



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

VIVIANE SOARES VIANA

**CLASSIFICAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE POÇOS COM BASE NA
CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS**

FORTALEZA

2020

VIVIANE SOARES VIANA

**CLASSIFICAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE POÇOS COM BASE NA
CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS**

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Química Bacharelado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Orientador: Profa. Dra. Gisele Simone Lopes.
Coorientador: Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

FORTALEZA

2020

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)

V668c Viana, Viviane Soares.
Classificação da salinidade da água de poços com base na concentração de cloretos / Viviane Soares
Viana. – 2020.
32 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Gisele Simone Lopes.

Coorientação: Profa. Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

1. Águas subterrâneas. 2. Cloretos. 3. Salinidade. I. Título.

CDD 540

VIVIANE SOARES VIANA

**CLASSIFICAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE POÇOS COM BASE NA
CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS**

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Gisele Simone Lopes (Orientadora Pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa (Orientadora Profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Dra. Renata de Oliveira Silva (Examinadora)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

A Deus.

Aos meus pais, Ana Zélia e Vicente

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força e inspiração e por me guiar em minha jornada.

A meus pais Ana Zélia e Vicente de Paulo, pelo apoio contínuo, pela confiança e por me compreenderem quando mais precisei. Por serem meus exemplos de luta e perseverança, por me incentivarem nos dias em que não confiava em mim mesma. E aos meus irmãos pelo auxílio e suporte, mesmo sem pedir, vocês estiveram lá.

Aos meus companheiros de faculdade, que dividiram momentos alegres e tristes e ajudaram a tornar essa jornada ainda mais especial. À Valesca Ingrid, Érika Oliveira, Rebeca Jane e João Felipe por terem me auxiliado quando tive dificuldades e me proporcionarem momentos de absoluta alegria.

À minha orientadora pedagógica Profa. Dra. Gisele Lopes e minha orientadora Dra. Paula Luciana, pela maravilhosa orientação e apoio. Agradeço a todo o auxílio que me proporcionaram.

Ao NUTEC pela incrível oportunidade de estágio e à equipe do Laboratório de Química Ambiental, Dra. Érika Sampaio, Christiane e Eirilândia. Agradeço pela oportunidade de trabalhar com pessoas inspiradoras e que me proporcionaram grande aprendizado. Às minhas colegas de laboratório, Rebeca Felipe e Valesca Ingrid, por tornarem meus dias alegres e serem companheiras tão especiais.

À Universidade Federal do Ceará e seu corpo docente, por todo o conhecimento adquirido e por atuarem no meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, cruzaram seus caminhos com o meu e contribuíram na minha trajetória.

RESUMO

A escassez de recursos hídricos superficiais é um problema recorrente que afeta o semiárido brasileiro. As águas encontradas no subsolo do estado do Ceará são uma alternativa mais viável para o consumo humano. As formações cristalinas que constituem a geologia do estado, no entanto, tendem a produzir águas de elevada salinidade, sendo o íon cloreto um dos principais causadores dessa salinidade. A presença de cloretos em água resulta no sabor salgado desta e a alta salinidade pode ser prejudicial aos cultivos se as águas forem utilizadas para a irrigação. A Resolução N° 396/08 do CONAMA estabelece o valor máximo para o teor de cloretos permitido em águas para o consumo humano e a Resolução N° 357/05, também do CONAMA, classifica os corpos hídricos quanto à sua salinidade. Amostras de 15 poços localizados em diferentes regiões do estado foram analisadas quanto aos parâmetros cloretos e condutividade. A salinidade das amostras foi calculada a partir do teor de cloretos. A maior parte das amostras coletadas de poços na região centro-oeste apresentou teores de cloretos dentro dos limites permitidos pela legislação, sendo classificadas como águas doces. As amostras captadas na região nordeste do estado e a maioria das amostras da região centro-norte apresentaram níveis de cloreto maiores do que o permitido e foram classificadas como águas salobras, não sendo recomendadas para o consumo humano até que sejam submetidas à tratamento adequado.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Cloretos. Salinidade.

