



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

REBECA FELIPE DOS SANTOS SILVA

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE POÇOS PARA USO EM IRRIGAÇÃO DE
ACORDO COM A RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO (RAS)**

FORTALEZA

2020

REBECA FELIPE DOS SANTOS SILVA

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE POÇOS PARA USO EM IRRIGAÇÃO DE
ACORDO COM A RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO (RAS)**

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.

Orientadora pedagógica: Prof.^a Dra. Gisele Simone Lopes

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(a)

S583c Silva, Rebeca Felipe dos Santos.
Classificação de águas de poços para uso em irrigação de acordo com a razão de adsorção de sódio (RAS) /
Rebeca Felipe dos Santos Silva. – 2020.
34 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. Água. 2. Irrigação. 3. Razão de adsorção de sódio. I. Título.

CDD 540

REBECA FELIPE DOS SANTOS SILVA

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS DE POÇOS PARA USO EM IRRIGAÇÃO DE
ACORDO COM A RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO (RAS)**

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)

Dr. Ari Clecius Alves de Lima (Examinador)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que por sua infinita bondade e graça me proporcionou chegar até aqui.

Ao meu esposo, Lindemberg, por ter acreditado em mim em momentos que eu mesma duvidei e ter me apoiado incondicionalmente. Aos meus pais, Ronaldo e Iara, e a minha irmã Natacha, por sempre estarem comigo e se alegrarem com minhas conquistas. Espero ter deixado vocês orgulhosos, amo vocês.

As minhas amigas Maria Daiane, Marilia Mota, Jessica Quinto, Vanessa Santos e meu amigo Vitor Costa, vocês foram minha rede de apoio e meus melhores amigos na graduação. Serei eternamente grata por essa amizade.

A minha orientadora profissional Dra. Paula Luciana, pela incrível orientação e disponibilidade, que possibilitou tornar esse trabalho factível. E a minha orientadora pedagógica Dra. Gisele Lopes. Agradeço por ter tido a chance de aprender com vocês.

Ao NUTEC pela oportunidade de estágio e a equipe do Laboratório de Química Ambiental, Dra. Erika Sampaio e as técnicas Christiane e Eirilândia pela enriquecedora experiência de ter trabalhado com vocês. Agradeço as minhas amigas e colegas de estágio Valesca Ingrid e Viviane Soares por terem sido minha companhia diária e terem alegrado minhas tardes.

A Universidade Federal do Ceará por me proporcionar aprender com professores tão maravilhosos, em especial a professora Dra. Adriana Correia e o professor Dr. Tércio Paulo que contribuíram tão significativamente com a minha formação profissional e humana.

E por fim, a todos que de algum modo contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e me incentivaram ao longo dessa jornada.

“As palavras são, na minha nada humilde
opinião, nossa inesgotável fonte de magia”
- J.K. Rowling

RESUMO

O principal uso de água no país, em termo de quantidade utilizada, é para irrigação. Para regiões que sofrem de escassez contínua de água, como é o caso do semiárido brasileiro, a instalação de poços é um meio eficaz para a obtenção desta. Contudo, poços oriundos de solos cristalinos tendem a apresentar águas salinizadas, O efeito destes sais sobre as características dos solos irrigados é de grande importância para a manutenção da capacidade produtiva. Assim, se faz necessária a análise dos parâmetros físico-químicos a fim de determinar se a água pode ser utilizada sem malefícios ao solo. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo verificar o perigo de sodificação e salinização de águas em quinze poços subterrâneos provenientes de três regiões do estado do Ceará. Os parâmetros dureza, cálcio, magnésio, sódio e condutividade foram realizados no Laboratório de Química Ambiental do NUTEC. Utilizando-se da razão de adsorção de sódio e da condutividade, as amostras foram classificadas quanto ao perigo de sodificação e perigo de salinização. Os resultados obtidos mostram que as águas subterrâneas das regiões centro-oeste e centro-norte do estado podem ser utilizadas sem apresentar grandes riscos, mas para as águas oriundas da região nordeste do estado há o altíssimo risco de salinização e um considerável risco de sodificação dos solos de tal forma que estas águas não são consideradas aptas para irrigação.

Palavras-chave: Água. Irrigação. Razão de Adsorção de Sódio.

ABSTRACT

The main use of water in the country, in terms of quantity used, is for irrigation. For regions that suffer from continuous scarcity of water, as in Brazilian semiarid's case, the installation of wells is an efficient way for obtaining it. However, wells built in crystalline soils tend to store saline waters. The effect of these salts over the characteristics of irrigated soils is of great importance for the maintenance of productive capacity. Therefore, the analyses of the physicochemical parameters are necessary in order to determine whether the water can be used without harm to the soil. That said, the present work aims to verify the sodium hazard and the salinity hazard of fifteen groundwaters from three regions of the State of Ceará. The hardness, calcium, magnesium, sodium and conductivity parameters were performed at the Laboratório de Química Ambiental in NUTEC. Using the sodium adsorption ratio and the conductivity, the water samples were classified according to their sodium hazard and salinity hazard. The obtained results show that groundwaters from Midwest and North Center regions can be used without presenting great risks, but for groundwaters from Northeast regions there is a very high risk of salinization and a substantial risk of sodification of soils, so these waters are not suitable for irrigation.

Keywords: Water. Irrigation. Sodium Adsorption Ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Diagrama de classificação para água de irrigação	17
Figura 2	– Mapa do município A	19
Figura 3	– Mapa do município B	20
Figura 4	– Mapa do município C	21
Figura 5	– Volumetria de complexação – Dureza Total	23
Figura 6	– Volumetria de complexação – Dureza de Cálcio	24
Figura 7	– Fotômetro de chama utilizado para determinação do teor de sódio	25
Figura 8	– Condutivímetro utilizado	26
Figura 9	– Diagrama de classificação para água de irrigação - município A	29
Figura 10	– Diagrama de classificação para água de irrigação - município B	31
Figura 11	– Diagrama de classificação para água de irrigação - município C	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados médios obtidos das localidades do município A	28
Tabela 2 – Classificação das águas do município A quanto ao uso para irrigação	28
Tabela 3 – Resultados médios obtidos das localidades do município B	30
Tabela 4 – Classificação das águas do município B quanto ao uso para irrigação	31
Tabela 5 – Resultados médios obtidos das localidades do município C	32
Tabela 6 – Classificação das águas do município C quanto ao uso para irrigação	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RAS	Razão de Adsorção de Sódio
ANA	Agência Nacional de Águas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
LQA	Laboratório de Química Ambiental
NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
M _x	Município x (Onde x varia entre A, B e C)
L _x	Localidade x (onde x varia de 1 a 5)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivo Específico	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Águas subterrâneas	16
3.1.1	<i>Águas para fins de irrigação</i>	16
3.1.2	<i>Classificação de águas para fins de irrigação</i>	16
3.1.2.1	<i>Perigo de Salinidade</i>	17
3.1.2.2	<i>Perigo de Sodificação (Alcalinização)</i>	18
3.2	Características hidrogeológicas das localidades de análise	19
3.2.1	<i>Município A</i>	19
3.2.2	<i>Município B</i>	20
3.2.3	<i>Município C</i>	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	Razão de adsorção de sódio (RAS)	22
4.1.1	<i>Determinação da dureza total e cálcio</i>	22
4.1.2.1	<i>Preparo de solução tampão pH 10</i>	22
4.1.2.2	<i>Preparo da solução padrão de EDTA 0,01 M</i>	22
4.1.2.3	<i>Padronização da solução de EDTA</i>	22
4.1.3	<i>Dureza total (DT)</i>	23
4.1.4	<i>Dureza de Cálcio</i>	24
4.1.5	<i>Determinação de Sódio</i>	25
4.2	Condutividade	26
4.3	Classificação da água	27
5	RESULTADOS E DISCURSÃO	28
5.1	Município A	28
5.2	Município B	30
5.3	Município C	32
	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a agricultura, onde a irrigação é o setor responsável pelo uso de 66,1% da água potável consumida anualmente no país (ANA, 2019). Considerando a grande demanda de água potável deste setor e a disponibilidade irregular de corpos hídricos no território brasileiro, a captação de águas subterrâneas torna-se uma alternativa viável, principalmente em regiões semiáridas onde há uma acentuada escassez de água.

