



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

MARCUS VINÍCIUS FERNANDES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE DIÓXIDO DE CARBONO EM ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE CORROSÃO**

FORTALEZA

2020

MARCUS VINÍCIUS FERNANDES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE DIÓXIDO DE CARBONO EM ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE CORROSÃO**

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Química bacharelado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Orientador Pedagógico: Prof. L.D. Francisco Belmino Romero

Orientadora Profissional: 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

R614a Rodrigues, Marcus Vinícius Fernandes.

Avaliação da presença de dióxido de carbono em águas subterrâneas e sua influência no processo de corrosão / Marcus Vinícius Fernandes Rodrigues. – 2020.

41 f.: il. color.

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

Orientação: Prof. Dr. Francisco Belmino Romero.

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

1. Águas Subterrâneas. 2. Corrosão. 3. Dióxido de Carbono. I. Título.

CDD 540

MARCUS VINÍCIUS FERNANDES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE DIÓXIDO DE CARBONO EM ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE CORROSÃO**

Monografia apresentada a Coordenação do curso de Química bacharelado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. L.D. Francisco Belmino Romero (Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Dra. Geísa Vieira Vasconcelos Magalhães (Examinadora)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

A Deus.

Aos meus familiares, amigos e a todos que
contribuíram para a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu suporte nos momentos de maior dificuldade e meu maior guia nessa jornada da vida.

A Nossa Senhora, que sempre intercede ao Pai por mim e por minha família.

A toda minha família pelo apoio e pelo incentivo, meus pais Fernando e Eneida, por sempre estarem do meu lado, além de terem permitido o acesso a educação de qualidade que poucos brasileiros podem usufruir.

A minha avó, Marina Rodrigues, que sempre cuidou de mim, me aconselhou e me apoiou no momento mais difícil do percurso.

A minha irmã, Letícia Rodrigues, pela parceria, amizade e compreensão, bem como pelo equipamento para a escrita desse trabalho.

Ao meu orientador pedagógico, Prof. L.D. Francisco Belmino Romero, não só pelos seus conhecimentos acadêmicos como também pelas suas lições de vida e seu profissionalismo distinto.

A minha orientadora profissional, Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa, por seus ensinamentos enquanto estive presente no laboratório, bem como sua paciência e compreensão com a minha pessoa nesse breve período.

A minha primeira orientadora Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga por me inserir no NUTEC e por me acompanhar grande parte do período de estágio.

Aos funcionários do NUTEC, em especial as funcionárias Christiane Gomes e Eirilândia Sousa. Grato pela assistência, pelo companheirismo e pela amizade nesse curto período.

Ao meu primeiro orientador, Prof. Dr. Antoninho Valentini, pela paciência que teve comigo e por me introduzir nesse mundo fantástico da ciência.

A todos os amigos e amigas que fiz no PET Química, que sempre foram muito solícitos nessa caminhada auxiliando no que podiam: Gabriel Cabral, Herllan Vieira, Pablio Abreu, Joana Lima, Thiago Vasconcelos, Elisson Monteiro, Matheus Santos, Ana Debora, Ana Clara, Ana Gabrielle, Railson Chagas, Tiago Nogueira e Profa. Maria das Graças Gomes.

A todos os meus colegas e amigos que fiz dentro da UFC: Brener Arruda, Adisom Lucas, Ivaniely Sampaio, Túlio Aragão, Lucas Coutinho, Nicaely Maria, Clinton Silva, Carlos Yuri, Rodrigo Maciel, Carlyle Camelo, Vanessa Duarte e Vitor Costa. Obrigado pelo companheirismo de sempre.

Aos colegas do Laboratório de Adsorção e Catálise (LANGMUIR) e do Grupo de Eletroquímica e Corrosão (GELCORR), obrigado a todos pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos meus amigos de colégio, especialmente Kaell Fernandes, Aldo José, Rodrigo Luz, Matheus Muniz, Caio Pessoa, Lucas Fonseca, Daniel Sotero, Jônatas Quésede, Vitor Ribeiro, Pietra Gadelha, Alice Frota, entre outros. Grato pela parceria de sempre.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e para a realização desse trabalho.

“Consider it pure joy, my brothers and sisters,
whenever you face trials of many kinds,
because you know that the testing of your faith
produces perseverance.”

James 1; 2-3

RESUMO

A população nordestina faz uso das águas subterrâneas por conta da dificuldade em obter água advinda de Estações de Tratamento e pela escassez de água nos principais reservatórios devido às estiagens da última década. Porém, ao utilizar essa água, deve-se ter bastante cautela, pois variados contaminantes podem estar presentes nela. Um desses contaminantes é o Dióxido de Carbono (CO₂), que pode tornar a água insalubre e ainda ocasionar a corrosão da tubulação do poço de forma mais rápida. Além disso, a presença desse óxido também pode ocasionar incrustações nas tubulações, o que gera um elevado custo de manutenção. Outros fatores que podem interferir na potabilidade da água são pH, Ferro Total e Alcalinidade Total. Partindo dessa problemática, o objetivo desse trabalho é verificar o potencial de corrosão das águas subterrâneas por meio dos parâmetros mencionados em três municípios do estado do Ceará. Para a determinação desses parâmetros, foram utilizados os procedimentos referidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. De acordo com os resultados verificou-se que a maioria das águas apresentam um potencial de corrosão considerável. Além disso, tendo como referência os valores máximos permitidos pelas portarias PRC N° 5/2017, pela Resolução CONAMA N° 396/2008 e pela literatura citada, a maior parte dos valores encontram-se dentro dos intervalos estabelecidos. Porém, uma amostra do município C (C5) apresentou teores de CO₂ de 3821,5 mg/L e pH de 5,19. Este resultado lança um alerta quanto à necessidade de pré-tratamento dessa água para remoção do CO₂, deixando-a apta para consumo humano.

Palavras-chave: Águas Subterrâneas, Corrosão, Dióxido de Carbono

ABSTRACT

The Northeastern population makes use of groundwater due to the difficulty in obtaining water from Treatment Plants and the scarcity of water in the main reservoirs due to the droughts of the last decade. However, when using this water, care should be taken, as various contaminants may be present in it. One of these contaminants is Carbon Dioxide (CO₂), which can make the water unhealthy and cause corrosion of the well piping more quickly. In addition, the presence of this oxide can also cause incrustations in the pipes, which generates a high maintenance cost. Other factors that can interfere with water potability are pH, Total Iron and Total Alkalinity. Based on this problem, the objective of this work is to verify the corrosion potential of groundwater using the parameters mentioned in three municipalities in the state of Ceará. To determine these parameters, the procedures referred to in the Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater were used. According to the results, it was found that most waters have a considerable potential for corrosion. In addition, with reference to the maximum values allowed by the PRC Ordinances N°. 5/2017, by CONAMA Resolution N°. 396/2008 and by the cited literature, most of the values are within the established ranges. However, a sample from municipality C (C5) had a CO₂ content of 3821.5 mg /L and a pH of 5.19. This result raises an alert regarding the need to pre-treat this water to remove CO₂, leaving it for human consumption.