ABSTRACT

The scarcity of surface water resources is a recurring problem that affects the Brazilian semi-arid. The waters found underground in the state of Ceará are a more viable alternative for human consumption. The crystalline formations that constitute the state's geology, however, tend to produce high salinity waters, with the chloride ion being one of the main causes of this salinity. The presence of chlorides in water results in its salty taste and the high salinity can be harmful to crops if the waters are used for irrigation. CONAMA's Resolution No. 396/08 establishes the maximum value for the chloride content allowed in water for human consumption and CONAMA's Resolution No. 357/05, classifies water bodies as to their salinity. Samples from 15 wells located in different regions of the state were analyzed at the Laboratório de Química Ambiental in NUTEC, under the parameters of chloride concentration and conductivity. The salinity of the samples was then calculated based on the chloride content. Most of the samples collected from wells in the central-west region showed chloride contents within the limits allowed by the legislation, being classified as fresh water. The samples taken in the northeastern region of the state and most of the samples from the central-north region had chloride levels higher than allowed and were classified as brackish waters, not being recommended for human consumption until they are subjected to adequate treatment.

Keywords: Groundwater. Chloride. Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reservatórios e fluxos da água afetando a água subterrânea	16
Figura 2 – Áreas de estrutura sedimentar e cristalina no Ceará	19
Figura 3 – Localização do município A em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará	20
Figura 4 – Localização do município B em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará	21
Figura 5 – Localização do município C em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará	22
Figura 6 – Condutivímetro Digimed/modelo DM 32	24
Figura 7 – Ponto inicial e final da titulação de amostra de água	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município A	27
Tabela 2 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município B	28
Tabela 3 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município C	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APHA - American Public Health Association

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

MMA – Ministério do Meio Ambiente

LISTA DE SÍMBOLOS

‰ Permilagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Águas Subterrâneas	15
3.2	Águas subterrâneas no ciclo hidrológico	15
3.3	Parâmetros para a qualidade de águas subterrâneas	16
3.3.1	<i>Cloretos</i>	17
3.3.2	<i>Salinidade</i>	17
3.3.3	<i>Condutividade Elétrica</i>	18
3.4	Estrutura geológica do Ceará	18
3.4.1	<i>Hidrogeologia do município A</i>	19
3.4.2	<i>Hidrogeologia do município B</i>	20
3.4.3	<i>Hidrogeologia do município C</i>	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Coleta de amostras	23
4.2	Determinação de condutividade à 25°C	23
4.3	Determinação de cloretos	24
4.3.1	<i>Preparo de solução K_2CrO_4 5%</i>	24
4.3.2	<i>Preparo de solução $NaCl$ 0,0141 N</i>	24
4.3.3	<i>Preparo de solução $AgNO_3$ 0,0141 N</i>	25
4.3.4	<i>Padronização de solução $AgNO_3$ 0,0141 N</i>	25
4.3.5	<i>Determinação de cloretos na amostra</i>	25
4.4	Determinação de salinidade	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Município A	27
5.2	Município B	28
5.3	Município C	28
6	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a sobrevivência dos seres humanos. Esta é necessária tanto para o consumo direto dos organismos, como nas atividades de pecuária, agricultura e na indústria. As fontes de água potável, no entanto, são restritas, apenas 2,5% do volume total de água do planeta é de água doce (MMA, 2007). Junto à quantidade restrita, as ações antrópicas sobre os recursos hídricos vêm tornado mais difícil o acesso da população a este bem imprescindível.

Como forma alternativa de acesso à água, a construção de poços subterrâneos se tornou cada vez mais comum, principalmente nas regiões do nordeste brasileiro, cuja escassez de água é mais evidenciada. As águas subterrâneas, apesar de serem mais protegidas das contaminações humanas, apresentam composição química altamente influenciada pela geologia dos solos onde estão armazenadas. A água pode dissolver minerais do solo ou pode precipitar minerais e adicionar massa a este (FITTS, 2012).

O teor de ânions cloreto é um dos parâmetros utilizados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, sendo estes uma das principais causas do sabor salgado destas que levam à rejeição pela população. Os níveis de cloreto também influenciam na salinidade das águas, a qual possui um padrão de classificação estabelecido pelo CONAMA. A partir dessa classificação, o órgão em questão indica em situações as águas podem ser utilizadas.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o teor de cloretos de amostras oriundas de águas subterrâneas de diferentes regiões do estado do Ceará e a partir destes resultados classificar a salinidade destes poços.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a salinidades de águas de poços de três municípios do estado do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a concentração de cloretos, salinidade e condutividade das amostras.
- Verificar a potabilidade das amostras de água quanto aos parâmetros de cloretos, salinidade e condutividade.
- Classificar as amostras de água quanto à salinidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Águas subterrâneas

O termo água subterrânea é geralmente reservado para a água que ocorre sob o lençol freático em solos e formações geológicas totalmente saturadas (FREEZE, 1979). A água contida nesses espaços provém dos excedentes pluviométricos que atingem o solo e a quantidade a ser absorvida depende da litologia do solo, presença de vegetação no local, relevo do terreno e do volume de chuva. A litologia do solo representa a composição mineral deste e como os grãos que formam os sedimentos estão aglomerados, além do tamanho desses grãos. Solos ou rochas permeáveis favorecem a percolação da água (FITTS, 2012).

