Mendonça</i> .....	25
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
5.1	Sistema Escurinha.....	27
5.1.1	<i>Água</i> .....	27
5.1.2	<i>Solo</i> .....	30
5.2	Sistema Massapê .....	32
5.2.1	<i>Água</i> .....	32
5.2.2	<i>Solo</i> .....	35
5.3	Sistema Mendonça .....	37
5.3.1	<i>Água</i> .....	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), o município de Juazeirinho-PB possui um índice pluviométrico anual médio de 522,3 mm, o que, conforme a Resolução do Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) de nº 107/2017, o insere na área de abrangência do semiárido brasileiro, que caracteriza-se como uma região com evapotranspiração potencial anual superior a precipitação.

A zona urbana do município de Juazeirinho é dotada de rede de abastecimento com fornecimento regular de água, através do sistema adutor do Cariri, que capta água no açude Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão-PB. No entanto, a realidade do abastecimento na zona rural é distinta da realidade da zona urbana, pois não há rede de abastecimento pública.

A fonte de água de mais fácil acesso para a população é a água superficial, que fica armazenada em cacimbas e açudes. Porém, com o prolongamento do período de estiagem ocasionando secas, o volume desses reservatórios pode cair a níveis críticos, onde muitos chegam a secar completamente.

A água subterrânea se apresenta em diversas ocasiões como a única alternativa de abastecimento em muitas localidades, suprimindo a demanda de água nos períodos de seca. Contudo, a água extraída de diversos poços no semiárido brasileiro apresenta alto teor de sais, pois grande parte da região está localizada sobre o escudo oriental, que é constituído de rochas cristalinas, o que restringe o armazenamento da água à fissuras nas rochas, proporcionando a dissolução dos sais da rocha na água (INSA, 2017).

A tecnologia de dessalinização por osmose reversa utilizando membranas, além de prover água dessalinizada própria para o consumo humano, gera uma outra água, o denominado efluente concentrado, com um teor de sais superior ao da água bruta. A disposição do efluente concentrado no solo pode torná-lo infértil, contribuindo para o processo de desertificação, além de caracterizar um desperdício de um recurso escasso na região, que poderia ser aproveitado para geração de renda na comunidade, fixando as famílias no campo.

No município de Juazeirinho seis dos sete sistemas de dessalinização descartam o efluente concentrado diretamente no solo, enquanto apenas o sistema da comunidade rural

Mendonça, único no município a fazer parte do programa água doce (PAD) do governo federal, dispõe o efluente em tanque de contenção para evaporação.

Uma água com alta concentração de SDT não possui viabilidade para uso doméstico e nem para a agricultura, e sais não são removidos no tratamento convencional de água, daí advém a necessidade da instalação de um sistema de dessalinização. A escolha dos sistemas Escurinha, Massapê e Mendonça para este estudo se deu devido a diferenças quanto ao manejo do efluente concentrado.

Sendo assim torna-se necessário avaliar a operação destes sistemas, pois em diversas ocasiões são a única fonte de abastecimento de várias famílias, suprindo a demanda de água quando exaurem-se as fontes superficiais. Também é necessário avaliar o impacto ambiental que esses sistemas podem acarretar às comunidades pelo lançamento do efluente concentrado, uma vez que a salinização do solo contribui para o processo de desertificação, vindo a lesar ambientalmente e economicamente a localidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a operação de sistemas de dessalinização de água subterrânea localizados em comunidades rurais do município de Juazeirinho Paraíba.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a eficiência na produção de água permeada;
- Caracterizar as águas bruta, permeada e concentrada com os teores de sólidos dissolvidos totais e cloreto;
- Avaliar a eficiência dos sistemas na remoção de sólidos dissolvidos totais e cloreto, da água bruta para a água permeada;
- Analisar o grau de concentração de sólidos dissolvidos totais e cloreto entre a água bruta e o efluente concentrado;
- Verificar o caráter de salinização do solo nos locais de lançamento do efluente concentrado.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Panorama do abastecimento de água**

A Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou, em assembleia realizada em julho de 2010, a resolução nº 64/292, onde reconhece o direito à água potável, segura e limpa, e ao saneamento, como direito humano essencial para o pleno desfrute da vida e de todos os outros direitos humanos.

Conforme um relatório conjunto da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), ambos filiados à ONU (2017), cerca de 2,1 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a água potável e disponível em casa, o que resulta em cerca de 30% da população mundial, e 4,5 bilhões, ou 60% da população mundial, carecem de saneamento seguro.

“A água potável, o saneamento e a higiene em casa não devem ser um privilégio apenas daqueles que são ricos ou vivem em centros urbanos. Esses são alguns dos requisitos mais básicos para a saúde humana e todos os países têm a responsabilidade de garantir que todos possam acessá-los”. (Tedros Adhanom Ghebreyesus, diretor geral da OMS, 2017).

No Brasil 16,5% da população, ou aproximadamente 35 milhões de habitantes, não dispõem de acesso a água tratada. Na região nordeste o quadro é ainda mais desfavorável, pois o percentual da população não atendida é de 26,7%, totalizando mais de 15 milhões de pessoas (SNIS, 2017).

Segundo o relatório da conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, divulgado em 2017 pela Agência Nacional de Águas (ANA), 2.873 municípios brasileiros decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública devido à seca, de 2003 a 2016, sendo 1.409 destes localizados na região Nordeste, o que corresponde a 75,8% da quantidade de municípios da região. Ainda de acordo com o relatório, o Nordeste correspondeu por 83% dos 5.154 eventos de secas registrados no Brasil entre os anos 2013 e 2016.

Cerca de três em cada quatro empregos no mundo possuem alta dependência da disponibilidade de água, pois a realização de atividade econômica, como irrigação e produção industrial, por exemplo, depende da oferta de água, o que evidencia a necessidade de uma gestão eficaz dos recursos hídricos para que haja desenvolvimento econômico (UNESCO, 2016; ANA, 2017).

### **3.2 Legislação relacionada**

No Brasil, a Lei Nº 9433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), se baseia, dentre outros, nos fundamentos de que a água é de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A PNRH tem por um dos objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

A legislação que abarca os padrões de potabilidade da água é a portaria de consolidação nº5/2017 do Ministério da Saúde, que estabelece, dentre outros, o valor máximo permitido (VMP) de 1.000 mg/L para sólidos dissolvidos totais (SDT) e de 250 mg/L para cloreto (Cl<sup>-</sup>).

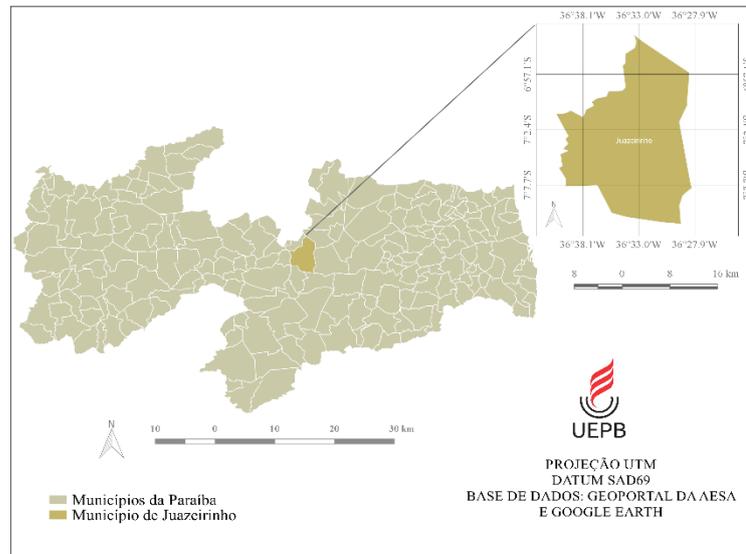
A resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) dispõe, dentre outros, sobre a classificação dos corpos de água, estabelecendo as águas doces como as que possuem concentração de SDT igual ou inferior a 500 mg/L, as salobras superior a 500 e inferior a 30.000, e as salinas as que possuem concentração igual ou superior a 30.000 mg/L.

