



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

LEONARIA LUNA SILVA DE CARVALHO

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DA SECA PROLONGADA
SOBRE A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO
IRRIGADO DO BAIXO ACARAÚ - CE

FORTALEZA

2017

LEONARIA LUNA SILVA DE CARVALHO

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DA SECA PROLONGADA SOBRE
A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO IRRIGADO DO
BAIXO ACARAÚ - CE

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes

FORTALEZA

2017

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)

- C325i Carvalho, Leonaria Luna Silva de.
 Influência da sazonalidade climática e da seca prolongada sobre a qualidade das águas subterrâneas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - CE / Leonaria Luna Silva de Carvalho. – 2017.
 127 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.
 Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
 Coorientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.
1. Recursos hídricos. 2. Estiagem. 3. Análise multivariada. I. Título.

CDD 630

LEONARIA LUNA SILVA DE CARVALHO

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DA SECA PROLONGADA SOBRE
A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO IRRIGADO DO
BAIXO ACARAÚ - CE

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Agrícola do Departamento de
Engenharia Agrícola da Universidade Federal do
Ceará, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Agrícola.
Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovado em: 28/04/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dra. Eunice Maia de Andrade (Conselheira)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio (Conselheira)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

A Deus,

Aos meus pais, Maria José e Antônio,

A meu grande amor, Clayton.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai misericordioso, que sempre me guiou e me confortou nas batalhas da vida. A Ele pertencem todas as minhas vitórias e minha vida.

A toda minha família pelo carinho, compressão e apoio nessa caminhada, em especial aos meus pais (Maria José e Antônio), aos meus avós maternos (Josefa e Cícero), aos meus avós paternos (Maria das Neves e Aristóteles), ao meu irmão (Leonardo), a minha cunhada (Tomazya), meus sogros (Eunice e José).

Ao meu grande e eterno amor, companheiro e amigo Clayton, pelo apoio, dedicação, paciência e compressão para comigo em todo tempo de convivência.

À Robevania e Émerson por me acolherem nessa jornada, pela amizade, sorrisos e apoio, estarão sempre em meu coração.

Aos colegas do laboratório R.S.A.P.: Maria da Saúde, Emanuele, Aureliano, Emanuel, Mayara, Jordânia, Régis, Júlia, Ítalo, Leila, Carlos Henrique, Davi e Adriana.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) e em especial o Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao Professor e Orientador Claudivan Feitosa de Lacerda, pelo apoio, dedicação, conselhos, orientação e amizade.

Ao Professor e Coorientador Fernando Lopes pelo auxílio, conselhos, orientação e disponibilidade para com minha pessoa.

Aos professores, em especial a Raimundo Nonato, Marcus Bezerra, Fernando Hernandez, Esmeraldo e Eunice Maia pelos ensinamentos concedidos, que de forma significativa contribuíram para o meu crescimento profissional.

Aos motoristas Paulo e Luiz por toda ajuda durante o decorrer da coleta de dados.

Ao Marcos Alves pela ajuda e auxílio no início do trabalho.

A gestão do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, pelo auxílio prestado.

Aos proprietários dos lotes irrigados pela disponibilidade, apoio e auxílio durante a pesquisa.

A CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior) pela concessão da bolsa.

Ao laboratório de solos e água do Departamento de Ciência do solo, pelo apoio na realização das análises de água.

A todos que de alguma forma direta ou indireta contribuíram com o trabalho e para meu crescimento profissional, eu agradeço!

*“Não reclame se a terra não é boa;
Que o clima não é favorável;
Não lhe cabe julgar a terra ou o tempo;
Tua missão é semear!”.*

Vade Bernaski

RESUMO

As características da qualidade dos recursos hídricos podem variar no espaço e tempo, havendo necessidade de um monitoramento. Sendo assim, objetivou-se identificar a influência da sazonalidade climática e da seca prolongada sobre a qualidade da água subterrânea no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – CE. Foi feita uma pesquisa participativa com os proprietários dos lotes para caracterização desses. Foram selecionados 37 pontos (poços, cacimbas e tanques) para análises hidroquímicas em junho/2015, novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016. No estudo para avaliar a seca prolongada foram selecionados 6 pontos dos estudados para comparação com dados de novembro/2010 e junho/2011. Foi utilizado a análise de agrupamento, pelo método hierárquico aglomerativo, empregando a distância euclidiana quadrada. Os grupos formados pela análise de agrupamento tiveram médias comparadas pelo teste T ao nível de $p < 0,05$, pelo programa SPSS 16.0. A caracterização e a avaliação das águas foram feitas pelo diagrama de Piper, nas águas para irrigação foi usado a metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos pelo software QUALIGRAF 1.17 e a determinação do grau de restrição para uso na irrigação pela metodologia da University of California of Consultants. Houve aumento da demanda do uso da água subterrânea em decorrência da seca prolongada (2012 a 2016), principalmente nos anos de 2014 e 2015, sendo que mais de 80% das fontes foram utilizadas devido à seca. Há carência de informações precisas e de orientação técnica sobre qualidade da água. Cerca de 30% dos produtores detectaram problemas causados pela qualidade da água subterrânea. Para o estudo de dois anos (2015 e 2016) a que sazonalidade climática não influenciou a qualidade das águas. Houve a formação de 2 grupos, em que o grupo 2 (29% do total das amostras) apresentou altos teores de cátions, principalmente o sódio, e de cloreto, apresentando restrições para consumo humano e irrigação. Na classificação hidroquímica houve predominância da classe sódica-cloretada, confirmando a alta presença desses íons nas águas. Na classificação das águas para irrigação os grupos apresentaram predominância das classes C_2S_1 e C_3S_1 . A dinâmica do lençol freático indicou que a seca prolongada reduziu o nível da lâmina de água nas cacimbas. Houve a formação de 2 grupos. No grupo 2 as variáveis aumentaram em função da sua localização. Para classificação das águas de irrigação não houve uma influência maior da seca no geral, porém para o C8 houve, devido sua localização. Para classificação das águas de irrigação houve uma variação das classes C_1S_1 a C_3S_2 .

Palavras-chave: Recursos hídricos. Estiagem. Análise multivariada.

ABSTRACT

The quality characteristics of the water resources can vary in space and time, and there is a need for monitoring. Thus, the objective was to identify the influence of climatic seasonality and prolonged drought on the groundwater quality in the Irído Perara Irado of Baixo Acaraú - CE. A participatory research was carried out with the lot owners to characterize these. We selected 37 points (wells, cacimbas and tanks) for hydrochemical analysis in June/2015, November/2015, June/2016 and November/2016. In the study to evaluate the prolonged drought were selected 6 points of the studied for comparison with data of November/2010 and June/2011. The cluster analysis was used by the agglomerative hierarchical method, using the square Euclidean distance. The groups formed by the cluster analysis had averages compared by the T test at the level of $p < 0.05$, by the SPSS 16.0 program. The characterization and the evaluation of the waters were done by the Piper diagram, in the waters for irrigation was used the methodology of the Laboratory of Salinity of the United States by the software QUALIGRAF 1.17 and the determination of the degree of restriction for use in the irrigation by the methodology of the University of California Of Consultants. There was an increase in demand for groundwater use due to the prolonged drought (2012 to 2016), especially in the years 2014 and 2015, with more than 80% of the sources being used due to the drought. There is a lack of precise information and technical guidance on water quality. About 30% of producers have detected problems caused by groundwater quality. For the two-year study (2015 and 2016), climatic seasonality did not influence water quality. Two groups were formed, in which group 2 (29% of the total samples) presented high levels of cations, mainly sodium, and of chloride, presenting restrictions for human consumption and irrigation. In the hydrochemical classification there was a predominance of the sodium-chlorinated class, confirming the high presence of these ions in the waters. In the classification of the waters for irrigation the groups presented predominance of the classes C_2S_1 and C_3S_1 . The dynamics of the water table indicated that the prolonged drought reduced the level of the water slide in the cacimbas. There were 2 groups. In group 2, the variables increased according to their location. In order to classify irrigation water, there was not a greater influence of drought in general, but for C8 there was, due to its location. For the classification of the irrigation waters there was a variation of the classes C_1S_1 to C_3S_2 .