Visando-se garantir o melhor rendimento das colheitas e a manutenção das características físico-químicas dos solos irrigados, o laboratório de salinidade dos Estados Unidos criou uma classificação para água de irrigação quanto ao perigo de salinidade e perigo de sodificação (RICHARDS, 1954).

O alto teor de sódio em uma água destinada a irrigação, pode reduzir a permeabilidade de solos argilosos ou ainda ocorrer a troca catiônica do sódio com potássio ou amônio fazendo com que as raízes dos cultivos apodreçam. A alta concentração salina pode desencadear a salinização permanente do solo, dificultando assim o cultivo de diversas culturas (LIMA, 2009). Assim, se faz necessária a análise dos parâmetros físico-químicos para identificar se as águas subterrâneas obtidas podem apresentar potencial risco ao solo ou as colheitas.

Portanto, este trabalho teve como objetivo analisar águas subterrâneas de diferentes regiões do estado do Ceará por meio dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica a 25 °C, concentração de cálcio, magnésio e sódio. A partir dos resultados obtidos foram realizados os cálculos da Razão de Adsorção de Sódio e a verificação da classificação das águas, a qual foi realizada através do diagrama do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Classificar águas de poços utilizadas para irrigação de diferentes localidades do estado do Ceará de acordo com a Razão de Adsorção de Sódio.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar os parâmetros Condutividade Elétrica a 25 °C, dureza total, cálcio, magnésio e sódio das amostras;
- Calcular a Razão de Sódio (RAS);
- Classificar as amostras de acordo com o perigo de salinidade (C) e perigo de sodificação (S).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Águas subterrâneas

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (MMA, 2007 p.11). Estas correspondem a aproximadamente 30% da porção de água doce do planeta, as quais podem ser extraídas através da construção de poços.

A instalação de poços é uma prática comum em regiões que sofrem de escassez contínua de água, como é o caso do Semiárido brasileiro. Embora seja um meio eficaz para a obtenção de água esse método não garante a qualidade da mesma.

3.1.1 Águas para fins de irrigação

O principal uso de água no país, em termo de quantidade utilizada, é a irrigação. Em 2018 esse setor foi responsável pelo uso de 66,1% dos 1.101 m³/s de água consumidos (ANA, 2019 p.32).

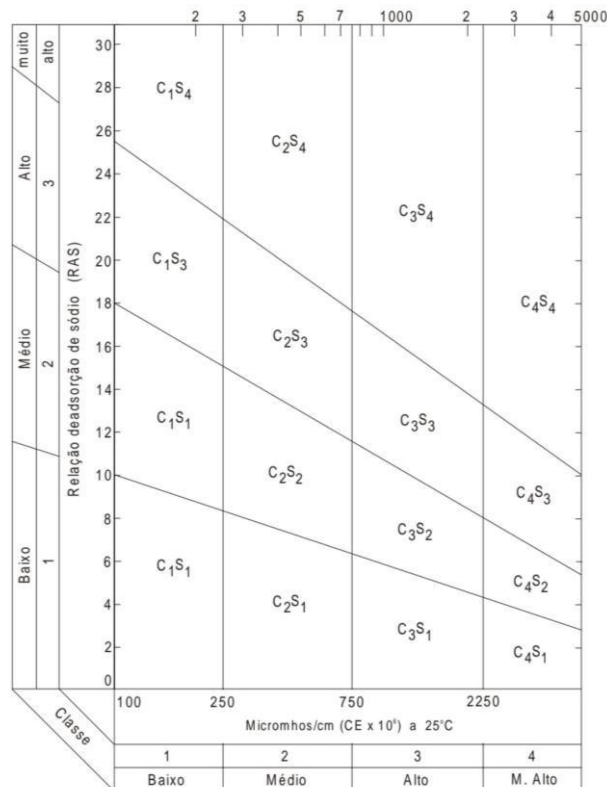
Os aspectos fundamentais a se considerar no uso da água de irrigação são aqueles que afetam diretamente o solo, o rendimento e qualidade das colheitas. (ALMEIDA, 2010 p.31). Toda água usada na irrigação contém sais dissolvidos. O efeito destes sais sobre as características químicas e físicas de solos irrigados é de grande importância para a manutenção da sua capacidade produtiva (CORDEIRO 2001 p.10).

3.1.2 Classificação de águas para fins de irrigação

Os esquemas de classificação estabelecidos para avaliação da qualidade da água são empíricos e baseados em algumas características químicas da água e fisiológica das plantas (CORDEIRO 2001 p.10).

A classificação adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954 p. 79-82) apresenta um diagrama de classificação para água de irrigação, Figura 1, onde se combina o Perigo de Salinidade (variando de C1 a C4) e a Razão de Adsorção de Sódio (variando de S1 a S4) para formar 16 classes de água.

Figura 1. Diagrama de classificação para água de irrigação



Fonte: Adaptado de Richards (1954).

3.1.2.1 Perigo de Salinidade

De acordo com Richards (1954), as águas são divididas em classes segundo sua condutividade elétrica (CE). A condutividade elétrica, é a expressão numérica da capacidade de se conduzir corrente elétrica, e depende da concentração iônica e da temperatura. O valor de condutividade elétrica é expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($1\ \mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1} = 1\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

C1 – Água de salinidade baixa (condutividade menor que $250\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): Pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de desenvolver problemas de salinidade

C2 – Água de salinidade média (condutividade entre 250 e $750\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): Pode ser usada para irrigação de cultivos com moderada tolerância a sais e sempre que houver um grau moderado de lixiviação.

C3 – Água de salinidade alta (condutividade entre 750 e $2250\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): Deve ser usada apenas para irrigação de cultivos com alta tolerância a sais. Não deve ser utilizada em solos com drenagem deficiente, em solos de drenagem adequada pode ser necessária práticas especiais de controle de salinidade.

