



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA

VICTOR HUGO RODRIGUES DE QUEIROZ

CONTROLE DE QUALIDADE EM ÁGUAS DESSALINIZADAS

FORTALEZA

2019

VICTOR HUGO RODRIGUES DE QUEIROZ

CONTROLE DE QUALIDADE EM ÁGUAS DESSALINIZADAS

Monografia apresentada ao Curso de Química, do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Química. Área de concentração: Química Analítica.

Orientador: Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fechine

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- Q48c Queiroz, Victor Hugo Rodrigues de.
Controle de qualidade em águas dessalinizadas / Victor Hugo Rodrigues de Queiroz. –
2019.
37 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fachine.
1. Controle. 2. Qualidade. 3. Água. 4. Dessalinização. 5. Estiagem. I. Título.

CDD 540

VICTOR HUGO RODRIGUES DE QUEIROZ

CONTROLE DE QUALIDADE EM ÁGUAS DESSALINIZADAS

Monografia apresentada ao Curso de Química, do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Química.
Área de concentração: Química Analítica

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fechine (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Lázaro Lima de Araújo (Supervisor)
Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece)

MS. Samuel Veloso Carneiro (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse trabalho a todos os meus professores, desde o infantil até a universidade, que, de algum modo, contribuíram para que hoje eu estivesse aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida que me concedeu, pela salvação imerecida e pela graça e misericórdia que me acompanham todo dia.

Aos meus pais, por toda ajuda, incentivo e investimento na minha formação, e por estarem sempre comigo.

A minha namorada, por todos os momentos que esteve comigo durante o curso, ajudando, incentivando e compartilhando os momentos de alegria.

Aos meus professores, que em muito contribuíram com os conhecimentos didáticos, profissionais e para a vida.

Aos meus orientadores nas experiências de iniciação científica, no Grupo de Eletroquímica e Corrosão e no Grupo de Química dos Materiais Avançados.

Aos amigos que adquiri nas disciplinas, na universidade e nos grupos de pesquisa, por todos os momentos divertidos, de estudos e risadas.

A Universidade Federal do Ceará, por toda a estrutura, investimentos e oportunidades para uma formação digna e de qualidade.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará, pela oportunidade de estágio, onde pude aplicar os conhecimentos adquiridos no curso e aprender muitas outras coisas.

Aos amigos e colegas, que adquiri durante o estágio, que sempre me ensinaram e contribuíram muito para a realização desse trabalho.

RESUMO

A falta de água doce é um problema em muitas áreas desérticas no mundo, uma delas é o semiárido brasileiro. Para agravar ainda mais a situação nessa região, a pouca água subterrânea presente apresenta a característica de salinidade muito alta, inviabilizando o seu consumo. Diante disso, o tratamento de água usando técnica de dessalinização emerge como uma alternativa para a remoção da maioria dos sais dissolvidos e das características salobra/salina da água. Nessa perspectiva, a fim de avaliar o processo de dessalinização no tratamento de água, foram feitas coletas de água em dessalinizadores no interior do estado do Ceará e realizadas análises de parâmetros relacionados a salinidade, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Pode-se então, observar que antes do tratamento as amostras de água apresentavam parâmetros em desacordo com a legislação brasileira, sendo estes, corrigidos após o tratamento. Os resultados obtidos mostram que uma água de características salina/salobra e imprópria para o consumo, apresentando os parâmetros em desacordo com a legislação, passou a apresentar características doce e potável, atingindo os padrões de potabilidade, considerando os parâmetros analisados. Concluiu-se então, que em uma situação de escassez de água doce, a dessalinização apresenta-se como uma alternativa para fornecimento de água.

Palavras-chave: Dessalinização. Salinidade. Estiagem. Ceará. Parâmetros. Qualidade.

ABSTRACT

The lack of water is the main problem in many deserted areas in the world, which one of these is the Brazilian semiarid region. The situation in this region can further aggravate, since the underground water has high levels of salinity making its consumption unfeasible. Considering that, the treatment of water using desalination techniques appear as a great alternative for removal of the most dissolved ions and the brackish/saline characteristics from the water. Thus, in order to evaluate the salinity within the quality control parameters, water was collected from desalination plants in the state and analyzed according to the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. One can thus, noticed that before the treatment the water samples presented parameters disagree with Brazilian legislation, however, this parameter was corrected after treatment. The results provide that a water with brackish/saline characteristics and undrinkable, after desalination process began to present sweet and drinkable characteristics, considering the parameters analyzed. Therefore, in a freshwater shortage situation, desalination emerges as an alternative to water supply.

Keywords: Desalination. Salinity. Drought. Ceará. Parameters. Quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1 Crise hídrica atual	10
3.2 Aspectos geográficos do Ceará	12
3.2.1 <i>Litologia</i>	12
3.2.2 <i>Qualidade das águas subterrâneas</i>	12
3.3 Dessalinização	13
3.3.1. Processos de dessalinização	13
3.3.2 <i>Pré e Pós-tratamento</i>	14
3.3.3 <i>Gerenciamento de resíduos</i>	15
3.4 Parâmetros de controle de qualidade	15
3.4.1 <i>Cloreto</i>	15
3.4.2 <i>Condutividade Elétrica</i>	16
3.4.3 <i>Dureza Total</i>	16
3.4.4 <i>Sódio</i>	16
3.4.5 <i>Sólidos Totais Dissolvidos</i>	16
3.5 Legislação brasileira	17
3.5.1 <i>Resolução CONAMA 396 de 2008</i>	17
3.5.2 <i>Portaria de Consolidação n° 5 de 2017 do Ministério da Saúde</i>	18
4 METODOLOGIA	18
4.1 Coleta das amostras de água	18
4.1.1 <i>Higienização dos pontos de coleta</i>	18
4.1.2 <i>Coleta das amostras</i>	19
4.1.3 <i>Preservação e transporte das amostras</i>	19
4.2 Determinação dos parâmetros de controle de qualidade	19
4.2.1 <i>Determinação de Cloreto</i>	19
4.2.1.1 <i>Padronização da solução de AgNO₃ 0,0141N</i>	19
4.2.1.2 <i>Determinação de Cloreto na amostra</i>	20
4.2.2 <i>Determinação da Condutividade</i>	20
4.2.3 <i>Determinação da Dureza Total</i>	21
4.2.3.1 <i>Padronização da solução de EDTA 0,01 mol L⁻¹</i>	21

4.2.3.2 Determinação da Dureza Total na amostra	22
4.2.4 Determinação de Sódio	22
4.2.5 Determinação dos Sólidos Totais Dissolvidos	23
5 Resultados e discussão.....	23
5.1 Locais de coleta	24
5.2 Análise de Cloreto.....	24
5.2.1 Padronização da solução de AgNO_3 0,0141N.	25
5.2.2 Análise de Cloreto nas amostras	25
5.2 Análise de Condutividade	27
5.3 Análise de Dureza Total.....	27
5.3.1 Padronização da solução de EDTA	28
5.3.2 Análise da Dureza Total nas amostras	28
5.4 Análise de Sódio	30
5.5 Análise de Sólidos Totais Dissolvidos.....	31
6 CONCLUSÃO.....	34
7. REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Em diversas partes do mundo, existem regiões desérticas ou em processo de desertificação, cujo principal problema existente é a falta de água doce. Nesses locais, as principais fontes de água são o mar ou água subterrâneas, que em geral, são salinas/salobras e de má qualidade. As regiões do mundo com maiores áreas desérticas ou em desertificação são na Austrália, no Norte da África e no Oriente Médio. No Brasil, o principal exemplo é o semiárido, que abrange principalmente a região Nordeste.

Uma das alternativas para contornar esse problema é o investimento na tecnologia de dessalinização, uma vez que esse processo consegue utilizar as únicas fontes de água disponíveis nessas regiões e torná-las potável. A dessalinização baseia-se, essencialmente, na separação dos sais dissolvidos da água propriamente dita. Isso pode ocorrer por processos térmicos que envolvem a evaporação da água ou por tecnologia de membranas, onde, de modo simplificado, filtram a água.

Os principais exemplos de dessalinização no mundo encontram-se justamente em algumas das regiões citadas. Na Austrália, de 2001 a 2009, o país passou pela pior seca da sua história e começou os investimentos em dessalinização, construindo usinas nas suas principais cidades. Já no Oriente Médio, encontra-se as maiores usinas de dessalinização do mundo.

No Brasil, os principais exemplos do uso da dessalinização são o arquipélago de Fernando de Noronha, onde boa parte da água consumida é dessalinizada e o processo é utilizado há mais de uma década. O outro grande exemplo, é o Programa Água Doce (PAD) do Governo Federal, que abrange a região Nordeste e Minas Gerais, e é responsável por implantar dessalinizadores em comunidades com dificuldades no acesso a água potável. O Estado do Ceará é um destaque no país em relação ao uso da dessalinização, possuindo quase metade de todos os dessalinizadores implantados pelo PAD e mais de um terço dos dessalinizadores do país. Além disso, o Governo do Estado pretende construir a primeira usina de dessalinização do Brasil, no litoral da capital cearense.

Diante disso, torna-se importante avaliar alguns parâmetros de controle de qualidade relacionados a salinidade, esperando-se que o tratamento de água pelo processo de dessalinização atenda os limites da legislação brasileira, fornecendo água doce para o combate a estiagem do Estado do Ceará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de dessalinização como alternativa para o problema de estiagem no Estado do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar coletas de água bruta e tratada em unidades de dessalinização;
- Controlar a qualidade do tratamento das águas coletadas;
- Avaliar o processo de dessalinização e tratamento de água através dos resultados dos parâmetros de cloreto, condutividade, dureza total, sódio e sódios totais dissolvidos;
- Analisar as amostras de água subterrânea e água tratada segundo a legislação vigente.

