



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

## CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA USO NA IRRIGAÇÃO

### CLASSIFICATION OF GROUNDWATER FOR USE IN IRRIGATION

Erika de Almeida Sampaio Braga<sup>1</sup>; Marisete Dantas de Aquino<sup>1</sup>; Carlos Márcio Soares Rocha<sup>1</sup>, Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes<sup>2</sup>, Rebeca Felipe dos Santos Silva<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, Ceará.

<sup>2</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, NUTEC, Fortaleza, Ceará.

✉ andreierika@yahoo.com.br, marisete@ufc.br, cmarcio75@yahoo.com.br, luzia.santos@nutec.ce.gov.br, rebeca-felipe@hotmail.com

#### Resumo

Em regiões que sofrem de escassez contínua de água, a instalação de poços é uma prática comum. Embora seja um meio eficaz para a obtenção de água, esse método não garante a qualidade da água. No Estado do Ceará, predomina o embasamento das rochas cristalinas e, como consequência, as águas contêm elevadas concentrações de íons que conferem uma alta salinidade à água. Uma das utilizações dessas águas é para a irrigação e, águas com alta salinidade, causam danos às espécies vegetais. Por essa razão, torna-se necessário uma avaliação da qualidade da água para esse uso. O estudo foi realizado em águas subterrâneas captadas de poços localizadas em cinco localidades de dois diferentes municípios do Estado do Ceará. As amostras de água foram coletadas durante o período de janeiro a março de 2020 e os parâmetros selecionados foram cálcio, magnésio e sódio, para o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e, a Condutividade Elétrica (CE), para fazer a classificação das águas, segundo os riscos de sodificação (sódio) e salinização. As análises seguiram as metodologias descritas no Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater (APHA, 2012) e foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Conforme os resultados obtidos para as classes de riscos, pode-se concluir que as águas subterrâneas estavam impróprias para o uso em irrigação, a não ser que precauções especiais sejam tomadas para o uso.

#### Abstract

In regions under continuous water shortage, implementation of wells is a common practice. Although it is an effective means of obtaining water, this method does not guarantee water quality. In the state of Ceará, the basement of crystalline rocks predominates and, consequently waters contain high concentrations of ions that confer a high salinity to water. These waters are used for irrigation and, waters with high salinity, cause damage to plant species. For this reason, it is necessary to evaluate the water quality for this use. The study was conducted with groundwater from wells located in five sites in two different municipalities in the state of Ceará. Water samples were taken from January to March 2020 and the selected parameters analyzed were calcium, magnesium and sodium, for the calculation of the Sodium Adsorption Ratio, and Electric Conductivity to make the classification of waters, according to the risks of sodification (sodium) and salinization. The analyses followed the methodologies described in the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) and were carried out at the Environmental Chemistry Laboratory of the Industrial Technology Foundation of Ceará (NUTEC). According to the results obtained for risks classes, it can be concluded that the groundwater was unsuitable for irrigation, unless special precautions are taken for use.

#### Palavras-chave:

Águas subterrâneas, Razão de Adsorção de sódio, Condutividade, Classificação da água, uso em irrigação.

#### Keywords

Groundwater, Sodium Adsorption Ratio, Conductivity, Water classification, use in irrigation.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29967>

## 1. INTRODUÇÃO

### 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). As águas subterrâneas correspondem a 30% da porção de água doce do planeta. Essas águas 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 água.

### 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 m<sup>3</sup>/s de água consumidos. (ANA, 2019).

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). 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).

### 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)

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS ou SAR) é utilizada, juntamente com a Condutividade Elétrica (CE), para a classificação da água para fins de irrigação. É uma razão que indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo, e quanto maior a RAS menos apropriada a água será para irrigação.

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).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (meq. L^{-1})$$
 Com isso, as águas são divididas em classes segundo a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) que pode ser calculada através da equação 1.