C4 – Água de salinidade muito alta (condutividade entre 2250 a $5000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): Sob

condições normais, não é apropriada para irrigação. Ocasionalmente pode ser usada em circunstâncias especiais, como solos muito permeáveis com adequada drenagem, devendo-se aplicar um excesso de água para uma boa lixiviação e só cultivar culturas altamente tolerantes a sais.

Para águas com valor de condutividade acima de $5000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ocorre a extrapolação do diagrama apresentado na figura 1, obtendo-se assim uma água de classificação C5, sendo esta uma água de salinidade excessivamente elevada e que não deve nunca ser usada para irrigação (FUNCEME, 2014)

3.1.2.2 Perigo de Sodificação (Alcalinização)

A proporção de sódio considerada prejudicial na irrigação é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois estes elementos agem no sentido de deslocar o sódio contido no solo (troca catiônica), ou seja, águas com teor de sódio elevado ou com teor reduzido dos elementos cálcio e magnésio tendem a influenciar a redução da permeabilidade do solo, favorecendo o encharcamento das raízes e dificultando o desenvolvimento das plantas (LIMA, 2009).

As águas são divididas em classes segundo a razão de adsorção de sódio (RAS) que pode ser calculada através da Equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}) \quad (1)$$

Com isso, Richards (1954) classifica as águas em quatro classes (S1 a S4) a depender dos valores de RAS e de CE.

S1 – Água com baixo teor de sódio: Pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação.

S2 – Água com médio teor de sódio: Só deve ser usada em solos de textura arenosa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. Não deve ser usada em solos argilosos

S3 – Água com alto teor de sódio: Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável (troca catiônica entre o sódio e potássio ou amônio) na maior parte dos solos.

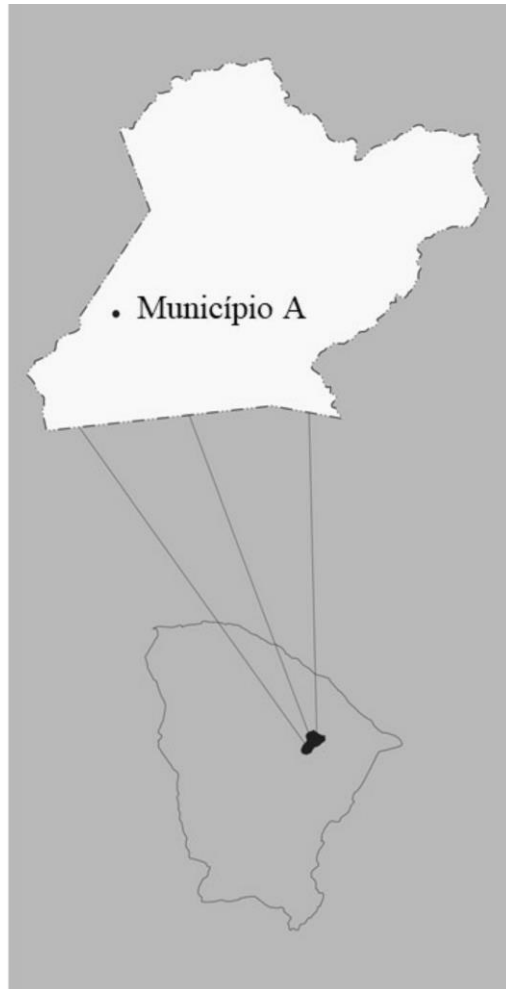
S4 – Água com teor muito alto de sódio: É, geralmente, inadequada para irrigação.

3.2 Características hidrogeológicas das localidades de análise

3.2.1 Município A

O município A (Figura 2), situa-se nos sertões de Quixeramobim, porção nordeste do estado do Ceará. Compreende uma área de 870 km². No quadro geológico, há o predomínio do embasamento cristalino, ou seja, rochas ígneas e metamórficas (CPRM, 1998).

Figura 2: Mapa do município A



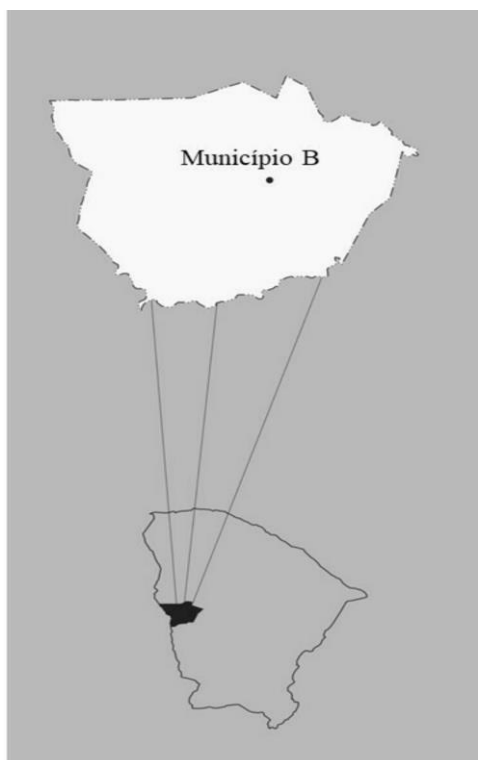
Fonte: Adaptado de CPRM (1998).

O sódio é um dos constituintes majoritários em rochas ígneas (28.000 mg/Kg), assim como o cálcio (25.700 mg/Kg). Já o magnésio não é considerado abundante nesse tipo de rocha (17.600 mg/kg) (CELLIGOI, 1999). Em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido é, na maior parte das vezes, salinizada (CPRM, 1998).

3.2.2 Município B

O município B (Figura 3), situa-se na porção centro-oeste do estado do Ceará. Compreende uma área de 2.770 km². No quadro geológico, há o predomínio do embasamento cristalino, ou seja, rochas ígneas e metamórficas, o que contribui na maior parte das vezes, para que a água fique salinizada (CPRM, 1998).

Figura 3. Mapa do município B



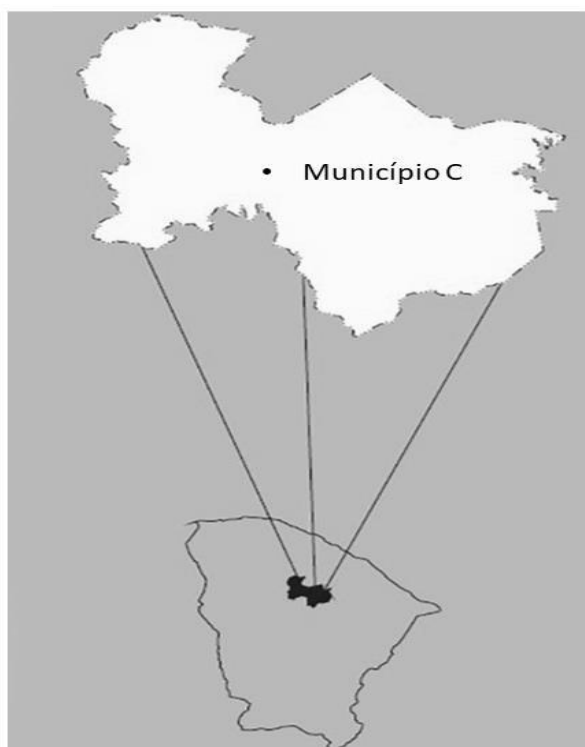
Fonte: Adaptado de CPRM (1998).