Keywords: Water resources. Drought. Multivariate analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVO GERAL.....	10
2.1	Objetivos específicos.....	10
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS TIPOS E USOS DAS FONTES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO DIBAU	31
5	VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DIBAU DURANTE DOIS ANOS DE SECA.....	50
6	INFLUÊNCIA DA SECA PROLONGADA (2012 A 2016) SOBRE FONTES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DIBAU.....	84
7	CONCLUSÃO.....	111
	REFERÊNCIAS	113
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO - PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO ACARAÚ	127

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para existência de vida. Porém, várias partes do mundo sofrem com uma crise hídrica decorrente, principalmente, da má distribuição espacial e 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.

O Brasil mesmo sendo considerado um país que possui grandes reservas de água, tem sofrido com falta de chuvas principalmente nas regiões semiáridas. Nessas regiões há períodos de estiagem (secas prolongadas) e baixa disponibilidade de água dos reservatórios superficiais, o que tem alertado às comunidades e aos órgãos públicos para adoção de novas estratégias de convivência com a seca, que visem alcançar a sustentabilidade de uso dos recursos hídricos, otimizando e potencializando, principalmente, o uso para abastecimento humano e para agricultura irrigada.

Na região do Nordeste brasileiro, onde os reservatórios superficiais (açudes e barragens) são tidos como principais fontes para abastecimento, têm-se pensado cada vez mais na utilização das águas subterrâneas para suprir as necessidades hídricas populacionais, em razão, atualmente, da seca prolongada nos últimos cinco anos (2012 a 2016), que reduziu significativamente o volume das águas dos reservatórios superficiais.

No entanto, muitos agricultores têm se deparado com problemas de baixa vazão de água nos poços e também em relação à qualidade dessas fontes hídricas, o que pode acarretar redução da produtividade das culturas e problemas de contaminação ambiental. Dentre os efeitos decorrentes do uso de águas de qualidade inferior destacam-se a salinidade, a sodicidade e a presença de elementos tóxicos, fatores que podem ocasionar prejuízos para a saúde humana, para a agricultura e para o meio ambiente. Esses aspectos reforçam a necessidade de estudos sobre a qualidade dessas fontes de água subterrâneas, buscando também considerar a viabilidade de seu uso em situações de crise hídrica como a que se vive no presente momento.

As características de qualidade dessas fontes hídricas podem variar conforme espaço e tempo, sendo necessário que haja um monitoramento, fornecendo informações sobre ações ambientais e antrópicas, possibilitando assim, diminuir os possíveis impactos que venham a ocorrer ao meio. Andrade *et al.* (2010) cita que a prática do monitoramento além de acompanhar as alterações das qualidades dos recursos hídricos, também possibilita determinar

sua adequabilidade para o uso proposto (abastecimento humano, recreação, dessedentação animal ou irrigação).

A realização de um monitoramento espaço-temporal envolve múltiplas características, o que gera um número grande de informações, porém, apenas uma pequena quantidade dessas informações pode ser relevante. Por isso, tem-se utilizado técnicas de estatística multivariada como, análise de agrupamento, para interpretação dos conjuntos de dados (ANDRADE *et al.*, 2007).

2 OBJETIVO GERAL

Identificar a influência da sazonalidade climática e da seca prolongada sobre a qualidade da água subterrânea no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - DIBAU.

2.1 Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa participativa com os produtores para caracterização das fontes de água subterrâneas;
- Avaliar as características da qualidade das águas subterrâneas estudadas e seus respectivos usos;
- Identificar os possíveis problemas causados pela qualidade da água utilizada no DIBAU, e;
- Avaliar o efeito da seca prolongada sobre a qualidade das águas subterrâneas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Recursos hídricos

A água é um recurso natural de fundamental importância para existência da vida no planeta. Apesar disso, no decorrer dos últimos anos a água tem se tornado elemento insuficiente para suprimento das necessidades populacionais, o que é decorrente do aumento populacional, assim como também pelo mau uso dos recursos hídricos (SALES *et al.*, 2014).

O Brasil é considerado um país rico em relação à disponibilidade de recursos hídricos. De acordo com Shiklomanov *et al.* (2000) a vazão média anual dos rios brasileiros é de cerca de 180 mil m³ s⁻¹, sendo que este valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhão de m³ s⁻¹. Embora seja considerado rico em disponibilidade dos recursos hídricos, o Brasil sofre com a má distribuição. A região Amazônica que se encontra com maior disponibilidade hídrica (70% dos recursos do país) possui apenas 7% da população e a região Nordeste que tem uma maior população, 27%, sofre com a baixa disponibilidade hídrica (apenas 3%).

De todo a água que existe no planeta terra, apenas 2,7% desta é água doce e cerca de 97% está disponível para uso da humanidade na forma de água subterrânea, tornando-se, então, uma grande reserva estratégica de água do planeta (CONCÓRVIA; CELLIGOI, 2012).

A agricultura é o setor no qual se consome mais água, a nível mundial, cerca de 70% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos), ao uso doméstico destina-se 20% e ao setor industrial 10%. De acordo com Folegatti *et al.* (2010) grande parte da água utilizada na agricultura é destinada à irrigação que ocupa 17% das áreas aráveis do planeta, produzindo 40% dos alimentos do mundo. No caso da agricultura, o alto consumo pode estar associado ao alto desperdício de água na irrigação decorrente de projetos inadequados, aos muitos agricultores que ainda confundem excesso de água com qualidade da produtividade agrícola e ainda há uma grande precariedade na manutenção dos sistemas de irrigação já implantados (TELLES; COSTA, 2010).

Com o crescimento demográfico e econômico, os usos da água se multiplicaram e, conseqüentemente houve o aumento da demanda por esse bem. Sendo assim, a escassez fica cada vez mais relacionada a dois fatores: a disponibilidade e a demanda. A crise hídrica se agrava, em parte, devido ao modelo atual de produção e, consumo desenfreado da água, que

reconhecidamente é um bem patrimonial e um recurso estratégico essencial ao desenvolvimento socioeconômico de todos os países (BRAGA; FERRÃO, 2015).

O uso consciente dos recursos hídricos não deve ser apenas uma prioridade do setor agrícola e de regiões onde já se observam a escassez de água, mas também uma prioridade de todos os setores econômicos. Em várias regiões do mundo a demanda supera a disponibilidade hídrica e em situação de escassez, a água disponível não é suficiente para obter-se uma produção suficiente de alimentos, causando vários problemas para a sociedade, sendo o principal deles o agravamento da fome e da pobreza (PEDDE *et al.*, 2013).

O planejamento na gestão dos recursos hídricos consiste em buscar soluções de compromisso, com o objetivo de minimizar conflitos de usos da água, que podem surgir a partir dos múltiplos interesses, existentes ou potenciais, do poder público ou da sociedade. É importante considerar os interesses econômico, financeiro, social, cultural ou ambiental, a fim de minimizar conflitos dos usos múltiplos ou proporcionar ações de prevenção dos eventos hidrológicos críticos, como secas ou inundações (BRAGA; FERRÃO, 2015).

Sendo assim, o gerenciamento e a ciência básica devem ser integrados para que produzam e implantem soluções consistentes e de longo alcance, para isso, esse esforço de integração demanda a participação de acadêmicos, pesquisadores, tomadores de decisão e gerentes, podendo assim, desenvolver novas e criativas soluções para o gerenciamento dos recursos hídricos (TUNDISI, 2014).

Características das águas subterrâneas

A Água subterrânea é toda água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, onde passam a desempenhar papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (BORGHETTI *et al.*, 2004).

De acordo com Rebouças *et al.* (2006) a partir da década de 1960 o termo “águas subterrâneas” foi utilizado para designar a totalidade das águas no subsolo, sendo que a abordagem evoluiu da determinação das reservas de água disponíveis no subsolo, vazões nas obras de captação ou dos poços tubulares, para uma análise abrangente das condições de uso e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, tornando-se necessário considerar os principais tipos de água que ocorrem abaixo da superfície da terra (camada não saturada do subsolo e da sua zona saturada).

O caminho que a água percorre, desde a superfície, passa pela zona não saturada (a água e o ar preenchem os espaços vazios entre os grânulos) e zona saturada (a maioria dos espaços vazios é preenchida por água). No limite entre as duas zonas, se dá a ocorrência do nível freático, que delimita o contato entre estas, chamando por lençol freático. As rochas saturadas que permitem a circulação, armazenamento e extração de águas, são chamadas de aquíferos (BRASIL, 2007). Os poros e fissuras por onde a água se infiltra, local e ocasionalmente, acumula ou percola, tem dimensões milimétricas. São, porém, grandiosamente de tal maneira que o número que o subsolo estoca é cerca de 10,5 milhões km³ de água doce (SILVA, 2011a).

