

**Variabilidade espaço-temporal da qualidade das águas subterrâneas em área irrigada  
no semiárido brasileiro**

**Spatio-temporal variability of groundwater quality in an irrigated area in the Brazilian  
semiarid region**

**Variabilidad espacio-temporal de la calidad del agua subterránea en un área irrigada en  
la región semiárida brasileña**

Recebido: 18/06/2020 | Revisado: 03/07/2020 | Aceito: 08/07/2020 | Publicado: 24/07/2020

**Leonaria Luna Silva de Carvalho**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4364-0537>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: [leonarialuna@hotmail.com](mailto:leonarialuna@hotmail.com)

**Claudivan Feitosa de Lacerda**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5324-8195>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: [claudivan\\_@hotmail.com](mailto:claudivan_@hotmail.com)

**Clayton Moura de Carvalho**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4382-5382>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

E-mail: [clayton.carvalho@ifbaiano.edu.br](mailto:clayton.carvalho@ifbaiano.edu.br)

**Fernando Bezerra Lopes**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8285-2925>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: [lopesfb@yahoo.com.br](mailto:lopesfb@yahoo.com.br)

**Eunice Maia de Andrade**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0715-9781>

Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil

E-mail: [eandrade.ufc@gmail.com](mailto:eandrade.ufc@gmail.com)

**Raimundo Rodrigues Gomes Filho**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5242-7581>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [rrgomesfilho@hotmail.com](mailto:rrgomesfilho@hotmail.com)

## Resumo

Tem-se como objetivo analisar a influência da sazonalidade climática da qualidade das águas subterrâneas no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - CE. Para isso, foram realizadas análises hidroquímicas dos atributos de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , CE,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , pH, RAS,  $\text{Na}^+$ , SDT,  $\text{SO}_4^{2-}$  nos meses de junho e novembro de 2015 e 2016. Realizou-se a análise de agrupamento pelo software SPSS 16.0, onde as médias dos grupos foram comparadas pelo teste T ao nível de 5% de significância e apresentadas em forma de “boxplot”. Na classificação das águas, aplicou-se o Diagrama de Piper e para irrigação a metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, pelo software QUALIGRAF. A sazonalidade não influenciou na formação dos grupos. Ocorreu a formação de 2 grupos, onde o grupo 2, apresentou altos valores de sódio. Os altos teores de cloreto do grupo 2 são decorrentes, em sua maioria, da lixiviação de fertilizantes agrícolas. A relação de adsorção de sódio (RAS) elevada no grupo 2, pode reduzir a velocidade de infiltração do solo. Na classificação das águas ocorreu predominância da classe sódica-cloretada. Para irrigação foi observada uma predominância das classes  $\text{C}_2\text{S}_1$  e  $\text{C}_3\text{S}_1$ .

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; Sazonalidade climática; Análise multivariada.

## Abstract

The objective is to analyze the influence of climatic seasonality on the quality of groundwater in the Irrigated Perimeter of Baixo Acaraú - CE. For this, hydrochemical analyzes of the attributes of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , CE,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , pH, RAS,  $\text{Na}^+$ , SDT,  $\text{SO}_4^{2-}$  were performed in the months of June and November 2015 and 2016. The analysis was carried out of grouping by the SPSS 16.0 software, where the group means were compared by the T test at the level of 5% of significance and presented in the form of a “boxplot”. In the classification of waters, the Piper's Diagram was applied and for irrigation the methodology of the United States Salinity Laboratory, using the QUALIGRAF software. Seasonality did not influence the formation of groups. The formation of 2 groups occurred, where group 2, presented high values of sodium. The high levels of chloride in group 2 are mostly due to the leaching of agricultural fertilizers. The high sodium adsorption ratio (RAS) in group 2, can reduce the rate of soil infiltration. In the water classification, there was a predominance of the sodium-chloride class. For irrigation, a predominance of classes  $\text{C}_2\text{S}_1$  and  $\text{C}_3\text{S}_1$  was observed.

**Keywords:** Water resources; Climatic seasonality; Multivariate analysis.

## Resumen

El objetivo es analizar la influencia de la estacionalidad climática en la calidad del agua subterránea en el perímetro de riego de Baixo Acaraú - CE. Para ello, se realizaron análisis hidroquímicos de los atributos de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , CE,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , pH, RAS,  $\text{Na}^+$ , SDT,  $\text{SO}_4^{2-}$  en los meses de junio y noviembre de 2015 y 2016. El análisis se realizó de agrupación por el software SPSS 16.0, donde las medias de grupo se compararon mediante la prueba T al nivel de significancia del 5% y se presentaron en forma de "diagrama de caja". En la clasificación de aguas, se aplicó el Diagrama de Piper y para el riego la metodología del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, utilizando el software QUALIGRAF. La estacionalidad no influyó en la formación de grupos. Se produjo la formación de 2 grupos, donde el grupo 2 presentó altos valores de sodio. Los altos niveles de cloruro en el grupo 2 se deben principalmente a la lixiviación de fertilizantes agrícolas. La alta relación de adsorción de sodio (RAS) en el grupo 2 puede reducir la tasa de infiltración del suelo. En la clasificación del agua, hubo un predominio de la clase de cloruro de sodio. Para el riego, se observó un predominio de las clases  $\text{C}_2\text{S}_1$  y  $\text{C}_3\text{S}_1$ .

**Palabras clave:** Recursos hídricos; Estacionalidad climática; Analisis multivariable.

## 1. Introdução

A água é um bem natural estratégico, sendo imprescindível para a conservação dos ecossistemas e da vida de todos os seres em nosso planeta, além de ser indispensável ao desenvolvimento socioeconômico. No entanto, os efeitos alarmantes que a destruição do meio ambiente está ocasionando apontam para uma crise epistêmica e a água é um dos recursos naturais mais afetados, o que vem sendo apontada por muitos como a possível causa das disputas, onde a escassez provocaria guerra entre países (Wolkmer & Pimmel, 2013).

Segundo Carvalho et al. (2020), várias partes do mundo sofrem com uma crise hídrica decorrente, principalmente, da má distribuição espaço-temporal das precipitações, aumento da demanda pelo crescimento populacional e de um gerenciamento limitado. Esses fatores contribuem para o aumento da competitividade entre os diferentes setores que demandam água.

Diante da escassez das águas superficiais, o uso de fontes hídricas subterráneas vem aumentado consideravelmente em todo mundo. Vários países em todo o mundo, tem utilizado as águas subterráneas como meio de suprimento hídrico (Neves et al., 2017). A água

subterrânea vem assumindo importância cada vez maior como fonte de suprimento dos recursos superficiais. Sua disponibilidade, muitas vezes, tem permitido que haja instalação e sobrevivência de comunidades onde a precipitação e as águas superficiais são escassas e insuficientes (Souza et al., 2014).