No mundo, as águas subterrâneas correspondem a cerca de 30% da fonte de água doce. Sua distribuição não é uniforme, existindo regiões com relativa abundância e outras mais escassas. As águas subterrâneas, na maioria das vezes provenientes de poços, geralmente são menos contaminadas por fatores biológicos e químicos do que os mananciais superficiais, pois não ficam expostas aos diversos agentes poluentes (ECKHARDT *et al.*, 2008). Entretanto, devido ao contato direto com os materiais geológicos do solo, esta apresenta constituintes inorgânicos dissolvidos. A concentração desses constituintes determina se a mesma está própria para o consumo humano.

Os poços para captação de água subterrânea são uma importante alternativa para contornar os períodos de seca enfrentados. Em contrapartida, estes podem ser construídos em áreas onde o domínio hidrogeológico acarretam águas de baixa qualidade. De acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SGB, 2020), existem 28853 poços cadastrados no estado do Ceará.

3.2 Águas subterrâneas no ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água, é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. A água evapora dos oceanos e da superfície por meio da energia solar, formando nuvens na atmosfera, que precipitam na forma de chuva ou neve (MMA, 2007). A água precipitada atinge a superfície terrestre e pode seguir diferentes caminhos, como descrito na Figura 1, a seguir.

Figura 1. Reservatórios e fluxos da água afetando a água subterrânea.



Fonte: Adaptado de FITTS (2012).

De acordo com a Figura 1, a água precipitada pode percolar no solo na forma de infiltração, seguir o relevo da superfície como fluxo terrestre ou evaporar após a chuva. Durante grandes precipitações, a primeira quantidade de água que atinge o solo infiltra facilmente neste, ao longo do período de chuva, os poros dos sedimentos ficam cada vez mais saturados, e mais difíceis de serem penetrados (FITTS, 2012).

Simultaneamente à entrada de água no solo, a água pode estar sendo retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas do dossel. A água pode ainda descer o perfil de solo e chegar ao lençol freático, ou, em algumas situações, pode haver um fluxo ascendente de água no solo. (RENNÓ e SOARES, 2013).

3.3 Parâmetros para a qualidade de águas subterrâneas

Para controlar e assegurar o uso devido das fontes de água e estabelecer a qualidade destas, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) formulou a resolução Nº 396, de 03 de abril de 2008, que dispõem sobre as classificações das águas subterrâneas e os parâmetros de potabilidade destas para o consumo humano. Nesta resolução estão listados diversos parâmetros, mas, para o presente trabalho, daremos enfoque apenas o teor de cloretos.

3.3.1 Cloretos

Os cloretos são ânions inorgânicos presentes nas águas, os quais podem ser encontrados nas formas dos sais de sódio (NaCl), potássio (KCl) e cálcio (CaCl). A concentração de cloreto nas águas subterrâneas é menos elevada do que a de efluentes domésticos. A entrada de cloretos no lençol freático, porém, ocorre facilmente, pois este não é absorvido durante a infiltração da água no solo. A água rica nesse ânion pode chegar ao subsolo através de dejetos industriais, fertilização de lavouras com fertilizantes de cloreto e efluentes de salinas. Ao longo do litoral, o cloreto pode estar presente, em altas concentrações, em tubulações defeituosas de água do abastecimento público, que permitem a penetração de água salgada nas tubulações e a contaminação do lençol freático pela água do mar (POHLING, 2009).

Segundo a resolução CONAMA Nº 396 de 03 de Abril de 2008, o teor máximo permitido para cloretos em água subterrânea para consumo humano é de 250 mg/L. Águas cujo cátion presente é o sódio, apresentam sabor salgado a partir desta concentração, já águas com outros cátions poderão chegar a concentrações de 1000 mg/L antes de apresentarem o sabor característico. O consumo de cloreto em água não provoca danos diretos à saúde, apenas a aversão ao gosto salgado. As altas concentrações de cloreto podem danificar tubulações metálicas e estruturas de concreto (POHLING, 2009).