(1)

Dentre os critérios para classificação da água para fins de irrigação, um dos mais aceitos atualmente é a classificação proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL). Esta classificação baseia-se na RAS e na CE da água e as categorias de água para irrigação segundo o USSL (FUNCEME, 2014): são em relação aos:

#### Risco de Sódio (RAS)

**S1:** - águas fracamente sódicas. Podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais;

**S2:** - águas medianamente sódicas. Apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica) com boa permeabilidade;

**S3:** - águas altamente sódicas. Há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo os gípsíferos. Exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica), e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância ao sódio;

**S4:** - águas extremamente sódicas. Geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca, ou pelo menos média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis ricos em carbonatos.

#### Risco de Salinidade ou salinização (condutividade elétrica-CE)

As águas são divididas em classes (C0 a C5) 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  $\mu S.cm^{-1}$  ( $1 \mu mho,cm^{-1} = 1 \mu S.cm^{-1}$ )

**C0:** - águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;

**C1:** - águas de salinidade fraca, CE compreendida entre 100 e 250  $\mu S.cm^{-1}$  a 25° C. Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes provenientes da salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca;

**C2:** - águas de salinidade média, CE entre 250 e 750  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ainda serem cultivados na maioria dos casos;

**C3:** - águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2.250  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização, e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados;

**C4:** - águas de salinidade muito alta, com CE entre 2.250 e 5.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Geralmente não servem para irrigação, podendo ser, excepcionalmente, utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nestas condições;

**C5:** - águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5.000 e 20.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . São águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. A única exceção é o cultivo de palmeiras.

## Características hidrogeológicas dos municípios

### Município A

O município A, situa-se nos sertões de Quixeramobim, porção nordeste do estado do Ceará e compreende uma área de 870  $\text{km}^2$ . No quadro geológico, há o predomínio de rochas do embasamento cristalino. 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 (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM, 1998).

### Município B

O município B, situa-se na porção centro-oeste do estado do Ceará e compreende uma área de 2.770  $\text{km}^2$ . No quadro geológico, além do predomínio de rochas do embasamento cristalino, apresenta também os domínios geológicos de sedimentos da Formação Serra Grande e os depósitos Aluvionares. Os domínios geológicos de sedimentos da Formação Serra Grande é o domínio de mais alto potencial do ponto de vista hidrogeológico. Entretanto, nesse município, em função da área de ocorrência desses sedimentos ser muito restrita (apenas no extremo oeste), esse domínio decresce em importância. Os depósitos Aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM, 1998).

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi fazer a classificação quanto aos riscos de sódio (S) e de salinização (C) das amostras de águas brutas coletadas em poços de cinco localidades, situadas nesses dois municípios do estado do Ceará de acordo com a Razão de Adsorção de Sódio (RAS em  $\text{meqL}^{-1}$ ) e a Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) a 25 °C.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras das águas de poço foram coletadas em cinco localidades situadas em dois municípios do estado do Ceará, durante os meses de janeiro, fevereiro e março 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).

Para a realização das análises dos parâmetros condutividade, cálcio, magnésio e sódio foram seguidos os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Para a determinação da condutividade foi utilizado um condutivímetro da marca Digmed, modelo DM-32 e, para a determinação de sódio foi utilizado um fotômetro de chama da marca Digmed, modelo DM-61.

A razão de Adsorção de Sódio (RAS) foi calculada com base nas concentrações de sódio, cálcio e magnésio que associado com os valores de condutividade elétrica (CE), forneceu a classificação da água quanto aos riscos de salinização e de sódio.

As categorias (classes de riscos CS) de água para irrigação segundo o USSL, foram calculadas utilizando-se o programa QualiGraf que é uma ferramenta para auxiliar na parte gráfica das análises mais usuais de qualidade de amostras de água, desenvolvido em 2001 como ferramenta de uso interno no Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), e posto a disposição do público em 2002, através do site da instituição. Em, 2014, o programa foi atualizado, mantendo a mesma simplicidade do original, mas ampliando o leque de opções das análises gráficas. O programa calcula a RAS e mostra, na forma tabular e gráfica, a categoria de cada amostra na classificação do USSL.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas coletadas de poços nas cinco localidades do município A, identificadas como município A (MA) e localidades L<sub>1</sub> (MAL<sub>1</sub>), L<sub>2</sub> (MAL<sub>2</sub>), L<sub>3</sub> (MAL<sub>3</sub>), L<sub>4</sub> (MAL<sub>4</sub>) e L<sub>5</sub> (MAL<sub>5</sub>), coletadas durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020. O município A fica situado nos sertões de Quixeramobim, porção nordeste do estado do Ceará.