Segundo Borghetti et al. (2004), os aquíferos podem ser classificados quanto ao confinamento em basicamente dois tipos, são eles:

Aquífero livre - é constituído por formação geológica permeável e superficial, aflorada no decorrer de sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Nos aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva, possuem recarga direta. São os mais comuns e mais explorados pela população e apresentam maiores problemas de contaminação;

Aquífero confinado - é constituído por formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, fazendo com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. Os aquíferos confinados têm recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas;

E classificados quanto à litologia das rochas, em:

Aquífero poroso ou sedimentar - é formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos não consolidados ou solos arenosos, no qual a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Armazenam grandes volumes de água, e sua ocorrência se dá em grandes áreas;

Aquífero fissural - é formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras ou maciças, onde a circulação das águas se faz pelas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A capacidade destas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo de água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucas vazões de água;

Aquífero cárstico - é formado em rochas calcárias ou carbonáticas, a circulação da água se dá nas fraturas e outras descontinuidades que resultam da dissolução do carbonato pela água. As aberturas podem atingir grandes dimensões, criando nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos.

Estas águas possuem, de maneira geral, uma proteção maior do que as águas superficiais (sejam correntes ou represadas). Entretanto, esse cenário já não é o mesmo, pois as formas desordenadas de extração, onde há uma construção desordenada de poços, sem qualquer medida de proteção, constituem os principais focos de poluição do manancial subterrâneo no meio urbano (FREIRE; OMENA, 2013).

A importância das águas subterrâneas como um suprimento de água alternativo é cada vez mais reconhecida, em resposta a aumento de custos e à diminuição da qualidade das águas superficiais (BAGHVAND *et al.*, 2010; VAN VLIET; ZWOLSMAN, 2008). Entretanto, a gestão o seu uso estratégico e priorizou o uso dos recursos superficiais. A crise de abastecimento dos últimos anos, causada pelos baixos níveis alarmantes dos reservatórios e lançamento de esgotos contribuiu para se pensar no uso da água subterrânea (VILLAR, 2016).

O interesse crescente pelo uso da água subterrânea, também, vem sendo despertado por uma maior oferta desse recurso e em decorrência do desenvolvimento tecnológico, que proporcionou melhor produtividade dos poços e aumento da vida útil (HELBEL, 2011). Estes recursos hídricos também são de extrema importância para o desenvolvimento agrícola, especialmente nas áreas áridas e semiáridas, onde as águas superficiais são escassas ou inexistentes (MONJEREZI; NGONGONDO, 2012).

Atributos indicadores de qualidade da água

A qualidade dos recursos subterrâneos depende da qualidade da água de recarga, da precipitação atmosférica, da água superficial e dos processos geoquímicos sub-superficiais. As alterações temporais ocasionadas na origem e constituição da água de recarga, fatores hidrológicos e humanos, podem causar mudanças periódicas na qualidade da água subterrânea (VASANTHAVIGAR *et al.*, 2010).

A utilização da água pela sociedade tem o objetivo de atender as necessidades domésticas, econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. Entretanto, os diversos usos da água, quando feitos de forma inadequada, provocam alterações em sua qualidade, o que

compromete os recursos hídricos e em consequência seus usos para os diversos fins (SOUZA *et al.*, 2014).

A degradação do meio ambiente distancia, cada vez mais, as condições de qualidade dos corpos hídricos daquela que seria necessária para o atendimento dos usos atuais e futuros. No Brasil, esta situação é agravada, pelo fato de que os corpos hídricos já se encontram diferentemente dos padrões de qualidade correspondente à sua classe de enquadramento, nas áreas de maior ocupação demográfica (FREIRE; OMENA, 2013).

A variação na qualidade da água subterrânea em uma área é uma função de parâmetros físicos e químicos que são fortemente influenciados por formações geológicas e atividades antropogênicas (KUMAR *et al.*, 2012). O conhecimento sobre as características qualitativas dos recursos hídricos pode contribuir na tomada de decisões sobre os seus usos adequados (VILLANUEVA *et al.*, 2015).

Deve-se dar uma atenção aos seguintes parâmetros:

Cálcio - As fontes principais de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros. O cálcio na forma de carbonato é muito pouco solúvel em água pura. Este pode ocorrer, também, nas águas em forma de bicarbonato, sendo que sua solubilidade é em função da quantidade de gás carbônico dissolvido. A quantidade desse gás depende da temperatura e da pressão, sendo, portanto, fatores que irão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio (LAUTHARTTE, 2013).

A acumulação de carbonatos, principalmente de cálcio, pela água de irrigação, pode ocasionar um processo de cimentação do solo, podendo este, ocorrer depois de um período de 5 a 7 anos de irrigação, o que acaba por dificultar a penetração da água de irrigação e das raízes (BABCOCK; EGOROV, 1973);

Cloreto - Este atributo hidroquímico pode indicar as características do meio que foi percolado, quando se tem conhecimento sobre o tipo de material do aquífero, está presente em praticamente todos os tipos de água. Ainda assim, esse íon pode também refletir problemas relacionados à poluição, por isso é um bom indicador de contaminação para fontes que, de maneira inadequada, recebem esgotos domésticos e para mananciais próximos a aterros sanitários e lixões (LIMA *et al.*, 2014).

A toxicidade de maior frequência é provocada pelo cloreto contido na água de irrigação. O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, deslocando-se facilmente com a água, ainda é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. Se sua concentração exceder a tolerância da planta, produzem-se

danos com seus sintomas característicos, como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS; WESCOT, 1976);

Condutividade elétrica - A condutividade expressa, de forma numérica, a capacidade d'água conduzir a corrente elétrica. É dependente das concentrações iônicas e da temperatura na água, indicando a quantidade de sais existentes (CETESB, 2009).

Há problemas de salinidade quando os sais acumulam-se na zona radicular a uma concentração em que possa ocasionar perdas na produção agrícola. Estes sais, geralmente, são provenientes das águas de irrigação ou das águas de lençol freático alto. O rendimento das culturas diminui quando o teor de sais na solução do solo não permite que as culturas retirem água suficiente da zona radicular, provocando um estado de escassez de água nas plantas por tempo significativo (AYERS; WESCOT, 1976).

A condutividade elétrica também fornece uma indicação das modificações realizadas na composição de uma água, no que se diz respeito a sua concentração mineral, porém não fornece indicação alguma das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água pode aumentar à medida que se adicionam sólidos dissolvidos. Valores elevados podem ser um indicativo que há características corrosivas da água (CETESB, 2009);

Magnésio - É um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, acompanha este elemento, porém, o magnésio pode formar sais mais solúveis, diferentemente do cálcio. Nas regiões litorâneas a relação entre Mg/Ca caracteriza a contaminação por água marinha. Este elemento, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas (LAUTHARTTE, 2013).

A produtividade das culturas aparenta ser menor em solos com teores altos de magnésio ou também quando se irrigam com águas que contêm altos níveis deste elemento, mesmo tendo a infiltração adequada, esse fato se deve, possivelmente, à deficiência de cálcio induzida por excesso de magnésio trocável no solo (AYERS; WESCOT, 1976);

Potássio – Este é visto com baixas concentrações nas águas naturais, pois as rochas que contêm potássio são relativamente resistentes às ações do tempo. Entretanto, sais de potássio são amplamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, podendo adentrar nas águas doces por descargas industriais e lixiviação de terras agrícolas. Este é geralmente encontrado na forma iônica e sendo os sais altamente solúveis (CETESB, 2009).

Segundo Caires (2015) o potássio é um elemento essencial para o crescimento das plantas, por ativar algumas enzimas, desempenhando um papel importante no equilíbrio de

água nas plantas. O rendimento de uma colheita está relacionado de forma direta com a quantidade presente no solo.