Keywords: Groundwater, Corrosion, Carbon Dioxide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Domínios geomorfológicos do estado do Ceará.....	20
Figura 2 – Ciclo biogeoquímico simplificado do carbono, com os números de armazenagem (em preto, no interior dos retângulos) e do fluxo (em vermelho) na ordem de 10^{15} g e 10^{15} gC.ano ⁻¹ , respectivamente.....	21
Figura 3 – pHmetro utilizado no ensaio.....	31
Figura 4 – Espectrofotômetro utilizado no ensaio.....	33

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultados médios obtidos para Dióxido de carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município A..... 34
- Tabela 2 – Resultados médios obtidos para Dióxido de carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro Total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município B..... 35
- Tabela 3 – Resultados médios obtidos para Dióxido de carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro Total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município B..... 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA	<i>American Public Health Association</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
PRC	Portaria de Consolidação
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Águas Subterrâneas.....	18
3.2	Características Geográficas do Ceará.....	19
3.3	O ciclo biogeoquímico do carbono.....	21
3.4	Parâmetros químicos das águas subterrâneas.....	22
3.4.1	<i>O Dióxido de Carbono (CO₂)</i>	22
3.4.2	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	23
3.4.3	<i>Alcalinidade Total</i>	24
3.4.4	<i>Ferro Total</i>	25
3.5	Corrosão.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	Determinação de CO ₂	27
4.2	Alcalinidade Parcial (AP) e Alcalinidade Total (AT).....	28
4.2.1	<i>Solução padrão de carbonato de sódio 0,02 N</i>	29
4.2.2	<i>Solução alcoólica de fenolftaleína 0,5%</i>	30
4.2.3	<i>Solução de alaranjado de metila 0,1 %</i>	30
4.2.4	<i>Solução de ácido sulfúrico 0,02 N</i>	30
4.3	Determinação de pH.....	31
4.4	Determinação de Ferro Total.....	31
4.4.1	<i>Solução de Cloridrato de hidroxilamina</i>	32
4.4.2	<i>Solução de Acetato de amônio</i>	32
4.4.3	<i>Solução de o-fenantrolina</i>	32
4.4.4	<i>Procedimento para análise</i>	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1	Município A.....	34
5.2	Município B.....	35

5.3	Município C.....	35
6	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A Região Nordeste possui um período de chuvas curto e irregular, sendo uma região suscetível a longas estiagens. Uma das alternativas mais utilizadas pela comunidade nordestina, principalmente as que residem no Sertão e no Agreste, é a construção de cisternas e a perfuração de poços profundos para possibilitar o acesso às águas subterrâneas (ARAÚJO, 2019). Na última década, essa alternativa foi bastante utilizada devido ao maior período de estiagem registrado da história do Nordeste. No entanto, esses poços podem apresentar uma água imprópria para consumo humano, o que pode acarretar diversos problemas de saúde para seus usuários. Dessa maneira, faz-se necessário verificar a potabilidade dessas águas.

A potabilidade é definida por meio de vários parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, os quais servem para indicar, por exemplo, a possibilidade de corrosão e de incrustação de sais insolúveis nas tubulações metálicas utilizadas para abastecimento, geralmente de aço galvanizado, ferro ou cobre. Em águas de má qualidade, os prejuízos com corrosão podem ser bastante onerosos, causando um enorme gasto financeiro aos cofres públicos. Além disso, a corrosão não só causa problemas em tubulações, como também pode ocasionar graves acidentes, sendo um desses ocorrido em 2016 no Estádio Cícero Pompeu de Toledo, o Morumbi, onde uma grade cedeu e 25 pessoas se lesionaram. O perito apontou a corrosão nas soldas da grade uma das causas do acidente (GROSSI & PORTO, 2016).

A partir dessa problemática, esse trabalho tem o intuito de analisar os parâmetros de Alcalinidade Total, Dióxido de Carbono Livre, pH e Ferro Total em amostras de águas subterrâneas de diferentes regiões do estado do Ceará, tendo como referência os valores máximo permitidos pela resolução n° 396 de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a possibilidade de corrosão e/ou incrustação de águas subterrâneas de diferentes municípios do estado do Ceará.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar os parâmetros de Alcalinidade Total, pH, Dióxido de Carbono Livre e Ferro Total nas águas de poços.

Avaliar a influência das concentrações de Dióxido de Carbono e Ferro Total frente à corrosão das tubulações presentes nos poços.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas, segundo a Resolução CONAMA N° 396 de 3 de abril de 2008, são definidas como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo (BRASIL, 2008). Essas águas possuem variados usos, tais como consumo humano, agricultura, pecuária, industrial e suas principais vantagens de utilizá-las são: não utilização de tratamentos complexos para ser disponíveis ao consumo humano por ser naturalmente filtrada e depurada por mecanismos físico-bio-geoquímicos que ocorrem no solo e subsolo; estão relativamente melhor protegidas de contaminações externas como infiltração de esgotos, chorume, combustíveis, agrotóxicos, dentre outros; captação próxima à demanda, sem custos de tratamento e adução; diminuição de riscos dos investimentos e os prazos de execução das obras por conta dos avanços tecnológicos em estudos, construção e desenvolvimentos dos poços e menor investimento inicial com possibilidade de escalonar a exploração conforme a demanda do consumo (GONÇALES E GIAMPÁ, 2006).

A região Nordeste é uma das regiões que mais fazem uso das águas subterrâneas por conta de sua longa estação de estiagem e invernos irregulares, sendo o período da última década um dos maiores da história, fazendo com que o Governo Federal investisse ainda mais em sua utilização. Nessa região, milhares de poços são utilizados para a irrigação, representando um importante insumo na cadeia produtiva, porém o uso de água de má qualidade pode trazer danos ao meio ambiente, com sérios reflexos socioeconômicos (SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999). Portanto, recomenda-se que as águas subterrâneas não sejam utilizadas de forma banal e, sim, que se façam análises químicas para verificação de sua qualidade.