As águas subterrâneas costumam ser descritas como um recurso invisível, mas é importante reconhecer que quase 98% dos recursos disponíveis de água doce do mundo (excluindo a água congelada nos polos) são subterrâneos, apresentando assim grande importância em regiões semiáridas. Os autores ainda acrescentam que a gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH) reconhece o importante papel das águas subterrâneas em estruturas que às vezes podem ser indevidamente focadas nas águas superficiais (Fraser et al., 2018).

No entanto, têm se deparado com problemas relacionados à qualidade inferior dessas fontes hídricas, que pode ocasionar efeitos como salinidade, sodicidade e presença de elementos tóxicos, trazendo prejuízos para saúde humana, agricultura e meio ambiente. Esses aspectos reforçam a necessidade de estudos sobre a qualidade das fontes subterrâneas, buscando considerar a viabilidade de uso em situações de crise hídrica.

É importante o monitoramento dos recursos hídricos na avaliação da qualidade da água, para que seja possível o conhecimento de suas alterações no decorrer do tempo e do espaço em função das intervenções humana no meio ambiente (Lopes et al., 2014), isso torna-se necessário para que seja realizada uma gestão adequada dos recursos hídricos no que se refere ao seu gerenciamento, uso e conservação (Villanueva et al., 2015; Carvalho et al., 2017).

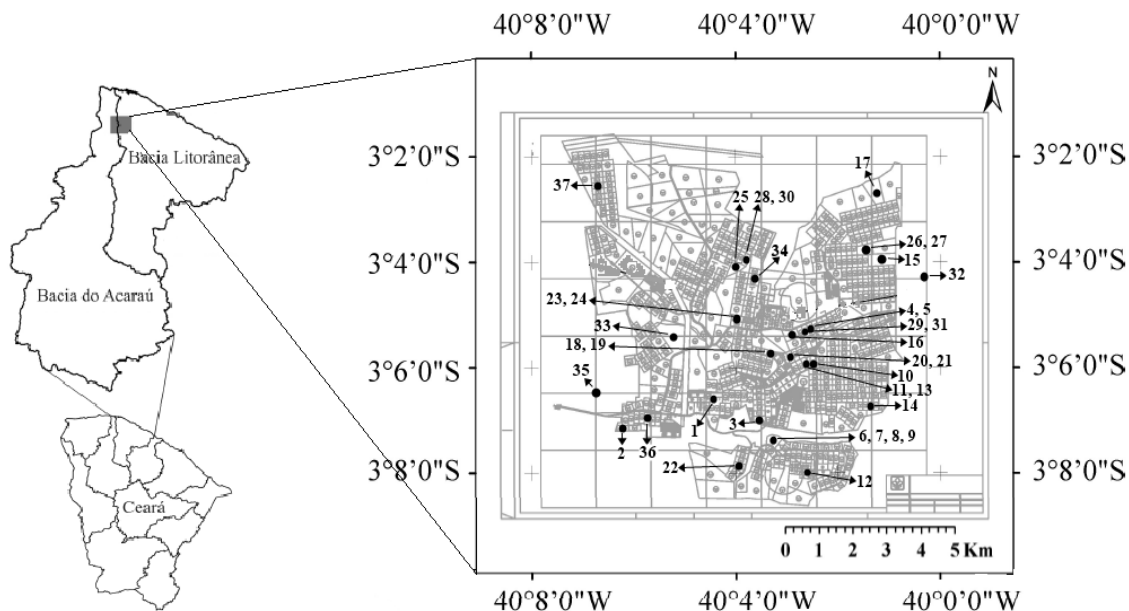
Tal monitoramento que determina ações de planejamento para conservação do recurso água se faz necessário, pois as características da qualidade da água variam de acordo com o espaço e o tempo, podendo ser um indicativo da ação antrópica. Sendo assim, a realização de um monitoramento espacial e temporal consistente em determinar muitas características hídricas em locais e períodos diferentes, o que gera um grande número de informações correlacionadas. Isso dificulta a análise, interpretação e a extração de informações para uma gestão adequada. Os métodos multivariados são excelentes ferramentas exploratórias para a interpretação desse complexo conjunto de informações (Trindade et al., 2017).

Diante do exposto tem-se como objetivo analisar a influência da sazonalidade climática na qualidade da água subterrânea no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - CE.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo corresponde ao Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú (Figura 1), localizando-se próximo ao litoral da região norte do Estado do Ceará e no trecho final da bacia do rio Acaraú, abrangendo os municípios de Acaraú, Bela Cruz e Marco. As coordenadas geográficas que delimitam a área do perímetro irrigado são  $3^{\circ}01'00''$  a  $3^{\circ}09'00''$  S e  $40^{\circ}01'00''$  a  $40^{\circ}09'00''$  W. Esse estudo foi realizado nos meses de junho (final do período chuvoso) e novembro (final do período seco) dos anos de 2015 e 2016.

**Figura 1.** Localização dos 37 pontos de coletas de dados no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, CE.

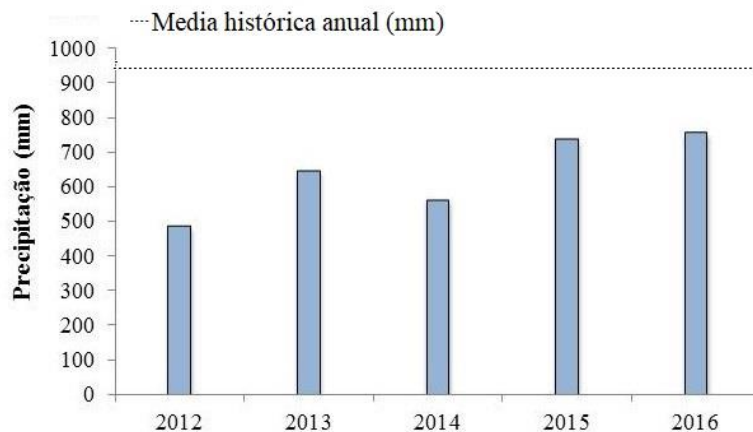


Fonte: Lopes et al. (2011).

De acordo com a classificação de Köppen (1918), a área do perímetro irrigado é de clima tipo  $Aw'$  (tropical chuvoso, com chuvas de verão-outono), com temperatura média anual de  $28,1^{\circ}\text{C}$ , mínima de  $22,8^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $34,7^{\circ}\text{C}$ , precipitação média anual de 960 mm, a evaporação média anual é de aproximadamente 1600 mm anual.

Para as médias pluviométricas do posto meteorológico do Marco nos anos de 2012 a 2016 (Figura 2) foi observado um déficit em relação à média anual histórica (960 mm).