Este elemento pode ocorrer na água potável devido ao uso de permanganato de potássio como oxidante no tratamento da água. Não há evidências de que os níveis de potássio nas águas potáveis possam causar qualquer risco à saúde do consumidor, pois as concentrações encontradas são muito baixas (CETESB, 2015);

Potencial hidrogeniônico – O pH é utilizado como indicativo de acidez ou alcalinidade de uma solução, sendo um dos atributos mais estudados na determinação da qualidade de água. Este indica a condição ácida (H^+) ou alcalina (OH^-), que podem ter como origem os fatores naturais do solo ou resultantes dos processos de poluição e contaminação da água que eleva a carga de poluentes dissolvidos (BELIZÁRIO, 2016).

Nas águas naturais, o pH é alterado pelas concentrações de íons H^+ decorrentes da dissociação do ácido carbônico, o que proporciona valores baixos de pH, e pelas reações de íons de carbono e bicarbonato com a molécula de água, que aumentam os valores de pH, tornando-o alcalino (VASCONCELOS, 2010).

No caso das águas para irrigação o pH está entre 6,5 e 8,4, águas com valores anormais podem criar desequilíbrio de nutrição e conter íons tóxicos. Águas com baixa salinidade ($< 0,2 \text{ dS m}^{-1}$) têm, algumas vezes, o pH fora do normal. Este fato pode indicar a possibilidade de desequilíbrio de íons e a necessidade de realização de uma análise química completa. Esse tipo de água causa poucos problemas nos solos ou plantas, mas podem corroer rapidamente os componentes metálicos como tubulações, aspersores, medidores etc. (AYERS; WESCOT, 1976);

Sódio - O sódio se encontra na forma iônica (Na^+), e na matéria das plantas e animais, sendo este um elemento essencial para os organismos vivos. O aumento dos níveis na superfície da água pode se dar pelo despejo de esgotos e efluentes industriais. As concentrações variam consideravelmente dependendo da geologia do local e descargas de efluentes (FREIRE; OMENA, 2013).

Os efeitos da toxicidade do sódio podem ser criados ou agravados pela baixa infiltração, por esse motivo, as avaliações de sua toxicidade potencial, ou da RAS, devem ser realizadas com todo cuidado. Quando a infiltração é adequada, somente as culturas mais sensíveis podem sofrer redução em seus rendimentos, como consequência de valores altos de sódio (AYERS; WESCOT, 1976);

Relação de adsorção de sódio - Este parâmetro indica a proporção relativa em que se encontra o Na^+ em relação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} . É de grande importância quando há predominância do íon sódio, pois este induzirá trocas de íons cálcio e magnésio pelos de sódio nos solos, o que pode acabar por conduzir à degradação do mesmo, e como consequência, perda de sua estrutura e permeabilidade (ALMEIDA, 2010).

O valor da RAS aumenta no solo em consequência do aumento da concentração total de sais e de uma possível precipitação dos teores de cálcio e magnésio à medida que diminuí o conteúdo de umidade a ser extraído pelas plantas e perdido por evaporação superficial (PANTERNIANI; PINTO, 2001);

Sólidos dissolvidos – Estes são constituídos por partículas que permanecem na solução mesmo após a filtração. A presença de sólidos na água pode ocorrer por processos naturais ou antropogênicos. Apesar dos parâmetros de turbidez e sólidos totais serem associados, eles não são absolutamente equivalentes, quando uma pedra, por exemplo, é colocada em um copo de água limpa proporciona ao meio uma elevada concentração de sólidos totais, mas sua turbidez pode ser praticamente nula (FREIRE; OMENA, 2013).

É importante analisar este parâmetro quando se utiliza dos métodos de irrigação localizada (gotejadores ou microaspersores), considerando que seus emissores são extremamente sensíveis, as partículas sólidas presentes na água podem facilmente obstruí-los causando a desuniformidade do sistema (PANTERNIANI; PINTO, 2001).

A parte fixa dos sólidos dissolvidos é considerada como salinidade, o excesso desse elemento na água pode causar alterações em seu gosto e problemas de corrosão (HELLER; PADUA, 2006);

Sulfato - O sulfato é originado da deposição atmosférica de aerossóis do oceano e da lixiviação de compostos de enxofre, de sulfetos ou sulfatos minerais de rochas sedimentares. Este é a forma estável, oxidada, do enxofre e é prontamente solúvel em água. Os despejos industriais e a precipitação podem ser causadores do aumento das quantidades significativas de sulfato em águas superficiais. Suas concentrações em águas naturais estão entre 2 a 80 mg L^{-1} , podendo exceder os 1000 mg L^{-1} , em locais próximos a descargas industriais ou regiões áridas onde sulfatos minerais estão presentes (CHAPMAN, 1996).

Faz-se necessário o controle do sulfato em águas tratadas, pois este, após a ingestão pode provocar efeitos laxativos. No abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor (CETESB, 2009).

Recursos hídricos no estado do Ceará

O estado do Ceará é composto por oito macrorregiões de planejamento em uma área de 146.817 km², o que representa 9,4% da área do Nordeste e 1,7% da área do Brasil. Do seu território, 93% encontra-se inserido no semiárido nordestino, que é caracterizado pela escassez de recursos hídricos, apresentado precipitações médias em torno de 900 mm ano⁻¹ e uma alta variação na distribuição espaço-temporal destas. A região se mostra limitante, quanto à extração de águas subterrâneas, em decorrência, principalmente, da formação do cristalino e da salobridade que os solos apresentam (JALES *et al.*, 2010).

Nas regiões semiáridas os principais reservatórios naturais de água são os rios, aquíferos e o solo. Na ausência ou na sua insuficiência, os reservatórios artificiais (açudes, por exemplo) têm papel crucial na potencialização dos recursos hídricos (ARAÚJO, 2012). No semiárido brasileiro o processo de aridez e a distribuição irregular das precipitações, no espaço e tempo, levaram à prática da construção de reservatórios de captação e de armazenamento das águas superficiais (FERREIRA *et al.*, 2015).

Entretanto as águas represadas estão vulneráveis à deterioração da qualidade devido à alta taxa de evaporação e aos aportes de nutrientes provenientes da agricultura e esgotos domésticos (LIU *et al.*, 2011). Além disso, mesmo as águas superficiais sendo consideradas uma das principais fontes de abastecimento no Ceará, nos últimos anos para suprir a falta destas fontes, o uso de água subterrânea tem crescido significativamente.

Dos recursos hídricos subterrâneos do estado somente 27% da área territorial pertencem às rochas sedimentares, geralmente, produzem águas em maior quantidade e de melhor qualidade do que o das rochas cristalinas que ocupam o restante da área territorial e na maioria das vezes, produzem vazões mais baixas e águas com teor maior de sais do que as pertencentes às rochas sedimentares (SANTANA, 2008). De modo geral, os aquíferos presentes nas formações de rochas cristalinas são de expressão local, estes apresentam grande descontinuidade, e não tem uma importância para uma abordagem no que se diz respeito às legislações internacionais (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

No Ceará existem duas estações distintas: a estação chuvosa e a estação seca. A estação chuvosa caracteriza-se por ocorrência das chuvas no primeiro semestre do ano de janeiro a junho, subdividindo-se em: pré-estação chuvosa em janeiro, estação chuvosa de fevereiro a maio e pós-estação chuvosa em junho. No segundo semestre a ocorrência de chuva

e pequena, há uma ausência quase que total dos fenômenos atmosféricos que causam as chuvas, por isso, é chamada de estação seca (SANTANA, 2008).

As secas fazem parte da variação natural do clima na região semiárida do nordeste brasileiro, e ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e de acordo com as projeções de mudanças climáticas, há uma tendência de que continuem e intensifiquem no futuro (MARENGO *et al.*, 2016).

A fim de reduzir a problemática da seca são adotadas políticas em períodos de seca, sendo estas, implantadas para amenizar ou eliminar os conflitos inevitáveis ao comprometimento da população a seu nível de subsistência. Para um período em curto prazo a ação mais utilizada é o abastecimento de água através de carros-pipa, visando reduzir os impactos imediatos da seca, e, em longo prazo, prefere-se pela construção de obras de infraestrutura hídrica, como açudes e barragens como forma de assegurar o abastecimento no período seco (JALES *et al.*, 2010). Porém ainda assim, na falta dos reservatórios superficiais, os aquíferos podem ser considerados uma alternativa estratégica para os países sobrejacentes a fim de garantir água de boa qualidade para sua população, e provavelmente mais uma fonte de riqueza para estes (OLIVEIRA, 2016).