Já a resolução do CONAMA que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas é a 396/2008, porém, esta resolução cita apenas que as águas subterrâneas que apresentem concentrações de SDT superiores a 15.000 mg/L, são enquadradas na classe 5, não diferenciando as águas em doces, salobras e salinas.

### **3.3 Município de Juazeirinho e seu potencial hidrogeológico**

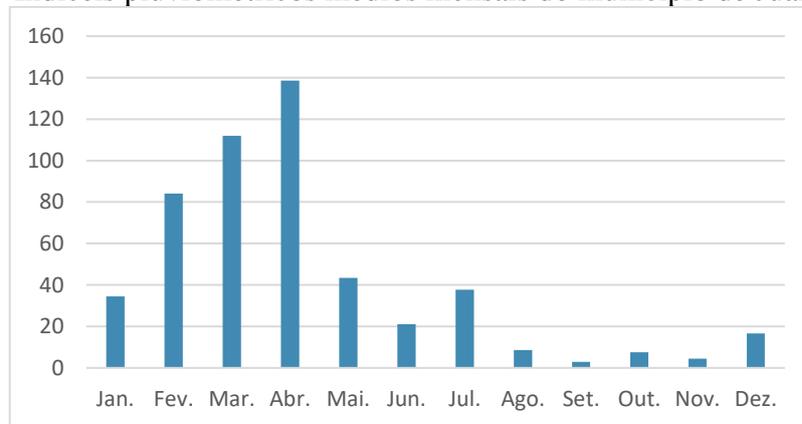
O município de Juazeirinho está localizado no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, conforme ilustrado na Figura 1, integrando a mesorregião da Borborema. Possui uma população total de 16.776 habitantes, dos quais 9.124 residem na zona urbana e 7.652 na zona rural (IBGE, 2010).

Figura 1 – Localização do município de Juazeirinho no estado da Paraíba



O índice pluviométrico anual médio do município é de 522,3 mm, o que, por ser inferior a 800 mm, o inclui na área de abrangência do semiárido brasileiro (SUDENE, 2017). Os índices pluviométricos mensais estão disponíveis no gráfico ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Índices pluviométricos médios mensais do município de Juazeirinho-PB

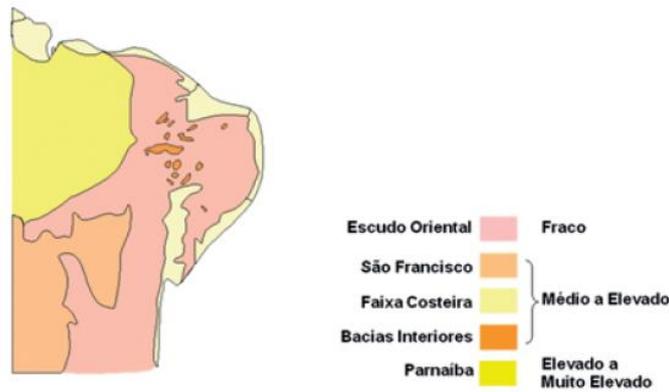


Fonte: AESA (2019).

A distribuição temporal de chuvas no município é desigual, sendo os maiores índices registrados no final do verão e início do outono, e os menores no final do inverno e início da primavera. Desta forma, o período chuvoso pode ser considerado como sendo os meses de fevereiro a maio, e os demais como sendo período de estiagem.

O município, bem como grande parte do semiárido brasileiro, encontra-se sobre o Escudo Oriental que possui fraco potencial hidrogeológico, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Potencial hidrogeológico do Nordeste do Brasil



Fonte: CPRM (2003).

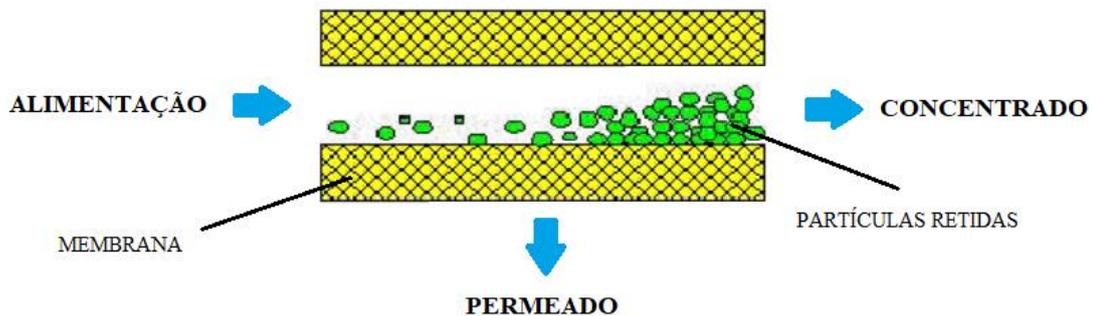
O Escudo Oriental dispõe de baixo potencial hidrogeológico em virtude da presença do embasamento cristalino, que são rochas com minerais bem cristalizados, que devido à porosidade e permeabilidade primárias baixas, desfavorece o armazenamento de água no subsolo. Este embasamento possui imensos maciços de rochas aflorantes ou subalforantes, o que limita a infiltração e o acúmulo de água às fissuras e fraturas da rocha, formadas pelos movimentos tectônicos da Terra. Como resultado, a água subterrânea dissolve os sais constituintes dessas rochas, apresentando altos teores salinos (BRASIL, 2012).

### 3.4 Processo de separação por membranas

A osmose é o processo natural de transferência de água de uma solução menos concentrada para uma mais concentrada até que ambas possuam a mesma concentração, devido a pressão osmótica existente. O princípio utilizado no processo de separação por membranas, que é um dos métodos utilizados na dessalinização de água, é o inverso do processo de osmose, onde há uma membrana semipermeável entre as duas soluções, e uma bomba de alta pressão para que seja possível superar a pressão osmótica (BRASIL, 2012).

O processo de separação por membranas consiste na divisão da corrente de alimentação em duas: a de efluente concentrado e a de efluente permeado, sendo o efluente permeado o produto desejável no processo, e o efluente concentrado o indesejável. Os solutos e as partículas que ficam retidos na superfície da membrana são constantemente removidos pelo efluente concentrado, que flui de forma tangencial ao longo da superfície da membrana, enquanto o efluente permeado flui purificado através das membranas, conforme ilustra a Figura 4 (MOURA, 2008).

Figura 4 – Processo de separação por membranas



Fonte: Adaptado de Moura (2008).

Desta forma, nem toda vazão de água que entra no sistema eflui doce, uma vez que a produção do efluente concentrado normalmente fica entre 10% e 50% do total, dependendo das características da água de alimentação (água bruta), como a salinidade (FWR, 2015). O incremento da concentração de sais no efluente concentrado é inversamente proporcional a sua vazão, e diretamente proporcional a vazão de água permeada, uma vez que o aumento da vazão de água no efluente concentrado promove a diluição dos sais.

O efluente concentrado, por possuir uma concentração de sais superior à da água bruta pode causar impactos ambientais se lançado diretamente no solo ou em corpos hídricos. Técnicas como tanque de contenção para evaporação podem evitar a salinização do solo e dos corpos hídricos, porém, tendo em vista a escassez hídrica na região, este efluente pode ser utilizado para fins que possibilitem a geração de renda para a comunidade local, como criação de tilápias em tanques e cultivos hidropônicos (BEZERRA et al., 2016).