**Figura 2.** Precipitações ocorridas no posto meteorológico do município do Marco nos anos de 2012 a 2016.



Fonte: FUNCEME (2016).

Apesar das maiores precipitações em anos anteriores a estes, a seca prolongada caracterizou o período com precipitações abaixo da média em anos sucessivos. Esta foi ainda mais evidente na parte alta da bacia, responsável pela recarga dos açudes que perenizam o rio Acaraú, fazendo com que nos anos de 2015 e 2016 o abastecimento pela Barragem Santa Rosa fosse encerrado, portanto, os produtores dependeram apenas da água subterrânea.

A geologia da área é de formação Terciária, Grupo Barreiras, caracterizada por depósitos de pouca consolidação, originando solos profundos e bem drenados. O relevo que abrange o perímetro é razoavelmente suave, com forte declividade longitudinal (Matias Filho et al., 2001). No geral, os solos são profundos, bem drenados, com textura média, ou, média/leve e bastante permeáveis.

Os reservatórios para avaliação da qualidade foram estabelecidos através de mapas do perímetro, juntamente com visitas de campo, sendo selecionados 37 reservatórios subterrâneos (15 poços, 14 cacimbas e 8 tanques). Os poços profundos dão acesso à água subterrânea através de perfuração, com pequeno diâmetro e profundidade de até 2000 metros. As cacimbas têm grandes diâmetros, estes possuem profundidades em torno de 20 metros. Os tanques, são provenientes de escavações no solo nas camadas menos profundas do solo, com profundidade em torno de 5 m.

Os reservatórios foram enumerados e georreferenciados (Tabela 1), sendo que para algumas propriedades houve a existência de mais de um ponto de coleta.

**Tabela 1.** Pontos estabelecidos para coleta das amostras com coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000.

<b>Pontos</b>	<b>Identificação</b>	<b>Latitude (Sul)</b>	<b>Longitude (Oeste)</b>	<b>Origem</b>
C1	C6/2/2	-3,1106	-40,0747	Cacimba
P2	C4/1/1	-3,1202	-40,1024	Poço
C3	C54/2	-3,1167	-40,0579	Cacimba
P4	C66/3	-3,0869	-40,0436	Poço
P5	C66/3	-3,0899	-40,0423	Poço
C6	T4/2/A2	-3,1224	-40,0553	Cacimba
P7	T4/2/A2	-3,1223	-40,0546	Poço
C8	T4/2/A2	-3,1225	-40,0545	Cacimba
C9	T4/2/A2	-3,1227	-40,0536	Cacimba
T10	C69/2	-3,0968	-40,0431	Tanque
T11	C70/2	-3,0984	-40,0102	Tanque
C12	156/2	-3,1329	-40,0449	Cacimba
C13	C70/2	-3,1015	-40,0448	Cacimba
P14	141/2	-3,1102	-40,0253	Poço
P15	E11/3	-3,0654	-40,0219	Poço
P16	T11/3	-3,0894	-40,0474	Poço
T17	E13/3	-3,0417	-40,0234	Tanque
P18	C35/3	-3,0955	-40,05784	Poço
C19	C35/3	-3,0960	-40,0582	Cacimba
T20	C63/3	-3,0992	-40,0496	Tanque

P21	C63/3	-3,0971	-40,0506	Poço
P22	C19/2	-3,1324	-40,0646	Poço
P23	C3/3	-3,0849	-40,0685	Poço
T24	C3/3	-3,0860	-40,0654	Tanque
C25	T6/4	-3,0715	-40,0696	Cacimba
P26	T13/3/1	-3,0637	-40,0225	Poço
T27	T13/3/1	-3,0633	-40,0226	Tanque
P28	C45/4/A2	-3,0683	-40,0635	Poço
P29	C65/3	-3,0901	-40,0443	Poço
T30	C45/4/A2	-3,0686	-40,0634	Tanque
T31	C65/3	-3,0897	-40,0444	Tanque
C32	Córrego do Fernando	-3,0679	-40,0069	Cacimba
P33	E2/1/B	-3,0918	-40,0876	Poço
C34	C17/3	-3,0715	-40,0629	Cacimba
C35	Santa rosa	-3,1073	-40,1232	Cacimba
C36	C7/A1	-3,1149	-40,0963	Cacimba
C37	C70/1	-3,0413	-40,1107	Cacimba

---

Fonte: Dados da presente pesquisa.

Os pontos selecionados e apresentados na Tabela 1 têm como usos prioritários a irrigação e consumo humano. As águas das cacimbas, pontos C32 e C35 se encontram nas proximidades do perímetro, sendo influenciados indiretamente pelo manejo de irrigação, os demais estão inseridos nos lotes irrigados e são influenciados diretamente pelo manejo. As águas das C32, C34 e C35 são utilizadas para consumo humano; já dos P2, P4 e P7 são para consumo humano e irrigação; os demais são utilizados apenas para irrigação. Vale salientar que o T10 secou na 3º coleta, o P21 foi desativado na 4º coleta e o T27 secou na 4º coleta.



Para avaliar a influência da sazonalidade climática na qualidade da água e identificar as possíveis mudanças, realizou-se análises hidroquímicas dos atributos de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), condutividade elétrica (CE), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), potencial hidrogeniônico (pH), relação de adsorção de sódio (RAS), sódio ( $\text{Na}^+$ ), sólidos dissolvidos total (SDT), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), com coletas nos meses de junho e novembro de 2015 e 2016. No total foram 1.628 dados (37 reservatórios, 4 períodos de coleta e 11 atributos analisados). As amostras foram coletadas em recipientes plásticos de 1 L e encaminhadas para análises no Laboratório de Água e Solo no Departamento de Ciências do Solo - Universidade Federal do Ceará.

Utilizou-se da análise de agrupamento (método hierárquico aglomerativo), pelo software Statistical Package for Social Science for Windows - SPSS 16.0, para agrupar as amostras de acordo com o grau de similaridade. A fim de eliminar o efeito escalar e das diferentes unidades no resultado, realizou-se a padronização das variáveis em escores padrão (escore Z). O algoritmo de aglomeração foi o de Ward. A medida de similaridade foi a distância euclidiana quadrada.

O número ótimo de agrupamentos foi definido pelo coeficiente de aglomeração (Equação 1), onde aumentos repentinos no valor do coeficiente representam uma fusão de elementos diferentes no dendrograma, que são representados pelos maiores valores da distância (Dillon & Goldstein, 1984).

$$CA = \sum_{j=1}^k \left( \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left( \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right)^2 \right) \quad (1)$$

Em que: CA - coeficiente de aglomeração;  $X_{ij}$  - valor da amostra  $i$  individual em cada grupo  $j$ ;  $k$  - total de amostras em cada estágio;  $n_j$  - número de amostras do grupo.