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

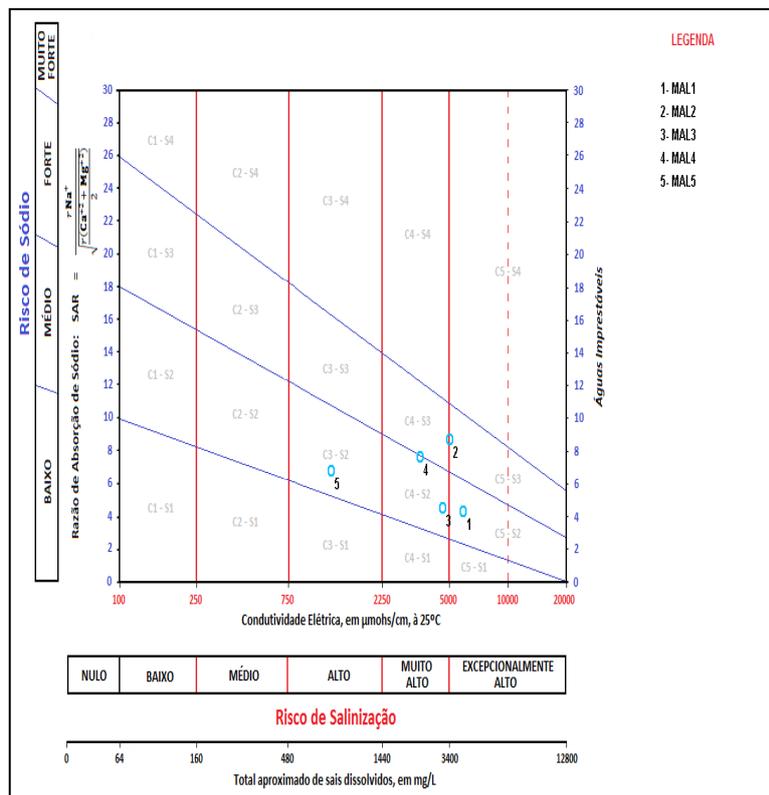
Parâmetros	Localidades				
	MA <sub>L1</sub>	MA <sub>L2</sub>	MA <sub>L3</sub>	MA <sub>L4</sub>	MA <sub>L5</sub>
Cálcio (mgCa <sup>2+</sup> L <sup>-1</sup> )	429,1±0,071	149,3±0,141	135,7±0,212	445,2±0,141	55,3±0,071
Magnésio (mgMg <sup>2+</sup> L <sup>-1</sup> )	443,5±0,071	206,1±0,071	153,1±0,141	205,2±0,283	70,1±0,212
Sódio (mgNa <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )	538,8±0,141	701,7±0,000	325,8±0,212	779,9±0,212	324,7±0,071
Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	5.077,0±0,071	5.022,1±0,106	4.615,4±0,071	3.538,7±0,212	1.230,9±0,141
SAR (meq)	4,3558	8,7373	4,5540	7,6706	6,8203
Classificação	C5-S2	C5-S3	C4-S2	C4-S2	C3-S2

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nos resultados da tabela 1, pode-se concluir que nas amostras de águas coletadas nos cinco poços das localidades do município A (situado nos sertões de Quixeramobim, porção nordeste do estado do Ceará), a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) variou de (S2) a (S3) e o valor da condutividade (CE) variou de (C3) a (C5) e foram classificadas como águas com riscos mediano a forte de sódio em relação a RAS e com riscos alto a excepcionalmente alto de salinização em relação a CE, de acordo com classificação das categorias das classes de riscos proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL), estando impróprias para o uso na irrigação.