### 3.5 Salinização do solo e processo de desertificação

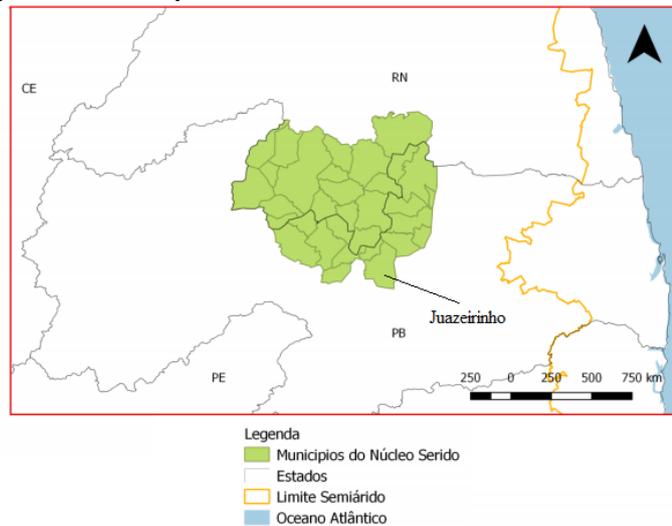
A existência de sais no solo ocasiona a fragmentação de suas partículas provocando a dispersão da argila. Desta forma, o processo de salinização do solo modifica significativamente suas estruturas físicas visto que há redução do tamanho dos poros, o que consequentemente reduz a capacidade de infiltração de água, pois os solos tornam-se mais compactados (BRASIL, 2012).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), um solo apresenta caráter salino se o valor da condutividade elétrica em seu extrato de saturação for igual ou superior a 4 dS/m e inferior a 7 dS/m, em alguma época do ano. Já o caráter sálico é indicado por valores de condutividade elétrica iguais ou superiores a 7 dS/m (EMBRAPA, 2018).

Para que as plantas retirem água do solo é necessário que as forças de embebição dos tecidos das raízes sejam superiores às forças que retêm a água na matriz do solo. O processo de salinização do solo está diretamente relacionado ao processo de desertificação, pois a maior concentração de sais em solos salinos, devido ao efeito osmótico, aumenta as forças de retenção de água, reduzindo a capacidade de absorção de água pela planta. Dependendo da concentração de sais solúveis o aumento da pressão osmótica poderá ser tão severo que além de impedir que as plantas absorvam água, mesmo em solo úmido, poderá ocasionar a plasmólise, que é o processo onde a planta perde a água presente em seus tecidos, desidratando-se (DIAS et al., 2016).

Há sete núcleos de desertificação no Brasil, todos na região Nordeste, sendo que dois destes abrangem o território paraibano, o do Seridó e o dos Cariris Velhos. O município de Juazeirinho encontra-se localizado no núcleo de desertificação do Seridó, conforme observa-se na Figura 5. O processo de desertificação observado nesta região está relacionado singularmente a fatores climáticos e intervenções antrópicas (INSA, 2017).

Figura 5 – Localização do município de Juazeirinho no núcleo de desertificação do Seridó



Fonte: Adaptado de SIGSAB (2017).

### 3.6 Programa água doce (PAD)

O programa água doce é um projeto do governo federal que visa a instalação de sistemas de dessalinização de água subterrânea em comunidades rurais do Nordeste brasileiro. A escolha dos locais a serem contemplados leva em consideração a inexistência de outras fontes de abastecimento, baixo IDH-M, baixos níveis pluviométricos, e características do poço de alimentação, como concentração de SDT não superior a 6 g/L, e vazão superior a 3 m<sup>3</sup>/h (BRASIL, 2012).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Coletas e escolha dos pontos**

Foram coletadas amostras de cada tipo de água: a bruta, a permeada e a concentrada, totalizando três amostras por sistema, no dia 17 de maio de 2019.

Os dados sobre a operação como os dias e horas de acionamento dos dessalinizadores e a quantidade de água distribuída para as famílias foram estimados pelos operadores.

A coleta das amostras de solo foi realizada no dia 2 de maio de 2019, apenas nos sistemas Escurinha e Massapê, uma vez que no sistema Mendonça não há lançamento de efluente concentrado no solo, por dispor de tanque de contenção para evaporação. A coleta foi realizada em seis pontos de cada sistema, variando na distância horizontal (superficial) percorrida a jusante e na profundidade, além de uma prova em branco superficial, para fins comparativos.

Os pontos de coleta foram selecionados da seguinte forma:

- No local do lançamento, ou a 0 m, sendo coletado amostra superficial (ponto 1), a 0,3 m de profundidade (ponto 2) e a 0,6 m (ponto 3);
- A 5 m a jusante do local de lançamento, apenas a amostra superficial (ponto 4);
- A 10 m a jusante do local de lançamento, apenas a amostra superficial (ponto 5);
- A prova em branco foi coletada a montante do ponto de lançamento do efluente concentrado, em um local onde não há escoamento, sendo apenas a amostra superficial (ponto 6).

### **4.2 Métodos analíticos**

Os parâmetros selecionados para análise das águas foram sólidos dissolvidos totais (SDT), e cloreto (Cl<sup>-</sup>). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Referência em Tecnologia de Águas (LARTECA), localizado no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

A leitura da concentração de SDT das águas foi realizada de forma direta pela sonda multiparâmetro da marca HANNA® instruments, de modelo HI 9829, ilustrada na Figura 6. As análises de cloreto foram feitas conforme preconiza o Standard Methods. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

Figura 6 - Sonda multiparâmetro utilizada nas análises de SDT e condutividade elétrica



O parâmetro escolhido para ser analisado no solo foi a condutividade elétrica. As análises do solo foram realizadas de acordo com o manual de análises de solo da EMBRAPA (2017), sendo a leitura da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo realizada pela mesma sonda utilizada para a leitura de SDT nas águas.

A filtragem do solo, ilustrada na Figura 7, foi realizada em duplicata, produzindo dois extratos de saturação para cada amostra de solo.

Figura 7 - Filtragem a vácuo da amostra de solo



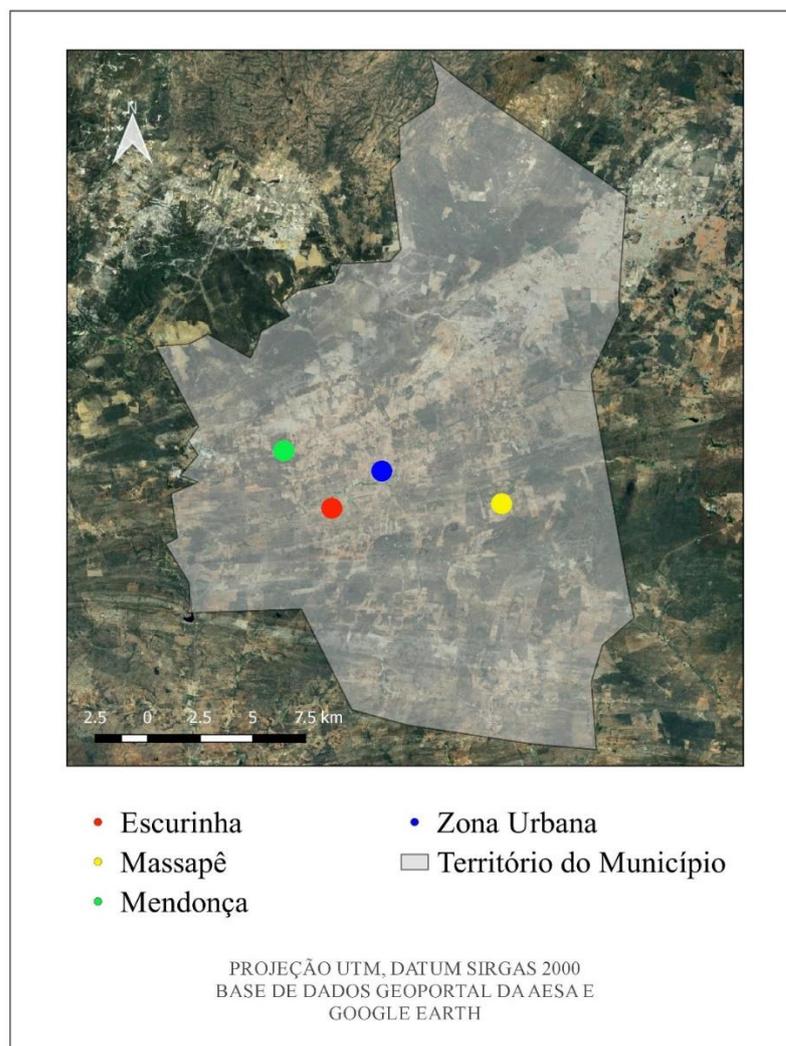
No extrato de saturação do solo da maioria das amostras realizou-se diluição de 1:100, exceto nas provas em branco, em que a diluição foi de 1:10.