Segundo a Resolução CONAMA N° 396 de 3 de abril de 2008, as águas subterrâneas são classificadas em:

- I- Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

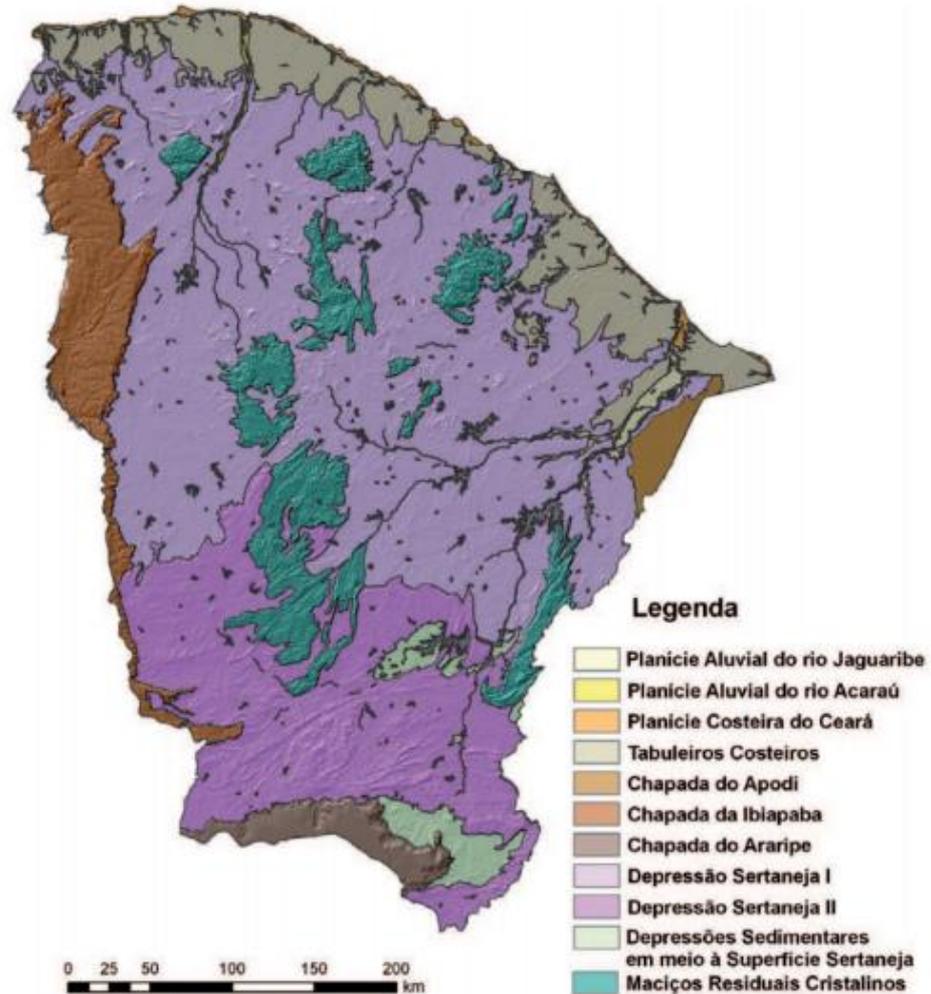
VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

3.2 Características geográficas do Ceará

Quanto a sua geologia, o território do Ceará apresenta o conjunto de rochas do complexo cristalino, composto por gnaisses, micaxistos e quartzistos, bem como calcários e granitos de rochas ígneas, básicas. Minerais como aragonita e calcita constituídas de carbonato de cálcio (CaCO_3) podem conferir uma certa alcalinidade nos mananciais por ser um sal básico. Estes minerais localizam-se em quase todo o território cearense (SOBRINHO, 1941).

Com base nesse conceito, pode-se caracterizar o estado cearense por meio de sua geomorfologia, a qual se trata do estudo das formas qualitativas de relevo, bem como também por suas variáveis quantitativas (Florenzano, 2008). O mapa a seguir mostra que o estado cearense possui diversas estruturas geomorfológicas, subdividida em onze domínios:

Figura 1: Domínios geomorfológicos do estado do Ceará.



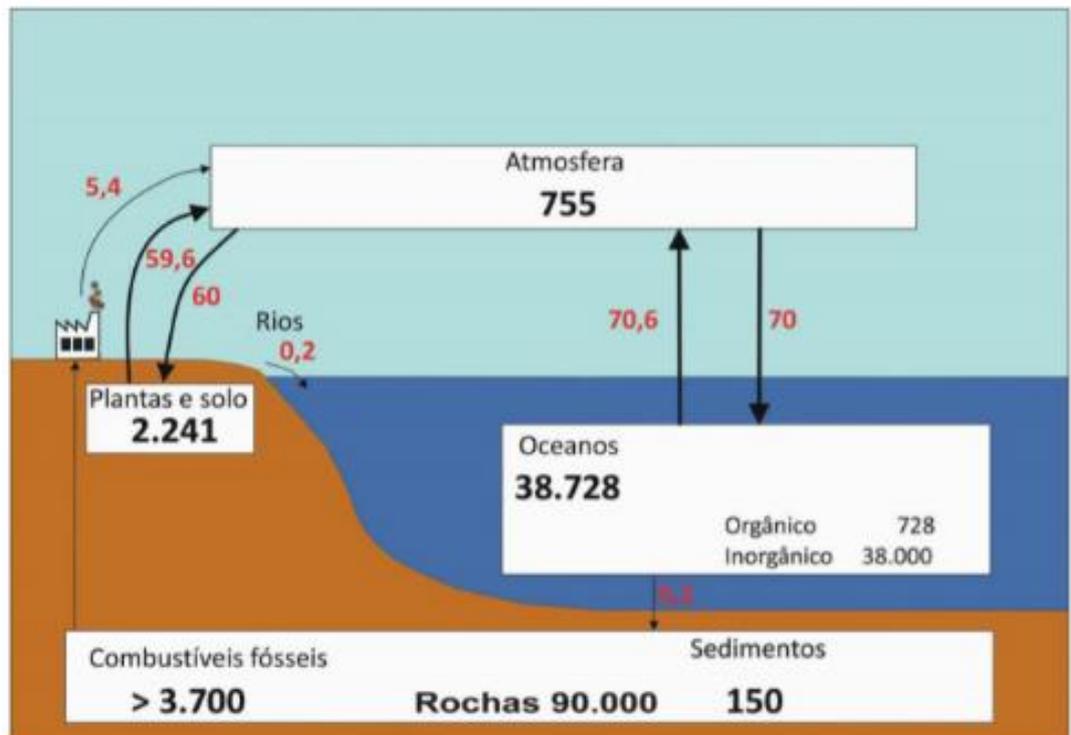
Fonte: Brandão (2014).

Os principais abordados nesse trabalho são os domínios da Depressão Sertaneja I e a Chapada da Ibiapaba. A Depressão Sertaneja I é caracterizada por possuir maciços residuais cristalinos, clima árido e solos rasos, pedregosos e de baixa fertilidade, ao contrário da Chapada da Ibiapaba, que apresenta solos profundos, rochas sedimentares e clima mais temperado (BRANDÃO, 2014).