Observando-se o gráfico 1, que mostra o diagrama com as classes de riscos proposta pelo USSL, a localidade do município A que apresentou águas com maior riscos de sódio e salinização foi a localidade 2 (MA<sub>L2</sub>) que foi classificado na classe C5S3 (águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5.000 e 20.000 µS.cm<sup>-1</sup>, águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados sendo indicado apenas para o cultivo de palmeiras e, águas altamente sódicas, onde há o perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos e exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância ao sódio e, a localidade que apresentou a menor classe de risco foi a localidade 5 (MA<sub>L5</sub>) que foi classificado na classe C3S2 (águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2.250 µS.cm<sup>-1</sup>, que só podem ser utilizadas em solos bem drenados e mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados e, águas medianamente sódicas que apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions, podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica com boa permeabilidade.

Gráfico 1 – Classes de riscos das amostras coletadas nas localidades do município A



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

Em relação ao sódio, o município A localidade 4 (MA<sub>L4</sub>) apresentou a maior concentração (779,9mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>), enquanto a localidade 5 (MA<sub>L5</sub>) apresentou a menor concentração (324,7mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>).

Em relação à condutividade, o município A localidade 1 (MA<sub>L1</sub>) apresentou o maior valor (5.077,0µS.cm<sup>-1</sup>), enquanto a localidade 5 (MA<sub>L5</sub>) apresentou o menor valor (1.280,0µS.cm<sup>-1</sup>).

A tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras de águas brutas subterrâneas coletadas de poços nas cinco localidades do município B, identificadas como município B (M<sub>B</sub>) e localidades L<sub>1</sub> (M<sub>BL1</sub>), L<sub>2</sub> (M<sub>BL2</sub>), L<sub>3</sub> (M<sub>BL3</sub>), L<sub>4</sub> (M<sub>BL4</sub>) e L<sub>5</sub> (M<sub>BL5</sub>), coletadas durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020. O município B fica situado na porção centro-oeste do estado do Ceará.

Tabela 2 – Resultados médios obtidos das localidades do município B

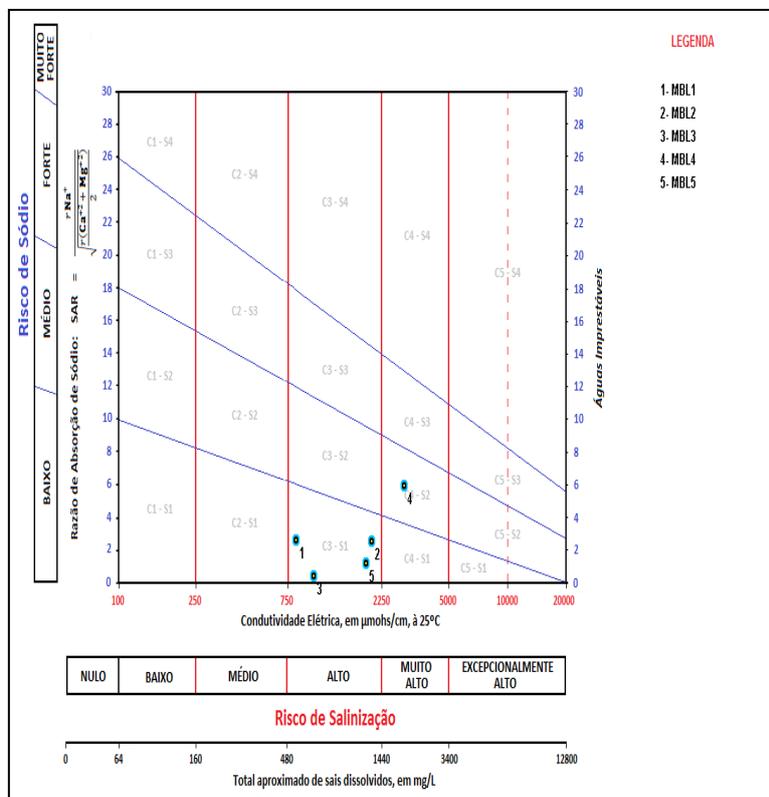
Parâmetros	Localidades				
	M <sub>BL1</sub>	M <sub>BL2</sub>	M <sub>BL3</sub>	M <sub>BL4</sub>	M <sub>BL5</sub>
Cálcio (mgCa <sup>2+</sup> L <sup>-1</sup> )	51,4±0,141	91,3±0,212	82,1±0,071	136,3±0,071	131,7±0,212
Magnésio (mgMg <sup>2+</sup> L <sup>-1</sup> )	26,6±0,283	27,2±0,141	57,0±0,071	85,2±0,071	80,1±0,141
Sódio (mgNa <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )	93,9±0,057	108,5±0,021	23,0±0,021	360,6±0,014	72,9±0,035
Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	813,9±0,035	1.996,2±0,014	1.006,7±0,035	2.941,0±0,035	1.875,0±0,057
SAR	2,6424	2,5536	0,4773	5,9640	1,2225
Classificação	C3-S1	C3-S1	C3-S1	C4-S2	C3-S1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nos resultados da tabela 2, pode-se concluir que nas amostras de águas coletadas nos cinco poços das localidades do município B (situado na porção centro-oeste do estado do Ceará), a RAS variou de (S1) a (S2) e o valor da CE variou de (C3) a (C4) e foram classificadas como águas com riscos fraco a mediano de sódio em relação a RAS e com riscos alto a muito alto de salinização em relação a CE, de acordo com classificação das categorias das classes de riscos do (USSL), estando impróprias para o uso na irrigação apesar do fraco risco em relação ao sódio (sodificação).