#### 4.3 Caracterização dos sistemas de dessalinização

No município de Juazeirinho há sistemas de dessalinização de água subterrânea em sete comunidades rurais, são elas: Alto Grande, Antônio Ferreira, Caiana, Escurinha,

Massapê, Mendonça e Nicásio. Para a realização deste trabalho foram selecionados os sistemas localizados nas comunidades rurais Escurinha, Massapê e Mendonça. A Figura 8 ilustra a localização dos sistemas de dessalinização estudados no município de Juazeirinho.

Figura 8 - Localização dos sistemas de dessalinização no município de Juazeirinho



#### 4.3.1 Sistema Escurinha

O sistema de dessalinização da comunidade rural Escurinha, ilustrado na Figura 9, localiza-se a sudoeste da zona urbana distando cerca de 3,6 km da sede municipal, com acesso realizado através de estradas vicinais.

Figura 9 – Sistema de dessalinização da comunidade rural Escurinha, em Juazeirinho-PB



De acordo com o Brasil (2005), o poço no qual está instalado o sistema de dessalinização, ilustrado na Figura 10, possui o código CP584, e localiza-se no sítio Escurinha do Meio, com latitude 07°05'06.0"S e longitude 36°35'58.9"O.

Figura 10 – Poço de alimentação do sistema Escurinha



O manejo do efluente concentrado é feito lançando-o diretamente do dessalinizador para o solo, conforme é possível observar na Figura 11.

Figura 11 - Disposição do efluente concentrado do sistema Escurinha



### 4.3.2 Sistema Massapê

O sistema de dessalinização da comunidade rural Massapê, ilustrado na Figura 12, localiza-se a sudeste da zona urbana distando cerca de 7,3 km da sede municipal, com acesso realizado através de estradas vicinais.

Figura 12 - Sistema de dessalinização da comunidade rural Massapê, em Juazeirinho-PB



De acordo com Brasil (2005), o poço no qual está instalado o sistema de dessalinização, ilustrado na Figura 13, possui o código CP590, e localiza-se no sítio Massapê, com latitude 07°04'59.2"S e longitude 36°31'33.0"O.

Figura 13 – Poço de alimentação do sistema Massapê



O manejo do efluente concentrado no sistema Massapê ocorre por disposição no solo, contando com uma caixa água de passagem, conforme ilustrado nas Figura 14 e 15.

Figura 14 - Disposição do efluente concentrado do sistema Massapê



Figura 15 - Caixa d'água utilizada para armazenar o efluente concentrado do sistema Massapê



#### 4.3.3 Sistema Mendonça

O sistema da comunidade rural Mendonça, ilustrado na Figura 16, localiza-se a noroeste da zona urbana distando cerca de 5,3 km da sede municipal, com acesso realizado através de estradas vicinais.

Figura 16 – Sistema de dessalinização da comunidade rural Mendonça, em Juazeirinho-PB



De acordo com Brasil (2005), o poço no qual está instalado o sistema de dessalinização, ilustrado na Figura 17, possui o código CP411, e localiza-se no sítio Mendonça de Cima, com latitude  $07^{\circ}03'35.4''\text{S}$  e longitude  $36^{\circ}37'14.9''\text{O}$ .

Figura 17 - Poço de alimentação do sistema Mendonça



O efluente concentrado do sistema Mendonça é disposto em tanque de contenção para evaporação, conforme é possível verificar na Figura 18.

Figura 18 – Tanque de contenção para evaporação do efluente concentrado do sistema Mendonça



As dimensões da instalação do sistema Mendonça são as dimensões padronizadas pelo PAD, que para o tanque de contenção estabelece profundidade de 2 m, largura de 8 m e comprimento de 26 m, no fundo do talude, e inclinação de 0,075 m.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Sistema Escurinha

#### 5.1.1 Água

O funcionamento do sistema acontece de forma intermitente, sendo acionado das 7 h às 10 h da manhã, três vezes por semana: na segunda-feira, quarta-feira, e sexta-feira, dias nos quais as famílias efetuam a retirada da água permeada. No período chuvoso, o sistema atende a cerca de 13 famílias, enquanto no período de estiagem atende a aproximadamente 40 famílias, de acordo com os dados disponíveis na Tabela 1.

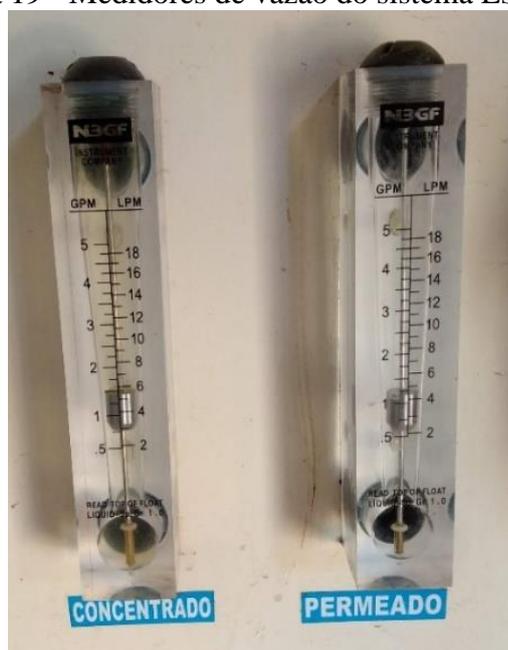
Tabela 1 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Escurinha

Sistema Escurinha	Nº de Famílias	Volume de água (L/família.dia)	Horas de operação (h/dia)	Dias de operação (dia/semana)
Período chuvoso	13	40	3	3
Período de estiagem	40	40	-	3

O operador não informou a estimativa de horas de operação por dia para o período de estiagem.

De acordo com a Figura 19, que ilustra os rotômetros do dessalinizador, a vazão de efluente concentrado produzida é em torno de 4 L/min, e a de efluente permeado é de aproximadamente 3 L/min. Portanto, a proporção é de 1 L de água permeada produzida para cada 1,33 L de água concentrada.

Figura 19 - Medidores de vazão do sistema Escurinha



A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os dados da vazão de água permeada distribuída para as famílias semanalmente, calculado a partir da quantidade de famílias atendidas e o volume por elas retirado, e os dados da vazão de água permeada produzida, calculada a partir da vazão informada pelo rotâmetro do dessalinizador e do tempo total que ele é acionado semanalmente, além da vazão de água concentrada produzida.

Esses dados são relativos ao mês de maio de 2019, que se enquadra no período chuvoso onde a demanda cai, pois com a ocorrência de chuvas a população dispõe de outras fontes de abastecimento, como cisternas e barreiros. Já nos meses de estiagem a demanda aumenta, juntamente com o tempo de operação dos dessalinizadores para elevar a oferta.

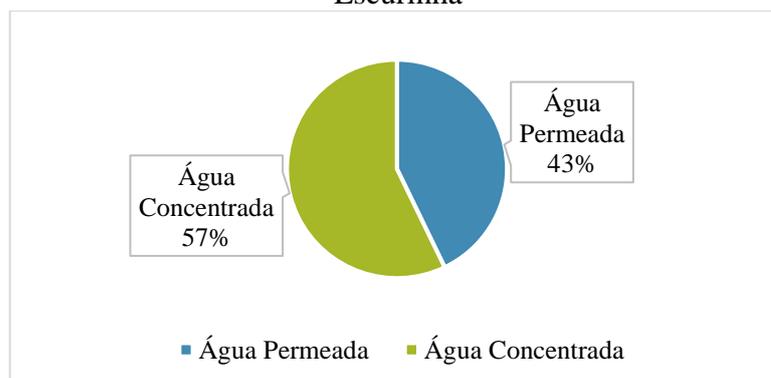
Tabela 2 – Comparativo entre as vazões do sistema Escurinha

Vazão distribuída para as famílias (L/semana)	Vazão de água permeada produzida (L/semana)	Vazão de água concentrada produzida (L/semana)
1560	1620	2160

Há uma discrepância de 60 L por semana entre a vazão distribuída para as famílias e a vazão produzida informada pelo rotâmetro, porém, esta diferença pode ser explicada por alguns fatores:

- Tempo de operação do sistema ser um pouco menor que as 3 h por dia estimada pelo operador, visto que um tempo de operação de 2 h 53 min por dia de operação seria o bastante para suprir a vazão distribuída para as famílias;
- Pequeno erro no rotâmetro de água permeada, apontando vazão um pouco acima da real;
- Evaporação na caixa d'água que armazena a água permeada, devido a uma avaria em sua tampa, conforme observa-se na Figura 15;
- Perdas por derramamento no momento da retirada pelas famílias.