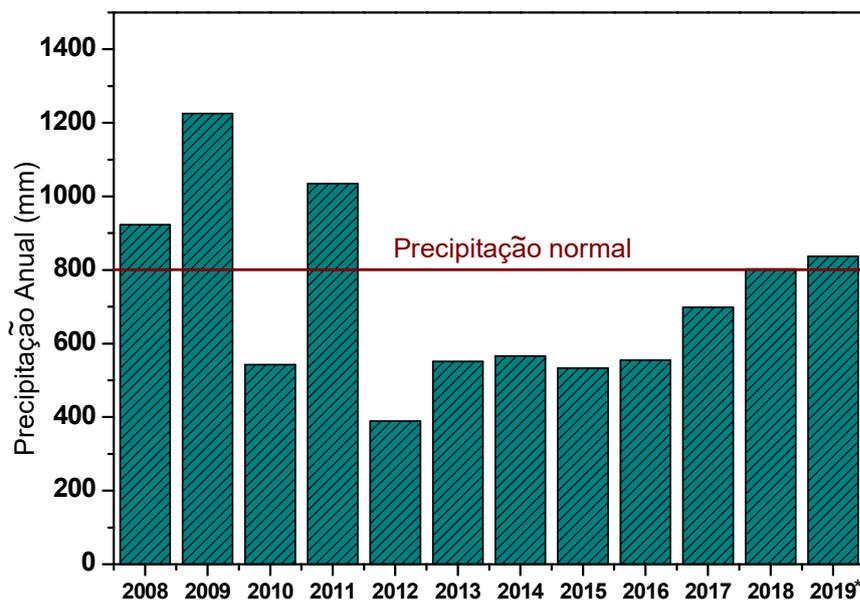
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Crise hídrica atual

O Estado do Ceará passa atualmente por um dos períodos de estiagem mais longos já registrados. A falta de chuva tem ocasionado uma crise hídrica, com a redução de volume e até seca total de rios e reservatórios. A causa mais provável da falta de chuva é o fenômeno do El Niño, que aumenta as chuvas no sudeste do Brasil e a falta dela no Nordeste. Essa relação já é estudada desde o século passado. Por exemplo, Caviedes (1973) mostrou que havia uma alguma semelhança entre o El Niño no Peru e a falta de chuva no Nordeste do Brasil. Hoje, sabe-se que o El Niño aumenta a pressão atmosférica na região, impedindo a formação de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de precipitações. (PERGORIM, 2015)

No Estado do Ceará, de acordo com dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), a precipitação normal do estado é de 800,6 mm, considerando período de 1981 a 2010. O valor de precipitação anual da estiagem atual é de 388,8 mm em 2012; 551,2 mm em 2013; 565,5 mm em 2014; 532,7 mm em 2015; 554,6 mm em 2016; 698,2 mm em 2017; 802,2 mm em 2018; 836,8 mm preliminares em 2019 (outubro), conforme apresentado na Figura 1. (FUNCEME, c2014)

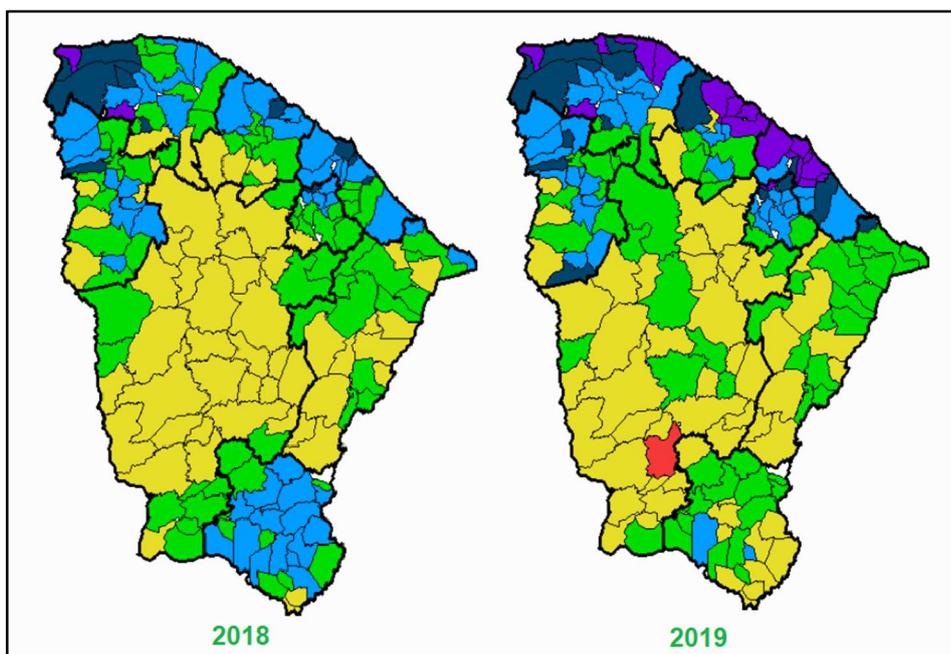
Figura 1 — Precipitação anual de 2008 a 2019 no Estado do Ceará (2019, valor preliminar até o mês de outubro)



Fonte: Adaptado de FUNCEME (c2014)

Embora em 2018 e 2019 os valores de precipitação tenham sido considerados regulares, ao analisar o mapa o Ceará detalhado, fornecido pela Funceme, observa-se que há uma desigualdade de precipitação, com maiores chuvas no litoral do que no interior. Além disso, observa-se que muitos deles ainda apresentam precipitações abaixo da média, representado nas cores amarela e vermelha. (Figura 2)

Figura 2 — Mapa do Ceará colorido de acordo com a precipitação anual em cada município



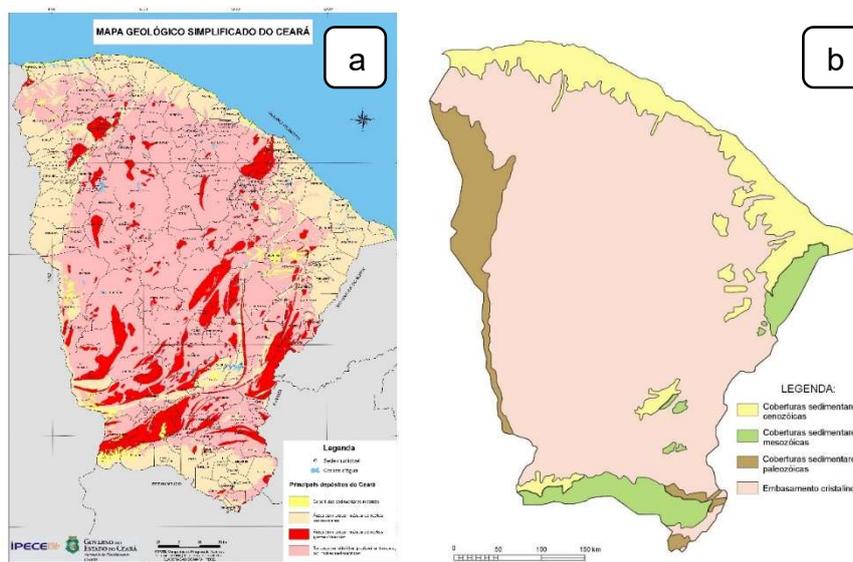
Fonte: Adaptado de Calendário de Chuvas no Estado do Ceará (FUNCEME, c2014)

3.2 Aspectos geográficos do Ceará

3.2.1 Litologia

A litologia do Ceará, ou seja, a descrição das rochas, mostra que a maior parte do território cearense é composto por rochas cristalinas, termo geral para rochas metamórficas ou ígneas. (FEITOSA e DINIZ, 2011) A Figura 3 mostra o mapa do estado dividido de acordo com a tipo de rocha, por dois órgãos de pesquisa. Na Figura 3a, as regiões vermelhas e rosas são rochas ígneas e metamórficas, respectivamente, e as zonas amarelas e bege são rochas sedimentares (IPECE, c2007). Já na Figura 3b, mais simplificada, toda a região em rosa refere-se ao embasamento cristalino. (CPRM, c2019)

Figura 3 – Mapa do Ceará classificado de acordo com a litologia



Fonte: a) IPECE e b) CPRM

3.2.2 Qualidade das águas subterrâneas

As rochas cristalinas são rochas impermeáveis, ou seja, há pouca infiltração da água da chuva. Todavia, quando eventualmente ocorre, ela se dá por sistemas de fendas interconectadas, fraturas e discontinuidades na rocha, formando assim, reservatórios descontínuos e limitados, armazenando pouca quantidade de água. Porém, o maior problema é a qualidade da água subterrânea. Em geral, são água cloretadas sódicas, e que possuem alta concentração de sólidos totais dissolvidos. (FEITOSA e DINIZ, 2011)

Dessa forma, o problema hídrico e a seca se agravam no interior do estado. Pois, além da precipitação ser abaixo da média, a pouca quantidade de água tem

dificuldade de se infiltrar e, quando consegue, acaba adquirindo característica das rochas, inviabilizando o consumo.

3.3 Dessalinização

A dessalinização consiste em remover ou reduzir as concentrações de íons e sólidos dissolvidos nas águas salinas ou salobras, obtendo-se assim, uma água doce. (ARAÚJO, 2013) Dessa forma, diante da qualidade das águas subterrâneas no Ceará, a dessalinização se sobressai como uma alternativa viável para o tratamento da água, que antes não seriam próprias para consumo, tornando-se uma alternativa para o problema da escassez de água no Estado do Ceará.

3.3.1. Processos de dessalinização

Os principais processos de dessalinização podem ser classificados em duas classes: Processos térmicos e de tecnologia de membranas.