Observando-se o gráfico 2, que mostra o diagrama com as classes de riscos proposta pelo USSL, a localidade do município B que apresentou águas com mais riscos de sódio e salinização foi a localidade 4 (M<sub>BL4</sub>) cuja a água foi classificada na classe C4S2 (águas de salinidade muito alta, com CE entre 2.250 e 5.000 µS.cm<sup>-1</sup>, que geralmente não servem para irrigação, podendo ser, excepcionalmente, utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados, apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nestas condições e, águas medianamente sódicas, que apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions, podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade, enquanto as outras quatro localidades L<sub>1</sub> (M<sub>BL1</sub>), L<sub>2</sub> (M<sub>BL2</sub>), L<sub>3</sub> (M<sub>BL3</sub>), e L<sub>5</sub> (M<sub>BL5</sub>) do município B, foram classificadas na classe C3S1 (águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2.250 µS.cm<sup>-1</sup>, que só podem ser utilizadas em solos bem drenados e mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização, e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados e, águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca e se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais).

Gráfico 2 – Classes de riscos das amostras coletadas nas localidades do município B



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

Em relação ao sódio, o município B localidade 4 (M<sub>B</sub>L<sub>4</sub>) apresentou a maior concentração (360,6mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>), enquanto o município B localidade 3 (M<sub>B</sub>L<sub>3</sub>) apresentou a menor concentração (23,0mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>).

Em relação à condutividade, o município B localidade 4 (M<sub>B</sub>L<sub>4</sub>) apresentou o maior valor (2.941,0μS.cm<sup>-1</sup>), enquanto o município B localidade 1 (M<sub>B</sub>L<sub>1</sub>) apresentou o menor valor (813,9μS.cm<sup>-1</sup>).