3.3.2 Salinidade

A salinidade corresponde à concentração de sais dissolvidos na água. Os íons mais comumente encontrados nas águas são Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} . Segundo a resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, define como águas doces, águas com salinidade $\leq 0,5$ ‰, águas salobras, águas com salinidade $> 0,5$ e < 30 ‰ e águas salinas, águas com salinidade ≥ 30 ‰.

Para o setor da agricultura, a salinidade da água é um parâmetro fundamental. O critério de salinidade avalia o risco de que o uso da água ocasione altas concentrações de sais, com o correspondente efeito osmótico e diminuição de rendimento dos cultivos (ALMEIDA, 2010). Os efeitos imediatos da salinidade sobre os vegetais são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico; desbalanceamento nutricional devido à elevada concentração iônica, especialmente o sódio, inibindo a absorção de outros nutrientes; e efeito tóxico de íons, particularmente o cloro e sódio (SILVA *et al.*, 2011).

Considerando os riscos do uso de águas muito salinizadas para a irrigação de lavouras, o Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos desenvolveu um sistema de classificação do risco de salinidade para as águas de irrigação. Estas são divididas em quatro classes (C1, C2, C3, C4) com base na sua condutividade, os pontos para divisão das classes são 250, 750, e 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

3.3.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) representa a capacidade de uma solução de conduzir eletricidade, sendo uma função da concentração iônica da solução com a temperatura. O valor da condutividade elétrica é expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os valores de condutividade medidos em laboratório são utilizados para avaliar o grau de mineralização de amostras de água bruta, efluentes, água destilada ou deionizada; estimar os volumes de amostra a serem utilizados em análises cotidianas, como determinação da concentração de cloretos ou dureza total da água; estimar a quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos (APHA, 2017).

3.4 Estrutura geológica do Ceará

O complexo cristalino é a formação geológica mais vasta presente no estado do Ceará. Sobre este manto, os depósitos geológicos posteriores vieram repousar. Este complexo é composto principalmente de rochas metamórficas, como gneisses, micaxistos e quartzitos; porém também compreende calcários, sacaróides, granatitos (SOBRINHO, 1941).

Com a erosão das estruturas cristalinas, ocorre a formação das bacias sedimentares, que são definidas como uma região caracterizada pela acumulação de uma pilha espessa de sedimentos por um longo período no tempo geológico (MARTINS-NETO, 2006). As regiões de estrutura sedimentar encontradas no Ceará incluem as bacias do Iguatu, do Apodi, do Araripe e da Ibiapaba. Além dos aquíferos existentes nestas conformações, existem áreas de aluviões, e o sedimento costeiro que é formado por sistemas dunas, paleodunas e formação barreiras (SILVA *et al.*, 2007). A Figura 2 apresenta a distribuição das litologias encontradas no estado do Ceará.

Figura 2. Áreas de estrutura sedimentar e cristalina no Ceará.

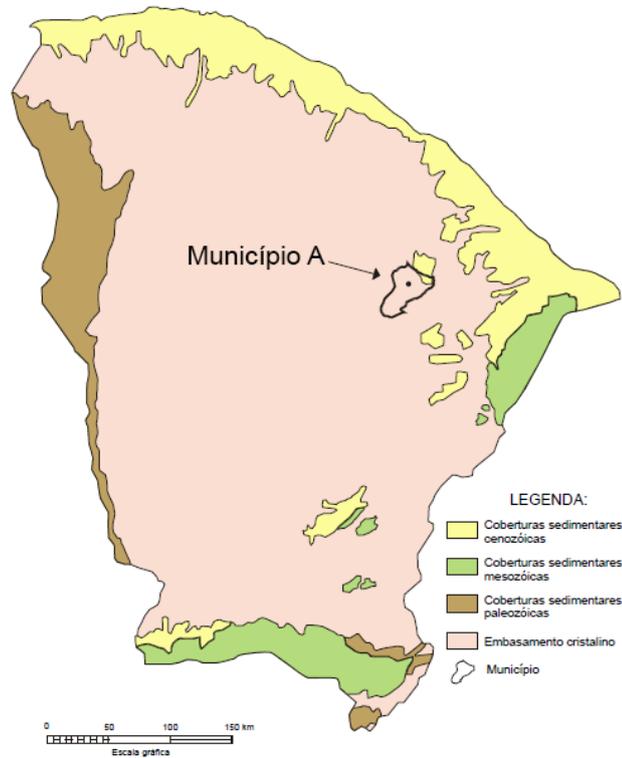


Fonte: IPLANCE (1989).

3.4.1 Hidrogeologia do município A

O município A encontra-se na porção nordeste do estado do Ceará. Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o município apresenta um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município. As rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o que é denominado comumente de "aquífero fissural". Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região.