3.3 O ciclo biogeoquímico do carbono

Assim como a água, o oxigênio e o nitrogênio, o carbono também possui um ciclo onde ele, inicialmente, é capturado pelos vegetais em sua forma inorgânica. Ele é fixado no solo na formação dos combustíveis fósseis, é liberado da mesma forma na atmosfera a partir de sua combustão, bem como a decomposição da matéria orgânica por meio de fungos e bactérias e por meio da respiração de organismos aeróbios, ilustrado a seguir pela Figura 2.

Figura 2: Ciclo biogeoquímico simplificado do carbono, com os números de armazenagem (em preto, no interior dos retângulos) e do fluxo (em vermelho) na ordem de 10^{15} g e 10^{15} gC.ano⁻¹, respectivamente.



Fonte: Souza *et al.*, (2012).

Segundo Probst (2006), o carbono total presente na atmosfera é dividido em carbono inorgânico dissolvido (CID) – presente nos mananciais, carbono inorgânico particulado (CIP) – presente nos processos erosivos, carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico particulado (COP) – relacionado aos processos de lixiviação do solo e interações da fase sortiva dos solos.

Em algumas localidades urbanas e industriais o alto teor de gás carbônico é responsável por alterações indesejáveis a qualidade do ar atmosférico, contribuindo para a poluição atmosférica, o que acarreta o aumento de doenças respiratórias (GOMES, 2002).

3.4 Parâmetros químicos das águas subterrâneas

As águas subterrâneas são provenientes das precipitações que ocorrem naturalmente e ocupam espaços no solo. Portanto, a maior parte das reações químicas que as envolvem se dão na atmosfera terrestre e no solo. Por exemplo, em águas fluviais, o CID possui três fontes principais: dióxido de carbono do solo, dos carbonatos dissolvidos e da atmosfera em contato da água com o ar (LUDWIG *et al*, 1996). No presente trabalho, será enfoque aos parâmetros: Alcalinidade Total, Dióxido de Carbono Livre, pH e Ferro Total.

3.4.1 Dióxido de carbono (CO₂)

O dióxido de carbono (CO₂), também conhecido como gás carbônico, é um dos gases traços componentes da atmosfera terrestre e um dos pilares da vida, por estar presente na fotossíntese das plantas e na respiração dos seres aeróbios.

O CO₂ presente na atmosfera interage com a água vinda das chuvas e, com a precipitação das águas, o CO₂ reage formando os íons bicarbonato e carbonato a partir das Reações 1, 2 e 3, a seguir:

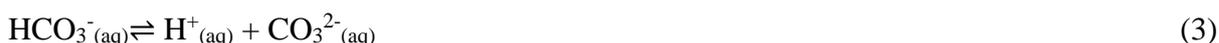
Formação do ácido carbônico:



Primeira dissociação do ácido carbônico:



Segunda dissociação do ácido carbônico:



No solo, ele se apresenta como o produto da decomposição da matéria orgânica e da respiração dos vegetais, segundo a Reação 4 (ARAÚJO, 2019):



Segundo Celligoi (1999), o CO_{2(g)} total é dividido em CO₂ livre, que é o CO₂ dissolvido e H₂CO₃ não dissociado e em CO₂ limite, que são os íons bicarbonato e os íons

carbonato. Por meio da alcalinidade dos bicarbonatos, pode-se determinar o teor de CO₂ Livre presente na água a partir das equações a seguir (APHA, 2012):

Alcalinidade de bicarbonatos (AB):

$$AB = \frac{AT - 5,0[10^{(pH-10)}]}{1 + 0,94[10^{(pH-10)}]} \quad (1)$$

Onde:

AT: Alcalinidade Total, em mgCaCO₃.L⁻¹.

CO₂ livre:

$$\text{mg CO}_2 \cdot \text{L}^{-1} = 2,0 \times AB \times 10^{(6-pH)} \quad (2)$$

3.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O termo pH refere-se à concentração de íon H⁺ em soluções aquosas presente como íon hidrônio (H₃O⁺) por meio de seu cologaritmo, indicando se uma substância é ácida, básica ou neutra. A medição do pH em soluções aquosas é realizada a partir da reação de autólise da água (Reação 5), mostrada a seguir:



Para determinarmos a concentração dos íons hidrônio e hidróxido, é necessário utilizar a equação do equilíbrio químico expressa pela Equação 3.

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (3)$$

Onde: K_{eq} é a constante de equilíbrio

A concentração molar de água, [H₂O], é constante e igual a $\frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol} \times 1 \text{ L}} = 55,55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, definindo-se uma nova constante de equilíbrio, K_w, que é o produto iônico da água (Equação 4).

$$K_w = [\text{H}^+].[\text{OH}^-] \quad (4)$$

A 25 °C, o valor de K_w é 1,1 x 10⁻¹⁴. Por causa de seu baixo valor, foi adotada uma escala logarítmica para determinar a concentração dos íons hidrônio e hidróxido. Essa escala é denotada pela função p(x), que é o cologaritmo da variável em questão. Sørensen (1909) introduziu a escala de pH, a qual conceitua a acidez e a alcalinidade de uma solução.

Com base na equação anterior, aplicando o cologaritmo em ambos os lados (Equações 5, 6, 7 e 8).

$$-\log K_w = -\log [H^+] - \log [OH^-] \quad (5)$$

$$pK_w = pH + pOH \quad (6)$$

$$pH + pOH = -\log 1,1 \times 10^{-14} \quad (7)$$

$$pH + pOH = 14 \quad (8)$$

Nessa escala, se considerarmos o valor de pH igual ao de pOH, obtém-se o valor 7. Portanto, este valor indica que essa substância possui um teor nem ácido e nem básico, ou seja, ponto neutro. Tendo como referência o pH, uma substância é ácida se seu valor estiver entre o intervalo de zero a sete e básica se estiver entre sete a quatorze. Porém, para temperaturas diferentes de 25 °C, esses valores se alteram. Para 0°C, por exemplo, o ponto neutro ocorre em pH 6,5 e, a 60°C corresponde ao pH 7,5. Em sistemas de distribuição, o pH da água deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5, de acordo com a PRC n° 5/2017, do Ministério da Saúde. O consumo de uma água com um pH alterado pode pouco implicar na saúde pública, porém caso essa água apresente valores de pH muito extremos, pode causar irritação na mucosa ou nos olhos (VON SPERLING, 2005).

3.4.3 Alcalinidade Total

A Alcalinidade consiste em determinar a presença de íons que possam neutralizar ácidos. Consiste nos íons hidróxido (HO^-), bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) como principais representantes, ou seja, é a capacidade de tamponamento da água. Esse parâmetro é de fundamental importância para análise de águas por contribuir no processo de corrosão, ocasionando prejuízos em diversas áreas, como a irrigação das plantações. Como a corrosão é resultante da incrustação de sais insolúveis nas tubulações, uma alcalinidade excessiva ocasiona a precipitação de carbonatos e fosfatos, causando entupimento dos emissores, assim como a redução da disponibilidade de micronutrientes para as culturas (EGREJA FILHO *et al*, 1999).