Os esforços para conviver com a seca ainda são insuficientes para resolver os problemas decorrentes da escassez hídrica, principalmente quando se trata do uso da água em meio rural. Porém, de qualquer forma, a ampliação de infraestrutura hídrica, quando associada a uma gestão adequada, constituem requisitos essenciais para a solução do problema, sendo elemento básico para minimizar o êxodo rural e promover a interiorização do desenvolvimento.

Efeito da sazonalidade climática na qualidade das águas

A água em um ambiente varia de acordo com o espaço e o tempo. A região do semiárido brasileiro é caracterizado por uma distribuição irregular nas precipitações pluviométricas, com variações no espaço e no tempo e elevadas taxas evapotranspiratórias (FERREIRA *et al.*, 2015).

Para a determinação da qualidade da água em um corpo hídrico não se deve avaliar somente suas características físicas, químicas e microbiológicas, mas também é necessário um monitoramento de sua variabilidade espacial e sazonal (BERTOSSO *et al.*, 2013). O monitoramento da qualidade da água é uma das principais ações para realizar o

planejamento e gestão dos recursos hídricos, por possibilitar o acompanhamento dos seus usos, apresentando os efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando à realização de ações para controle ambiental (LEMOS *et al.*, 2010; GUEDES *et al.*, 2012).

As variações extremas das precipitações pluviométricas influenciam na vida humana e nas atividades agrícolas em diferentes regiões do planeta. Assim, é necessário conhecer a distribuição e a variabilidade da precipitação nas variadas épocas do ano (SILVA *et al.*, 2011b). As variações temporais ocorridas na qualidade da água são causas, principalmente, de fontes poluidoras pontuais e/ou fatores climáticos (XIAOLONG *et al.*, 2010).

É observada nas águas subterrâneas uma concentração de sais maior do que nas águas superficiais, principalmente nos períodos secos, onde a recarga não é suficiente. Nos períodos chuvosos há uma tendência de gerar lâminas de recarga, que contribuem para a lavagem de sais do solo, conduzindo-os assim, para a zona saturada. Dependendo da circulação do aquífero, os sais tendem a ser naturalmente carregados das camadas superficiais promovendo, assim, uma maior diluição nas águas subterrâneas, mostrando a evidência dos efeitos sazonais (MONTENEGRO *et al.*, 2002).

No trabalho realizado por Afonseca *et al.* (2005), onde analisavam a ação do clima na dinâmica do nitrato e cloreto no lençol freático no DIBAU, foi observada uma concentração maior do íon cloreto nas águas do lençol freático, durante e após a estação chuvosa.

Em um estudo realizado por Andrade *et al.* (2010) foi verificado que há uma grande variabilidade espacial entre os poços estudados para as variáveis analisadas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-}), porém não se observou alteração na qualidade das águas dos poços subterrâneos no DIBAU entre as estações secas e chuvosas.

Lobato *et al.* (2008) estudando a qualidade das águas da barragem Santa Rosa localizada no DIBAU observaram uma sazonalidade, sendo que, para a maior parte dos atributos analisados, durante a estação chuvosa, tiveram concentrações inferiores as apresentadas na estação seca.

Luna (2012) investigando as mudanças na qualidade das águas subterrâneas do DIBAU encontrou na estação chuvosa valores dos sais inferiores aos observados na estação seca, constatando que há uma redução na concentração desses elementos de acordo com o aumento do nível do freático devido às precipitações pluviométricas.

A previsão sazonal climática corresponde a melhor maneira de analisar a intensidade e extensão da seca, para que se possa conhecer os impactos da variabilidade climática, identificando assim, as vulnerabilidades e permitindo uma melhor tomada de decisões em termos de medidas de adaptação à seca (MARENGO, 2016).

Uso da análise multivariada de dados na qualidade da água

A análise multivariada compreende técnicas estatísticas que simultaneamente analisam várias medidas sobre indivíduos ou objetos, a fim de serem investigados (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). Este tipo de análise permite estabelecer comportamentos, relações, interações e dinâmica entre as diversas variáveis e os fatores que determinam mudanças nos sistemas de estudo (HENRIQUE *et al.*, 2015). As técnicas mais utilizadas nos estudos de avaliação da qualidade da água são análise de agrupamento e análise de componentes principais. Cada método se enquadra as diferentes pesquisas para os diversos fins estudados.

As análises são divididas em técnicas de dependência ou de interdependência. No primeiro caso, uma ou mais variáveis (variáveis dependentes) podem ser explicadas por outras (variáveis independentes). No segundo caso, todas as variáveis são analisadas simultaneamente, sem a orientação de dependência ou independência (GOUVÊA *et al.*, 2012).

Das técnicas estatísticas de análise multivariada, tem-se a análise de agrupamento, análise de fatores e análise de componentes principais, estas são técnicas diferentes e que podem ser aplicadas independentemente, podendo ser complementares (SANTOS, 2012).

Para estudos multivariados uma das primeiras decisões que devem ser tomadas pelo pesquisador é definir quais variáveis são mais significativas para retratar o problema. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas que possam resumir, sistematicamente, a correlação significativa existente entre as muitas variáveis (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). A realização de uma análise múltipla em uma amostra fornece um melhor entendimento do número de variáveis utilizadas e permite considerar a variabilidade existente nas diversas propriedades avaliadas. Esta se refere aos métodos analíticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas em cada indivíduo ou objeto a ser investigado (SANTOS, 2012).

Análise de agrupamento

A análise de agrupamento é uma técnica que tem como objetivo realizar um estudo de análise para desenvolver subgrupos significativos de indivíduos ou objetos de pesquisa. Os grupos não são pré-definidos, ao invés disso, a técnica é utilizada para identificação dos grupos. Agregam-se os objetos de pesquisa a partir de características semelhantes que possuem, onde cada objeto será semelhante aos demais no agrupamento, quando relacionado a algum critério de seleção predeterminado (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

A utilização dessa técnica permite a identificação de grupos com características homogêneas, podendo ser usada quando se tem pelo menos três variáveis numéricas. Com a aplicação dos cálculos matemáticos de distância é possível atribuir as medidas de similaridade a todos os pares de objetos e entre cada objeto e os subgrupos formados pela aplicação da técnica (TANAKA *et al.*, 2015). Esta ferramenta é útil na análise de dados em situações diferentes, podendo ser utilizada para reduzir a dimensão de um conjunto de dados, minimizando uma gama de objetos à informação do centro do seu conjunto (LINDEN, 2009).

Esse método envolve pelo menos três passos, onde, o primeiro é a medida de alguma forma de similaridade que há entre as variáveis para determinar quantos grupos realmente existe na amostra, o segundo é o real processo de agrupamento, onde as variáveis são separadas em grupos, o terceiro e último passo é estabelecer o perfil das variáveis para determinar sua composição (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Análise de agrupamento hierárquico

Os procedimentos hierárquicos envolvem uma série de decisões de agrupamentos que combinam as observações em uma estrutura hierárquica do tipo árvore. Na análise de agrupamento hierárquico existem dois tipos de procedimentos: aglomerativos (cada objeto de pesquisa começa com seu próprio agrupamento) e divisivos (todos os objetos de pesquisa começam em um só agrupamento). Os cinco algoritmos aglomerativos mais populares são: ligação individual, ligação completa, ligação média, método do centróide e método de Ward. No método de Ward, a distância entre dois agrupamentos é representada pela soma dos quadrados entre ambos, feita sobre todas as variáveis. Este procedimento tende a combinar agrupamentos com um pequeno número de observações (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Os agrupamentos gerados por esses métodos são representado sem uma estrutura na forma de árvore, no qual são denominadas como “dendrogramas”, que mostram como os objetos foram aglomerados, ou seja, como os objetos foram agrupados (ALVES *et al.*, 2014). Esse tipo de gráfico apresenta uma síntese do trabalho desenvolvido, o que vem a ocasionar uma pequena perda de informação, pelo fato de ser uma síntese. Embora aconteça essa perda, esse é de grande utilidade para classificar, comparar e discutir os agrupamentos.