Figura 20 – Gráfico da vazão de água permeada *versus* água concentrada no sistema Escurinha



Conforme é possível observar no gráfico ilustrado na Figura 20 apenas 43% da água bruta que entra no sistema sai dessalinizada, sendo disponibilizada para as famílias, enquanto os 57% restantes são de água concentrada, descartada diretamente no solo. Desta forma, temos uma eficiência de produção de água permeada de apenas 43%.

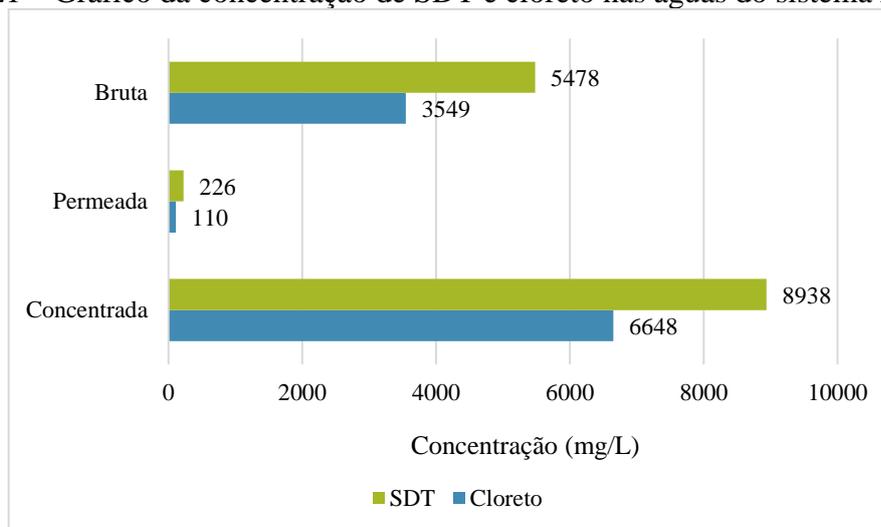
Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Escurinha

Escurinha	Bruta	Permeada	Concentrada
<b>SDT (mg/L)</b>	5478	226	8938
<b>Cloreto (mg/L)</b>	3549	110	6648

Como observado na Tabela 3, tendo como base a resolução 357/2005 do CONAMA, tanto a água bruta como a concentrada podem ser consideradas salobras, enquanto a permeada é efetivamente doce.

A concentração de cloreto da água permeada está dentro do padrão de potabilidade preconizados pela portaria de consolidação nº 5/2017 do ministério da saúde, pois atende ao VMP de 250 mg/L.

Figura 21 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Escurinha



A partir do gráfico ilustrado na Figura 21 e da Tabela 4 é possível constatar a expressiva remoção tanto de cloreto quanto de SDT da água bruta para a água permeada, e o aumento da concentração da água bruta para a água concentrada.

Tabela 4 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Escurinha

Eficiência	Eficiência de remoção (%)	Grau de concentração (%)
<b>SDT</b>	95,87%	38,71%
<b>Cloreto</b>	96,90%	46,61%

Como o grau de concentração de SDT e cloreto ficou bem próximo a eficiência de produção de água permeada, por serem proporcionais, é possível afirmar que os rotâmetros estão apontando vazões confiáveis.

### 5.1.2 Solo

A Tabela 5 disponibiliza os dados referentes às análises efetuadas no solo onde o efluente concentrado do sistema Escurinha é lançado. A confiabilidade dos dados obtidos foi aferida verificando se os valores da condutividade elétrica do par de extratos de saturação estavam próximos.

Tabela 5 – Resultados da análise do extrato de saturação do solo do sistema Escurinha

Pontos coletados	0 m			(4) 5 m	(5) 10 m	(6) Branco
	(1) 0 m	(2) 0,3 m	(3) 0,6 m			
<b>Condutividade elétrica (dS/m)</b>	7,25	12,50	-	6,90	6,55	0,52

De acordo com o SiBCS o solo nos pontos 1 e 2 possui caráter sálico, salino nos pontos 4 e 5, porém bem próximo do limite para serem classificados como sálicos, e a prova em branco não apresenta caráter salino. Não foi possível cavar além de 0,3 m de profundidade devido a existência de um material rígido no subsolo.

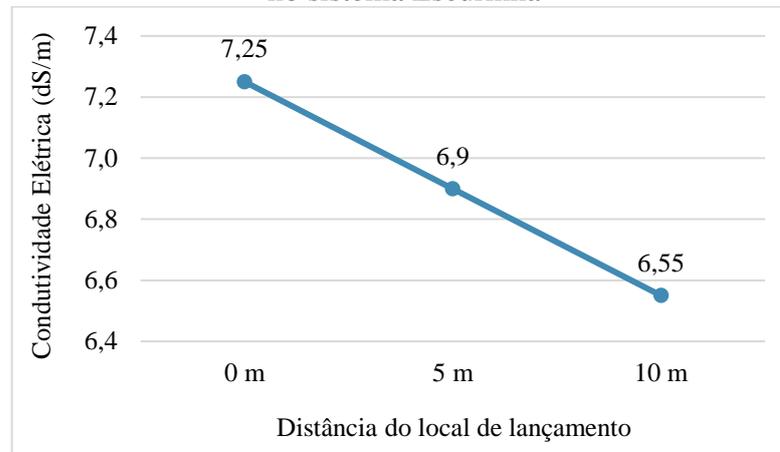
Utilizando a prova em branco como referencial, nota-se, na Tabela 6, excessiva salinização do solo em todos os pontos superficiais analisados.

Tabela 6 – Aumento percentual da condutividade elétrica no solo superficial do sistema Escurinha

Distância superficial	0 m	5 m	10 m
<b>Aumento da condutividade elétrica</b>	1294%	1227%	1160%

No gráfico ilustrado na Figura 22 observa-se que a condutividade elétrica decai muito pouco com o incremento na distância horizontal, quando se compara os três pontos analisados. Isto indica que o efluente concentrado está escoando superficialmente e salinizando o solo a jusante além da distância de 10 m.

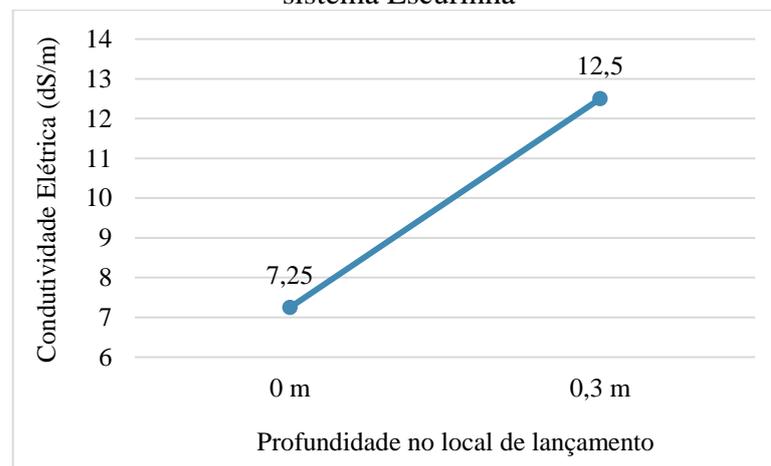
Figura 22 - Perfil da variação da condutividade elétrica de acordo com a distância horizontal no sistema Escurinha



Desta forma, a abrangência deste impacto ambiental está extrapolando os limites do terreno do sistema de dessalinização, adentrando em propriedades vizinhas, sendo necessário a realização de um estudo complementar que inclua pontos mais distantes na análise para se conhecer melhor a extensão do impacto.

Um agravante é que o escoamento do efluente concentrado se dá em direção ao poço conforme foi possível observar na Figura 11, o que pode vir a contribuir para a aumentar a salinização da água bruta.