Além disso, embora tenha pouco significado sanitário para os níveis de potabilidade, a alcalinidade confere um gosto amargo em elevadas concentrações, bem como é importante na determinação da dureza e da coagulação de partículas (VON SPERLING, 2005).

A Alcalinidade é ocasionada por meio dos íons de cálcio e magnésio, que reagem com os produtos das Reações (2) e (3), formando sais insolúveis nas superfícies internas das tubulações:



Na Resolução CONAMA N° 396/08 e na PRC N° 5/17 a Alcalinidade não apresenta um intervalo específico. No entanto, águas naturais podem concentrar um intervalo de Alcalinidade entre 30 e 500 mg/L de CaCO_3 , o que indica normalidade nos processos de decomposição da matéria orgânica, assim como na taxa de respiração dos microrganismos (MORAES, 2008).

3.4.4 Ferro Total

Um dos materiais mais utilizados nas tubulações de poços é o ferro, principalmente no formato de liga de ferro e carbono, o aço-carbono, por conta de sua elevada resistência mecânica e térmica, dado o solo cearense ser bastante pedregoso e de difícil perfuração, bem como as elevadas temperaturas registradas na maior parte do ano no território nordestino (BRANDÃO, 2014).

No entanto, apesar de sua elevada resistência nesses quesitos, a corrosão e o desgaste com o passar do tempo favorecem vazamentos, arrasamentos e incrustações (MORUZZI *et al*, 2012), fazendo-se necessário que as tubulações de ferro sempre sejam observadas. Isso é decorrente dos pontos onde há maior tensão (dobras, conexões, pontos de solda, entre outros) apresentarem uma alta entropia envolvida, aumentando, assim a espontaneidade das reações de oxirredução. As reações do ferro quando em contato com a água estão descritas nas Reações 10, 11 e 12:



O ferro está presente na atmosfera sem oxigênio dissolvido apresenta-se na forma de Ferro (II), Fe^{2+} , porém, ao entrar em contato com o ar, o Ferro sofre oxidação tornando-se

Ferro (III). Dessa forma, esse íon pode precipitar, tornando a água com uma cor acima do normal e ocasionando a mancha de roupas durante a lavagem (VON SPERLING, 2005).

Ademais, o ferro age na contaminação biológica na água do sistema de distribuição por meio de ferro-bactérias (MCNEILL & EDWARDS, 2001) e como um agente incrustante, o que pode ocasionar incrustações e, por consequência, o fechamento de tubulações (BECKER, 2017). Por esta razão, a Resolução CONAMA N° 396/2008 estabelece que o nível mínimo de ferro presente na água deve ser de 0,3 mgFe.L⁻¹.

3.5 Corrosão

Segundo Fontana e Greene (1978), a corrosão é a destruição ou a deterioração de um material devido a reações com o meio ambiente ou por outros meios não mecânicos. Por ser um processo espontâneo, a corrosão sempre está presente nos materiais em geral e, em sua maioria, se torna indesejável, podendo gerar consequências graves. Por esse motivo, vários métodos e materiais com o intuito de retardar a corrosão têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, os quais são denominados inibidores de corrosão. Cromatos (Halemm, 2010), zinco e nitrito (Ali *et al*, 2016) são alguns representantes dos inibidores inorgânicos. Como inibidores orgânicos um dos principais representantes são os triazois, como a 1,2,4-triazolanilina (Rodrigues Júnior, 2017) e o 3-amino-1,2,4-triazol-5-tiol (MERT *et al*, 2011).

Os principais tipos de corrosão são: química, galvânica e eletrolítica. A corrosão química trata-se do meio em que a superfície metálica entra em contato com o agente oxidante; A galvânica ocorre quando há heterogeneidade entre o meio corrosivo e o metal devido à diferença de potencial entre eles e a eletrolítica, quando há processo não espontâneo por conta de uma corrente elétrica e o metal atuando como ânodo (GENTIL, 2011).

No caso do ferro, a presença de íons carbonatos, como descrito na Reação 3 pode favorecer a precipitação de FeCO₃ na presença de íons Fe²⁺_(aq). Íons carbonatos são produzidos em solução quando CO₂ está presente, como descrito nas Equações 1 a 4. O processo de corrosão aumenta a concentração de Fe²⁺ em solução, favorecendo a precipitação de FeCO₃ na superfície de acordo com a Reação 12.



Segundo Gao *et al*, (2011) a presença de FeCO₃ pode promover a formação de uma camada sobre a superfície metálica, reduzindo a taxa de corrosão. Porém, essa proteção pode não ser observada em certas condições em que esse sólido foi formado.

No aço carbono, de acordo com Nešić (2007), a corrosão por CO₂, denominada também por *sweet corrosion*, é o processo eletroquímico que se trata da oxidação do ferro e da redução do hidrogênio, já demonstrada pela Reação 13. Os principais fatores que alteram esse processo de corrosão podem ocorrer pelo meio, pelo aspecto metalúrgico ou pelo material (MISHRA, *et al*, 1997). A formação de FeCO₃ é influenciada por fatores como pH, temperatura, pressão parcial de CO₂, composição química da água, contaminação por oxigênio (O₂), fluxo das águas, entre outros. (ABRANTES, 2005).

A Resolução Conama não possui um padrão para o limite mínimo de CO₂ livre presente em águas, porém é sabido que o CO₂, para se manter em equilíbrio com a água, são necessários 2,5 mg. L⁻¹ (CETESB, 1987) e em terminais de Estações de Tratamento de Água (ETA) o valor é de 2,35 mgCO₂. L⁻¹ (HANTSCHEL, 2004). Porém, as águas subterrâneas podem apresentar um teor superior, visto que foi apresentado valores superiores a 10 mgCO₂. L⁻¹, como encontrado por Santos (2012), 13,72 mgCO₂. L⁻¹.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado nas instalações do Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC).

As amostras foram adquiridas em três municípios do estado do Ceará, durante os meses de fevereiro, março e agosto de 2020 nos municípios A, B e C em cinco localidades distintas de cada um.