Medidas de similaridade

Para se avaliar a homogeneidade entre os objetos, utilizam-se medidas de similaridade, considerando dois tipos de similaridade: similaridade propriamente dita, que diz respeito ao quão é semelhante os objetos, e a dissimilaridade, que mede quão diferentes são, de forma que uma complementa a outra. Portanto, quanto maior for a similaridade, mais semelhante será, e quanto maior a dissimilaridade, menor a semelhança (ALVES *et al.*, 2014).

As medidas de similaridade se subdividem em medidas correlacionais que visam determinar o coeficiente de correlação que há entre dois objetos medidos nas diversas variáveis; medidas de associação, no qual, comparam os objetos em que as características são medidas apenas em termos não métricos (medida nominal ou ordinal), e; medidas de distância, sendo as mais utilizadas em análises de agrupamento, indicam a proximidade que há entre as observações. As medidas de distância são, na verdade, medidas de dissimilaridade, onde os valores maiores denotam menor similaridade, sendo a distância convertida em uma medida de similaridade pelo uso de uma relação inversa (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Segundo Ludewig *et al.* (2009) para a distância euclidiana, deve-se considerar o vetor X de coordenadas reais ($x_1, x_2, \dots, x_p$), para descrever os objetos em que serão investigados as semelhanças. Estes autores citam ainda que a medida mais conhecida para indicar a proximidade entre os objetos A e B , sendo variáveis quantitativas é a distância euclidiana $d(A, B)$ é pela equação 1:

$$d(A, B) = \left[\sum_{i=1}^p (x_i(A) - x_i(B))^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

em que: $x_i(A)$ é o elemento da i -ésima coordenada do objeto A ; $x_i(B)$ é o elemento da i -ésima coordenada do objeto B .

REFERÊNCIAS

- AFONSECA, T. G.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; RODRIGUES, J. O. Ação do clima na dinâmica do nitrato e cloreto no lençol do DIBAU, Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1 CD.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.
- ALVES, I.; OLIVEIRA, C. S.; BRITO, J. A. de M. Um estudo do problema de detecção de comunidades em redes. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 4, p. 566-574, 2014.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 11-19, 2010.
- ARAÚJO, J. C. de. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Recôncavo da Bahia, 2012. p. 30-39.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. 97 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).
- BABCOCK, K.L.; EGOROV, V.V. **Chemistry of saline and alkali soil of arid zone**. In: **IRRIGATION, drainage and salinity**. Paris: FAO/UNESCO, 1973. p. 122-127.
- BAGHVAND, A.; NASRABADI, T.; BIDHENDI, G. N.; VOSOOGH, A.; KARBASSI, A.; MEHRDADI, N. Groundwater quality degradation of na aquifer in Iran central desert. **Desalination**, v. 260, p. 264-275, 2010.
- BELIZÁRIO, W. da S. Análise ambiental de bacias hidrográficas urbanas: um olhar a partir da avaliação físico-química e microbiológica de águas superficiais. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 9, n. 2, 2016.
- BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. de O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **O aquífero Guarani**. Curitiba, 2004. 214 p.
- BRAGA, L. M. M.; FERRÃO, A. M. de A. A gestão dos recursos hídricos na França e no Brasil como foco nas bacias hidrográficas e seus sistemas territoriais. **Labor & Engenharia**, v. 9, n. 4, p. 19-33, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 40 p.

CAIRES, A. C. P. **Química ambiental – curso técnico em meio ambiente**. Disponível em: <<https://professorasoelygeraldis.wikispaces.com/file/view/APOSTILA01.pdf>>. Acesso em: 25 dez 2015.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, 2009. 44 p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Ficha de informação toxicológica – Potássio**. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/potassio.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2015.

CHAPMAN, D. (ed). **Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2. ed. Great Britain: University Press, Cambridge, 1996. 625 p.

CONCÓRVIA, J. A.; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã – PR. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2 especial, p. 39-48, 2012.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.

FOLEGATTI, M. V.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; COELHO, R. D.; FRIZZONE, J. A. Gestão dos Recursos Hídricos e agricultura irrigada no Brasil. p. 15-23. In: BICUDO, C. E. M.; TUDINSI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. 222 p.

FREIRE, C. C.; OMENA, S. P. F. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Aproveitamento em Gestão de Recursos Hídricos: modalidade à distância. 2013.

GOUVÊA, M. A.; PREARO, L. C.; ROMEIRO, M. do C. Avaliação da adequação de aplicação de técnicas multivariadas em estudos do comportamento do consumidor em teses e dissertações de duas instituições de ensino superior. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 338-355, 2012.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. de; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna, 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HELBEL, A. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná/RO – Brasil**. 2011, 111 f. Graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006, 859 p.

HENRIQUE, W.; FERRAUDO, A. S.; SAMPAIO, A. A. M.; PERECIN, D.; SILVA, T. M. da; TEDESCHI, L. O. Agrupamento hierárquico, não hierárquico e redes neurais artificiais na caracterização de grupos de bovinos machos terminados em confinamento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 72, n. 1, p. 41-50, 2015.

JALES, J. V.; PORTELA, S. V. da S.; MERA, R. D. M.; ALECAR JÚNIOR, J. S. de; MAYORGA, M. I. de O. Análise da sustentabilidade do perímetro irrigado do baixo Acaraú, no estado do Ceará. In: 48º CONGRESSO SOBER – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2010.

KUMAR, S. K.; CHANDRASEKAR, N.; SERALATHAN, N.; GODSON, P. S.; MAGESH, N. S.; Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4127-4138, 2012.

LAUTHARTTE, L. C. **Avaliação da qualidade de água subterrânea no Distrito de Jaci-Paraná, município de Porto Velho – RO**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2013.

LEMO, M. de; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. da S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, v. 14, n. 2, p. 155-164, 2010.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, Crateús, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de informação da FSMA**, Rio de Janeiro, n.4, p. 18-36, 2009.

LIU, Y.; CHEN, W.; LI, D.; HUANG, Z.; SHEN, Y.; LIU, Y. Cyanobacteria-/cyanotoxin contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 4, p. 575-581, 2011.

LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LUDEWING, D. R.; OPAZO, M. A. U.; GIMENES, R. M. T.; SOUZA, E. G. de. O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.

LUNA, N. R. de S. **Investigação de mudanças na qualidade das águas subterrâneas do Baixo Acaraú em decorrência do manejo da irrigação**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 4, n. 1, 2016.

MONJEREZI, M.; NGONGONDO, C. Quality of Groundwater Resources in Chikhwawa, Lower Shire Valley, Malawi. **Exposure and Health**, v. 4, n. 1, p. 39-53, 2012.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LEAL, I. G.; NASCIMENTO, J. J.; ARAÚJO, T. C. Análise da recarga de origem pluviométrica e sua relação com a salinidade da água de aquífero aluvial no semi-árido do nordeste brasileiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6, 2002, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1 CD.

PANTERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água salinização, fertirrigação e legislação. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (Ed.). **Irrigação**. São Paulo: FUNEP, 2001. v. 1, p. 195-253.

PEDDE, S.; KROEZE, C.; RODRIGUES, L. N. Escassez hídrica na América do Sul: situação atual e perspectivas futuras. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2013.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 749 p.

OLIVEIRA, C. M. de; AMARANTE JÚNIOR, O. P. de; FIORILLO, C. A. P.; COLENCI, P. L. Regulação das águas doces superficiais e subterrâneas na integração regional do MERCOSUL. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 291-303, 2016.

SALES, M. M. de; LOPES, F. B.; MEIRELES, A. C. M.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M. de. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas em reservatório da região semiárida para fins de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 411-421, 2014.

SANTANA, Eudoro Walter de. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará. Pacto das Águas: compromisso sócio-ambiental compartilhado**. Fortaleza: INESP, 2008. 174 p.

SANTOS, R. V. M. dos. **Sistema de apoio à decisão para gestão da pós-colheita do café**. 2012, 84 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2012.

SHIKLOMANOV, I. A. et al. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. In: LEWIS, E. L. et al. (Ed.) **The Freshwater Budget of the Arctic Ocean**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 281-96.

SILVA, P. C. A. da. **Reserva hídrica: Aquífero Guarani e seu uso sustentável**. 2011, 79 f. Especialização (Legislação e Políticas Públicas) – Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento, Brasília. 2011a.

SILVA, V. P. R. da; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V. de; SOUSA, F. de A. S. de; SOUSA, I. F. de. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011b.