Figura 23 – Perfil de variação da condutividade elétrica de acordo com a profundidade no sistema Escurinha



No gráfico ilustrado na Figura 23 constata-se que a apenas 0,3 m de profundidade no local de lançamento a condutividade elétrica quase dobra, em comparação ao resultado obtido na análise na superfície no mesmo ponto. Como não foi possível cavar até 0,6 m de profundidade, não há como verificar se esse perfil de crescimento se mantém o mesmo analisando em profundidades maiores.

Cruzando as informações dos gráficos da distância horizontal e profundidade verifica-se que além de escoar o efluente concentrado está infiltrando, e a concentração de sais que se mantem estável a jusante até os 10 m, aumenta com a profundidade no local de lançamento.

## 5.2 Sistema Massapê

### 5.2.1 Água

O funcionamento acontece de forma análoga ao do sistema Escurinha, intermitentemente, três vezes na semana: segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira, com a diferença que o Massapê é acionado por um período menor de horas, das 7 h às 8 h da manhã. No período chuvoso o sistema atende a cerca de 3 famílias, enquanto no período de estiagem atende a aproximadamente 20 famílias, de acordo com os dados disponíveis na Tabela 7.

Tabela 7 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Massapê

Sistema Massapê	Nº de Famílias	Quantidade de água (L/viagem.família)	Horas de operação (h/dia)	Dias de operação (d/semana)
Período chuvoso	3	60	1	3
Período de estiagem	20	60	-	3

O operador não informou a estimativa de horas de operação por dia para o período de estiagem.

De acordo com a Figura 24, que ilustra os rotâmetros do dessalinizador, a vazão de efluente concentrado produzida é em torno de 11 L/min, e a de efluente permeado é de aproximadamente 7 L/min. Portanto, a proporção é de 1 L de água permeada produzido para cada 1,57 L de água concentrada.

Figura 24 – Medidores de vazão do sistema Massapê



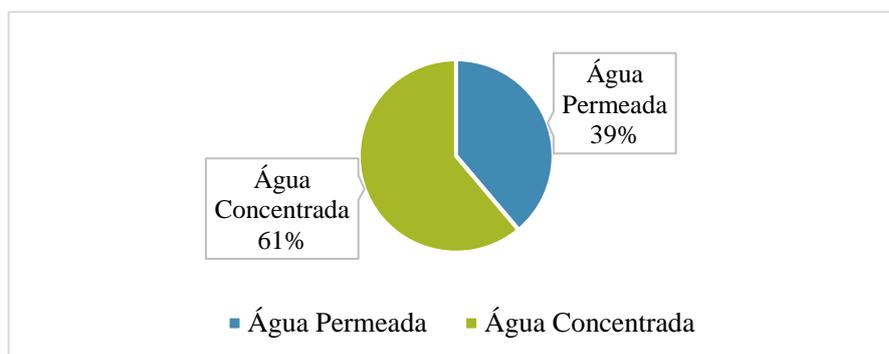
Analogamente ao sistema Escurinha foi calculada, na Tabela 8, a vazão distribuída para as famílias e a vazão ofertada pelo sistema para o período chuvoso.

Tabela 8 – Comparativo entre as vazões do sistema Massapê

Vazão distribuída para as famílias (L/semana)	Vazão de água permeada produzida (L/semana)	Vazão de água concentrada produzida (L/semana)
540	1260	1980

Os dados passam a informação de uma alta discrepância entre a vazão distribuída para as famílias e a estimativa da vazão ofertada pelo sistema. Isto pode estar sendo ocasionado por alguma avaria no rotâmetro de água permeada, superestimando a vazão, uma vez que uma vazão de apenas 3 L/min, mantendo a operação por uma hora diária, três dias por semana, supriria a vazão distribuída para as famílias.

Figura 25 - Gráfico da vazão de água permeada *versus* água concentrada no sistema Massapê



Conforme é possível observar no gráfico ilustrado na Figura 25 apenas 39% da água bruta que entra no sistema sai dessalinizada, enquanto os 61% restantes são de água concentrada, descartada diretamente no solo. Desta forma, temos uma eficiência de produção de água permeada de apenas 39%.

Porém, como foi verificada forte discrepância entre as vazões de água distribuída e água produzida, é provável que as vazões apontadas pelos rotômetros não sejam fidedignas, e consequentemente, a eficiência pode ser diferente de 39%.

Tabela 9 – Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Massapê

Massapê	Bruta	Permeada	Concentrada
SDT (mg/L)	11210	554	12810
Cloreto (mg/L)	8847	320	10147

A partir da Tabela 9 é possível observar que tanto a água bruta como a permeada e a concentrada são salobras, conforme a resolução 357 do CONAMA, pois todas possuem concentrações de SDT acima de 500 mg/L. Porém, avaliando por este parâmetro, a

concentração da água permeada ainda está abaixo do VMP pela portaria de consolidação nº 5/2017, que é de 1000 mg/L, entretanto, o mesmo não se pode dizer do parâmetro cloreto, que na água permeada extrapolou o VMP de 250 mg/L. Desta forma, pode-se afirmar que a água permeada do Massapê não está potável.

Figura 26 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Massapê

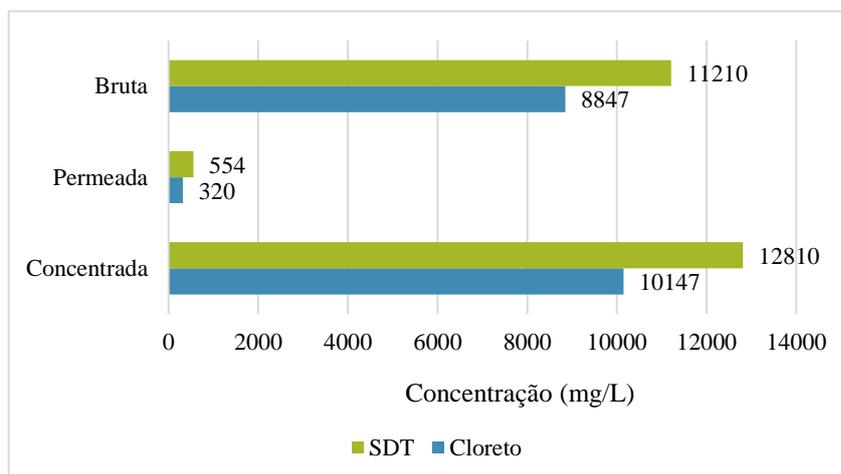


Tabela 10 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Massapê

<b>Eficiência</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>	<b>Grau de concentração (%)</b>
<b>SDT</b>	95,05%	12,49%
<b>Cloreto</b>	96,38%	12,81%

No gráfico ilustrado na Figura 26 e na Tabela 10 é possível observar que a remoção tanto de SDT quanto de cloreto da água bruta para a água permeada foi elevada, apesar da água permeada ser salobra, e da concentração de cloreto ultrapassar o VMP. Esse fato pode ser explicado pela elevada concentração de ambos os parâmetros na água bruta.

Contudo, o grau de concentração obtido quando se compara os valores dos dois parâmetros da água bruta e da água concentrada foi baixo, mesmo para uma eficiência de produção de água permeada de apenas 39%. Isto constitui outro indicativo de que as vazões apresentadas nos rotâmetros não indicam vazões reais, uma vez que pelo grau de concentração é possível afirmar que a eficiência de produção de água permeada é muito menor do que a apontada pelos rotâmetros.

Desta forma, a operação do sistema Massapê não se justifica, por fatores como:

- Má escolha do poço para implantação do sistema de dessalinização, pela alta concentração de sais;
- Água permeada produzida salobra e não potável;

- Baixa eficiência na produção de água permeada, indicando problemas de operação, possivelmente nas membranas;
- Baixo número de famílias atendidas, sendo apenas 3 no período chuvoso, o que para a prefeitura seria menos custoso encontrar outras formas de abastecimento.

### 5.2.2 Solo

A Tabela 11 apresenta os dados referentes às análises efetuadas no solo onde o efluente concentrado do sistema Massapê é lançado.