Os grupos formados pelo agrupamento tiveram suas médias comparadas pelo teste T de Student ao nível de  $P < 0,05$  de probabilidade, através do programa SPSS 16.0.

Para apresentar uma análise descritiva do comportamento dos íons, da tendência central (mediana), do percentil e da variabilidade dos valores (amplitude, extremos, discrepantes), foi utilizada a técnica de “Boxplot”, contribuindo na avaliação dos efeitos espaço-temporal na qualidade das águas.

Para classificação química das águas, foi aplicado o Diagrama de Piper pelo software QUALIGRAF 1.17, que leva em consideração as concentrações de cálcio, magnésio, da soma de sódio e potássio, pelos ânions cloretos, sulfatos e a soma de bicarbonatos com carbonatos.

Por esse software também foi realizada a identificação dos riscos de salinização e/ou sodificação, levando em consideração os parâmetros de  $CE_a$  e RAS, pela metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954).

### 3. Resultados e Discussão

Na avaliação da influência da sazonalidade climática, pelo coeficiente de aglomeração (Tabela 2), a primeira maior variação ocorreu entre os coeficientes 858,225-1573,000.

**Tabela 2.** Variação do coeficiente de aglomeração na análise de agrupamento.

<b>Agrupamentos</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Diferença entre coeficientes</b>	<b>Distância reescalada</b>
8	334,821	42,44	1,000
7	377,261	42,525	1,823
6	419,786	54,606	2,647
5	474,392	97,232	3,705
4	571,624	114,406	5,590
3	686,030	172,195	7,808
<b>2</b>	<b>858,225</b>	714,775	<b>11,145</b>
<b>1</b>	<b>1573,000</b>	-	<b>25,000</b>

Fonte: Dados da presente pesquisa.

A determinação do corte ocorreu no momento em que este apresentou uma variação de 11,145-25,000, através da distância reescalada que é determinada pela interpolação dos coeficientes, onde ocorre um maior distanciamento na similaridade para a formação de agrupamentos posteriores.

O grupo 1 que representa 71% das amostras, foi formado pelas águas dos pontos C1, P2, C3, P4, P5, C12, C13, P16, P18 (novembro/2015 e junho e novembro/2016), C19, T20 (junho/2015), P21 (novembro/2015 e junho/2016), P22, P23, T24, C25 (junho/2015 e novembro/2016), P26 (junho/2015 e junho e novembro/2016), T27, P28, P29, T30, T31, C32, P33, C34, C35, C36 e C37, indicando a semelhança dessas amostras para formação do primeiro grupo; já o grupo 2 representa 29% do total das amostras foi formado pelos C6, P7, C8, C9, T10 (junho e novembro/2015), T11, P14, P15, T17, P18 (junho/2015), T20

(novembro/2015 e 2016 e junho/2016), P21 (junho/2015), C25 (novembro/2015 e junho/2016), P26 (novembro/2015).

A formação dos grupos se deu pela variação espacial dos atributos e por sua composição hidroquímica, não havendo influência temporal. O fato de não ocorrer influência temporal está relacionado aos anos consecutivos de secas, indicando que as precipitações registradas no período chuvoso dos anos de 2015 e 2016 não foram suficientes para ocasionar variações. Além disso, as águas subterrâneas sofrem uma menor influência da sazonalidade que as superficiais. De acordo com o presente estudo, também não foram identificadas variações entre os diferentes tipos de fontes subterrâneas estudadas (poços, cacimbas e tanques).

Resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa foram relatados por Andrade et al. (2010) estudando a composição hidroquímica das águas freáticas no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, onde encontraram variação espacial na qualidade da água de poços, sem influência maior da variação temporal. Bertossi et al. (2013) estudando as águas superficiais e subterrâneas no Espírito Santo observaram que não ocorreu influência das características físico-químicas e do período de coleta (chuva e estiagem) na formação dos grupos.

Os valores médios, mínimos e máximos dos atributos estudados nos grupos encontram-se descritos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores médios, mínimos e máximos dos atributos para os grupos formados nas águas subterrâneas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú.

Atributos	Grupo 1			Grupo 2		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,83b	0,10	3,40	2,19a	0,40	6,30
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,23b	0,60	10,40	7,36a	3,80	15,70
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,38b	0,10	1,70	1,20a	0,10	6,80
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	3,94b	0,30	17,30	13,16a	7,40	26,90
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	6,98b	1,40	32,40	23,06a	0,00	40,40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,07a	0,00	0,50	0,09a	0,00	0,80
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,41a	0,00	2,60	0,23a	0,00	4,40
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,74b	0,15	3,22	2,41a	1,46	4,53
RAS	2,25b	0,30	6,62	5,59a	2,72	11,84
pH	4,73a	2,90	7,50	3,61b	2,70	6,60
SDT	740,49b	150,00	3220,00	2405,12a	1460,00	4530,00

Médias não seguidas por mesma letra entre os grupos dentro de cada variável diferem pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da presente pesquisa.