Figura 3. Localização do município A em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará.



Fonte: Adaptado de CPRM (1998).

3.4.2 Hidrogeologia do município B

O município B situa-se na porção centro-oeste do estado do Ceará. Rochas cristalinas predominam a sua estrutura geológica e, sobre estas, repousam, no extremo oeste do município, a Formação Serra Grande. Também podendo ser encontrados coberturas aluvionares ao longo da região. No município B podem-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas, sedimentos da Formação Serra Grande e depósitos aluvionares (CPRM, 1998). De acordo com Caputo e Lima (1984), o grupo Serra Grande consiste em um conjunto de rochas sedimentares, composto essencialmente por arenitos, portando níveis de conglomerados e calcários.

Figura 4. Localização do município B em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará.

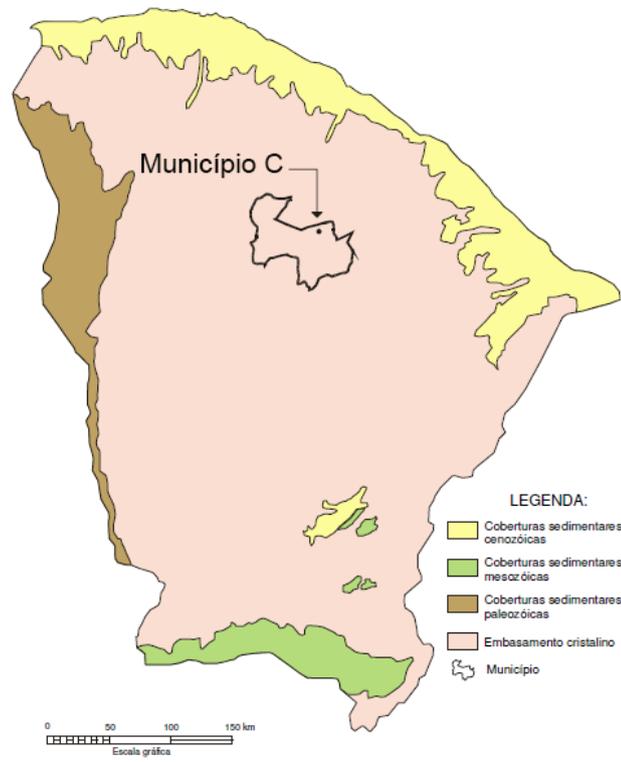


Fonte: Adaptado de CPRM (1998).

3.4.3 Hidrogeologia do município C

O município C localiza-se na porção centro-norte do estado do Ceará. O substrato geológico é constituído predominantemente por rochas antigas, gnaisses e migmatitos. Possui ainda depósitos coluvionares, conglomeráticos e areno-siltosos, e poraluviões ao longo dos principais cursos d'água do município. Nesta região é possível encontrar três domínios distintos: rochas cristalinas, coberturas sedimentares e depósitos aluvionares (CPRM, 1998).

Figura 5. Localização do município C em relação aos domínios geológicos do estado do Ceará.



Fonte: Adaptado de CPRM (1998).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

4.1 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas em três municípios distintos, localizados em diferentes regiões do estado do Ceará. As coletas foram realizadas de acordo com o Guia Nacional de Coletas de Águas e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), durante os meses de março, abril, maio e junho de 2020.

Em cada município, foram coletadas amostras de cinco diferentes poços. Para cada amostra, será adotada uma nomenclatura referente ao município de coleta. Para o município A, amostras A1, A2, A3, A4, A5; Município B, amostras B1, B2, B3, B4, B5; Município C, amostras C1, C2, C3, C4, C5.

Todos os ensaios foram realizados em duplicata, adotando a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (APHA, 2017).

4.2 Determinação de condutividade à 25°C

A condutividade das amostras foi medida através de um condutivímetro (Digimed/modelo DM 32), visualizado na Figura 6, o qual foi previamente calibrado seguindo as instruções do fabricante. Transferiu-se aproximadamente 50 mL da amostra para um béquer de 100 mL. O eletrodo do equipamento foi lavado com água destilada e seco com papel macio. Este foi submerso na amostra e, após estabilização, o valor exibido no visor do equipamento foi anotado.

Figura 6. Condutivímetro Digimed/modelo DM 32.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Determinação de Cloretos

Para a determinação da concentração de cloretos nas amostras, foi utilizado o método argentométrico, com detecção visual do ponto de equivalência, também conhecido como método de Mohr.