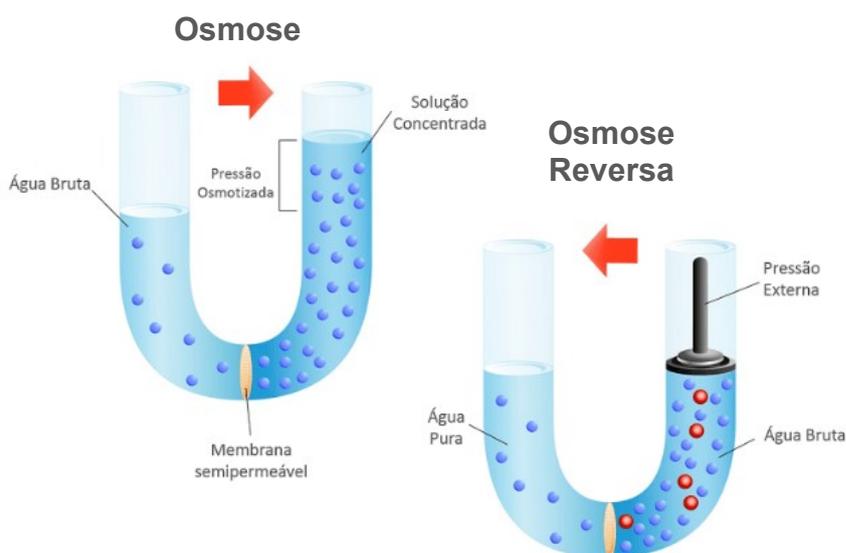
Os processos térmicos, em geral, são baseados no ciclo natural da água, no que diz respeito a evaporação, condensação e precipitação. Ou seja, são processos em que a água salina/salobra entra em ebulição e a água condensada é pura e doce, já que os sais dissolvidos permanecem na solução concentrada. (ARAÚJO, 2013). Em geral, a principal desvantagem desses processos é o alto consumo de energia. Por isso, unidades de dessalinização desse tipo estão sempre vizinhas a usinas de energia. Os principais exemplos de processos térmicos são a destilação solar, evaporação Multi-flash, destilação de múltiplo efeito e compressão de vapor. (LEVY, 2008)

Os processos de tecnologia de membranas consistem na separação dos sais presentes na água utilizando membranas semipermeáveis. Esses processos produzem duas soluções, uma com baixa concentração de sais e um concentrado muito salino. Isso ocorre, pois, as moléculas de água se difundem mais rapidamente pela membrana do que os sais. (ARAÚJO, 2013) Os principais exemplos de utilização de membranas são a eletrodialise e osmose reversa.

O processo de osmose reversa é dos mais utilizados no mundo para a dessalinização da água. Nele, é gasto energia para inverter o processo natural de osmose, fazendo com que a água atravesse uma membrana semipermeável para uma região de menor concentração de íons. (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007) Quanto menor o tamanho dos poros da membrana, maior será retenção de íons ou moléculas orgânicas. Para que isso ocorra, é exercido uma pressão sobre o líquido

superior a pressão osmótica. À medida que ocorre o processo, o concentrado fica muito salino, aumentando a pressão osmótica, e, conseqüentemente, a pressão necessária exercida sobre o sistema. Isso ocorre até que o sistema alcança uma pressão máxima, onde pode ocorrer danos nas membranas. (LEVY, 2008) Algumas membranas conseguem reter até 99% dos íons e compostos orgânicos na faixa de peso molecular de 100 a 300 Dalton. (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007)

Figura 4 – Esquema simplificado do processo de osmose reversa.



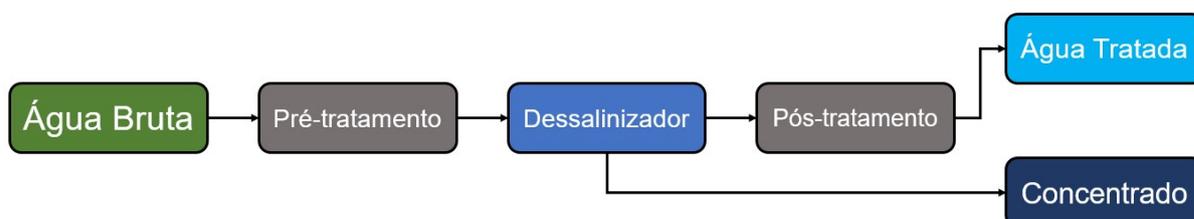
Fonte: Adaptado de PETROCHEM (c2019)

3.3.2 Pré e Pós-tratamento

Além do processo de dessalinização, a água necessita passar por um pré e pós-tratamento. (Figura 5) O pré-tratamento visa corrigir algumas características da água antes de chegar nas membranas, para garantir uma maior durabilidade das mesmas. Para isso, deve ser feitas correções a fim de que, ao chegar nas membranas, a água tenha baixo teor de sólidos suspensos totais, reduzida atividade biológica, baixo teor de metais pesados, etc. Os metais pesados afetam mais os processos térmicos, pois estes podem atacar o equipamento, já os sólidos suspensos totais afetam mais os processos de membrana. (LEVY, 2008) O principal sólido suspenso é a sílica, pois provoca muitas incrustações nas membranas, reduz a vida útil e aumenta os custos com a manutenção do equipamento. Além disso, evitar a proliferação de microrganismos é muito importante pois esses tendem a se depositar, criando um biofilme, diminuindo a permeação da água. Com isso, é necessário o aumento da pressão de operação e, eventualmente, a troca da membrana. (FRANÇA, 2009).

O pós-tratamento visa fazer os últimos ajustes para que a água atinja os padrões de potabilidade e que apresente características de ausência de odor e sabor, não corrosiva e ausente de microrganismos. Isso ocorre com a remoção de gases, ajuste de pH e desinfecção. (LEVY, 2008)

Figura 5 – Esquema simplificado das etapas do processo de dessalinização.



Fonte: Autor

3.3.3 Gerenciamento de resíduos

O principal problema e uma das críticas feitas ao processo de dessalinização é o gerenciamento do resíduo extremamente salino gerado. Em usinas de dessalinização próximo ao mar, o rejeito é lançado nas correntes marítimas sem acarretar problemas ambientais devido ao grande volume de água. (LEVY, 2008) Além disso, o rejeito pode ser usado na irrigação de plantações, a principal delas é a *Atriplex Nummularia*, conhecida como erva-sal. (PORTO et al., 2001) Além disso, o concentrado salino pode ser usado na criação de peixes de água salgada, como a tilápia (AMORIM et al., 2001), e dessedentação de animais.

3.4 Parâmetros de controle de qualidade

3.4.1 Cloreto

O cloreto ou íon cloreto (Cl^-), é um dos principais íons encontrado em água. Esse ânion é o principal responsável pelo sabor salgado da água, porém isso depende da sua concentração e dos outros íons presentes. O sabor salgado é perceptível em concentrações maiores do que 250 mg/L quando o cátion presente é o sódio (Na^+), entretanto, quando os cátions predominantes são cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), o sabor salgado só será detectável ao paladar em concentrações maiores do que 1000 mg/L. (APHA, 2017) Mesmo o cloreto não sendo perceptível em altas concentrações devido o cálcio e magnésio, a legislação brasileira estabelece um limite de 250 mg por litro. (BRASIL, 2008, 2011)

3.4.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) mede a capacidade de um meio aquoso de conduzir corrente elétrica. Em geral, os principais fatores que afetam a corrente elétrica são a presença de íons na solução, suas mobilidades e a temperatura. A presença de compostos iônicos dissolvidos aumentam a condutividade, enquanto compostos orgânicos diminui. (APHA, 2017) Essa análise pode ser considerada um parâmetro inicial e imediato para o controle de qualidade de uma água, já que pode ser feita no momento da coleta, utilizando um condutivímetro portátil. Ou seja, antes da amostra chegar ao laboratório para ser feito outros parâmetros, já é possível ter uma noção da qualidade da água. De forma geral, o elevado valor de CE indica a alta presença de sais dissolvidos ou poluição antrópica. Sendo assim, a condutividade é um parâmetro diretamente relacionada com os sólidos totais dissolvidos e a salinidade de uma amostra de água.

3.4.3 Dureza Total

A dureza da água, originalmente era entendida como a medida da dificuldade da água em dissolver o sabão e, conseqüentemente, fazer espuma. Isso ocorre principalmente pela presença de cátions de cálcio e magnésio, mas outros cátions polivalentes podem agir da mesma forma. A dureza da água pode ser expressa em dureza de cálcio e dureza de magnésio, porém, é mais conveniente determinar a dureza total, que é a soma das concentrações de cálcio e magnésio, expressas em forma de carbonato de cálcio. (APHA, 2017)

3.4.4 Sódio

O sódio é um dos metais mais comuns na natureza, sua abundancia na crosta terrestre é de 2,5% e, em média, sua concentração em águas subterrâneas é de 5 mg L⁻¹. É encontrado basicamente na sua forma iônica, Na⁺, e é altamente solúvel, em torno de 15.000 mg L⁻¹. (APHA, 2017) É um íon essencial para o funcionamento do metabolismo dos seres vivos, porém o consumo excessivo de sódio pode provocar problemas cardiovasculares, como a hipertensão. Como as águas subterrâneas do cristalino são cloretadas sódicas (FEITOSA E DINIZ, 2011), o sódio passa a ser o principal cátion relacionado a salinidade dessas amostras de água.