As coletas foram realizadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Para as análises dos parâmetros alcalinidade, dióxido de carbono, pH e Ferro Total foram seguidos os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

4.1 Determinação de CO₂

Inicialmente, é transferido 100 mL da amostra para um erlenmeyer de 250 mL, adiciona-se gotas de fenolftaleína 0,5%. Caso apareça coloração rósea, a amostra não contém CO₂ livre. Se permanecer incolor, titular com hidróxido de sódio (NaOH) 0,02 N até aparecer a coloração rósea. A cor deve permanecer por 2 a 3 minutos

A concentração de CO₂ livre é dada pela Equação (5):

$$\text{mgCO}_2\text{L}^{-1} = \frac{A \times N \times 44(1000)}{V_{\text{amostra}}} \quad (5)$$

Onde:

A: volume do titulante, em mL

N: normalidade da solução de NaOH 0,02 N

f: fator de correção da solução de NaOH 0,02 N

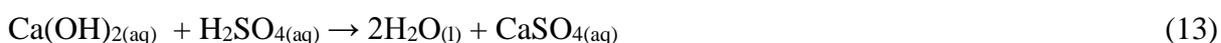
4.2 Alcalinidade Parcial (AP) e Alcalinidade Total (AT)

A determinação da Alcalinidade é realizada através da titulação de neutralização da amostra com ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,2 N, utilizando-se os indicadores fenolftaleína e alaranjado de metila. A fenolftaleína é utilizada para determinação da alcalinidade parcial que

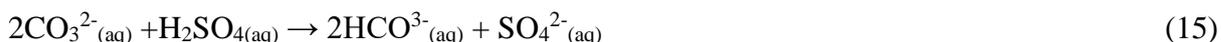
é referente à alcalinidade gerada pela presença de íons hidróxidos e carbonatos. Para a alcalinidade total, que indica a presença de íons bicarbonatos, o indicador alaranjado de metila. Inicialmente, são pipetados 50 mL da amostra e são adicionadas seis gotas de fenolftaleína e, caso a amostra apresente a coloração rosa, é determinada sua Alcalinidade Parcial. Para a determinação da Alcalinidade Total, adiciona-se na amostra nove gotas do indicador alaranjado de metila e titula-se com H_2SO_4 0,02 N. Ao final, anota-se o valor gasto de H_2SO_4 0,02 N.

As Reações 13 a 17 abaixo ilustram as reações ocorridas durante a análise:

Alcalinidade de hidróxidos:

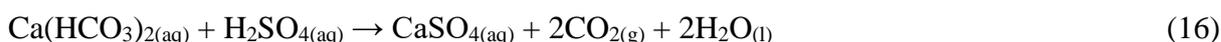


Alcalinidade de carbonatos:



Na sequência, adicionou-se o indicador alaranjado de metila e então foi continuada a titulação.

Alcalinidade devido a presença de bicarbonatos:



A alcalinidade total (AT) será expressa em $\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, segundo a Equação 6:

$$\text{AT (mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{V \times f \times N \times 1000}{V_{\text{amostra}}} \quad (6)$$

Onde:

V = volume médio gasto da solução de H_2SO_4 0,02 N gasto na titulação

f = fator de correção da solução de H_2SO_4 0,02 N

N = concentração da solução de H_2SO_4 0,02 N

4.2.1 Solução padrão de carbonato de sódio 0,02 N

Em um béquer pesa-se 1,0599 g de carbonato de sódio (Na_2CO_3), previamente seco. Com o auxílio de um bastão, dissolve-se Na_2CO_3 em 500 mL de água destilada. Esse volume foi transferido e aferido para um balão volumétrico de 1 L.

4.2.2 Solução alcoólica de fenolftaleína 0,5%

Em uma balança analítica da Shimatzu modelo AY220 dos Estados Unidos da América (EUA), pesa-se 1,0 g de fenolftaleína em um béquer de 25 mL. Essa massa é dissolvida em 199 mL de álcool etílico.

4.2.3 Solução de alaranjado de metila 0,1 %

Em uma balança analítica e com o auxílio de um béquer, pesa-se 0,1 g de alaranjado de metila. Na sequência é realizada a diluição em 50 mL de água quente. Após esfriar, transfere-se o volume para um balão volumétrico de 100 mL e afere-se com água destilada.

4.2.4 Solução de ácido sulfúrico 0,02 N

Para este procedimento, inicialmente são transferidos 500 mL de água destilada para um balão volumétrico de 1,0 L. Posteriormente, com o auxílio de uma pipeta, são transferidos 0,6 mL de ácido sulfúrico concentrado. Ao final, foi completado e aferido com água destilada no balão volumétrico.

Para a padronização da solução, são transferidos 20 mL da solução padrão de carbonato de sódio 0,02 N em um erlenmeyer de 250 ml, onde são adicionados 5,0 mL de alaranjado de metila 0,1 %. Essa mistura é titulada com a solução de ácido sulfúrico até a mudança de coloração amarela para rosa alaranjado. O volume gasto de ácido na solução é anotado e utilizado para a determinação do fator de solução a partir da Equação (7):

$$FC = \frac{CR}{CI} \quad (7)$$

Onde:

FC: fator de correção

CR: concentração real; em (mol.L⁻¹)

CI: concentração ideal, em (mol.L⁻¹)

4.3 Determinação de pH

Neste procedimento, é utilizado um pHmetro da Logen Scientific® modelo LS300 fabricado nos EUA com soluções tampões de pH 4,00 e 7,00, de acordo com o manual de instruções do fabricante.

Para a leitura da amostra, são transferidos 50 mL previamente homogeneizada para um béquer de 100 mL. Faz-se a imersão do eletrodo, previamente lavado com água destilada, no béquer contendo a amostra. Aguardou-se a estabilização e anotou-se o resultado mostrado no visor do pHmetro.

Figura 3: pHmetro utilizado no ensaio



Fonte: Autor, 2020.

4.4 Determinação de Ferro Total

4.4.1 Solução de Cloridrato de hidroxilamina

Dissolve-se 50 g de cloridrato de hidroxilamina em 250 mL de água destilada. Esse volume é transferido para um balão volumétrico de 500 mL e aferido com água destilada.

4.4.2 Solução de Acetato de amônio

Dissolve-se 250 g de acetato de amônio em 150 mL de água destilada e adiciona-se 700 mL de ácido acético glacial 99,8% P.A.

4.4.3 Solução de o-fenantrolina

Em uma balança analítica, pesa-se 1 g de o-fenantrolina P.A em um béquer de 25 mL dissolvendo-a em água destilada a quente. Após resfriar, adiciona-se 2 gotas de ácido clorídrico. Todo o volume é transferido para balão volumétrico de 1 L e aferido com água destilada

4.4.4 Procedimento para análise

Para a realização deste ensaio, é necessária a presença do íon Fe^{2+} . Para isso são adicionados 2 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado e 1 mL de cloridrato de hidroxilamina em 50 mL da amostra e, em seguida, aquecida por cinco a dez minutos. Após esfriar, são acrescentados 10 mL da solução de acetato de sódio e 4 mL da solução de o-fenantrolina. A leitura é realizada em um espectrofotômetro da Thermo Fischer Scientific® modelo Orion® Aquamate 9000 em um comprimento de onda de 510 nm.