Há também os depósitos Aluvionares (areia, cascalho e argilas), que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. Normalmente, a alta permeabilidade dos terrenos arenosos produz vazões significativas (CPRM, 1998).

3.2.3 Município C

O município C (Figura 4), situa-se na porção cento-norte do estado do Ceará. Compreende uma área de 2.883 km².

Figura 4: Mapa do município C



Fonte: Adaptado de CPMR (1998).

No quadro geológico, há o predomínio do embasamento cristalino, ou seja, rochas ígneas e metamórficas. Há também os depósitos Aluvionares (areia, cascalho e argilas), e coberturas sedimentares (CPRM, 1998).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram coletadas em cinco distritos localizados em três municípios do estado do Ceará, durante os meses de fevereiro, março e abril de 2020.

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).

A realização das análises dos parâmetros condutividade, dureza total, cálcio, magnésio e sódio seguiram os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Todos os ensaios foram realizados, em duplicatas, no Laboratório de Química Ambiental do NUTEC.

4.1 Razão de adsorção de sódio (RAS)

4.1.1 Determinação da dureza total e cálcio

As determinações de dureza total, magnésio e cálcio foram realizadas por titulação de complexação da amostra com EDTA.

A reação de complexação do EDTA (simbolizado por Y) com o cálcio e magnésio pode ser observada através das Reações 1 e 2, respectivamente:



4.1.2.1 Preparo de solução tampão pH 10

Pesou-se 67,5 g de cloreto de amônio, dissolvendo-o em 570 mL de hidróxido de amônio. Transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 1 L e aferiu-se com água destilada.

4.1.2.2 Preparo da solução padrão de EDTA 0,01 M

Pesou-se 3,723 g de EDTA P.A. que foi dissolvido em água destilada. Transferiu-se para um balão volumétrico de 1 L e aferiu-se.

4.1.2.3 Padronização da solução de EDTA

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, transferiu-se uma alíquota de 20 mL da solução padrão de óxido de zinco (ZnO) 0,01M para um Erlenmeyer. Neste, foram adicionados 20 mL de água destilada, 5 mL de hidróxido de amônio P.A. e uma pitada do indicador negro de ericocomo T. por fim, essa solução foi titulada com a solução de EDTA

0,01 M até mudança de coloração de rosa para azul, o volume gasto nessa titulação é utilizado na Equação 2 para a obtenção do fator.

$$F = \frac{N_{ZnO} \times V_{ZnO}}{N_{EDTA} \times V_{EDTA}} \quad (2)$$

Onde:

F = Fator de correção da solução de EDTA 0,01 M;

N_{ZnO} = Concentração da solução de ZnO 0,01 M;

V_{ZnO} = Volume da solução de ZnO 0,01 M;

N_{EDTA} = Concentração da solução de EDTA 0,01 M;

V_{EDTA} = Volume gasto da solução de EDTA 0,01 M na titulação.

4.1.3. Dureza total (DT)

A presença de sais de cálcio e magnésio são responsáveis pela dureza da água. A partir da determinação da concentração total de Ca^{2+} e Mg^{2+} verifica-se o grau da dureza total de cada amostra, através da volumetria de complexação.

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, transferiu-se uma alíquota de 50 mL da amostra para um Erlenmeyer e tamponou para pH 10 com a solução tampão hidróxido de amônio e cloreto de amônio. Em seguida, adicionou-se uma pitada do indicador negro de eriocromo T e titulou-se com EDTA. – 0,01 M, até mudança de coloração de vinho para azul (Figura 5)

Figura 5: Volumetria de complexação – Dureza Total

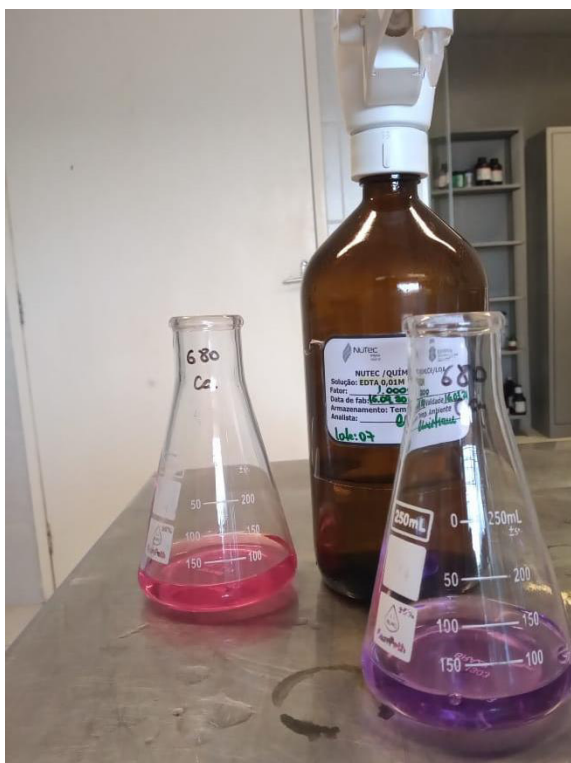


Fonte: Autora

4.1.4 Dureza de Cálcio

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, transferiu-se uma alíquota de 50 mL da amostra para um Erlenmeyer. Neste, foram adicionados 10 mL de hidróxido de sódio 10% e uma pitada do indicador murexida. Por fim, essa solução foi titulada com EDTA 0,01 M até mudança de coloração de rosa para roxo (Figura 6).

Figura 6: Volumetria de complexação – Dureza de Cálcio



Fonte: Autora

A concentração de cálcio será expressa em ($\text{mg Ca}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$), segundo a Equação 3:

$$\text{Ca}^{2+} (\text{mg Ca}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{V \times F \times M \times 400}{V_{\text{Amostra}}} \quad (3)$$

Onde:

V = volume médio gasto da solução EDTA 0,01 M na titulação da dureza de Cálcio;

F = fator de correção da solução de EDTA 0,01 M;

M = concentração da solução de EDTA 0,01 M;

A concentração de magnésio será expressa em ($\text{mgMg}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$), segundo a Equação 4:

$$\text{Mg}^{2+} (\text{mgMg}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{(V_{DT} - V_{Ca}) \times F \times M \times 243}{V_{\text{amostra}}} \quad (4)$$

Onde:

V_{DT} = Volume médio gasto da solução de EDTA 0,01 M na titulação da dureza total;

V_{Ca} = Volume médio gasto da solução de EDTA 0,01 M na titulação da dureza de Cálcio;

F = fator de correção da solução de EDTA 0,01 M;

M = Concentração da solução de EDTA 0,01 M;

4.1.5 Determinação de Sódio

A fotometria de chama é uma técnica analítica baseada em espectroscopia atômica. Nesse caso, a amostra contendo cátions metálicos é inserida em uma chama e os elementos, ao receberem energia proveniente da chama, geram espécies excitadas que, ao retornarem para o estado fundamental, liberam parte da energia recebida na forma de radiação, em comprimentos de onda característicos para cada elemento químico (AKUMURA, 2004).