Tabela 11 – Resultados da análise do extrato de saturação do solo do sistema Massapê

Pontos coletados	0 m			(4) 5 m	(5) 10 m	(6) Branco
	(1) 0 m	(2) 0,3 m	(3) 0,6 m			
Condutividade elétrica (dS/m)	13,15	13,10	15,30	5,70	0,95	0,18

De acordo com o SiBCS, o solo nos pontos 1, 2 e 3 possui caráter sálico, salino no ponto 4, e não apresenta caráter salino nos pontos 5 e 6.

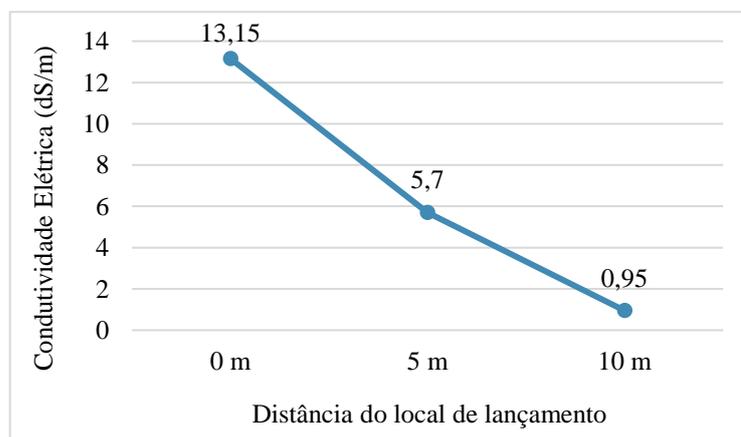
As condutividades elétricas apresentadas nos pontos 1, 2 e 3 deste sistema foram expressivamente mais altas que as apresentadas no solo do sistema Escurinha, sendo este fato explicado pela característica do efluente concentrado do sistema Massapê, que possui concentração de sais mais elevada.

Tabela 12 - Aumento percentual da condutividade elétrica no solo superficial do sistema Massapê

Distância superficial	0 m	5 m	10 m
Aumento da condutividade elétrica	7206%	3067%	428%

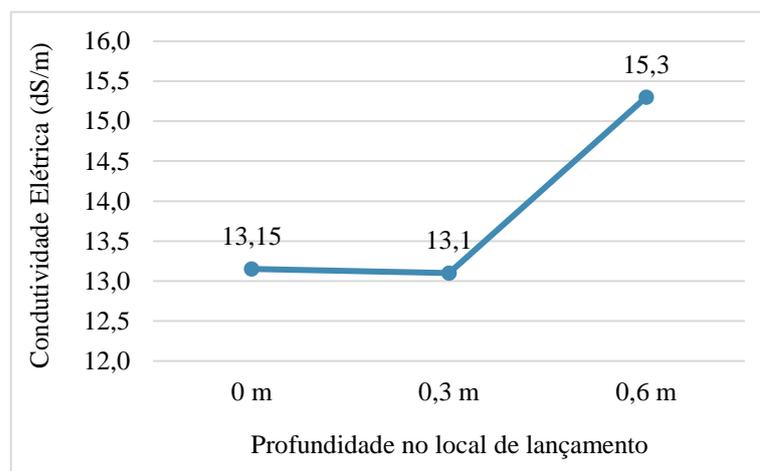
Utilizando a prova em branco como referencial, nota-se, na Tabela 12, salinização nos pontos superficiais analisados, sendo o maior aumento no local do lançamento.

Figura 27 – Perfil da variação da condutividade elétrica de acordo com a distância horizontal no sistema Massapê



No gráfico ilustrado na Figura 27 observa-se que, em dissonância do que ocorre no sistema Escurinha, a condutividade elétrica diminui consideravelmente com a distância horizontal percorrida a jusante, onde o solo no local de lançamento, ou a 0 m, apresenta caráter sálico, salino a 5 m de distância, e não sálico a 10 m, mesmo com a elevada concentração de sais do efluente lançado.

Figura 28 – Perfil de variação da condutividade elétrica de acordo com a profundidade no sistema Massapê



A partir dos dados apresentados no gráfico ilustrado na Figura 28, observa-se que a condutividade elétrica se manteve estável comparando o solo na superfície e a 0,3 m de profundidade, apresentando aumento a 0,6 m.

Cruzando os dados dos dois perfis de condutividade elétrica observa-se então um indicativo de que não está havendo significativo escoamento superficial do efluente lançado no solo, podendo-se afirmar que o impacto ambiental no sistema Massapê, distintamente do que ocorre no sistema Escurinha, está se dando apenas de forma local, embora de modo mais acentuado, o que pode ser explicado por alguns fatores, como:

- Baixo número de famílias atendidas, comparado aos demais sistemas, sendo apenas a três no período atual, e conseqüente menor produção de efluente concentrado;
- Presença de caixa d'água para armazenamento temporário do efluente concentrado, pois conforme ilustrado na Figura 15 sua tampa encontra-se avariada, proporcionando maior evaporação, diminuindo a vazão efetivamente lançada no solo, embora aumente a concentração de sais no volume remanescente;
- Possibilidade do solo e relevo locais apresentarem características que favoreçam a infiltração, em detrimento do escoamento superficial.

### 5.3 Sistema Mendonça

#### 5.3.1 Água

O sistema Mendonça é o mais robusto dentre todos os sistemas existentes no município de Juazeirinho, não apenas pela estrutura e por ter sido contemplado no PAD, mas também pela quantidade de famílias atendidas.

O funcionamento do sistema acontece de forma análoga aos sistemas Escurinha e Massapê, intermitentemente, três vezes na semana: segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira, porém com horário de funcionamento das 7 h às 9 h 45 min da manhã. No período chuvoso o sistema atende a cerca de 40 famílias, enquanto no período de estiagem atende a aproximadamente de 100 famílias, de acordo com os dados disponíveis na Tabela 13.

Tabela 13 – Famílias atendidas e tempo de operação do sistema Mendonça

Sistema de Mendonça	Nº Famílias	Volume de água (L/viagem.familia)	Horas de operação (h/dia)	Dias de operação (d/semana)
Período chuvoso	40	40	2,75	3
Período de estiagem	100	40	-	3

O operador não informou a estimativa de horas de operação por dia para o período de estiagem.

A vazão da água permeada, conforme é possível observar na Figura 29, é de cerca de 10 L/min, por outro lado, devido a uma avaria no rotâmetro do efluente concentrado, não foi possível aferir sua vazão e nem calcular a eficiência na produção de água permeada.

Figura 29 – Medidores de vazão do sistema Mendonça



Analogamente aos demais sistemas foi calculada a vazão distribuída para as famílias e a vazão ofertada pelo sistema para o período chuvoso.

Tabela 14- Comparativo entre as vazões do sistema Mendonça

Vazão distribuída para as famílias (L/semana)	Vazão de água permeada produzida (L/semana)	Vazão de água concentrada produzida (L/semana)
4800	4950	-

A Tabela 14 mostra que há uma discrepância de 150 L entre a vazão de água distribuída para as famílias e a estimativa de água produzida semanalmente. O que pode ser explicado pelos mesmos fatores do sistema Escurinha, porém, o mais provável é que o tempo de operação não seja exatamente de 2 h 45 min por dia de operação, como estimado pelo operador, pois apenas 5 min de operação a menos por dia já seria o suficiente para reduzir esse excedente de 150 L para apenas 2 L.

Tabela 15 - Resultados das análises físico-químicas das águas do sistema Mendonça

Mendonça	Bruta	Permeada	Concentrada
SDT (mg/L)	1606	145	2650
Cloreto (mg/L)	900	58	1749

Os dados disponíveis na Tabela 15 permitem verificar, analogamente ao que ocorre no sistema Escurinha, que as águas bruta e concentrada são salobras, enquanto a água permeada pode ser considerada doce, de acordo com a resolução 357 do CONAMA. Também é possível verificar as concentrações de cloreto e SDT na água permeada atendem aos seus respectivos VMPs pela portaria de consolidação nº 5/2017, do ministério da saúde.

Em comparação aos sistemas previamente abordados as águas bruta, permeada e concentrada do Mendonça são as que apresentam menor teor tanto de SDT quanto de cloreto.