3.4.5 Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (STD) influenciam diretamente a qualidade da água. Amostras com alto teor de STD apresentam uma palatabilidade baixa, ou seja,

possuem sabor desagradável ao paladar, além ser inadequada para a higiene pessoal e outros fins. Os sólidos totais dissolvidos constituem uma porção de sólidos na água que não são retidos em filtros com 2 micrômetros de diâmetro de poro. (APHA, 2017) Esses sólidos compreendem íons inorgânicos dissolvidos (principalmente cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, cloreto e sulfato). Com isso, pode-se inferir que a concentração de STD é, em geral, a soma de todos os cátions e ânions de amostra, sendo assim, um bom parâmetro para verificar a salinidade de uma amostra. (Water Research Watershed Center, c2014)

3.5 Legislação brasileira

3.5.1 Resolução CONAMA 396 de 2008

No que tange às águas subterrâneas, a Resolução 396 de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle de poluição das águas subterrâneas. Assim, águas subterrâneas são todas as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, sendo os principais usos o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação (BRASIL, 2008).

Essa resolução, no Anexo 1, apresenta uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, assim como os respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP), que é o limite máximo permitido para determinado parâmetro. (BRASIL, 2008) A tabela a seguir mostra as informações dos parâmetros avaliados no respectivo trabalho, de acordo com o CONAMA 396/08

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água para diferentes usos da Resolução CONAMA 396/08

Parâmetros	VMP por usos preponderantes			
	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação
Unidade	mg L ⁻¹			
Cloreto	250	-	100 - 700	400
Condutividade	Não especificado			
Dureza Total	Não especificado			
Sódio	200	-	-	300
STD	1000	-	-	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (2008)

3.5.2 Portaria de Consolidação n° 5 de 2017 do Ministério da Saúde

No Brasil, a Portaria de consolidação n° 5 do Ministério da Saúde é a referência legal relacionada a qualidade de água destinada ao consumo humano. Segundo ela, no Anexo XX, “Ficam definidos os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.” (BRASIL, 2011, p. 432).

De acordo com a legislação, a água para consumo humano é toda água destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal. Para isso, a água deve ser considerada potável, ou seja, deve atingir todos os padrões de potabilidade, que são os valores máximos permitidos para os parâmetros de qualidade de água (BRASIL, 2017). As informações dos parâmetros analisados no respectivo trabalho de acordo com a Portaria n° 5/17 encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água para consumo humano da Portaria de Consolidação n° 5 de 2017 do Ministério da Saúde.

Parâmetros	Valor Máximo Permitido – VMP
Unidade	mg L ⁻¹
Cloreto	250
Condutividade	Não especificado
Dureza Total	500
Sódio	200
Sólidos Totais Dissolvidos	1000

Fonte: Adaptado de BRASIL (2017)

A Portaria n°5/17 quando se trata do consumo humano, apresenta valores máximos permitidos iguais ao da Resolução CONAMA 396/08 para a maioria dos parâmetros, diferenciando apenas pois especifica um VMP para Dureza Total.

4 METODOLOGIA

4.1 Coleta das amostras de água

4.1.1 Higienização dos pontos de coleta

Antes de realizar as coletas, os pontos de coleta foram higienizados da seguinte forma. Inicialmente, a torneira foi desinfetada internamente e depois externamente, borrifando hipoclorito de cálcio 150 ppm, com o auxílio de algodão para o arraste das impurezas. Após isso, a torneira foi aberta a um fluxo constante por 2 a 3 minutos a fim de que não seja coletada água armazenada nas tubulações da torneira. Após isso, a higienização está completa e a coleta da amostra de água pôde ser realizada. Tais procedimentos são baseados na seção 9060 *SAMPLES* do *Standard Methods For the*

Examination of Water and Wastewater (SMWW) da American Public Health Association (APHA) (2017). (Figura 6a)

Figura 6 – Registros da higienização do local (a) e momento da coleta (b).



Fonte: Autor

4.1.2 Coleta das amostras

As coletas das amostras de água foram feitas utilizando um frasco de plástico de 1 litro, material recomendado pelo SMWW. As amostras foram coletadas e identificadas de acordo com o tipo, local e hora de coleta. (Figura 6b)

4.1.3 Preservação e transporte das amostras

Para garantir a preservação da amostra e validade dos resultados, as amostras foram preservadas seguindo as recomendações do 9060 *SAMPLES* (APHA, 2017) sendo armazenadas em bolsas térmicas e refrigeradas com gelo até a chegada ao laboratório, sendo feita as análises no mesmo dia, ou, armazenadas até o prazo máximo de análise.

4.2 Determinação dos parâmetros de controle de qualidade

4.2.1 Determinação de Cloreto

A determinação de cloreto, descrita a seguir, foi feita utilizando o método argentométrico 4500 Cl^- B, do SMWW, também conhecido como Método de Mohr. (APHA, 2017)

4.2.1.1 Padronização da solução de AgNO_3 0,0141N

Antes da determinação na amostra, foi feito a padronização da solução de AgNO_3 , realizando o procedimento a seguir em triplicata. Inicialmente foram medidos 15 mL de uma solução padrão de NaCl 0,0141 N e completado o volume até 50 mL com água deionizada. Em seguida, o volume foi transferido a um erlenmeyer e

adicionado 1 mL da solução de K_2CrO_4 , utilizada como indicador, e foi titulada com solução de $AgNO_3$ até o ponto final, com a mudança de cor da solução de amarela para laranja. Foi feito o mesmo procedimento para o branco, utilizando água deionizada no lugar da solução padrão de $NaCl$, com a finalidade de desconsiderar o volume usado para precipitar o indicador. O cálculo do fator de normalização é feito usando a equação a seguir:

$$f_{AgNO_3} = \frac{V_{NaCl}}{V_m - V_B} \quad (1)$$

Onde, f_{AgNO_3} : fator de normalização; V_{NaCl} : Volume do padrão de $NaCl$ (15 mL); V_m : Volume médio gasto de $AgNO_3$ na triplicata da titulação do $NaCl$; V_B : Volume de $AgNO_3$ gasto na titulação do branco.

Com o fator de normalização calculado, pode-se obter a normalidade (N) ou concentração real de $AgNO_3$, a partir da equação 2.

$$N = f_{AgNO_3} \times C_{AgNO_3} \quad (2)$$

4.2.1.2 Determinação de Cloreto na amostra

Inicialmente, foi medido 15 mL da amostra e completado volume até 50 mL com água deionizada. Após isso, verifica-se o pH e deve-se encontrar na faixa de 7 a 10. Caso contrário, foi ajustado até a faixa com solução de H_2SO_4 ou $NaOH$ e depois a solução foi transferida para um erlenmeyer. No caso das amostras de água bruta, foi adicionado 1 mL de H_2O_2 30%, para eliminar interferentes de sulfato, sulfito e tiosulfato. Em seguida, é adicionado 1 mL de solução de K_2CrO_4 , como indicador, e a solução é titulada com um padrão de $AgNO_3$. O ponto final da titulação é dado com a mudança de coloração de amarelo para laranja. A concentração de íons cloreto é calculada pela equação 3

$$\frac{mg}{L} Cl^- = \frac{(V_A - V_B) \times N \times 35450}{V \text{ em mL}} \quad (3)$$

Onde, V_A : Volume de $AgNO_3$ gasto para titular a amostra; V_B : Volume de $AgNO_3$ gasto para titular o branco; N: Normalidade do padrão de $AgNO_3$; V: Volume da amostra (15 mL).

4.2.2 Determinação da Condutividade

A determinação de condutividade foi feita utilizando um condutivímetro Digimed DM-32, de acordo com o método 2510 B, do SMWW, e a medida é feita imergindo o eletrodo na solução até estabilização da condutividade, cujo valor é mostrado no visor do equipamento. O equipamento foi calibrado usando uma solução padrão de

referência de KCl 0,0100 mol L⁻¹, que a 25°C possui condutividade igual a 1412 µS/cm (APHA, 2017). Em seguida, foi realizada a leitura das amostras.

Figura 7 – Registro da medição da condutividade utilizando o condutímetro Digimed DM-32



Fonte: Autor

4.2.3 Determinação da Dureza Total

A determinação de Dureza Total, descrita a seguir, foi feita utilizando o método titrimétrico de complexação 2340 C *Hardness*, do SMWW. (APHA, 2017)

4.2.3.1 Padronização da solução de EDTA 0,01 mol L⁻¹

Antes da determinação na amostra, foi feito a padronização da solução de EDTA, realizando o procedimento a seguir em triplicata. Inicialmente foi medido 10 mL de uma solução padrão de CaCO₃ e completado o volume até 50 mL com água deionizada. Em seguida, foi adicionado 1 mL de uma solução tampão pH 10 e 2 gotas do indicador Negro de Eriocromo T. A adição do tampão tampona o analito em um pH apropriado onde a reação dele com o EDTA é completa e onde o indicador livre apresenta cor distinta. (HARRIS, 2011) Após isso, o padrão foi titulado com solução de EDTA até o ponto final, com a mudança de cor da solução de rosa para azul. O cálculo do fator de normalização é efetuado utilizando a equação 4.

$$f_{EDTA} = \frac{V_{CaCO_3}}{V_m} \quad (4)$$

Onde, f_{EDTA} : fator de normalização; V_{CaCO_3} : Volume do padrão de CaCO₃; V_m : Volume médio gasto de EDTA na triplicata da titulação.

Com o fator encontrado, ele foi usado para o cálculo da normalização (N) ou concentração real de EDTA, ao multiplicá-lo pela concentração teórica.

$$N = f_{EDTA} \times C_{EDTA} \quad (5)$$

4.2.3.2 Determinação da Dureza Total na amostra

Para a determinação nas amostras, o procedimento foi bem semelhante ao da padronização. Inicialmente, 50 mL da amostra foi medido e transferido para um erlenmeyer, onde foi adicionado 1 mL do tampão pH 10 e 2 gotas do indicador Negro de Eriocromo T. Após isso, a amostra foi titulada com a solução de EDTA padronizada até o ponto final, indicado pela mudança de cor da solução de rosa para azul. Com isso, o teor de dureza total em mg de CaCO_3 é obtida através da equação a seguir.