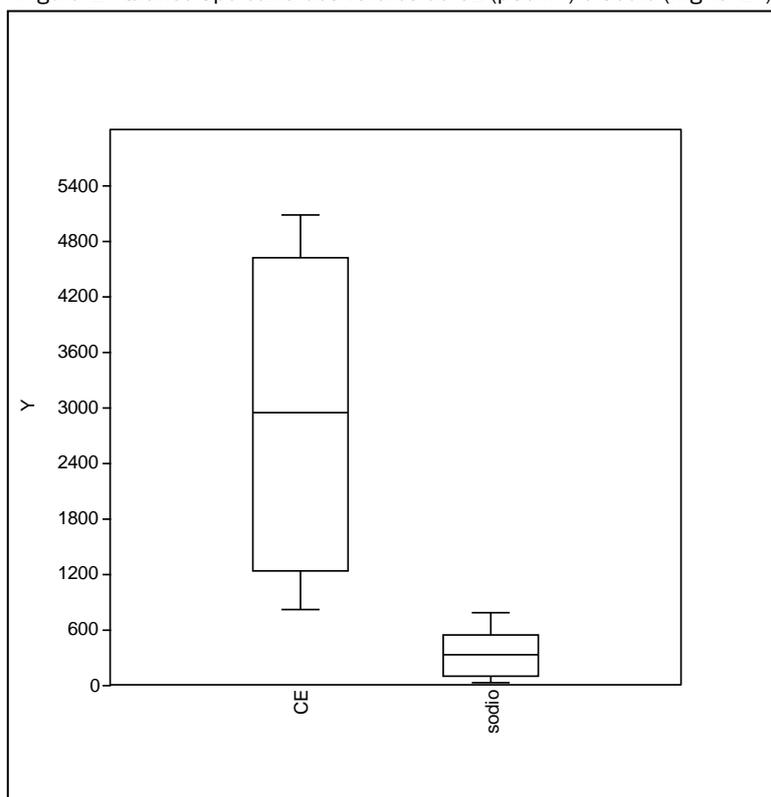
Quanto maior a RAS e a condutividade, menos apropriada a água será para irrigação, pois o sódio substitui o cálcio e o magnésio adsorvidos no solo, tendo implicação sobre o processo de salinização. Águas com valores de RAS elevados implicam em diminuição da permeabilidade do solo (AYERS e WESTCOT, 1992 *apud* SILVA, 2007).

Observou-se também que no município A, foram encontradas as maiores concentrações para os parâmetros analisados, podendo ser justificadas por causa do predomínio de rochas do embasamento cristalino, onde 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, enquanto que no município B, além do embasamento em rochas cristalinas, apresenta também os domínios geológicos de sedimentos da Formação Serra Grande e os depósitos Aluvionares, de mais alto potencial do ponto de vista hidrogeológico (CPRM, 1998).

## ESTUDO ESTATISTICO

Utilizando o PAST (Paleontological Statistics versão 2.17c) calcularam-se todos os dados estatísticos univariadamente, no conjunto amostral, onde o Coeficiente de Variação e Desvio Padrão é amplamente usado em química analítica para expressar a precisão e a repetitividade de um ensaio. A figura 1 mostra o gráfico tipo caixa das concentrações Condutividade Elétrica (μS.cm<sup>-1</sup>) e Sódio (mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>) durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020. As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 e 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde ao dentro da caixa.

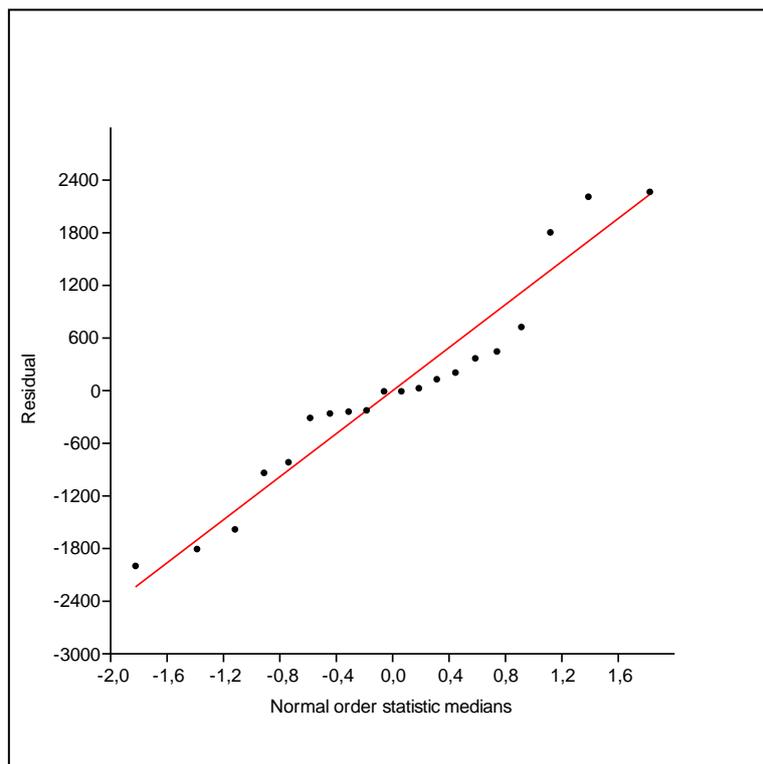
Figura 1 - Gráfico tipo caixa dos valores de CE (μS.cm<sup>-1</sup>) e Sódio (mgNa<sup>+</sup>L<sup>-1</sup>)