Figura 4: Espectrofotometro utilizado no ensaio.



Fonte: Autor, 2020.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Município A

Os resultados referentes as amostras do município A encontram-se descritas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Resultados médios obtidos para Dióxido de carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro Total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município A.

Parâmetros	Amostras					PRC Nº 5/17	Conama Nº 396/08
	A1	A2	A3	A4	A5		
CO ₂	25,4± 0,014	22,8 ±0,004	35,0 ±0,035	9,6 ±0,042	21,9 ±0,021	*	*
Alcalinidade Total	177,5 ±0,096	243,4 ±0,058	227,3 ±0,050	219,5 ±0,058	405,1 ±0,058	*	*
pH a 25°C	7,54 ±0,005	7,76 ±0,006	7,44 ±0,006	7,31 ±0,006	7,72 ±0,006	6,0 - 9,5	*
Ferro Total	≤ LQ	0,1	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*	≤ 0,3

Fonte: elaborada pelo autor
LQ = limite de quantificação

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, verificou-se que os valores de CO₂ livre nas águas variaram de 9,6 a 25,4 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$. A faixa de pH ficou próxima de 7 e a alcalinidade entre 177,5 e 405,1 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$. Quanto ao teor de ferro, todas as amostras apresentaram valores abaixo do LQ ou do valor de referência da CONAMA Nº 396/08.

No que se refere à possibilidade de corrosão, maior parte das amostras apresentam uma elevada probabilidade, já que ultrapassam os valores estabelecidos por Santos (2012), maior ou igual a 10 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$, com exceção a amostra A4. Referente ao parâmetro da alcalinidade, os teores encontram-se no intervalo mencionado por Moraes (2008), 30 a 500 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$, indicando normalidade nos processos biológicos e, em relação ao pH, todas as amostras apresentaram valores inseridos no intervalo definido pela PRC Nº 5/17.

5.2 Município B

Os resultados referentes as amostras do município B encontram-se descritas na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Resultados médios obtidos para Dióxido de Carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro Total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município B.

Parâmetros	Amostras					PRC Nº 5/17	Conama Nº 396/08
	B1	B2	B3	B4	B5		
CO ₂	16,6 ±0,03 5	18,4 ±0,035	15,8 ±0,049	16,6± 0,014	14,9 ±0,014	*	*
Alcalinidade Total	343,1 ±0,07 1	209,4 ±0,141	203,6 ±0,035	229,4 ±0,035	63,8 ±0,071	*	*
pH a 25°C	7,19 ±0,01 4	6,76 ±0,007	7,09 ±0,021	7,07± 0,014	6,97 ±0,021	6,0 – 9,5	*
Ferro Total	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*	≤ 0,3

Fonte: elaborada pelo autor
LQ = limite de quantificação

A partir dos números apresentados na Tabela 2, verificou-se que os valores de CO₂ Livre nas águas variaram de 15,68 a 18,4 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$. A faixa de pH ficou próxima de 7 e a alcalinidade entre 63,8 e 343,1 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$. Quanto ao teor de Ferro Total, todas as amostras apresentaram valores abaixo do LQ de referência da Resolução CONAMA Nº 396/08.

Verifica-se que a maior parte das águas apresentam, assim como o município A, um elevado nível de CO₂ Livre, apresentando um alto potencial corrosivo relativo ao valor de 10 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$. No tocante a Alcalinidade Total, maior parte das amostras de águas analisadas nos municípios constam no intervalo de 30 a 500 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$. Vale ressaltar que os valores relativos ao município A foram maiores quando comparados ao município B por conta da presença de um escudo cristalino em seu território, onde se encontram calcários, de caráter básico. Quanto ao parâmetro do pH, as amostras, assim como no município A, constam no intervalo da PRC Nº 5/17.

5.3 Município C

Os resultados referentes as amostras do município C encontram-se descritas na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Resultados médios obtidos para Dióxido de Carbono Livre ($\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$), Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), pH a 25°C e Ferro Total (mgFeL^{-1}) nas localidades do Município C.

Parâmetros	Amostras					PRC Nº 5/17	Conama Nº 396/08
	C1	C2	C3	C4	C5		
CO ₂	3,86 ±0,035	11,44 ±0,035	17,27 ±0,049	3,68± 0,014	3821,5 ±0,014	*	*
Alcalinidade Total	349,93 ±0,071	315,94 ±0,141	369,93 ±0,035	325,93 ±0,035	295,94 ±0,071	*	*
pH a 25°C	8,25 ±0,014	7,74 ±0,007	7,63 ±0,021	8,24± 0,014	5,19 ±0,021	6,0 – 9,5	*
Ferro Total	≤ LQ	*	≤ 0,3				

Fonte: elaborada pelo autor
LQ = limite de quantificação

As amostras do município C os valores de CO₂ Livre nas águas variaram de 3,68 a 3821,5 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$. O pH variou entre 5,19 a 8,25 e a Alcalinidade Total entre 295,94 e 369,93 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$. Quanto ao teor de Ferro Total, todas as amostras apresentaram valores abaixo do LQ especificado na Resolução CONAMA Nº 396/08.

É notável que as amostras do município C apresentaram maiores variações, visto que as amostras C1 e C4 mostram, em relação ao CO₂ Livre, valores abaixo de 10 $\text{mgCO}_2\text{L}^{-1}$, as amostras C2 e C3 apresentam valores um pouco acima, apresentando uma pequena probabilidade corrosiva. Porém, a amostra C5 pertencente ao Município C apresenta um valor bastante discrepante dos demais relacionados no parâmetro de CO₂ Livre. Isso indica uma elevada acidez carbônica, isto é, originada do alto nível de CO₂ livre, dado seu pH está contido no intervalo entre 4,5 e 8,2 segundo Von Sperling (2005). Este resultado indica que essa amostra pode estar sendo poluída ou apresentar outras interferências antrópicas, sendo

assim a amostra de maior probabilidade corrosiva. Quanto ao pH, maior parte dos valores constam o intervalo apontado pela Portaria, com exceção a amostra C5.

No parâmetro Alcalinidade Total, os valores estão inseridos no intervalo de 30 a 500 mgCaCO₃.L⁻¹, indicando uma normalidade no processo biológico nos mananciais.

6 CONCLUSÃO

Os valores obtidos indicam que, das 15 amostras analisadas, apenas três apresentam resultados inferiores em comparação ao valor de 10 mgCO₂.L⁻¹ no quesito de CO₂ Livre. Tais valores indicam uma baixa possibilidade de corrosão, contudo os outros valores indicam uma maior possibilidade, tornando necessário que estas sejam devidamente fiscalizadas e tratadas para que os teores de CO₂ não influenciem em consequências mais graves a população.