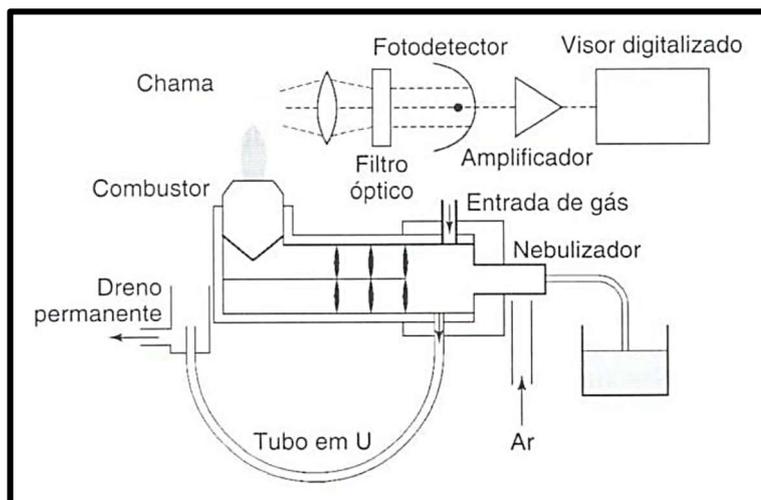
$$\text{Dureza em } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CaCO}_3 = \frac{V_A \times N \times 100000}{V \text{ em mL}} \quad (6)$$

Onde, V_A : Volume de EDTA gasto para titular a amostra; N: Normalidade da solução padrão de EDTA; V: Volume da amostra (50 mL).

4.2.4 Determinação de Sódio

A determinação de sódio foi feita usando um fotômetro de chama, de acordo com o método 3500-Na B, do SMWW. As amostras de água foram inicialmente filtradas a vácuo, a fim de remover qualquer sólido em suspensão que possa prejudicar o equipamento, principalmente entupindo o injetor e queimador. Após isso, a amostra foi injetada no equipamento e foi pulverizada no nebulizador, formando um aerossol com o ar oxidante. Essa mistura, posteriormente é misturada com o gás combustível e é ignizada, entrando em combustão. Na chama formada, os átomos de sódio são atomizados e excitados, e logo em seguida emitem essa energia na forma de luz visível. Essa luz, atravessa filtros ou prismas, onde é separado apenas o feixe com comprimento de onda de 589 nm. O detector é um fototubo, fotomultiplicador ou fotodiodo, onde o feixe é convertido em um sinal elétrico e posteriormente associado a determinada concentração. Isso ocorre, pois em 589 nm, a intensidade da luz é aproximadamente proporcional a concentração de sódio. (APHA, 2017) A Figura 8 apresenta uma representação esquemática dos constituintes de um fotômetro de chama de forma ilustrar o equipamento utilizado nessa análise.

Figura 8 — Esquema simplificado de um fotômetro de chama.



Fonte: MATTOS, 2016.

4.2.5 Determinação dos Sólidos Totais Dissolvidos

A maneira mais precisa e recomendada pela APHA (2017) para se calcular a concentração de sólidos totais dissolvidos é usando técnica de gravimetria. Porém, há uma maneira indireta mais fácil e rápida, através da condutividade elétrica da amostra, que fornece um resultado aproximado, já que abas estão relacionadas com a presença de íons dissolvidos. (WALTON, 1989) Observou-se que os dois parâmetros seguem uma relação linear de acordo com a equação 7.

$$STD = k \times CE \quad (7)$$

Onde, STD: Sólidos totais dissolvidos, em mg L^{-1} ; CE: Condutividade Elétrica, em $\mu\text{S cm}^{-1}$; k: Constante de proporcionalidade, em g cm mS^{-1} .

Porém, o valor de k não é constante, ele aumenta à medida que a condutividade aumenta. Por isso, diversos trabalhos na literatura estudam essa relação e fornecem vários valores para k. Walton (1989), publicou um artigo mostrando a relação desses dois parâmetros na indústria de dessalinização e observou que até $800 \mu\text{S cm}^{-1}$ a constante k é de aproximadamente 0,55 e em águas salobras, com condutividade entre 2.000 e 20.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, a constante k é de aproximadamente 0,62. Esses valores de k serão usados para calcular a concentração de sólidos totais dissolvidos nesse trabalho.

5 Resultados e discussão

Na apresentação dos resultados, a fim de diferenciar as amostras de água bruta e água tratada, será utilizado as legendas AB e AT, respectivamente.

5.1 Locais de coleta

As coletas foram realizadas em 5 dessalinizadores no estado, três deles são dessalinizadores da Superintendência de Obras Hidráulicas (Sohidra) e dois são do Programa Água Doce (PAD). Os dessalinizadores foram renomeados a fim de uma melhor apresentação dos resultados.

Tabela 3 – Identificação dos dessalinizadores.

Localidade	Chorozinho	Chorozinho	Chorozinho	Ocara	Ocara
Dessalinizador	Triângulo I	Triângulo II	Timbaúba	Lagoinha	Che Guevara
Identificação	D1	D2	D3	D4	D5

Fonte: Autor

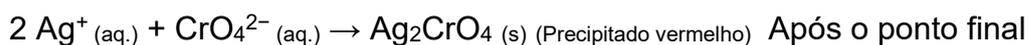
Figura 9 – Unidade de dessalinização no assentamento Che Guevara, em Ocara (a), e equipamento de dessalinização (b)



Fonte: Autor

5.2 Análise de Cloreto

As equações químicas que ocorrem no método utilizado se encontram a seguir.



Inicialmente, os íons de prata adicionados reagem com os íons cloreto da amostra turvando a solução devido a formação do precipitado cloreto de prata, como mostrado na primeira reação. Quando todos os íons cloreto da amostra precipitam, ou seja, quando é adicionado o volume V_a , nas próximas adições de íons de prata, estes reagirão com os íons cromato do indicador, sinalizando o ponto final da reação devido

a formação do precipitado vermelho castanho de cromato de prata, conforme contatado na segunda equação química.

5.2.1 Padronização da solução de AgNO_3 0,0141N.

Os valores gastos na titulação da solução padrão de NaCl foram, respectivamente, 15,49; 15,56; 15,76 mL. Isso fornece um valor médio de 15,60 mL.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = \frac{15,49 + 15,56 + 15,76}{3} = 15,60 \text{ mL}$$

O volume para titulação do branco foi de 0,62 mL e com o valor de V_m , o fator de padronização pôde-se ser calculado, obtendo um valor de 1,001.

$$f_{\text{AgNO}_3} = \frac{V_{\text{NaCl}}}{V_m - V_B} = \frac{15}{15,60 - 0,62} = 1,001$$

E por fim, pôde-se calcular a normalização da concentração de AgNO_3 , obtendo a concentração real de 0,0141 N. A padronização da solução mostra que a concentração teórica é de fato a concentração da solução e que, mesmo com a instabilidade óptica do nitrato de prata, a conservação está sendo efetiva. Esse valor de normalização será usado para o cálculo da concentração de cloreto nas amostras reais.

$$N = f_{\text{AgNO}_3} \times C_{\text{AgNO}_3} = 1,001 \times 0,0141 = 0,0141 \text{ N}$$

5.2.2 Análise de Cloreto nas amostras

As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita e os volumes gastos para titular as amostras (V_a) encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 4 – Volumes gastos de AgNO_3 na titulação das amostras.

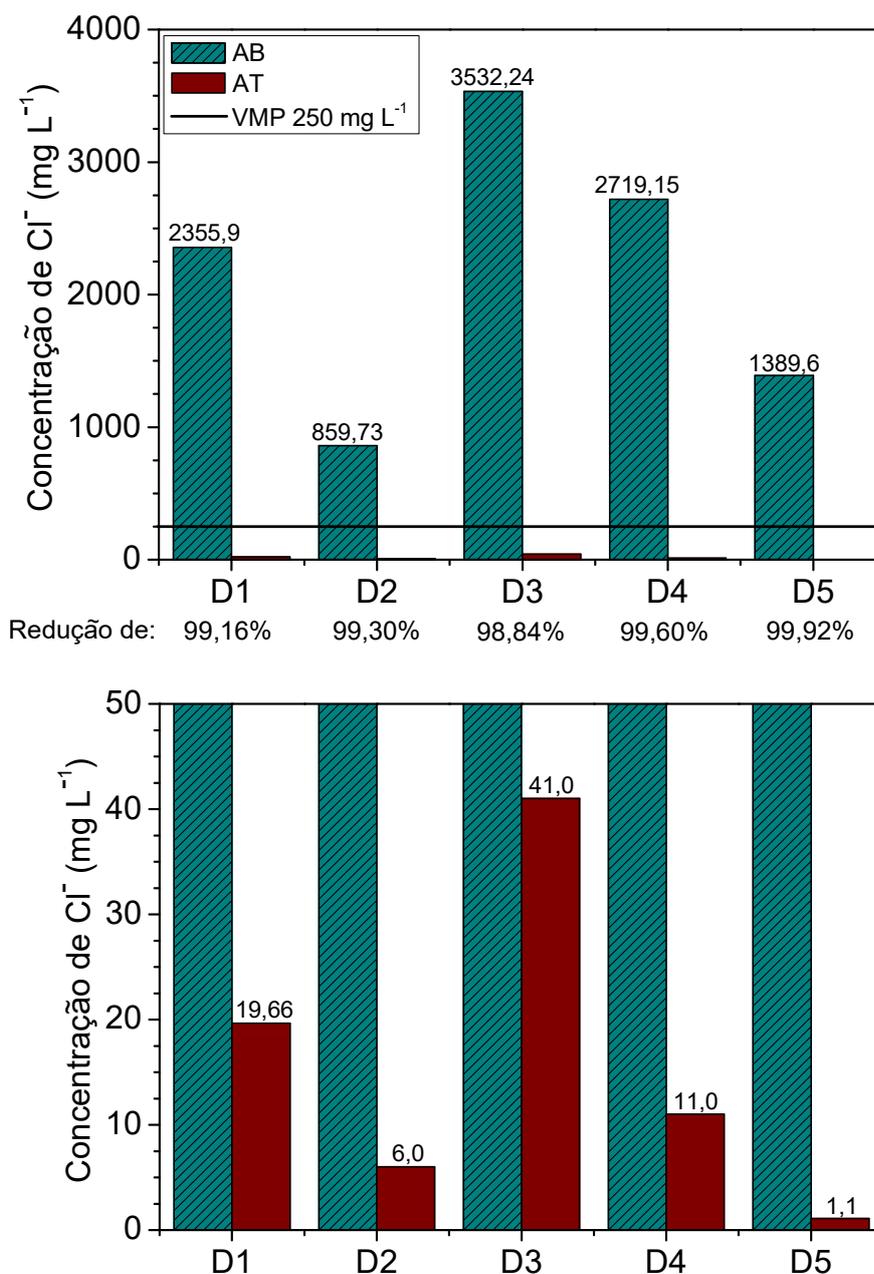
Amostra	D1		D2		D3		D4		D5	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT*
Volume (mL)	7,69	1,21	3,2	0,8	11,22	1,85	8,78	0,95	4,79	0,73
Diluição	10×	---	10×	---	10×	---	10×	---	10×	---