Preparou-se uma solução padrão $100 \text{ mgNa}^+\text{L}^{-1}$ pesando-se 0,2543 g de cloreto de sódio (NaCl), dissolvendo-se em água destilada e deionizada e avolumando-se em balão volumétrico de 1 L. Para construir a curva de calibração, a partir dessa solução foram preparadas as diluições nas seguintes concentrações 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 e 15,0 $\text{mgNa}^+\text{L}^{-1}$. A leitura das soluções padrões foi feita em um fotômetro de chama (Figura 7) da marca DIGIMED modelo DM – 61.

Figura 7: Fotômetro de chama utilizado para determinação do teor de sódio



Fonte: Autora

Após o equipamento ter sido ligado à rede elétrica, ligou-se a força e o compressor, abriu-se a válvula de gás, acionou-se a ignição até acender a chama, regulando-se a pressão do ar entre 0,5 a 1,0 bar. Em seguida, regulou-se a válvula de gás, selecionou-se a sensibilidade e ajustou-se o zero e fez-se a leitura da solução padrão de maior concentração ($15 \text{ mgNa}^+\text{L}^{-1}$). Repetiu-se a leitura até não ser mais necessário ajustar a sensibilidade nem o zero, fez-se então a leitura das outras soluções padrões. As amostras de água foram diluídas transferindo-se 5 mL de cada água para balões volumétricos de 1 L e avolumando-se com água destilada e deionizada. As leituras das amostras foram feitas depois de confirmada os padrões para a curva e dentro da faixa conhecida. O valor encontrado da intensidade de radiação no fotômetro de chama é relacionado ao gráfico feito com os padrões conhecidos que dá diretamente o valor da concentração. O resultado é expresso em $\text{mg Na}^+\text{L}^{-1}$.

A razão de adsorção de sódio foi calculada, para todas as amostras, através da Equação 1 supracitada.

4.2. Condutividade

Para a determinação da condutividade foi usado um condutivímetro da marca Digimed, modelo DM 32, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Condutivímetro utilizado para os ensaios de condutividade



Fonte: Autora

A calibração do condutivímetro foi realizada com uma solução padrão 0,01M de KCl, que corresponde a $1,412 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Para a leitura das amostras lavou-se o eletrodo com água destilada e o enxugou com um papel macio, em seguida fez-se a imersão do eletrodo em um Becker contendo 100 mL da amostra. Após a estabilização obteve-se o resultado mostrado no visor do condutivímetro.

4.3 Classificação da água

Com os valores obtidos de condutividade elétrica (CE) e de SAR, é possível classificar a água para uso em irrigação utilizando o diagrama apresentado na Figura 1.

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: M_{AL1} , M_{AL2} , M_{AL3} , M_{AL4} e M_{AL5} .

Tabela 1: Resultados médios obtidos das localidades do município A.

Parâmetros	Localidades				
	M_{AL1}	M_{AL2}	M_{AL3}	M_{AL4}	M_{AL5}
Dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$)	2.097,4 \pm 0,2	1.221,1 \pm 0,1	968,3 \pm 0,1	2.205,8 \pm 0,1	427,1 \pm 0,1
Cálcio ($\text{mgCa}^{2+}\text{L}^{-1}$)	429,1 \pm 0,1	149,3 \pm 0,1	135,7 \pm 0,2	445,2 \pm 0,1	55,3 \pm 0,1
Magnésio ($\text{mgMg}^{2+}\text{L}^{-1}$)	443,5 \pm 0,1	206,1 \pm 0,1	153,1 \pm 0,1	205,2 \pm 0,3	70,1 \pm 0,2
Sódio ($\text{mgNa}^+\text{L}^{-1}$)	538,8 \pm 0,1	701,7 \pm 0,1	325,8 \pm 0,2	779,9 \pm 0,2	324,7 \pm 0,1
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	5.077,0 \pm 0,1	5.022,1 \pm 0,1	4.615,4 \pm 0,1	3.538,7 \pm 0,2	1.230,9 \pm 0,1
RAS	4,35	8,73	4,58	7,66	6,83

Fonte: Autora

A resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, CONAMA não estabelece valores para os parâmetros analisados (dureza total, cálcio, magnésio, sódio e condutividade) na água de irrigação.

A RAS, calculada com base nas concentrações de sódio, cálcio e magnésio, associado com os valores de condutividade, fornece a classificação da água, Tabela 2.

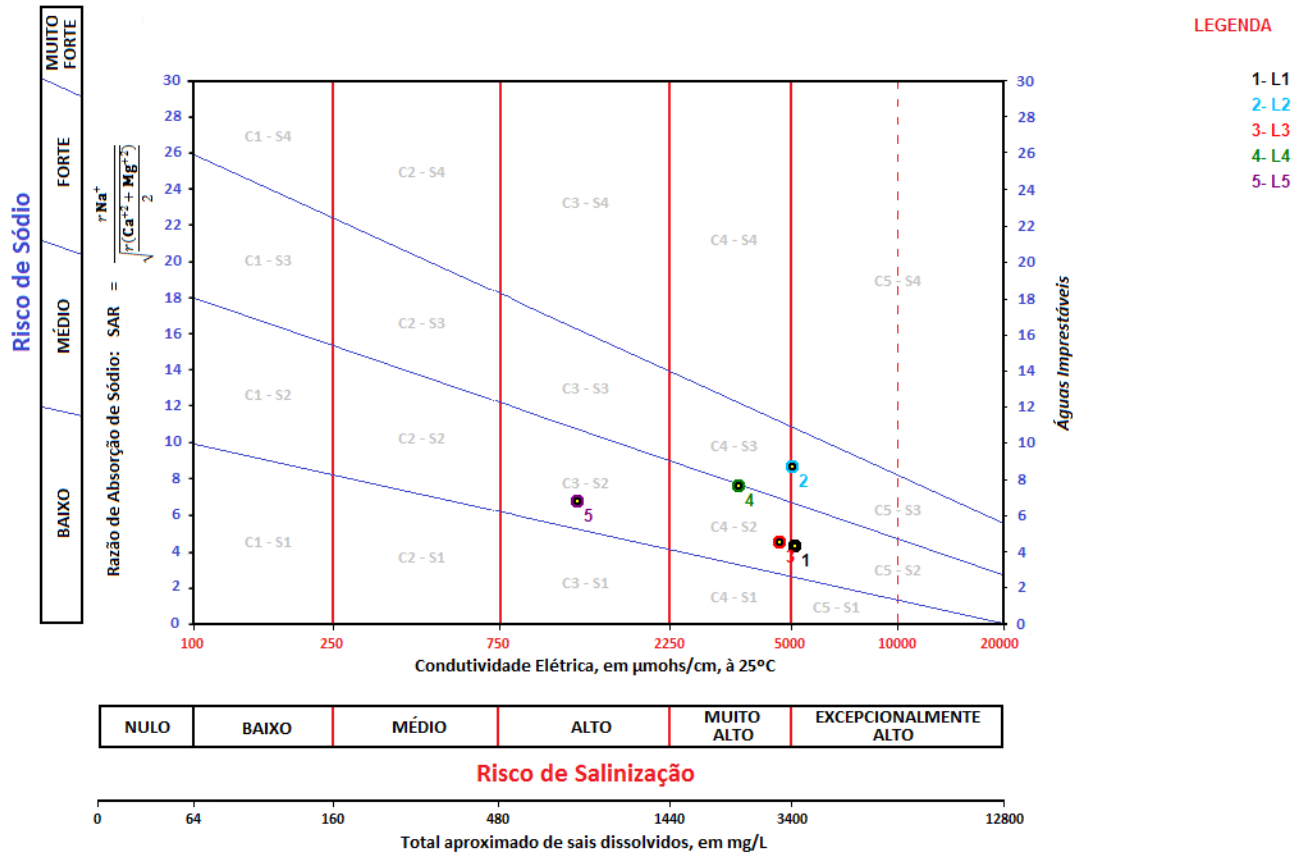
Tabela 2: Classificação das águas do município A quanto ao uso para irrigação.