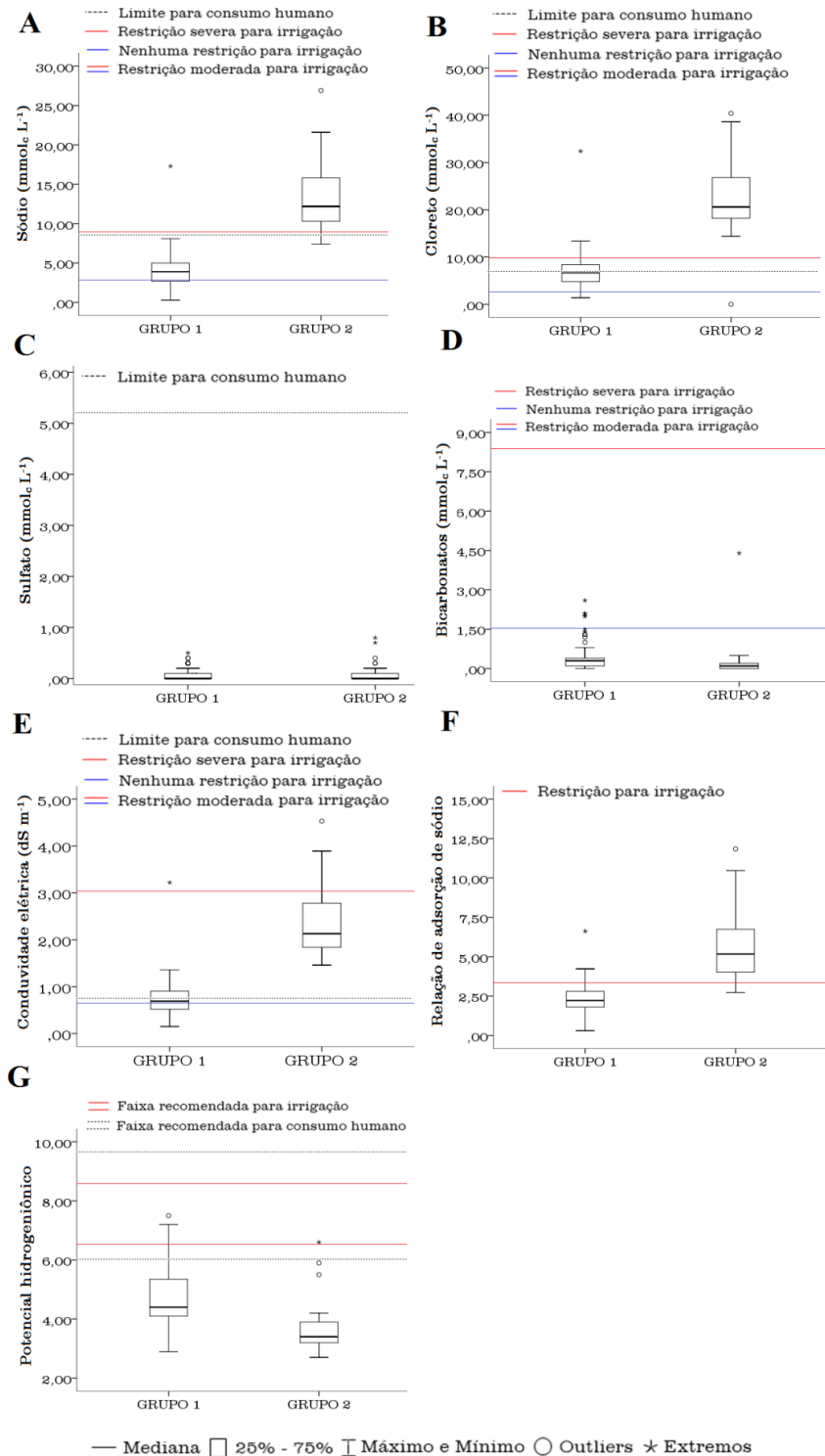
Os grupos não diferiram estatisticamente a 5% de significância para os íons de sulfato e bicarbonato, porém para os demais atributos houve diferença estatística. Sendo assim, estes íons não contribuíram para formação dos grupos, apresentando médias com pequenos valores para esses atributos em ambos os grupos. Porém, os demais atributos contribuíram para formação dos grupos.

Para o sódio o grupo 2 diferiu estatisticamente a 5% de significância do grupo 1, com maior valor médio (13,16 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>). No grupo 2 ocorreu uma maior variabilidade dos

dados, representados pelas maiores aberturas das caixas no boxplot (Figura 3A), portanto há uma maior heterogeneidade entre os pontos estudados nesse grupo.

**Figura 3.** Análise estatística descritiva dos atributos estudados para os grupos formados.

Fonte: Dados da presente



Fonte: Dados da presente pesquisa.

A média do grupo 2 encontra-se acima do limite de potabilidade descritos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 que é  $200 \text{ mg L}^{-1}$  ( $8,7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), excedendo 51,26% do recomendando, já para o grupo 1 está entre os limites. O consumo constante de água com altos teores de sódio é prejudicial à saúde, visto que, o excesso do sódio no sangue acarreta na alteração da regulação do equilíbrio entre a quantidade de líquidos presentes nas células, podendo levar a hipertensão (Brasil, 2012).

Para irrigação, o grupo 2 encontra-se com restrição severa, o que limita o seu uso, porém o valor médio do grupo 1 apresenta uma restrição moderada, tais restrições podem ser modificadas de acordo com o tipo de irrigação utilizada. Este íon é considerado como principal responsável pelo aumento da salinidade das águas. Quando em excesso, o sódio, pode provocar no solo a dispersão de argila, que por sua vez provoca o aumento da resistência mecânica dos mesmos, impossibilitando a germinação de sementes e desenvolvimento de raízes, devido a subcompactação superficial, acarretada pela eluviação da argila dispersa para as camadas inferiores (Vasconcelos, 2014).

Para o atributo de cloreto observou-se diferença estatística a 5% de probabilidade. A média do grupo 1 encontra-se nos limites de potabilidade da Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 (BRASIL, 2011) ( $< 250 \text{ mg L}^{-1}$  ou  $7,04 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), já o grupo 2 apresentou média muito alta ( $818,63 \text{ mg L}^{-1}$ ), quando comparados com o padrão de potabilidade (Figura 3B).

Para irrigação a média do grupo 2 para o cloreto, apresentou um grau de restrição severo ( $> 10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), diferentemente do grupo 1 que apresentou uma restrição moderada, no caso da utilização para irrigação por superfície.

A presença elevada do cloreto no grupo 2 está associada à presença de sais em decorrência dos aerossóis marinhos, pois o perímetro irrigado está situação a uma distância de aproximadamente 29 km da costa marítima. Gomes e Cavalcante (2017) estudando as águas subterrâneas em Fortaleza atribuíram, a elevação, a presença dos aerossóis marinhos, pela proximidade da área com a faixa costeira. Essa elevação também pode ser decorrente da lixiviação de fertilizantes agrícolas. A contaminação agrícola das águas subterrâneas geralmente resulta de aplicações de fertilizantes em cultivos, o que acumula nutrientes nas águas subterrâneas (Vasanthavigar et al., 2012).

Para o sulfato os grupos não diferiram estatisticamente e apresentaram valores baixos (Figura 3C). Pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 (Brasil, 2011) os grupos apresentam valores abaixo do recomendado ( $< 250 \text{ mg L}^{-1}$  ou  $5,21 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ) para portabilidade. O sulfato é um dos íons mais abundantes na natureza e, nas águas naturais, ocorre pela

dissolução de solos e rochas e oxidação de sulfeto (Neves et al., 2016). Na irrigação os grupos apresentaram também valores de sulfato bem abaixo da faixa usual de irrigação (de 0 a 20 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), de acordo com Ayers & Westcot (1976).

Quanto aos bicarbonatos (Figura 3D) o grupo 1 não diferiu estatisticamente do grupo 2, este apresentou o maior valor médio (0,41 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), porém o valor máximo foi apresentado no grupo 2 (4,40 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>). A presença de bicarbonato nas águas subterrâneas pode está relacionado a processos que produzem o gás carbônico no solo pela decomposição e oxidação da matéria orgânica (Obiefuna & Sheriff, 2011). Para irrigação a média dos grupos para bicarbonatos não apresentaram restrição ao uso (< 1,5 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

Guimarães et al. (2017) estudando as águas superficiais e subterrâneas no Estado da Paraíba, verificaram que com o aumento da salinidade, o sódio, cálcio e magnésio crescem paralelamente e inferior ao cloreto, enquanto bicarbonatos diminuem muito rapidamente em águas subterrâneas. Resultados estes que estão semelhantes ao presente estudo, pois pode ser observado o mesmo comportamento.