Fonte: Autor

* Uma exceção, não foi possível detectar usando 15mL da amostra, então usou-se 50 mL.

A partir dos volumes obtidos na titulação, as concentrações de íons cloreto foram calculadas e quando necessário, foi feito a correção da diluição. Os valores de concentração de cloreto de cada amostra encontram-se expressos na Figura 10.

Figura 10 – Gráficos dos valores de concentração de cloreto nas amostras.



Fonte: Autor

Pode-se observar que todas as amostras brutas, a concentração excedeu em muito o valor permitido pela Resolução 396 do CONAMA para águas subterrâneas, que é de 250 mg L⁻¹. Dessa forma, nenhuma das águas brutas poderiam ser utilizadas para o consumo humano. Porém, essas mesmas águas, ao passarem pelo processo de dessalinização, tiveram o teor de cloreto reduzido em mais de 98,8%, apresentando valores dentro dos limites permitidos pela Portaria n° 5 do Ministério da Saúde, que também é de 250 mg L⁻¹. Com isso, para o parâmetro do cloreto, as águas tratadas pelo processo de dessalinização atingiram o padrão de potabilidade.

5.2 Análise de Condutividade

Os valores de condutividade das amostras encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de condutividade das amostras.

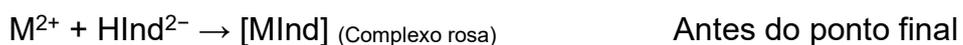
Amostra	D1		D2		D3	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	7827	98,15	3174	74,01	11226	210,6
Amostra	D4		D5			
	AB	AT	AB	AT		
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	8256	108,72	4801	32,56		

Fonte: Autor

Observa-se que as amostras de água bruta apresentaram valores de condutividade muito elevadas quando comparado com a água tratada. Como o local de captação da água bruta diminui a possibilidade de uma interferência antrópica, já que se trata de um poço profundo, pode-se inferir que o alto valor de condutividade das águas brutas está relacionado com a alta salinidade das mesmas. Por outro lado, os valores de CE das amostras de água tratada, mostra que o processo de dessalinização conseguiu diminuir muito a salinidade, já que os valores reduziram em mais de 97,5%.

5.3 Análise de Dureza Total

As reações que estão envolvidas no método utilizado são mostradas nas equações químicas a seguir.



Quando o indicador (Ind) é adicionado na solução, ele forma um complexo de coloração rosa ([MInd]) com os íons de cálcio e magnésio, representados como M^{2+} , de acordo com a primeira equação. À medida que o EDTA vai sendo adicionado, os íons metálicos se separam do indicador e passam a complexar com o EDTA, já que os complexos formados são mais estáveis do que o anterior, e liberam o indicador livre na forma iônica, como mostrado na segunda equação. Quando é adicionado um volume de EDTA (V_A) suficiente para complexar todos os íons metálicos, o negro de eriocromo livre muda a coloração da solução para azul, indicando o ponto final. (HARRIS, 2011)

5.3.1 Padronização da solução de EDTA

Os volumes gastos na titulação da solução padrão de CaCO_3 foram, respectivamente, 9,9; 10,2; 10,2 mL. Isso fornece um valor médio de 10,1 mL.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = \frac{9,9 + 10,2 + 10,2}{3} = 10,1 \text{ mL}$$

Com o valor de V_m , o fator de padronização pôde-se ser calculado.

$$f_{\text{EDTA}} = \frac{V_{\text{CaCO}_3}}{V_m} = \frac{10}{10,1} = 0,9901$$

E por fim, pôde-se calcular a normalização da concentração de EDTA, obtendo a concentração real de $9,901 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. A padronização da solução mostra que a concentração real da solução EDTA é aproximada do valor teórico de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Essa será usado para o cálculo da concentração de dureza nas amostras.

$$N = f_{\text{EDTA}} \times C_{\text{EDTA}} = 0,9901 \times 0,01 = 9,901 \times 10^{-3} \text{ M}$$

5.3.2 Análise da Dureza Total nas amostras

As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita anteriormente e os volumes gastos na titulação encontram-se na tabela a seguir.

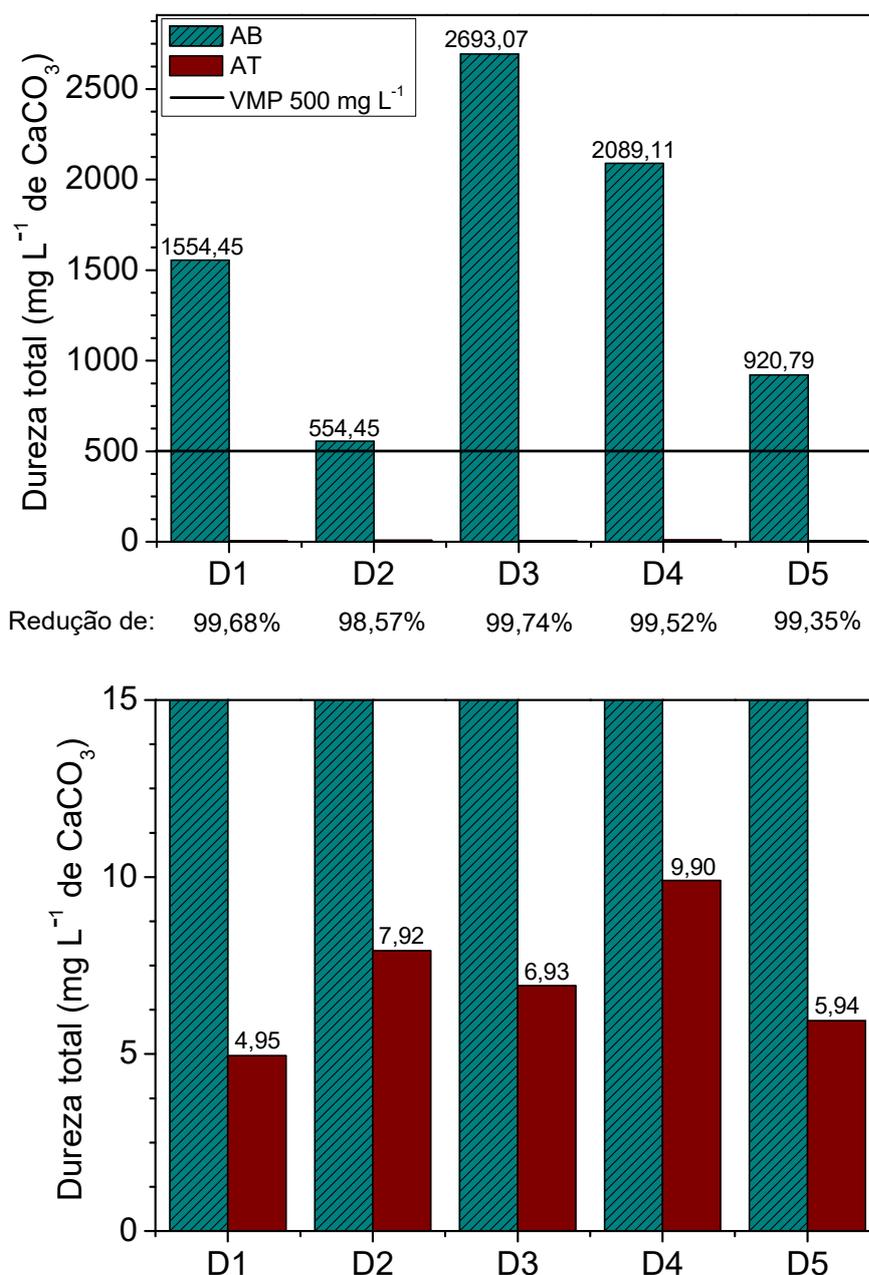
Tabela 6 – Volumes gastos de EDTA na titulação das amostras.

Amostra	D1		D2		D3		D4		D5	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT
Volume (mL)	7,85	0,25	2,8	0,4	13,6	0,35	10,55	0,5	4,65	0,3
Diluição	10×	---	10×	---	10×	---	10×	---	10×	---

Fonte: Autor

Com os volumes, o teor de dureza total foi calculado e expresso na Figura 11

Figura 11 — Gráficos com valores de dureza total das amostras.