Município A Localidades	Perigo de salinidade (C) e perigo de sódio (S)		
	RAS	Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Classificação da água
M_{AL1}	4,35	5.077,0	C5S2
M_{AL2}	8,73	5.022,1	C5S3
M_{AL3}	4,58	4.615,4	C4S2
M_{AL4}	7,66	3.538,7	C4S2
M_{AL5}	6,83	1.230,9	C3S2

Fonte: Autora

A Figura 9 mostra a classificação das águas, com os valores obtidos de condutividade elétrica (CE) e a razão de adsorção de sódio, em relação ao perigo de salinidade e perigo de sódio, para as cinco amostras coletas nas localidades do município A.

Figura 9: Diagrama de classificação para água de irrigação - município A



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014).

Observou-se que a amostra da localidade 1 apresentou o menor valor de RAS 4,35 e seu valor de condutividade foi $5.077,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada como C5S2. Nota-se que embora possua um teor de sódio considerado médio a salinidade excessivamente alta faz com que esta água seja considerada imprópria para irrigação.

Já a amostra da localidade 2, foi a que apresentou o maior valor de RAS 8,73 e seu valor de condutividade foi $5.022,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada como C5S3. De tal forma que, devido ao alto teor de sódio e a salinidade excessivamente elevada, esta água é considerada imprópria para a irrigação.

A amostra da localidade 3 teve o valor de RAS de 4,58 e o valor da condutividade de $4.615,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ podendo ser classificada como C4S2, assim como a amostra da localidade 4 com RAS de 7,66 e condutividade de $3.538,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. O médio teor de sódio e a salinidade

consideravelmente alta dessas águas, faz com que possam ser utilizadas para irrigação ocasional em solos de boa permeabilidade.

A amostra da localidade 5 teve o valor do SAR de 6,83 e o valor da condutividade de $1.230,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e pode ser classificada como C3S2. O médio teor de sódio e a alta salinidade dessa água, faz com que ela possa ser utilizada na irrigação para culturas tolerantes e solos de boa drenagem.

5.2 Município B

A tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas captadas de poços em cinco localidades do município B: M_{BL1} , M_{BL2} , M_{BL3} , M_{BL4} e M_{BL5} .

Tabela 3: Resultados médios obtidos das localidades do município B.

Parâmetros	Localidades				
	M_{BL1}	M_{BL2}	M_{BL3}	M_{BL4}	M_{BL5}
Dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$)	238,8±0,1	341,0±0,1	439,2±0,1	690,8±0,1	659,8±0,2
Cálcio ($\text{mgCa}^{2+}\text{L}^{-1}$)	51,4±0,1	91,3±0,2	82,1±0,1	136,3±0,1	131,7±0,2
Magnésio ($\text{mgMg}^{2+}\text{L}^{-1}$)	26,6±0,3	27,2±0,1	57,0±0,1	85,2±0,1	80,1±0,1
Sódio ($\text{mgNa}^+\text{L}^{-1}$)	93,9±0,1	108,5±0,1	23,0±0,1	360,6±0,1	72,9±0,1
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	813,9±0,1	1.996,2±0,1	1.006,7±0,1	2.941,0±0,1	1.875,0±0,1
RAS	2,64	2,55	0,48	5,96	1,22

Fonte: Autora

A resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, CONAMA não estabelece valores para os parâmetros analisados (dureza total, cálcio, magnésio, sódio e condutividade) na água de irrigação.

A RAS, calculada com base nas concentrações de sódio, cálcio e magnésio, associado com os valores de condutividade, fornece a classificação da água, Tabela 4.

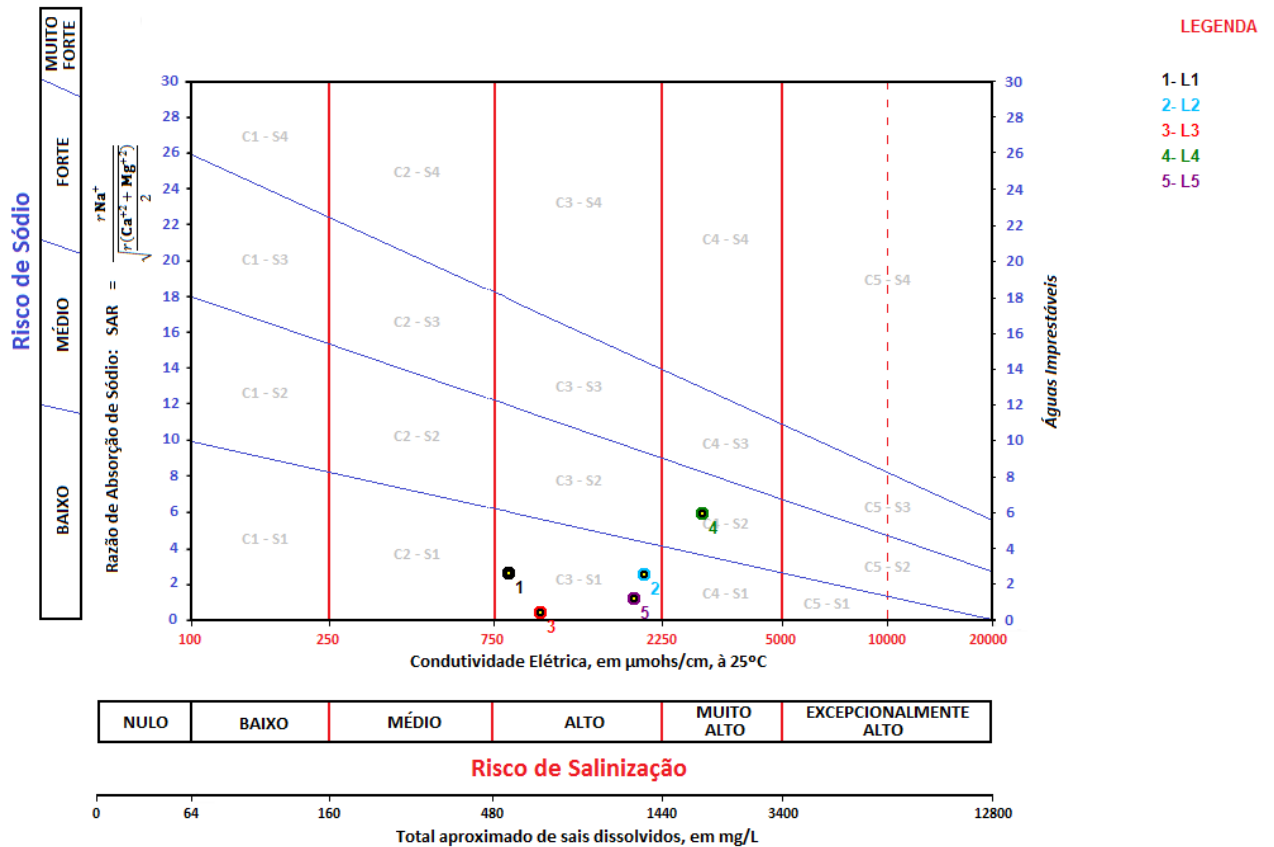
Tabela 4 – Classificação das águas do município B quanto ao uso para irrigação.