Um dos requisitos para que um sistema de dessalinização seja contemplado no PAD é que a água bruta do poço de alimentação não apresente concentração de SDT superior a 6.000 mg/L, desta forma, pode-se observar que a água do poço que abastece o sistema atende a este critério. Por outro lado, o poço que alimenta o sistema Massapê não poderia ser incluído no programa, pois mesmo que possa se adequar aos demais requisitos, só este já é o suficiente para descartá-lo.

Figura 30 – Gráfico da concentração de SDT e cloreto nas águas do sistema Mendonça

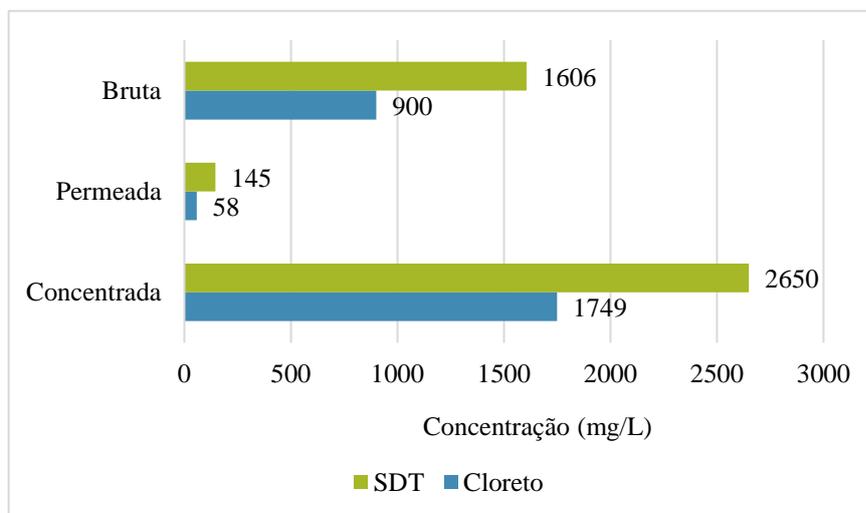


Tabela 16 – Eficiência de remoção e grau de concentração de SDT e cloreto do sistema Mendonça

<b>Eficiência</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>	<b>Grau de concentração (%)</b>
<b>SDT</b>	90,97%	39,40%
<b>Cloreto</b>	93,55%	48,54%

Constata-se a partir do gráfico ilustrado na Figura 30 e da Tabela 16 que há uma boa eficiência na remoção tanto de SDT quanto de cloreto. A eficiência de remoção aqui apresentada é um pouco menor que a dos demais sistemas, todavia, devido a concentração na água bruta do Mendonça não ser tão alta, a água permeada deste sistema apresenta-se com uma qualidade melhor que a dos outros, avaliando estes dois parâmetros.

Mesmo não sendo possível calcular a eficiência na produção de água permeada é possível estimá-la a partir do grau de concentração, pois são proporcionais. Desta forma, a eficiência na produção de água permeada pode ser estimada como em torno de 45%, e a vazão de água concentrada em torno de 12 L/min.

O manejo do efluente concentrado deste sistema, em dissonância do que ocorre nos demais, não ocorre por meio de lançamento no solo, e sim por disposição em tanque de contenção para evaporação. Devido às grandes dimensões do tanque e à alta incidência de raios solares na região, foi possível observar na Figura 18 um volume praticamente nulo.

Tanto no sistema Mendonça como nos demais as famílias utilizam a água para finalidades mais nobres, como beber e preparar alimentos, o que configura um indicativo de que a população percebe a água dessalinizada como de boa qualidade. O baixo volume fornecido pela prefeitura pode ser considerado um fator limitante para demais usos.

## 6 CONCLUSÃO

Tomando como base os resultados apresentados a respeito da operação dos sistemas de dessalinização das comunidades rurais Escurinha, Massapê e Mendonça, foi possível concluir que:

- A eficiência estimada na produção de água permeada de nenhum sistema foi igual ou superior a 50%;
- A eficiência na remoção de SDT e cloreto da água bruta para a água permeada foi superior a 95% nos sistemas Escurinha e Massapê, e superior a 90% no sistema Mendonça;
- O grau de concentração de SDT quando se compara a água bruta e a água concentrada variou do mínimo de 12% no sistema Massapê ao máximo de 39% no sistema Mendonça, e o de cloreto variou do mínimo de 12% no sistema Massapê ao máximo de 48% no sistema Mendonça;
- O solo apresentou caráter sálico em pelo menos um ponto analisado de cada sistema, e nos demais apresentou caráter salino, exceto pelo de 10 m no sistema Massapê que não apresentou caráter sálico ou salino;
- O impacto ambiental da salinização do solo verificado no sistema Escurinha está adentrando terrenos vizinhos, já no sistema Massapê, embora mais acentuado, se dá apenas de maneira local.

## 7 REFERÊNCIAS

AESA, 2019. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Climatologia. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/>> Acesso em: 15 de maio de 2019.

APHA, 2017. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23rd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

ASSEMBLEIA GERAL DA ONU (AG). Resolução 64/292. AG Index: A/64/L.63/Rev.1 and Add.1, 03 de agosto de 2010. Disponível em: <<https://undocs.org/A/RES/64/292>> Acesso em: 03 de abril de 2019.

BEZERRA, E. B. N. et al. Impactos da destinação do rejeito da dessalinização de água subterrânea em uma comunidade de Juazeirinho-PB. In: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido. Campina Grande, 2016. Anais. Campina Grande: CONIDIS, 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 470, 9 jan. 1997. PL 2249/1991

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado de Paraíba: Diagnóstico do Município de Juazeirinho. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Relatório Pleno: Conjuntura dos Recursos hídricos do Brasil. Brasília: ANA, 2017. 169 p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 18 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. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa Água Doce: Documento Base. Brasília: SRHU, 2012.

DIAS, N. S. et al. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de Métodos de Análise de Solo, Brasília, 2017. 300p.

FOUNDATION FOR WATER RESEARCH (FWR). Desalination for Water Supply. Bucks, UK, 2015. 30p.

IBGE, 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Semiárido Brasileiro. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?t=sobre>> Acesso em: 15 de maio de 2019.

IBGE, 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 15 de maio de 2019.

INSA, 2017. Instituto Nacional do Semiárido. Insa divulga dados do processo de desertificação nos núcleos do seridó e cariris paraibanos. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/noticias/127-insa-divulga-dados-do-processo-de-desertificacao-nos-nucleos-do-serido-e-cariris-paraibanos>> Acesso em: 16 de maio de 2019.

MOURA, J. P. et al. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. LABDES - Laboratório de Dessalinização. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

O GLOBO. Três em cada quatro empregos no mundo dependem da água, diz ONU. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/tres-em-cada-quatro-empregos-no-mundo-dependem-da-agua-diz-onu-18929281>> Acesso em: 02 de abril de 2019.

OMS, 2017. Organização Mundial da Saúde. OPAS Brasil: OMS: 2,1 bilhões de pessoas não têm água potável em casa e mais do dobro não dispõem de saneamento seguro. Disponível em: <[https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5458:oms-2-1-bilhoes-de-pessoas-nao-tem-agua-potavel-em-casa-e-mais-do-dobro-nao-dispoem-de-saneamento-seguro&Itemid=839](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5458:oms-2-1-bilhoes-de-pessoas-nao-tem-agua-potavel-em-casa-e-mais-do-dobro-nao-dispoem-de-saneamento-seguro&Itemid=839)> Acesso em: 02 de abril de 2019.

ONU, 2017. Nações Unidas Brasil. ONU: 4,5 bilhões de pessoas não dispõem de saneamento seguro no mundo. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-45-bilhoes-de-pessoas-nao-dispoem-de-saneamento-seguro-no-mundo/>> Acesso em: 03 de abril de 2019.

SANTOS, H. G. dos. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Atributos diagnósticos e outros atributos. Brasília: Embrapa, 2018. cap. 1.

SIGSAB, 2014. Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro. Monitoramento do Núcleo de Desertificação do Seridó (RN/PB). Disponível em: <<http://sigsab.insa.gov.br/serido>> Acesso em: 16 de maio de 2019.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura. O Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água das Nações Unidas 2019. Paris: 2019.