SOUZA, J. R. de; MORAES, M. E. B. de; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodeima**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

TANAKA, O. Y.; DRUMOND JÚNIOR, M.; CRISTO, E. B.; SPEDO, S. M.; PINTO, N. R. da S. Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. **Saúde e Sociedade**, v. 24, n. 1, p. 34-45, 2015.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água**: Conceitos, teorias e práticas. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

TUNDISI, J. G. (coord.). **Recursos hídricos no Brasil**: problemas, desafios e estratégias. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

VAN VLIET, M. T. H.; ZWOLSMAN, J. J. G. Zwolsman, Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. **Journal of Hydrology**, v. 353, p.1–17, 2008.

VASANTHAVIGAR, M.; SRINIVASAMOORTHY, K.; VIJAYARAGAVAN, K.; RAJIV GANTHI, R.; CHIDAMBARAM, S.; ANANDHAN, P.; MANIVANNAN, R.; VASUDEVAN, S. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. **Environ Monit Assess**, v. 609, p. 171-595, 2010.

VASCONCELOS, V. M. M. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém-PA**. 2010. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.

VILLAR, P. C. Em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 1, p. 83-102, 2016.

VILLANUEVA, T. C. B.; LEAL, L. R. B.; ZUCCHI, M. do R.; AZEVEDO, E. G.; VILLANUEVA, P. R. Diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos na região de Irecê – BA. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 1, p. 30-41, 2015.

XIAOLONG, W. et al. Spatial and seasonal variations of the contamination within water body of the Grand Canal, China. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 1513-1520, 2010.

4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS TIPOS E USOS DAS FONTES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO DIBAU

RESUMO

A água é um bem com valor econômico, social e ecológico e deve ser compartilhado pelas presentes e futuras gerações. Esta é aproveitada como insumo indispensável aos processos produtivos e atua como recurso estratégico para o desenvolvimento econômico. Com isso objetivou-se com esse estudo realizar uma pesquisa participativa com os produtores do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – CE, a fim de caracterizar as fontes de água subterrânea, bem como diagnosticar a qualidade e uso dessas fontes. Foi realizada uma pesquisa participativa com os proprietários de lotes e residências localizados no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU no ano de 2015. Os pontos de coleta foram previamente estabelecidos através de mapas do DIBAU, juntamente com visitas de campo, foram selecionados 37 pontos de coleta (poços, cacimbas e tanques) com abrangência em todo o Perímetro, sendo que os pontos selecionados têm como usos prioritários a irrigação e o consumo humano. Para caracterizar os pontos e realizar um diagnóstico sobre a qualidade e uso das fontes hídricas no DIBAU foram aplicados 34 questionários, contendo 12 questões, com informações iniciais e também os tipos de usos das fontes, sendo que para as fontes utilizadas na irrigação foi aplicada questões com relação às informações sobre o funcionamento. Foi realizada uma pesquisa participativa com os responsáveis pelos lotes, aplicando um questionário para cada amostra e não para cada produtor, já que em algumas propriedades há a existência de mais de um ponto de coleta. Os lotes pesquisados mostraram aumento da demanda do uso da água subterrânea em decorrência da seca prolongada (2012 a 2016), principalmente nos anos de 2014 e 2015, sendo que mais de 80% das fontes hídricas avaliadas foram utilizadas devido à seca. Há carência de informações precisas e de orientação técnica sobre qualidade da água para os produtores entrevistados. Cerca de 30% dos produtores detectaram problemas causados pela qualidade das fontes de água subterrânea, sendo os principais a salinidade, presença de ferro e variações de pH.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Perímetro irrigado. Pesquisa participativa.

ABSTRACT

Water is a natural good, with economic, social and ecological value and must be shared by present and future generations. This is used as an indispensable input to productive processes and acts as a strategic resource for economic development. The objective of this study was to carry out a participatory research with the producers of the Irido Perara de Baixo Acaraú - CE, in order to characterize the sources of groundwater, as well as to diagnose the quality and use of these sources. A participatory survey was carried out with the owners of lots and residences located in the Low Acaraú Irrigated Perimeter - DIBAU in the year 2015. The collection points were previously established through DIBAU maps, along with field visits, 37 points were selected. Collection (wells, cacimbas and tanks) with coverage in all the Perimeter, being that the selected points have as priority uses the irrigation and the human consumption. In order to characterize the points and to make a diagnosis about the quality and use of the water sources in the DIBAU, questionnaires were applied, containing 12 questions, with initial information and also the types of uses of the sources. Regarding the information on the operation, conducting a participatory research with those responsible for the lots, applying a questionnaire for each sample and not for each producer, since in some properties there is more than one point of collection. The results were presented in the form of graphs developed with the help of spreadsheets from Microsoft office Excel 2010. There was an increase in the demand for groundwater use due to the prolonged drought (2012 to 2016), especially in the years 2014 and 2015, Being that more than 80% of the water sources evaluated were used due to the drought. There is a lack of precise information and technical guidance on water quality for the producers interviewed. Around 30% of the producers detected problems caused by the quality of groundwater sources, the main ones being salinity, presence of iron and variations in pH.

Keywords: Water resources. Irrigated perimeter. Participatory research.

INTRODUÇÃO

A água é um bem natural, com valor econômico, social e ecológico, é patrimônio de todos e deve ser compartilhado pelas presentes e futuras gerações, mostrando-se com importância fundamental para um desenvolvimento sustentável. Esta é aproveitada como

insumo indispensável aos processos produtivos e atua como recurso estratégico para o desenvolvimento econômico (HEBEL, 2011).

No decorrer dos últimos cinco anos os conflitos pela água no Brasil dobraram, onde a região nordeste apresentou uma elevação em 2013. Entre os anos de 2012 e 2014 a disponibilidade hídrica diminuiu, agravando as disputas por terras irrigadas e pelo uso da água (PEREIRA; CUELLAR, 2015).

Em uma região no qual a irrigação é necessária, a diminuição de disponibilidade hídrica ou até mesmo a qualidade inferior pode comprometer o desenvolvimento. Portanto, a irrigação é uma tecnologia indispensável nos dias atuais, onde são observados crescimentos contínuos da demanda por alimentos, devido ao crescimento populacional e a busca incessante por uma melhor qualidade de vida. Esta atividade vem se tornando uma expressiva atividade de mercado, acarretando produções e rendimentos mais elevados ao setor (LOPES *et al.*, 2011).

Tem-se observado que o acesso à água é desigual entre os setores produtores agrícolas (grandes e médias empresas do agronegócio, os pequenos produtores da agricultura familiar e os moradores de cidades em regiões mais secas), principalmente entre aquelas que eram abastecidas por açudes menores que secaram (PEREIRA; CUELLAR, 2015).

A utilização da água pela sociedade visa atender suas necessidades pessoais, atividades agrícolas e sociais. Entretanto, quando essa utilização é realizada de forma inadequada, acaba provocando alterações na qualidade da mesma, o que compromete os recursos hídricos e por consequência seus usos para os diversos fins (SOUZA *et al.*, 2014). Diante disso, as águas devem receber um monitoramento contínuo, para obtenção do conhecimento de possíveis mudanças na qualidade e disponibilidade potencial e real dos mananciais hídricos (ANDRADE *et al.*, 2010).

Com isso objetivou-se realizar uma pesquisa participativa com os produtores do Perímetro Irrigado do Baixo Acaráu – CE, a fim de caracterizar as fontes de água subterrânea, bem como diagnosticar a qualidade e uso dessas fontes.