Município B	Perigo de salinidade (C) e perigo de sódio (S)			
	Localidades	RAS	Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Classificação da água
	M _B L ₁	2,64	813,9	C3S1
	M _B L ₂	2,55	1.996,2	C3S1
	M _B L ₃	0,48	1.006,7	C3S1
	M _B L ₄	5,96	2.941,0	C4S2
	M _B L ₅	1,22	1.875,0	C3S1

Fonte: Autora.

A Figura 10 mostra a classificação das águas, com os valores obtidos de condutividade elétrica (CE) e a razão de adsorção de sódio, em relação ao perigo de salinidade e perigo de sódio, para as cinco amostras coletas nas localidades do município B.

Figura 10: Diagrama de classificação para água de irrigação - município B



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

Observou-se que a amostra da localidade 1 apresentou valor de RAS 2,64 e de condutividade de $813,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada como C3S1, assim como as amostras da localidade 2 com RAS de 2,55 e condutividade de $1.996,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, localidade 3 que obteve a RAS de menor valor 0,48 e condutividade de $1.006,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e da localidade 5 com RAS de 1,22 e condutividade de $1.875,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Onde o baixo teor de sódio e a alta salinidade dessas águas, faz com que possam ser utilizadas para irrigação, devendo-se apenas garantir a boa drenagem do solo.

Já a amostra da localidade 4 apresentou o maior valor de RAS 5,96 e seu valor de condutividade foi de $2.941,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada com C4S2. De tal forma que, mesmo com o médio teor de sódio, a salinidade consideravelmente alta faz com que o uso desta água para irrigação seja apenas ocasional.

5.3 Município C

A Tabela 5 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas captadas de poços em cinco localidades do município C: McL₁, McL₂, McL₃, McL₄ e McL₅.

Tabela 5: Resultados médios obtidos das localidades do município C.

Parâmetros	Localidades				
	McL ₁	McL ₂	McL ₃	McL ₄	McL ₅
Dureza total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	256,6±0,1	366,9±0,1	519,3±0,1	206,5±0,1	507,3±0,2
Cálcio (mgCa ²⁺ L ⁻¹)	47,84±0,1	147,68±0,2	214,78±0,1	93,3±0,1	105,6±0,2
Magnésio (mgMg ²⁺ L ⁻¹)	140,97±0,3	182,51±0,1	256,92±0,1	100,64±0,1	57,1±0,1
Sódio (mgNa ⁺ L ⁻¹)	119,07±0,1	81,63±0,1	179,66±0,1	60,59±0,1	247,4±0,1
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1.658,6±0,1	1.535,5±0,1	2.261,0±0,1	1.121,6±0,1	2.720,0±0,1
RAS	1,97	1,06	1,96	1,04	4,82

Fonte: Autora

A resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, CONAMA não estabelece valores para os parâmetros analisados (dureza total, cálcio, magnésio, sódio e condutividade) na água de irrigação.

A RAS, calculada com base nas concentrações de sódio, cálcio e magnésio,

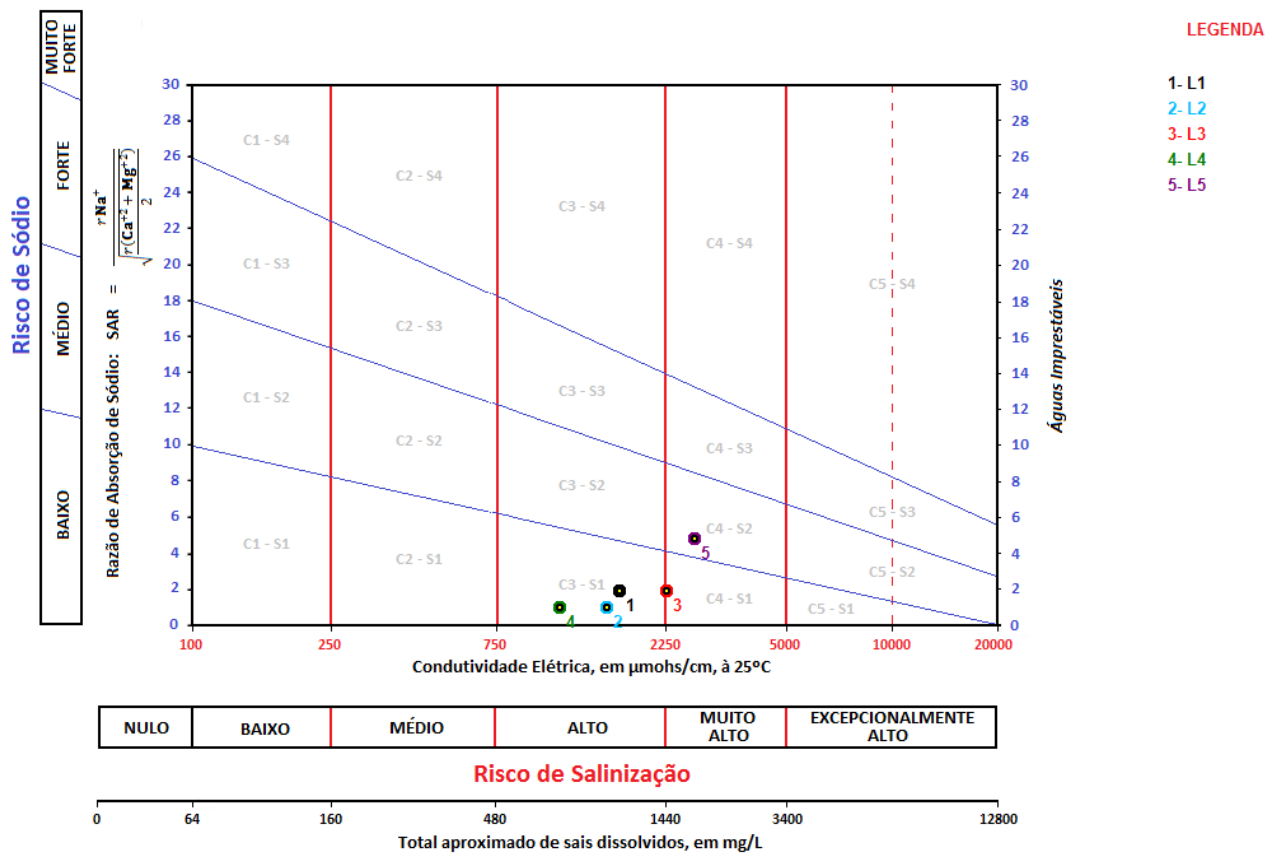
associado com os valores de condutividade, fornece a classificação da água, Tabela 6.
 Tabela 6: Classificação das águas do município C quanto ao uso para irrigação.