Fonte: Autor

Observa-se que as amostras de água bruta apresentaram altas concentrações para dureza total. Embora a legislação que rege a qualidade das águas subterrâneas, CONAMA 396, não apresente um valor máximo permitido, sabe-se que elevadas concentrações, pode ocasionar um sabor desagradável e efeitos laxativos. (VON SPERLING, 1996) Em contrapartida, ao analisar as amostras de água tratada, pode-se observar que em todas as amostras estão de acordo com o padrão de potabilidade para a dureza total, de acordo com a Portaria n° 5 do Ministério da Saúde, que tem

VMP de 500 mg L⁻¹. A redução dos valores de dureza total após o processo de dessalinização foi mais de 98,5%.

Além disso, existem diversas escalas em que as águas podem ser classificadas quanto a dureza. De acordo com o Ministério da Saúde, a classificação da água de acordo com a dureza é apresentada na Tabela 6. (BRASIL, 2006)

Tabela 7 – Classificação da água quanto a dureza total.

Classificação	mg L ⁻¹ de CaCO ₃
Mole ou branda	< 50
Moderadamente dura	50 – 150
Dura	150 – 300
Muito dura	> 300

Fonte: Adaptado de Brasil (2006)

Sendo assim, todas as águas antes de passar pelo tratamento eram consideradas muito duras e após o tratamento, passaram a ser classificadas como mole ou brandas.

5.4 Análise de Sódio

As amostras foram filtradas e injetadas no equipamento de acordo com a metodologia descrita. Em seguida, o visor do equipamento forneceu a concentração de sódio em mg L⁻¹, mostradas no gráfico a seguir.

Figura 12 – Gráficos dos valores de concentração de sódio nas amostras.

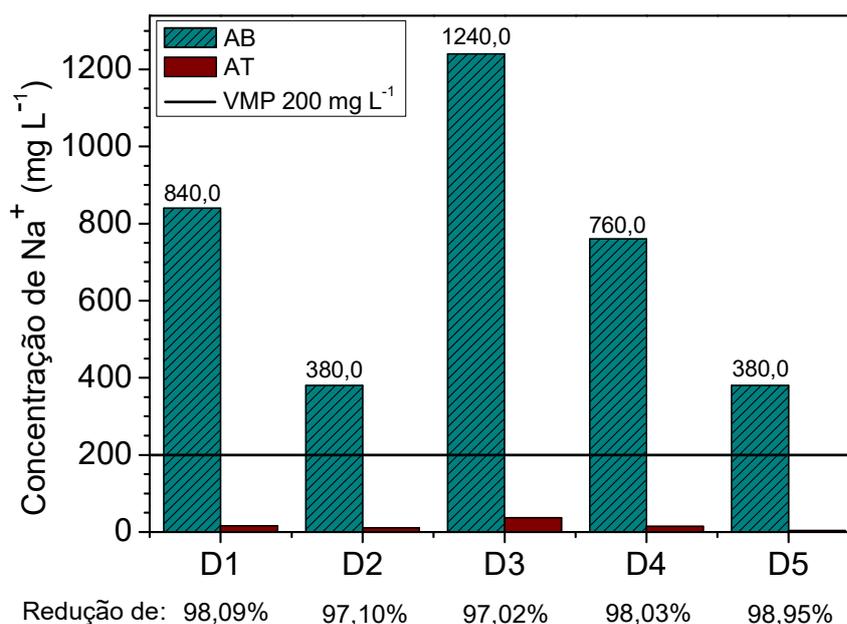
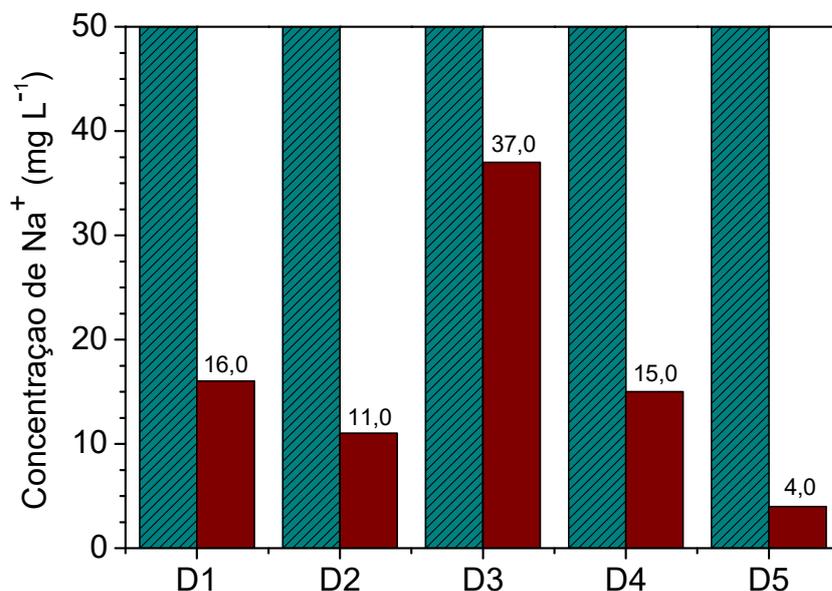


Figura 12 – Continuação



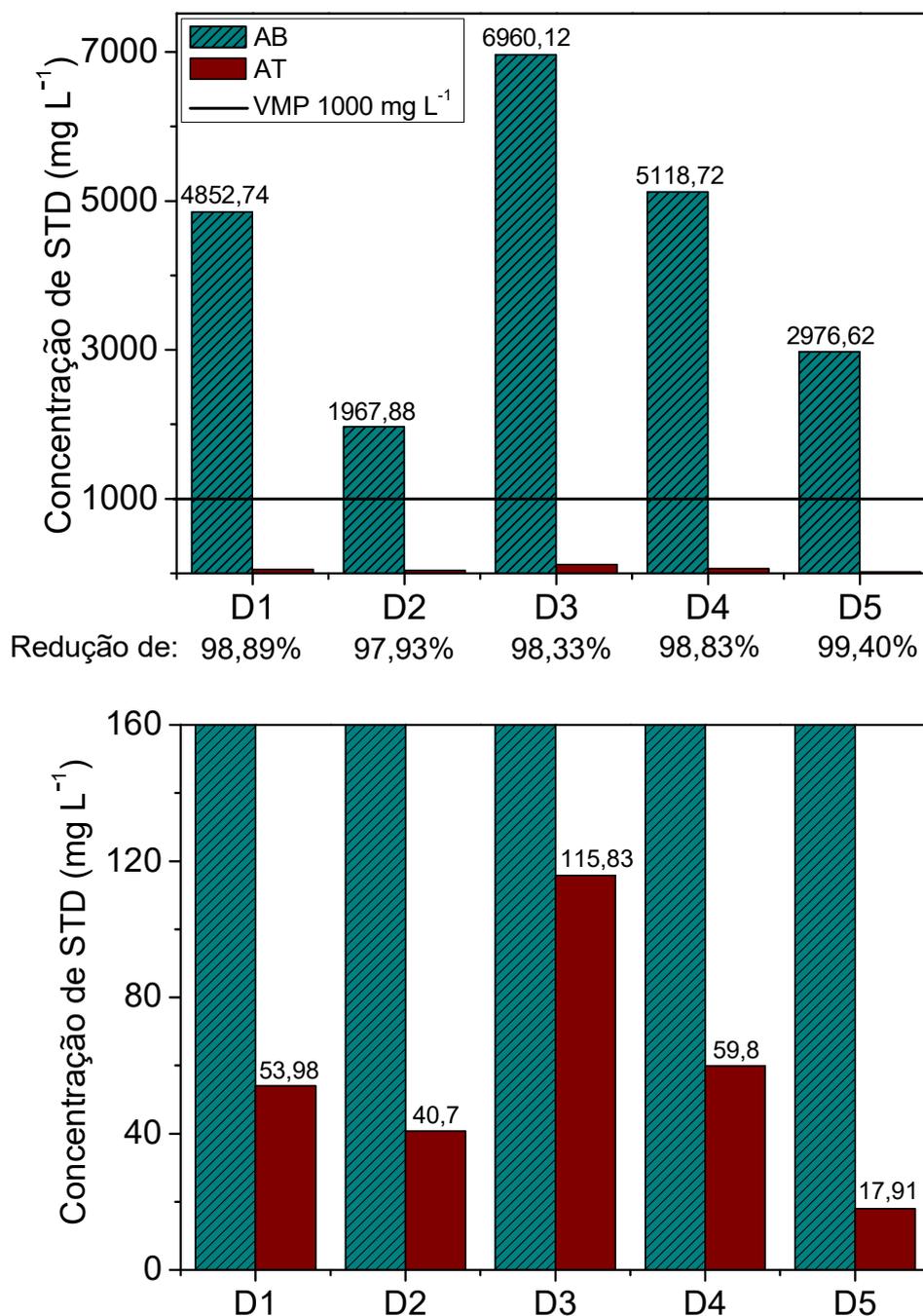
Fonte: Autor

Pode-se observar que todas as amostras de água bruta estão impróprias para o consumo, já que a concentração de sódio excedeu o valor máximo permitido de 200 mg L⁻¹, de acordo com a Resolução do CONAMA 396. Já para as amostras de água tratada, a concentração de sódio foi inferior ao VMP estabelecido pela Portaria n° 5 do Ministério da Saúde, que também é de 200 mg L⁻¹, ou seja, para o parâmetro do sódio, as amostras após o processo de dessalinização tornaram-se potáveis. Além disso, todos os dessalinizadores conseguiram reduzir bastante a concentração, em mais de 97%.