Na condutividade elétrica os grupos diferiram estatisticamente, sendo que o grupo 2 apresentou maior valor médio (2,41 dS m<sup>-1</sup>), condizendo com os valores altos dos cátions e da RAS, indicando maior concentração de sais no grupo 2 (Figura 3E). De acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA (Brasil, 2005), as águas do grupo 1 são consideradas doces, com salinidade igual ou inferior a 0,78 dS m<sup>-1</sup>; porém as do grupo 2 são salobras apresentando salinidade superior a 0,78 dS m<sup>-1</sup> e inferior a 4,68 dS m<sup>-1</sup>. Estas, quando utilizadas para consumo humano podem conferir sabor desagradável.

Para irrigação o grupo 2 apresentou o maior valor médio de Condutividade Elétrica, porém os dois grupos encontram-se com restrição moderada. Observa-se pelo boxplot (Figura 3E) que os grupos apresentaram alguns pontos com restrição severa na irrigação. Gomes & Cavalcante (2017) citam que valores altos podem estar associados, a maiores teores dos íons, principalmente de cloretos. O que foi confirmado por Rizzatti et al. (2015) estudando a qualidade da água subterrânea no município de Fortim, que encontraram uma maior Condutividade Elétrica onde houve maiores teores do íon cloreto.

Para o atributo da RAS, os grupos diferiram ao nível de 5% de significância, não ultrapassando o valor médio de 6,00 (Figura 3F), porém alcançando valores máximos de até 11,84. Para indicação da restrição, este deve ser avaliado juntamente com a CE, pois está relacionado com os teores de sódio, cálcio e magnésio. O grupo 2 apresentou um valor médio com restrição para uso na irrigação, indicando perigo de sodicidade.

Eloi et al. (2014) estudando a qualidade da água na bacia do Acaraú observaram que a RAS varia ao longo do ano (de 0,98 a 9,6 mmolc L<sup>-1</sup>), apresentando momentos com nenhum, moderado ou severo grau de restrição. Este é de grande importância, por indicar o perigo de sodicidade do solo e riscos de redução na velocidade de infiltração.

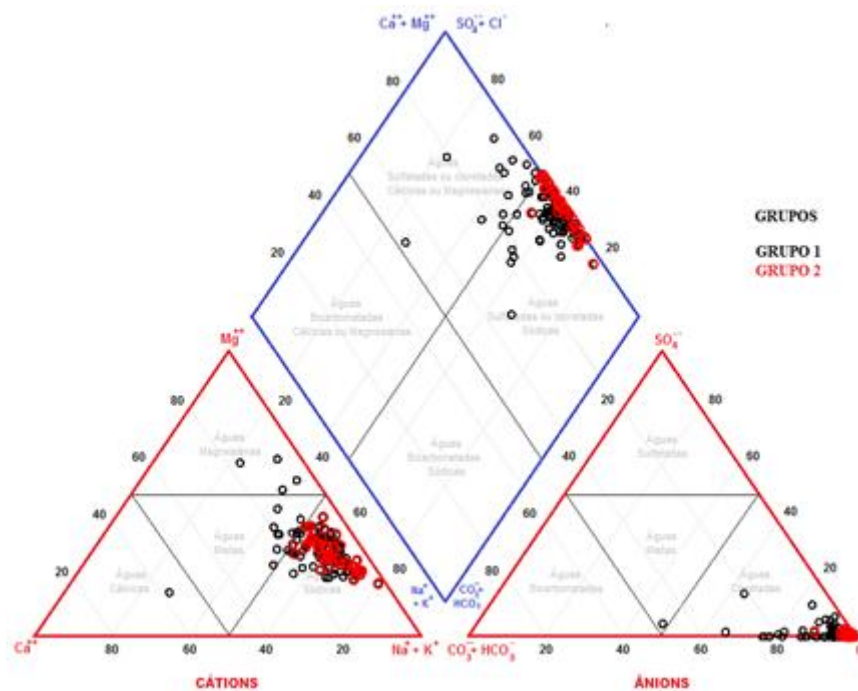
Para o pH houve diferença a 5% de significância entre os grupos. As águas apresentaram valores de pH abaixo de 7,5, ou seja, tendência para acidez (Figura 3G). Nenhum dos valores médios apresentou nos limites de potabilidade estabelecidos pela portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 (Brasil, 2011), que vai de 6,0 e 9,5. Na irrigação, nenhum dos valores médios apresentaram um pH na faixa usual (6,5 a 8,4). O maior perigo do pH anormal, é pela deterioração do equipamento de irrigação (Ayers & Westcot, 1976).

A ocorrência de um pH baixo é pela presença de CO<sub>2</sub>, decorrentes das reações químicas que ocorrem ao meio. Pereira et al. (2010) encontraram águas com acidez, isso foi atribuído ao aumento da profundidade do poço, onde o oxigênio é consumido nas reações com a matéria orgânica e o CO<sub>2</sub> passando a ser o gás dissolvido predominante.

Na aplicação do Diagrama de Piper (Figura 4) para uma análise mais detalhada da influência dos íons na formação dos grupos, foi observado que, no geral, 88% das águas foram classificadas como sódicas cloretadas, 7% como cloretadas mistas, 3% como magnesianas cloretadas e 1% como cálcicas mistas; no triângulo que representa os cátions, 89% foram classificadas como sódicas, 7% classificadas como mistas, 3% como magnesianas, e 1% como cálcicas; no triângulo que representa os ânions, 99% foram classificadas como cloretadas e 1% como mistas.