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na figura 2 a análise mais comum se ajusta a modelos logísticos lineares sucessivamente mais ricos e mede a variação residual do modelo por menos duas vezes a máxima verossimilhança. Medidas gerais de variação residual são consideradas aqui, incluindo erro quadrático ordinário e erro de previsão, bem como a verossimilhança logarítmica.

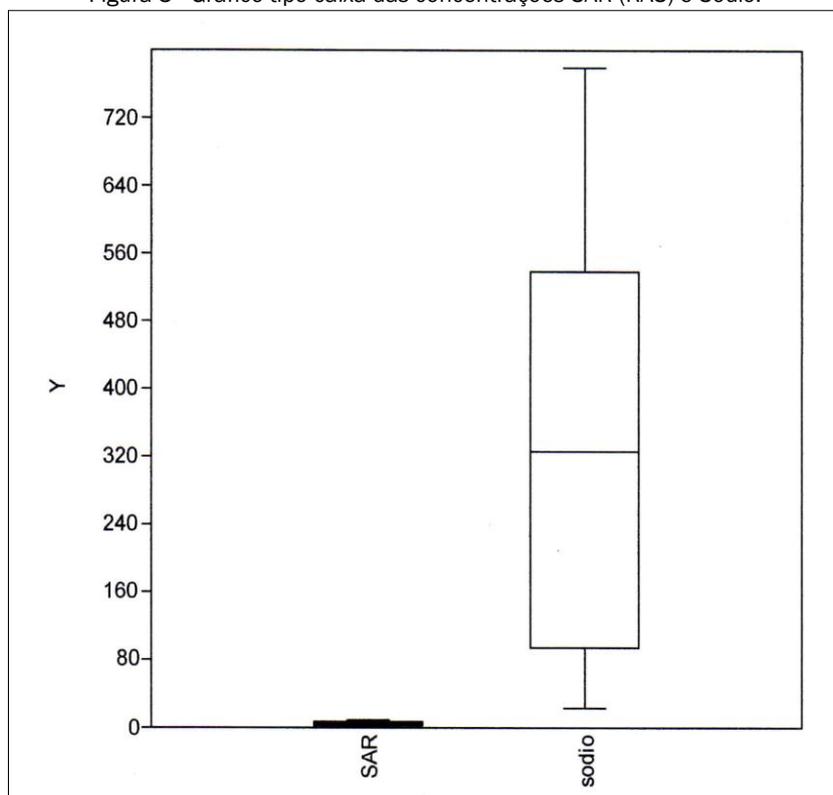
Figura 2 - Teste de ANOVA residual de variação das médias das concentrações



Fonte: Elaborada pelos autores.

A figura 3 mostra o gráfico tipo caixa das concentrações SAR (ou RAS) ( $\text{mgL}^{-1}$ ) e Sódio ( $\text{mgNa}^+\text{L}^{-1}$ ) durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2020. As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 e 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde ao dentro da caixa.