Município C Localidades	Perigo de salinidade (C) e perigo de sódio (S)		
	RAS	Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Classificação da água
McL ₁	1,97	1.658,6	C3S1
McL ₂	1,06	1.535,5	C3S1
McL ₃	1,96	2.261,0	C4S1
McL ₄	1,04	1.121,6	C3S1
McL ₅	4,82	2.720,0	C4S2

Fonte: Autora

A Figura 11 mostra a classificação das águas, com os valores obtidos de condutividade elétrica (CE) e a Razão de adsorção de sódio, em relação ao perigo de salinidade e perigo de sódio, para as cinco amostras coletas nas localidades do município C.

Figura 11: Diagrama de classificação para água de irrigação - município C



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

Observou-se que a amostra da localidade 1 apresentou valor de RAS 1,97 e de condutividade de $1.658,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada como C3S1, assim como as amostras das localidades 2, que obteve a RAS de menor valor 1,06 e condutividade de $1.535,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e localidade 4 com RAS de 1,04 e condutividade de $1.121,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Onde o baixo teor de sódio e a alta salinidade dessas águas, faz com que possam ser utilizadas para irrigação, devendo-se apenas garantir a boa drenagem do solo.

Já a amostra da localidade 3 apresentou RAS de 1,96 e seu valor de condutividade foi de $2.261,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo ser classificada com C4S1, assim como a amostra da localidade 5 que apresentou a RAS de maior valor 4,82 e condutividade de $2.720,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. De tal forma que, mesmo com o baixo teor de sódio, a salinidade consideravelmente alta faz com que o uso desta água para irrigação seja apenas ocasional.

De modo geral, todas as amostras apresentaram salinidade variando entre alta e excessivamente alta. Segundo Silva (2011), esse problema ocorre com frequência nas regiões áridas e semiáridas, como é o caso do Nordeste brasileiro, pois a lixiviação e o transporte de sais solúveis são restritos devido às baixas precipitações e às altas taxas de evaporação. Segundo OLIVEIRA M. (1998), águas classificadas com alta salinidade (C3) tendem a ter baixo risco de sodificação (S1) e, quando a salinidade se enquadra em C4 o risco de sódio migra para S2. Tendência esta observada na maioria das amostras do presente trabalho.

6. CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios de dureza total, cálcio, magnésio e sódio foi possível calcular a RAS para as amostras. Estas, foram classificadas no sistema CxSx através da combinação da RAS com os valores de condutividade elétrica.

As amostras coletadas no município A tiveram as concentrações mais elevadas para os parâmetros analisados, quando comparadas com os resultados obtidos para os demais municípios. O teor de sódio, classificado como médio e alto, nas águas deste município e a elevada concentração salina fez com que suas águas fossem consideradas impróprias para irrigação, uma vez que apresentam alto risco de sodificação e altíssimo risco de salinização dos solos.

Já as amostras coletadas no município B embora tivessem apresentado médio, ou na maior parte das vezes, baixo teor de sódio, apresentaram alta salinidade. Contudo, esta combinação fez com que suas águas fossem consideradas, de modo geral, aptas para a irrigação, devendo-se apenas prezar por uma boa drenagem, já que estas apresentam baixo risco de sodificação e um alto risco de salinização dos solos.

O município C apresentou baixo teor de sódio em todas as amostras coletadas e salinidade alta ou excessivamente alta, de tal forma que suas águas podem ser consideradas aptas para irrigação ocasional ou irrigação contínua nos casos de alta salinidade, uma vez que estas águas não apresentam risco de sodificação, mas apresentam um alto risco de salinização dos solos.

De modo geral, os resultados obtidos mostram que as águas subterrâneas dos municípios B e C podem ser utilizadas sem apresentar grandes riscos, uma vez garantida a boa drenagem do solo, através da construção de valas ou canais a fim de garantir o escoamento da água. Mas para as águas oriundas do município A há o altíssimo risco de salinização e um considerável risco de sodificação dos solos de tal forma que estas águas não são consideradas aptas para irrigação.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. 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 25/03/2020.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Ministério do desenvolvimento Regional. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Informe Anual, Brasília, 2019. Disponível em < <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf> > Acesso em 25/03/2020.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade da água para fins de irrigação (conceitos básicos e práticas)** 1. Ed. Petrolina; Embrapa Semi-árido, 2001.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. Ed. Cruz das Almas; Bahia, 2010
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and Improvement of saline and Alkali Soils. Washington D.C, U.S. **Salinity Laboratory**, 1954.
- LIMA, E. A.; BERALDO, V.J.; GUILERA, S. C.; BRANDÃO, L. C.; COSTA, E. A. **Mapa de variação da qualidade das águas subterrâneas da região Nordeste do Brasil para uso na irrigação**. I Congresso Nacional de Meio Ambiente Subterrâneo. EA de Lima, 2009.
- 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 17/06/2020.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras – Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, 2011.
- APHA - American Public Health Association. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington-DC, 2012.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Metodologia e Recursos Hídricos. **Qualigraf – classificação das águas para fins de irrigação (SAR/USSL)**. Software, versão 1.17 - 2014.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 396** – Qualidade da água. 3 de abril de 2008. Publicada no DOU nº 66 de 7 de abril de 2008. Seção 1. Pág. 64 - 68.
- CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. *Geografia*, Londrina, v 8, n. 1, p. 91 – 97, 1999.
- OKUMURA, F.; CAVALHEIRO, E T. G.; NOBREGA, J. A. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 832-836, out. 2004.

SILVA, I.; FONTES, L.; TAVELLA, L.; OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, A. Qualidade da água na irrigação. *ACSA - Agropecuária Científica no Semiárido*, v.07, n 03 julho/setembro 2011 p. 01 – 15.

OLIVEIRA M.; MAIA C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.17-21, 1998