4.3.1 Preparo de solução K_2CrO_4 5%

Pesou-se 50 g de cromato de potássio que foi dissolvidos em água destilada. Adicionou-se $AgNO_3$ até a formação de precipitado vermelho. Foi deixado em repouso por 12 h e depois filtrado e diluído para 1000 mL.

4.3.2 Preparo de solução $NaCl$ 0,0141 N

Secou-se 824 mg de $NaCl$ em estufa a $140\text{ }^\circ\text{C}$, dissolveu-se a massa pesada em água destilada e diluiu-se a mesma em 1 L.

4.3.3 Preparo de solução AgNO_3 0,0141 N

Dissolveu-se 2,395 g de AgNO_3 em água destilada. Transferiu-se essa solução para balão volumétrico de 1 L, o qual foi aferido com água destilada. Armazenou-se a solução em frasco âmbar.

4.3.4 Padronização de solução AgNO_3 0,0141 N

Pipetou-se 20 mL de solução de NaCl 0,0141 N com auxílio de pipeta volumétrica para Erlenmeyer, adicionou-se 1 mL de K_2CrO_4 5% na solução e titulou-se com solução de AgNO_3 0,0141 N. A concentração para cloretos deve ser expressa em $\text{mgCl}^- \text{L}^{-1}$ e seu valor, calculado através da Equação 1

$$C = \frac{V \times N \times 35450}{\text{mL de amostra}} \quad (1)$$

Onde:

V: volume de AgNO_3 0,0141 N gasto para a titulação da amostra;

N: normalidade de solução de AgNO_3 .

A massa de Cl^- é, por sua vez, calculada pela Equação 2:

$$\text{mg NaCl/L} = (\text{mg Cl}^- / \text{L}) \times 1,65 \quad (2)$$

4.3.5 Determinação de cloretos na amostra

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, pipetou-se 50 mL de cada amostra para Erlenmeyer. Neste, foi adicionado 1 mL da solução K_2CrO_4 5%, que servirá como indicador da reação.

A amostra foi então titulada com a solução padrão de AgNO_3 , a qual precipitará o cloro presente, expresso pela Reação 1:



Ao primeiro excesso de prata adicionado será formado o cromato de prata (Ag_2CrO_4), precipitado de cor vermelho-tijolo parcialmente solúvel. A Reação 2, observada neste procedimento, é descrita a seguir:



O teor de cloretos na amostra é calculado utilizando-se a Equação 1, novamente.

A Figura 7 exibe a coloração da solução antes e depois da titulação. O Erlenmeyer à

esquerda apresenta a amostra ainda não titulada, e o Erlenmeyer à direita, o ponto final da titulação.

Figura 7. Ponto inicial e final da titulação de amostra de água.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4 Determinação de salinidade

A salinidade das amostras foi determinada através da concentração de cloretos, segundo a Equação 3:

$$S (\text{‰}) = 1,80655x(\text{mg Cl}^-/\text{L})/1000 \quad (3)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Município A

A Tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas captadas de poços em cinco localidades do município A, A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente.

Tabela 1 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município A.

Parâmetros	Localidades					Resolução Conama n° 396/08
	A1	A2	A3	A4	A5	
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	5.077,0 \pm 0,071	5.022,1 \pm 0,106	4.615,4 \pm 0,071	3.538,7 \pm 0,212	1.230,9 \pm 0,141	*
Cloretos (mgCl.L^{-1})	2.523,9 \pm 0,141	1.582,6 \pm 0,283	901,4 \pm 0,000	2.604,0 \pm 0,071	490,9 \pm 0,212	\leq 250,0
Salinidade (‰)	4,56	2,86	1,63	4,70	0,89	*

Fonte: Elaborada pela autora.

Com base nos resultados da Tabela 1, pode-se verificar que em todos os cinco poços, a concentração de cloretos nas amostras de águas foi maior do que o valor máximo estabelecido (\leq 250,0 mgCl.L^{-1}) para o consumo humano pela CONAMA N° 396/08. O maior valor foi de 2.604,0 mgCl.L^{-1} para o poço A4 e o menor para o poço A5, valor de 490,9 mgCl.L^{-1} . Nessa resolução não é estabelecido um valor de referência para o parâmetro condutividade.

No entanto, na Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), define como águas doces, águas com salinidade \leq 0,5 ‰; águas salobras, $>$ 0,5 e $<$ 30,0 ‰ e águas salinas, \geq 30,0 ‰. Segundo os resultados de salinidade (‰) mostrados na Tabela 1, todas as amostras de água podem ser consideradas como águas salobras.