5.5 Análise de Sólidos Totais Dissolvidos

A partir dos valores de condutividade obtidos das amostras, foi calculado uma aproximação da concentração de sólidos totais dissolvidos, utilizando as constantes descritas no tópico 4.2.4. O resultado para a concentração de STD das amostras constam na Figura 13.

Figura 13 — Gráficos dos valores de concentração de sólidos totais dissolvidos.



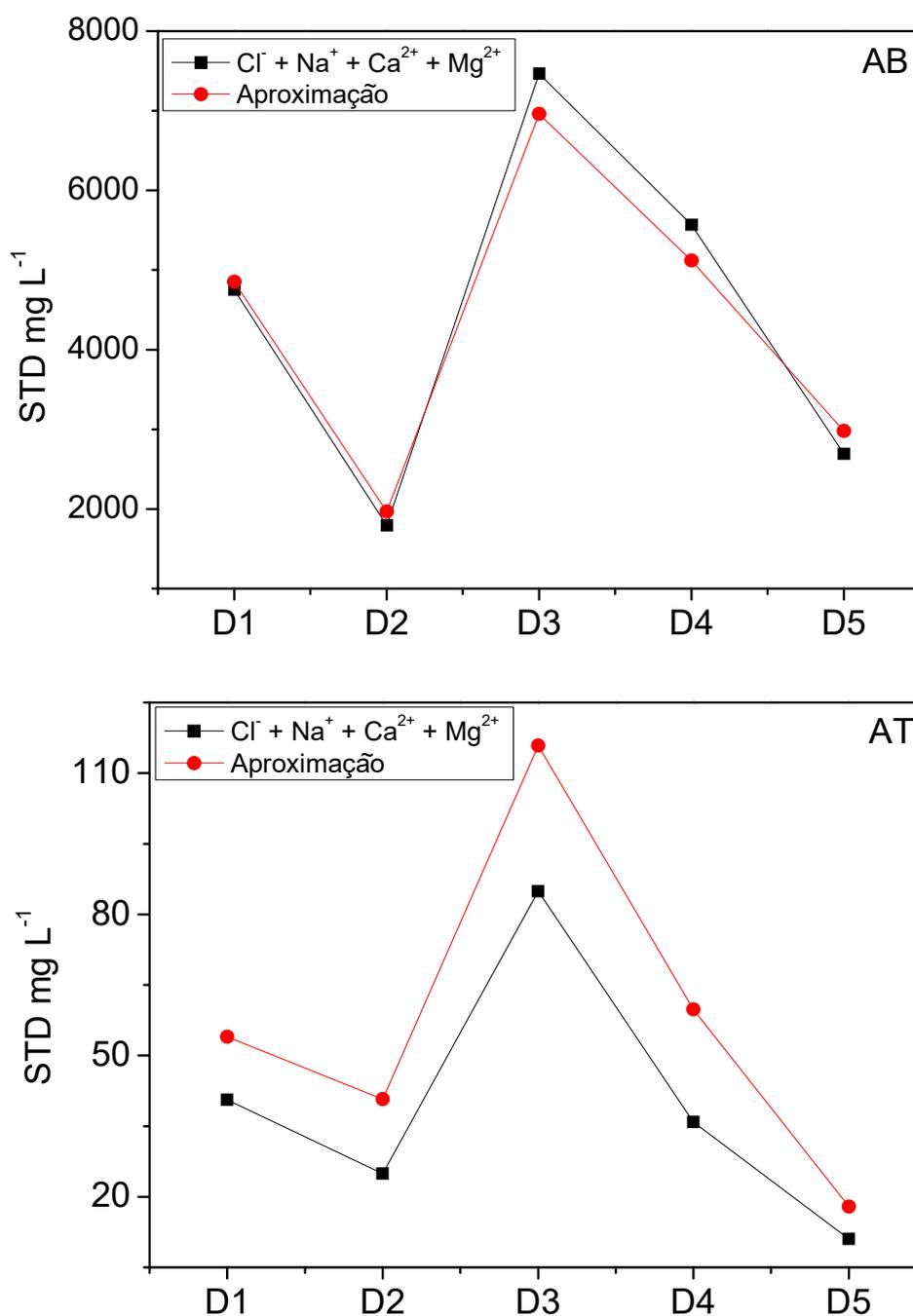
Fonte: Autor

Observa-se que nas amostras de água bruta, para todos os dessalinizadores, a concentração de sólidos totais dissolvidos encontra-se acima do VMP, que é de 1000 mg L⁻¹, de acordo com a Resolução CONAMA 396. Sendo assim, tais águas são consideradas impróprias, além de, pelo alto valor de concentração, indicar um elevado nível de salinidade. Porém, o tratamento de água através do processo de dessalinização conseguiu reduzir a concentração de STD em mais de 97,9%, fazendo

com que a água tratada, em todos os dessalinizadores, atingisse o padrão de potabilidade para os sólidos totais dissolvidos, que é de 1000 mg L^{-1} , de acordo com a Portaria n° 5 do Ministério da Saúde.

Sabe-se que, os sólidos totais dissolvidos é, em geral, a soma de todos os íons da amostra. Então, com o objetivo de verificar a validade da aproximação do cálculo de STD, relacionou-se os valores obtidos a partir da condutividade com a soma das concentrações dos outros parâmetros analisados.

Figura 14 – Relação entre a aproximação de STD e a soma das concentrações dos íons analisados.



Observa-se que, principalmente para as amostras de água bruta, os valores obtidos a partir da condutividade estão de acordo e bem próximos com o obtido com a soma da concentração dos íons. Mostrando que, a aproximação, além de ser mais prática e rápida, fornece um valor confiável para a concentração de sólidos totais dissolvidos.

6 CONCLUSÃO

Após a coleta de água bruta e tratada nas unidades de dessalinização e tomados todos os cuidados com contaminações externas e preservação das amostras, as mesmas foram levadas ao laboratório a fim de realizar o controle de qualidade. Utilizando metodologias oficiais e/ou conhecidas, o controle de qualidade das amostras foi feito através da análise dos parâmetros de cloreto, condutividade, dureza total, sódio e sólidos totais dissolvidos. Através dos resultados dos parâmetros, pôde-se avaliar o processo de dessalinização quando se trata da diminuição dos valores ou concentrações dos parâmetros, obtendo reduções de mais de 97,0%. Ao avaliar os resultados das amostras em relação a sua respectiva legislação, as amostras de água bruta apresentaram valores acima do permitido, de acordo com a Resolução CONAMA 396 de 2008, sendo consideradas impróprias para os parâmetros analisados. Já as amostras de água tratada pelo processo de dessalinização, apresentaram valores abaixo do permitido, de acordo com a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, sendo assim, consideradas potáveis para os parâmetros analisados.

Dessa forma, conclui-se que, o processo de dessalinização foi satisfatório na redução dos valores ou concentrações dos parâmetros, transformando uma água ora considerada imprópria em água potável, para os parâmetros analisados. Diante desse panorama, que o processo de dessalinização constitui uma alternativa para o tratamento das águas subterrâneas no semiárido, contribuindo assim, com a amenização do problema de estiagem no estado do Ceará.

7. REFERÊNCIAS

AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante de *et al.* Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (*oreochromis sp.*). **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001.

APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2017.

ARAÚJO, Ana Carolina Silvério Pires de Abreu. **Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 abr. 2008, Seção 1, p. 64-68.

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**. Brasília, DF, set. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. 2006.

CAVIEDES, Cesar. SECAS AND EL NIÑO: TWO SIMULTANEOUS CLIMATICAL HAZARDS IN SOUTH AMERICA. **Proceedings of the Association of American Geographers**, Vol. 5, 44-49, 1973.

CPRM. Ceará - Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos. **Serviço Geológico do Brasil - CPRM**, c2019. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Ceara---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-588.html>> Acesso em: 26 out. 2019.

FEITOSA, Fernando; DINIZ, João Alberto Oliveira. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. **Águas Subterrâneas**, 2011.

FRANÇA, Márcia Izabel Cirne. **Avaliação da redução de sílica em pré-tratamento de águas para sistemas de pequeno porte por osmose inversa**. 2009. Tese de doutorado (Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

FUNCEME. Calendários das Chuvas no Estado do Ceará. **Funceme**, c2014. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual>> Acesso em: 26 out. 2019.

HARRIS, Daniel C. **Explorando a Química Analítica**: tradução e revisão técnica Júlio Carlos Afonso. 4. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

IPECE. Caracterização territorial: Mapa geológico simplificado do Ceará. **Ceará em Mapas**, c2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/142x.htm>> Acesso em: 26 out. 2019.

LEVY, João de Quinhones. **Novas Fontes de Abastecimento de Água: Reutilização e Dessalinização**. 2008. 85 p.

MATTOS, Wanessa Melchert. **Fotometria de Chama**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 2016. Gravura.

ORAM, Briam. Water Testing Total Dissolved Solids Drinking Water Quality. **Water Research Center**, c2014. Disponível em: < <https://water-research.net/index.php/water-treatment/tools/total-dissolved-solids> > Acesso em: 26 out. 2019.

PERGORIM, Josélia. Como o El Niño agrava a seca no Nordeste? **Climatempo**, 2015. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/noticia/2015/11/06/como-o-el-nino-agrava-a-seca-no-nordeste--9975>> Acesso em: 26 out. 2019.

PETROCHEM. **O que faz e como funciona uma osmose inversa**. c2019. Disponível em: <https://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/equipamentos/filtracao/o-que-faz-e-como-funciona-uma-osmose-inversa.html>. Acesso em: 24 nov. 2019.

PORTO, Everaldo R. *et al.* Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 111-114, 2001.

WALTON, N.R.G. Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids-What is Their Precise Relationship? **Desalination**, Vol. 72, 275-292, 1989.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. **Public Health and the Environment**, Geneva, 2007.