**Figura 4.** Classificação das águas subterrâneas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú.



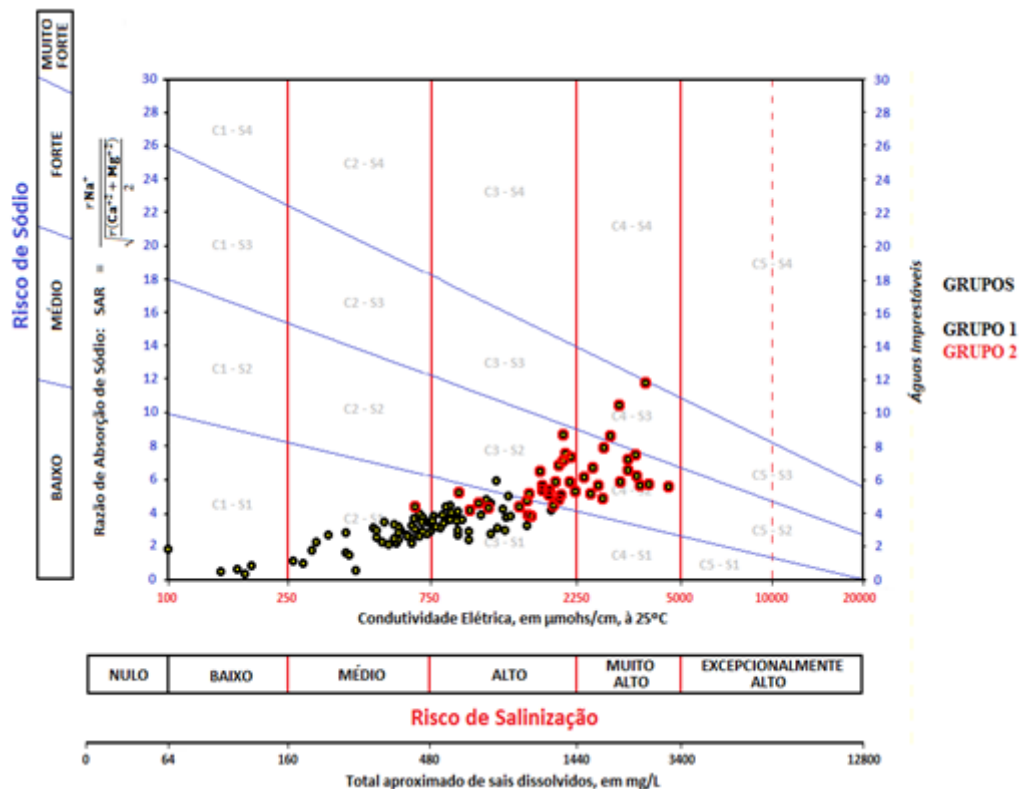
Fonte: Dados da presente pesquisa.

Ocorreu uma predominância da classe sódica-cloretada, confirmando a alta presença desses atributos. Silva Júnior et al. (2000) cita que as águas do cristalino do Nordeste do Brasil se classificam como cloretadas sódicas, correspondendo a litologia local.

Lobato et al. (2008) estudando a sazonalidade na qualidade da água de irrigação da barragem Santa Rosa no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, verificaram uma predominância da classe bicarbonatada sódica e cloretada sódica nos períodos seco e chuvoso. Barroso et al. (2011) avaliando as águas superficiais e subterrâneas para irrigação no centro sul no Ceará, observaram uma predominância de águas sulfatadas ou cloretadas-sódicas (73,9%).

Na classificação das águas para uso na irrigação que leva em consideração o risco de salinização e de sodicidade (Figura 5), correu uma variação das classes que vai de C<sub>0</sub>S<sub>1</sub> com nenhum risco de salinidade e risco baixo de sodicidade, equivalente a 2,4% do total de dados, C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> (3,2%) com risco baixo de salidade e sodicidade, C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> (32,5%) com risco médio de salinidade e baixo de sodicidade, C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (31,7%) com risco alto de salinidade e baixo de sodicidade, C<sub>3</sub>S<sub>2</sub> (16,7%) com risco alto de salinidade e médio de sodicidade, C<sub>4</sub>S<sub>2</sub> (11,1%) com risco muito alto de salinidade e médio de sodicidade e C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> (2,4%) com risco muito alto de salinidade e alto de sodicidade.

**Figura 5.** Classificação das águas subterrâneas para irrigação no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú.



Há uma tendência de que haja uma concentração menor de sais nas águas superficiais que nas subterrâneas. Fato esse foi observado por Guedes et al. (2016), estudando a qualidade das águas subterrâneas e superficial para fim de irrigação no município de Aurora, Ceará, ao constatar que na água do rio a classificação foi C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> e nas águas dos poços variaram de C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>.

Souza et al. (2016) estudando a qualidade da água para irrigação no semiárido, identificaram que as águas subterrâneas apresentaram problemas de sodicidade de médio a alto e essas só devem ser utilizadas em solos e plantas que tolerem altas quantidades de sais ou quando haver lixiviação dos mesmos. O Ceará encontra-se embasado em solos cristalinos, o que contribui para a elevação dos teores nas águas subterrâneas, portanto, as águas subterrâneas possuem maiores restrições ao uso em relação às águas superficiais.

#### 4. Conclusões e Sugestões

A sazonalidade climática não influenciou a formação dos grupos, sendo determinante da formação os atributos hidroquímicos;

Houve a formação de 2 grupos, em que o grupo 2 (29% do total das amostras) apresentou altos teores de sódio, com mais da metade das fontes apresentando restrições para consumo humano e irrigação;

Os altos teores de cloreto no grupo 2 são decorrentes da presença dos aerossóis marinhos e da lixiviação de fertilizantes agrícolas.

Os altos valores de RAS no grupo 2, podem reduzir a velocidade de infiltração do solo, causando danos aos cultivos agrícolas.

Na classificação hidroquímica observou-se uma predominância da classe sódica-cloretada para os grupos, confirmando a alta presença desses íons nas águas analisadas pela presença dos aerossóis marinhos e pela influência da litologia local;

Quanto à classificação das águas para irrigação para os grupos houve uma predominância das classes C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>.

Portanto, recomenda-se que para os estudos futuros sejam realizadas as seguintes observações:

Investigar a influência na qualidade das águas proporcionada pelo uso e ocupação do solo na região do perímetro irrigado do baixo Acaraú, no período de estudo;

Acrescentar os atributos de Ferro, Nitrato e N-amoniacal para avaliação dos eventuais problemas ocasionados pela presença destes;

Induzir políticas públicas voltadas para o atendimento técnico e especializado aos produtores, para que possam desenvolver as técnicas de manejo adequado para otimização de produção agrícola;

Realização da leitura do nível dos poços em todos os pontos estudados, para observação da dinâmica hídrica na área e observação do fluxo de direção do lençol freático

## Referências

Andrade, E. M., Aquino, D. N., Crisóstomo, L. A., Rodrigues, J. O., & Chaves, L. C. G. (2010). Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. *Revista Agro@ambiente On-line*, 4 (1), 11-19. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v4i1.269

Ayers, R. S., & Westcot, D.W. (1976). *Water quality for agriculture*. Rome: FAO, 97p.

Barroso, A. A. F., Gomes, G. E., Lima, E. O., Palácio, H. A. Q., & Lima, C. A. 2011. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15 (6), 588-593.

Brasil (2017). *Ministério da Saúde: Excesso de sal pode causar doenças cardiovasculares*. Acesso em 02 janeiro, em <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/11/excesso-de-sal-pode-causar-doencas-cardiovasculares>

Brasil (2011). *Ministério da Saúde: Resolução MS Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Brasília: Ministério da Saúde, 32p.