Por essa razão é importante avaliar a qualidade da água que a população utilizará para os diversos usos, principalmente para o consumo humano. Nas localidades do município A, a água não pode ser consumida sem antes passar por um tratamento para redução da salinidade.

Dos poços em uso no município em análise, a grande maioria localiza-se em áreas de domínio hidrogeológicos de rochas cristalinas (CPRM, 1998), que apresentam baixa vazão e águas salinizadas. COSTA *et al.* (2012) também encontrou concentrações maiores do que as permitidas pela legislação ao analisar poços também localizados na região nordeste do estado.

5.2 Município B

A Tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas captadas de poços em cinco localidades do município B (B1, B2, B3, B4 e B5).

Tabela 2 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município B.

Parâmetros	Localidades					Resolução Conama nº 396/08
	B1	B2	B3	B4	B5	
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	813,9 \pm 0,035	1.996,2 \pm 0,0	1.006,7 \pm 0,0	2.941,0 \pm 0,03	1.875,0 \pm 0,05	*
Cloretos ($\text{mgCl}\cdot\text{L}^{-1}$)	65,1 \pm 0,021	195,3 \pm 0,035	190,3 \pm 0,057	831,2 \pm 0,007	530,8 \pm 0,014	\leq 250,0
Salinidade (‰)	0,12	0,35	0,34	1,50	0,96	*

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nos resultados da Tabela 2, observou-se que em dois poços (B4 = 831,2 $\text{mgCl}\cdot\text{L}^{-1}$ e B5 = 530,8 $\text{mgCl}\cdot\text{L}^{-1}$), a concentração de cloretos nas amostras de água foi maior do que o valor máximo estabelecido (\leq 250,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) pela CONAMA N° 396/08, indicando que essas águas não podem ser utilizadas para o consumo humano sem antes passar por um tratamento para reduzir a concentração de cloretos.

Segundo os resultados de salinidade (‰) a partir da concentração de cloretos, as amostras B4 e B5, por apresentarem salinidade de 1,49 e 0,96 ‰, respectivamente, foram definidas como águas salobras, enquanto as demais foram definidas como águas doces, conforme CONAMA N° 357/05.

As estruturas cristalinas são predominantes no município em análise, o que explica a salinização das amostras de água analisadas. A presença de sedimentos da Formação Serra Grande, no entanto, garante uma melhor alternativa de abastecimento para a população, pois essas estruturas geológicas apresentam melhor potencial hidrogeológico e melhor qualidade de água.

5.3 Município C

A Tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos para os parâmetros analisados para as cinco localidades do município C (C1, C2, C3, C4 e C5).

Tabela 3 – Resultados médios de condutividade, concentração de cloretos e salinidade obtidos das localidades do município C.

Parâmetros	Localidades					Resolução Conama nº 396/08
	C1	C2	C3	C4	C5	
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1656,6± 0,02	1535,5 ± 0,02	2261,0 ± 0,02	1121,0 ± 0,02	2720,0 ± 0,02	*
Cloretos ($\text{mgCl}\cdot\text{L}^{-1}$)	285,4±0,02	196,3±0,02	429,6±0,02	146,2± 0,02	595,9± 0,02	≤ 250,0
Salinidade (‰)	0,52	0,35	0,78	0,26	1,08	*

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com os dados supracitados, verificou-se que três localidades do município C (C1 = 285,4 $\text{mgCl}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$, C3 = 429,6 $\text{mgCl}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$ e C5 = 595,9 $\text{mgCl}^{-1}\cdot\text{L}^{-1}$) apresentaram níveis de cloretos superiores ao valor de referência estabelecido pela CONAMA N° 396/08. Estas águas, portanto, não podem ser consumidas pela população sem antes passarem por tratamento.

Segundo os valores de referência da CONAMA N° 357/05 e os dados obtidos para salinidade (‰) através da concentração de cloretos, as amostras C2 e C4 são consideradas como águas doces, enquanto as demais são definidas como águas salobras.

Segundo a CPRM (1998), a grande maioria dos poços instalados na região do município C se encontram em áreas de estruturas cristalinas, que se caracterizam pela baixa vazão de água e a péssima qualidade desta. Os depósitos aluvionares presentes na região representam uma melhor alternativa como manancial, pois apresentam vazões significativas e melhor qualidade de água. Porém, apenas uma pequena quantidade de poços está instalada nas áreas dessas estruturas geológicas.

Valores elevados de salinidade também foram encontrados por COSTA *et al.* (2012) para a análise de amostras de águas subterrâneas de municípios situados na região central do estado do Ceará.