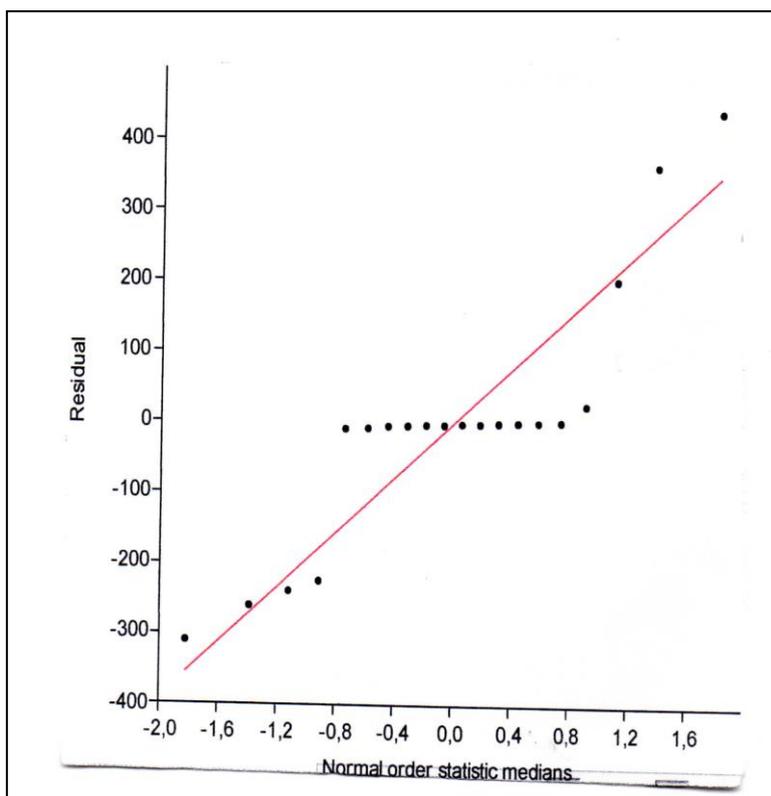
Figura 3 - Gráfico tipo caixa das concentrações SAR (RAS) e Sódio.



Fonte: Elaborada pelos autores

Na figura 4 a análise mais comum se ajusta a modelos logísticos lineares sucessivamente mais ricos e mede a variação residual do modelo por menos duas vezes a máxima verossimilhança. Medidas gerais de variação residual são consideradas aqui, incluindo erro quadrático ordinário e erro de previsão, bem como a verossimilhança logarítmica.

Figura 4 - Teste de ANOVA residual de variação das médias das concentrações



Fonte: Elaborada pelos autores

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

As amostras de águas coletadas nas localidades do município A apresentaram os valores de sódio, da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e da condutividade (CE) muito elevados, e como consequência, foram classificadas nas categorias das classes de risco de sódio e risco de salinização, estando impróprias para o uso na irrigação;

Para quatro localidades do município B, os valores da RAS e as concentrações de sódio foram mais baixos, porém, como os valores de condutividade (CE) foram elevados, classificaram-se na categoria da classe de risco de salinização; também foram classificadas com impróprias, mas podendo ser próprias para o uso na irrigação quando tomadas precauções especiais, devido a alta salinidade;

Por fim, pôde-se concluir que as amostras de águas foram classificadas como águas de alta salinidade, e impróprias para o uso na irrigação, sendo necessário o monitoramento dos parâmetros para evitar a salinização do solo.

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Guia Nacional de Coleta e Preservação: Amostras. Água, Sedimentos, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. Brasília, DF. 2011.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. 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

ALMEIDA, Otávio Alvares. **Qualidade da água de irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas; Bahia, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Water Environment Federation**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. 2012.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas** - um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007.

CORDEIRO, Gilberto Gomes. **Qualidade da água para fins de irrigação** (conceitos básicos e práticas) 1.ed. Petrolina; Embrapa Semiárido, 2001

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Qualigraf** – Classificação das águas para fins de irrigação (SAR/USSL). Software, versão 1.17 - 2014. Disponível em < <http://www5.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3>> Acesso em 18/06/2020

LIMA, Eugenio Antônio *et al.* **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.

SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL – CPRM. **Diagnostico do município de Ibaretama.** 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

SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL – CPRM. **Diagnostico do município de Crateús.** 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

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

United States Salinity Laboratory – USSL. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** US Department of Agriculture Handbook 60, Washington, DC. 1954.