Brasil (2005). *Ministério do Meio Ambiente: Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 23p.

Carvalho, L. L. S., Lacerda, C. F., Lopes, F. B., Andrade, E. M., Carvalho, C. M., & Silva, S. L. (2020). Caracterização dos usos das águas subterrâneas no perímetro irrigado do Baixo Acaraú – CE. *Revista de Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(2), 601-620. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n2p601-620

Carvalho, L. L. S., Lacerda, C. F., Lopes, F. B., Carvalho, C. M., Gomes Filho, R. R., & Araújo Filho, R. N. (2017). Influence of Prolonged Drought on Groundwater Quality: Irrigated Perimeter of Lower Acaraú – State of Ceará– Northeast of Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18(3), 1-14. DOI: 10.9734/JEAI/2017/36480

Dillon, W. R., & Goldstein, M. (1984). *Multivariate analysis methods and applications*. New York: John Wiley e Sons, 587p.

Eloi, W. M., Sales, M. A. L., Lira, J. V., Nascimento, N. V., & Souza, J. V. R. S. S. (2014). Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 8(3), 247-255. DOI: 10.7127/rbai.v8n300197

Fraser, C. M., Kalin, R. M., Rivett, M. O., Nkhata, M., & Kanjave, M. (2018). A national approach to systematic transboundary aquifer assessment and conceptualisation at relevant scales: a malawi case study. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20, 35-48. DOI: 10.1016/J.EJRH.2018.04.001

Funceme. *Calendário de chuvas no estado do Ceará*. Acesso em 02 de fevereiro, em <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/regioes/media/anual>.

Gomes, M. C. R., & Cavalcante, I. N. (2017). Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. *Águas Subterrâneas*, 31 (1), 134-149. DOI: 10.14295/ras.v31i1.28617

Guedes, T. A., Santos, J. R. C., Feitosa, A. K., & Nogueira, D. H. (2016). Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. *Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária*, 10 (3), 37-44.

Guimarães, R. F. B., Farias, D. S. C. R., Farias, S. A. R., Dantas Neto, J., & Araújo, R. M. (2017). Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista, PB. *Revista Espacios*, 38(2), 8.

Köppen, N. W. (1918). *Climatologia: com um estudio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Econômica, 478p.

Lobato, F. A. O., Andrade, E. M., Meireles, A. C. M., & Crisostomo, L. A. (2008). Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 39 (1), 167-172.

Lopes, F. B., Andrade, E. M., Meireles, A. C. M., Becker, H., & Batista, A. A. (2014). Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (4), 437-445. DOI: 10.1590/S1415-43662014000400012

Lopes, F. B., Chaves, L. C. G., Andrade, E. M., & Crisostomo, L. A. (2011). Risco de degradação em solo irrigado do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Irriga*, 16 (4), 424-435, 2011. DOI: 10.15809/irriga.2011v16n4p424

Matias Filho, J., Costa, R. N. T., Menezes, J. A. L., Loiola, M. L., Meireles, M., & Pereira, A. L. S. (2001). *Estudos e Pesquisas para avaliação de riscos potenciais de drenagem e/ou salinidade na área prioritária do projeto de irrigação Baixo Acaraú*. Fortaleza: UFC, 2001, 27p. (Relatório Técnico).

Neves, A. L. R., Alves, M. P., Lacerda, C. F., & Gheyi, H. R. (2017). Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste – CE. *Revista Ambiente & Água*, 12 (1), 124-135. DOI:10.4136/ambi-agua.1722.

Neves, M. A., Fonseca, L. C., Macedo, L. C. B., & ALVES, J. P. H. (2016). Qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino – Barragem do Poxim/Sergipe. *Saúde e Ambiente*, 5 (1, edição especial), 81-94.

Obiefuna, G. I., & Sheriff, A. (2011). Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3, 131-141.

Pereira, S. F. P., Costa, A. C., Cardoso, E. S. C., Corrêia, M. S. S., Alves, D. T. V., Miranda, R. G., & Oliveira, G. R. F. (2010). Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba – Pará. *Revista de Estudos Ambientais*, 12 (1), 50-62. DOI: 10.7867/1983-1501.2010v12n1p50-62.

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory, 160p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).

Rizzatti, I. M., Leite, N. S., & Silva, E. V. (2015). Avaliação de parâmetros físicos e químicos das águas subterrâneas do município de Fortim, Ceará. *Revista GeoAmazonia*, 3 (6), 133-142. DOI: 10.17551/2358-1778/geoamazonia.v3n6p133-142

Silva Júnior, J. N., Sousa, A. R., Sá, V. A. L., & Lima, B. P. (2000). Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais visando à irrigação no sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4 (2), 189-193. DOI:10.1590/S1415-43662000000200010

Souza, A. A., Lastoria, G., Gabas, S. G., & Machado, C. D. (2014). Avaliação da água subterrânea nos aquíferos cenozoico e guarani em São Gabriel do Oeste-MS: subsídios à gestão integrada. *Ciência e Natura*, 36 (2), 169-179. DOI: 10.5902/2179460X13174

Souza, C. A., Araujo, Y. R., Araújo Neto, J. R., Palácio, H. A. Q., & Barros, B. E. A. (2016). Análise comparativa da qualidade de água para irrigação em três sistemas hídricos conectados no semiárido. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10 (6), 1011-1022. DOI: 10.7127/rbai.v10n600481

Trindade, A. L. C., Almeida, K. C. B., Barbosa, P. E., & Oliveira, S. M. A. C. (2017). Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22 (1), 13-24. DOI: 10.1590/s1413-41522016131457

Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Ganthi, R. R., Vijayaraghavan, K., & Sarma, V. S. (2012). Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal Geosciences*, 5 (2), 245-258. DOI: 10.1007/s12517-010-0190-6

Vasconcelos, M. C. C. A. (2014). Salinização do solo em áreas irrigadas: Aspectos físicos e químicos. *Agropecuária científica no semiárido*, 10 (1), 20-25.

Villanueva, T. C. B., Leal, L. R. B., Zucchi, M. R., Azevedo, E. G., & Villanueva, P. R. (2015). Diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos na região de Irecê – BA. *Águas Subterrâneas*, 29 (1), 30-41.

Wolkmer, M. F. S., & Pimmel, N. F. (2013). Política nacional de recursos hídricos: governança da água e cidadania ambiental. *Sequência*, 34 (67), 165-198. DOI: 10.5007/2177-7055.2013v34n67p165

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Leonaria Luna Silva de Carvalho – 35%

Claudivan Feitosa de Lacerda – 20%

Clayton Moura de Carvalho – 15%

Fernando Bezerra Lopes – 10%

Eunice Maia de Andrade – 10%

Raimundo Rodrigues Gomes Filho – 10%