Tratando-se dos teores de Ferro Total, a maior parte dos valores mostraram estar abaixo do limite de quantificação, com exceção a amostra A2, sendo que seu valor está inserido nos valores permitidos pela PRC N° 5/17 e pela Resolução CONAMA N° 396/08. Esses valores apontam que nessas localidades ainda não há a degradação das tubulações de ferro e, portanto, não se observa o efeito da corrosão. Todavia, é necessário que as águas desses mananciais sejam fiscalizadas a fim de que a presença do Ferro não as contamine.

No tocante aos valores de pH, a maior parte das amostras então contidas no intervalo de pH inserido pela PRC N° 5/17, exceto a amostra C5, que apresentou maior teor de CO₂ livre sofrendo influência do valor de pH, o qual foi 5,19, contribuindo para que essa tivesse maior possibilidade de corrosão. Portanto, as autoridades fiscalizadoras devem estar atentas a água desse manancial.

No parâmetro Alcalinidade Total, todas as amostras estão contidas no intervalo de 30 a 500 mgCaCO₃.L⁻¹, indicando que a probabilidade de incrustações é baixa. Por fim, devem-se ampliar os estudos nessa área para que a população nordestina que utiliza essas águas possa ter acesso a água potável, por questões de saúde pública e para garantir um direito constitucional a esses cidadãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, A.C.T.G. **Análise da corrosão e da erosão - corrosão do aço carbono em meio com NaHCO_3 e CO_2** . 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALI M.R.; MUSTAFA, C.M.; HABIB, M. Effect of Molybdate, Nitrite and Zinc Ions on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in Aqueous Chloride Media Containing Cupric Ions. **Journal of Scientific Research**, v. 212, p.998-1009, 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes**. 2011.

APHA - American Public Associations. **Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater**. 23rd Washington DC. 2013

ARAÚJO, L.F.S. **Águas subterrâneas no Ceará: análise de corrosividade e incrustação**. 2019. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Curso de bacharelado em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BECKER, H. **Apostila de Controle Analítico de Águas**. 6 ed., Fortaleza: [s.n.], 2017.

BRANDÃO, R.L. Geodiversidade do Estado do Ceará. CPRM, Fortaleza, 2014.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução N° 396**, de 03 de abril de 2008. Brasília, 2008.

BRASIL, Portaria de Consolidação n° 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. 2017.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, v.8, n.1, p.91-97, 1999.

CETESB. **Operação e Manutenção de ETA**, v. 1 e 2, São Paulo: Tilibra, 1973.

EGREJA FILHO, F. B.; MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C, Método computacional para correção de alcalinidade de águas para fertirrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.415-423, 1999.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos. 2016.

FONTANA, M. G.; GREENE, N. D. **Corrosion Engineering**. 2.ed, Japão, Ed. McGraw-Hill, 1978.

GAO, M.; PANG, X.; GAO, K. The growth mechanism of CO₂ corrosion product films. **Corrosion Science**, v. 53, p.557-568, 2011.

GENTIL, V. **Corrosão**, 4.ed.Rio de Janeiro: LTC,2011.

GOMES, M. J. M. Ambiente e pulmão. **Jornal de Pneumologia**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 261-269, 2002.

GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q. (Ed.) **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. São Paulo, Signus Editora, 2006.

GROSSI, B.; PORTO, M. **Perito culpa corrosão de soldas por acidente em grade no Morumbi**. São Paulo: São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.lance.com.br/sao-paulo/perito-culpa-corrosão-soldas-por-acidente-grade-morumbi.html>>.

HALEMM, S. M. A. E.; WANEES, S. A. E.; AAL, E. E. A. E.; DIAB, A. Environmental factors affecting the corrosion behavior of reinforcing steel II. Role of some anions in the initiation and inhibition of pitting corrosion of steel in Ca(OH)₂ solutions. **Corrosion Science**, v. 52, p.292-302, 2010.

HANTSCHHEL, K. E. **Análises físico-químicas da água tratada distribuída para a população pelo SAMAE de Rio Negrinho.** 2004. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LUDWIG, W.; AMIOTTE-SUCHET, P.; PROBST, J. L. River discharges of carbon to the world's oceans; determining local inputs of alkalinity and of dissolved and particulate organic carbon. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie II, Sciences de la terre et des Planets*, v. 323, p. 1007-1014, 1996.

MACEDO, J. A. B. de. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas.** 2ª Edição. Editado por CRQ-MG. Belo Horizonte, 2003. 450 p.

MCNEILL, L. S.; EDWARDS, M. Iron pipe corrosion in distribution systems. *Journal-American Water Works Association*. v. 93, n 7, p. 88-100, 2001.

MERT, B. D.; MERT, M. E.; KARDAS, G.; YAZICI, B. Experimental and theoretical investigation of 3-amino-1,2,4-triazole-5-thiol as a corrosion inhibitor for carbon steel in HCl medium. *Corrosion Science*, v. 53, p. 4265-4272, 2011.

MISHRA, B.; AL-HASSAN, H.; OLSON; D. L.; SALAMA, M. M. Development of a Predictive Model for Activation-Controlled Corrosion of steel in Solutions Containing Carbon Dioxide. *Corrosion*, v.53, n. 11, p.852-859, 1997.

MORAES, P. B. **Tratamento Biológico e Físico-Químico de Efluentes Líquidos.** UNICAMP: Centro Superior de Educação Tecnológica, 2008.

MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, F. T.; NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. Caracterização química e mineralógica da incrustação em rede de ferro fundido e potencial de recuperação da capacidade hidráulica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 3, p. 305-314, 2012.

NEŠIĆ, S. Key Issues Related to Modelling of Internal Corrosion of Oil and Gas Pipelines – A Review. *Corrosion Science*. v.49, p. 4308-4338, 2007.

PROBST, J. L.; OLIVEIRA, H.; BIBIAN, J. P. R.; FERNANDES, A. M. Fluxo de Carbono inorgânico dissolvido no Rio Piracicaba (São Paulo): partição e reações de equilíbrio do sistema carbonato. **Geociências**, São Paulo, v.25, n.4, p.429-436, 2006.

RODRIGUES JÚNIOR, D. N. **Estudo do 1, 2, 4-triazolanilina como inibidor de corrosão do aço carbono 1020 em meio ácido**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Grupo de Eletroquímica e Corrosão, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SANTOS, J. F. **Análise físico-química e bacteriológica da água do poço Valdemiro Francisco Mota, do município Brejo do Cruz – Paraíba**. 2015. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2015.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SOBRINHO, T. P. **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: 20 de mar. de 2020.

SOUZA, M. F. L.; LONGHINI, C. M.; SILVA, A. M.; LENTINI, C. A. D. Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos. **Revista Virtual de Química**, Ilhéus, v.4, n.5, p. 566-582, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.