6 CONCLUSÃO

A totalidade de amostras do município A, localizado em região de extensa estrutura cristalina, apresentou elevados teores de cloreto e foi classificada como salobra. Apresenta-se uma forte influência da geologia da região, considerando que as formações cristalinas facilmente salinizam os pequenos volumes de água que armazenam.

Para o município B, duas das cinco amostras coletadas, B4 e B5, possuem teores de cloreto superiores ao máximo permitido pela resolução do CONAMA Nº 396/08 e são classificadas como salobras pela CONAMA Nº 357/05. As demais amostras são classificadas como doces e possuem níveis aceitáveis do ânion em análise. Essa região, apesar de possuir domínios cristalinos, também possui parte da Formação Serra Grande e coberturas aluvionares, que se caracterizam por possuir águas armazenadas de melhor qualidade.

Das amostras do município C, três delas, C1, C3 e C5, apresentaram concentrações elevadas de cloretos e foram classificadas como salobras segundo as resoluções do CONAMA utilizadas como referência. Os domínios hidrológicos dessa região dividem-se entre estruturas cristalinas com águas salobras e depósitos aluvionares, que armazenam águas de melhor qualidade.

Com base nos resultados obtidos a partir das análises realizadas, é possível observar que a grande maioria das amostras de água subterrânea captadas em poços do estado do Ceará possui níveis elevados de cloretos e são classificadas como águas salobras.

As águas subterrâneas analisadas, portanto, devem ser submetidas à tratamentos para a redução da concentração de cloretos, através de troca iônica ou por tecnologias de membranas, como por exemplo por osmose reversa, antes de serem utilizadas pela população.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. Ed. Cruz das Almas; Bahia, 2010.

APHA– American Public Health Association. Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater. American Public Associations. 23th Washington DC. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. - São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

BRASIL. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). **Águas Subterrâneas – O que são?**. Disponível em: <<https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>> Acesso em: 06 de fevereiro de 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 396**, de 03 de abril de 2008. Brasília, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2015. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas** - Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf> Acesso em 15 de julho de 2020.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil (SGB) - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>> Acesso em 21 de setembro de 2020.

CAPUTO, M. V.; LIMA, E. C. **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXXIII, 1984, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: UFRJ, 1984, p. 741.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/aguas-subterraneas-2/>> Acesso em: 31 de julho de 2020.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Revista Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180, jul./dez. 2012.

CPMR – SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL, **Diagnóstico dos municípios do Ceará**. Fortaleza 1998, Mapas e publicações – Ceará. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Ceara---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-588.html>> Acesso em 20 de junho de 2020.

ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L.; FERREIRA, E. R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2008.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1979.

FREITAS, H. B; SILVA, C. T. S; SILVA, F. J. F; SILVA, K. F. N. L; FERREIRA, L. C. C; NOGUEIRA, J. L. S; SANTOS, F. S. S. **Avaliação do Monitoramento das Águas Subterrâneas Usadas para Abastecimento Humano na Comunidade de Morrinhos, Aracati – Ceará**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX, 2013, Rio Grande do Sul. Anais... Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. p. 1-8.

FITTS, C. R. **Groundwater Science**. Second edition. Elsevier: Academic Print, 2013.

IPLANCE. *Atlas do Ceará*. Fortaleza, 1989. 57 p.

MARTINS-NETO, M. A. Classificação de Bacias Sedimentares: Uma Revisão Comentada. **Revista Brasileira de Geociência**, São Paulo, v. 36, p. 165-176, março de 2006.

POHLING, Rolf. **Reações químicas na análise de água**. FORTALEZA, Arte Visual, 2009.

RENNÓ, C. D; SOARES, J. V. **Conceitos Básicos De Modelagem Hidrológica**. Disponível em www.dpi.inpe.br/cursos/modelagem/cap2>. Acesso em 07 de outubro de 2020.

SILVA, F. J. A; ARAÚJO, A. L; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, dezembro de 2007.

SMALL, H.L., 1914. **Geologia e suprimento de água subterrânea no Piauí e parte do Ceará**. Inspect. Obras contra seccas. Ser. I.D.,32,137pp.

SOBRINHO, P. T. **Estrutura geológica do Ceará**. Revista do Instituto do Ceará. Disponível em: <https://www.institutodoceara.org.br/revista/Rev-apresentacao/RevPorAno/1941/1941-Estrutura_Geologica_do_Ceara.pdf> Acesso em: 23 de setembro de 2020.