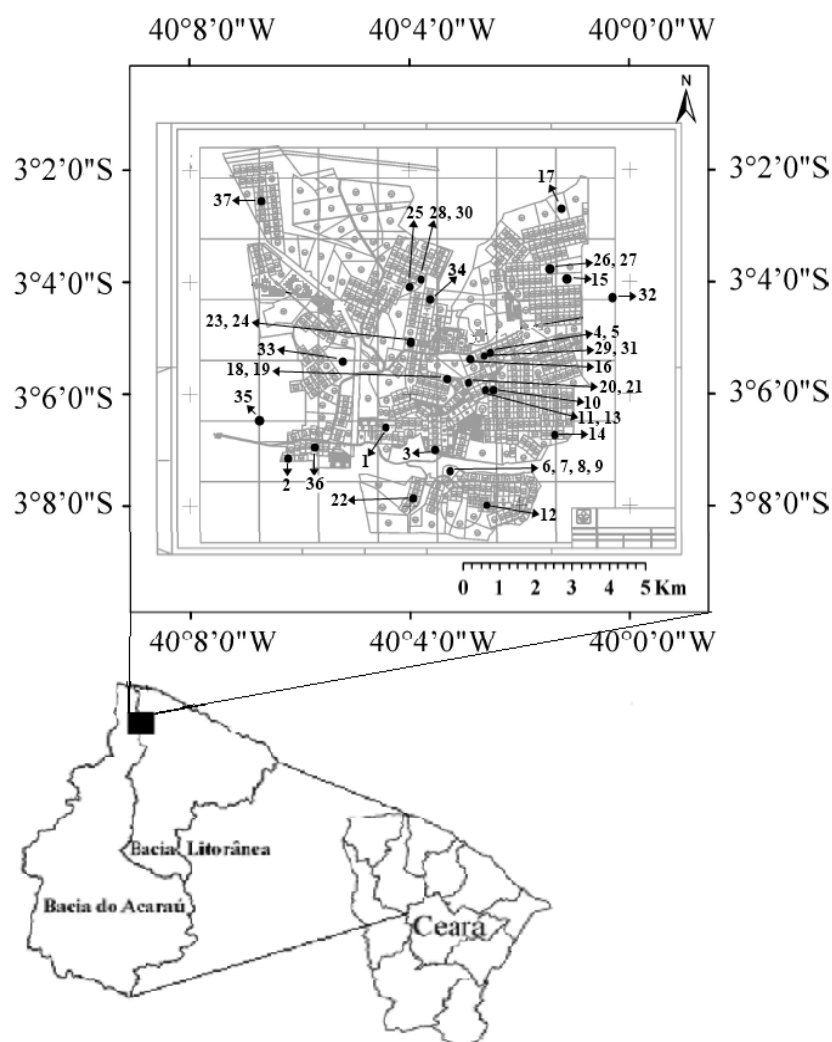
MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

Localização

A área de estudo corresponde ao Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU (FIGURA 1), localizado próximo ao litoral da região norte no Estado do Ceará, nas proximidades do trecho final da bacia do rio Acaraú, abrangendo os municípios de Acaraú, Bela Cruz e Marco. As coordenadas geográficas que delimitam a área são 3°01'00" à 3°09'00" S e 40°01'00" à 40°09'00" W. A pesquisa foi realizada nos meses de junho e novembro dos anos de 2015 e 2016.

Figura 1 – Localização do DIBAU



Fonte: Lopes, 2008.

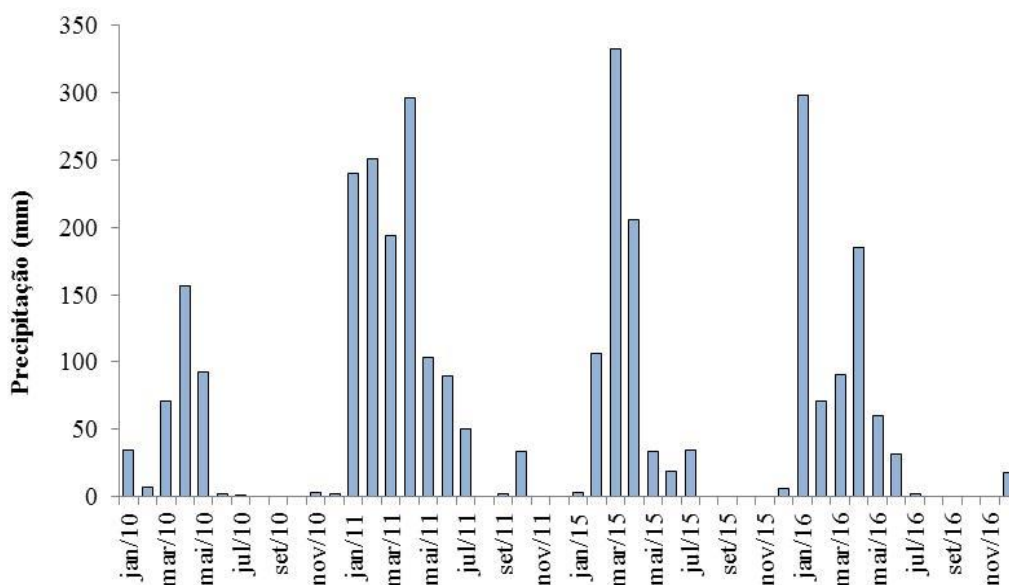
O perímetro abrange uma área irrigável de 12.407 hectares, e 8.816,61 hectares já foram implantados, funcionando com produtores. A fonte de abastecimento do DIBAU é o rio Acaraú, estando perenizado pelos açudes Acaraú-mirim, Ayres de Souza, Edson Queiroz, Forquilha e Paulo Sarasate (DNOCS, 2002).

Clima, cultivo, geologia e solo

Segundo Köppen (1918), a classificação do clima na área estudada é do tipo Aw', tropical chuvoso, com chuvas de verão-outono, apresentando temperatura média anual 28,1 °C, mínima de 22,8 °C e máxima de 34,7 °C. A região apresenta precipitação anual média de 960 mm e evaporação potencial de aproximadamente 1600 mm anuais, com umidade relativa média anual de 70%.

Observa-se que as precipitações médias ocorridas no posto meteorológico do Marco para os anos de 2010 (371 mm ano⁻¹), 2011 (1262,1 mm ano⁻¹), 2015 (740,8 mm ano⁻¹) e 2016 (757,3 mm ano⁻¹) se concentraram nos meses de janeiro a junho, o que é característico da região de estudo, sendo que as precipitações não ultrapassaram os 350 mm mês⁻¹ para o período estudado. No ano de 2011 houve um maior registro e melhor distribuição das precipitações no período chuvoso, quando comparado aos demais anos (FIGURA 2).

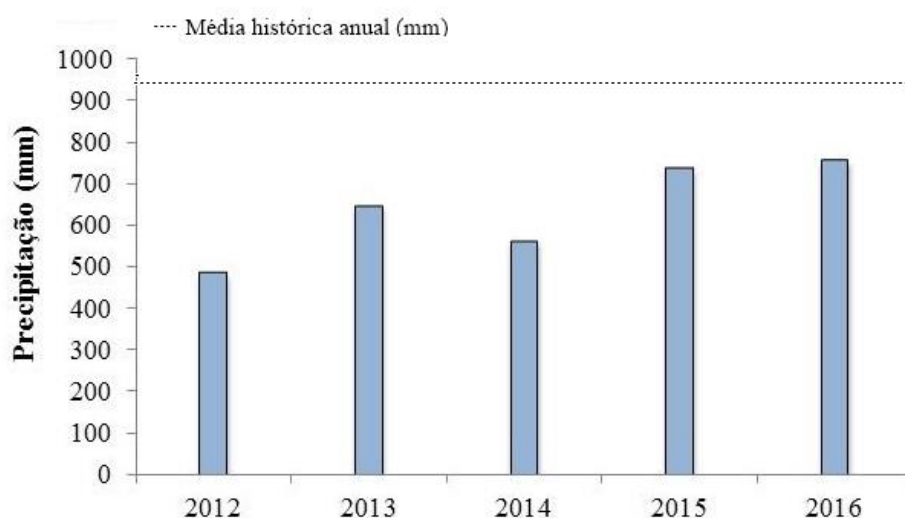
Figura 2 – Precipitações pluviométricas ocorridas no posto meteorológico do município do Marco nos anos de 2010, 2011, 2015 e 2016



Fonte: FUNCEME (2016).

Quanto às médias no posto meteorológico do Marco para os anos de 2012 a 2016 (FIGURA 3) é observado um déficit em relação à média anual histórica (960 mm), onde estas não ultrapassaram os 741 mm ano⁻¹. Apesar da ocorrência de maiores precipitações em alguns anos anteriores a estes, a seca prolongada caracteriza o período por ter ocorrido precipitações abaixo da média em anos sucessivos. Essa seca prolongada foi ainda mais evidente nas áreas mais interioranas (parte alta da bacia) responsáveis pela recarga dos açudes que perenizam o rio Acaraú. Isso fez com que nos anos de 2015 e 2016 o abastecimento pelo rio Acaraú (Barragem Santa Rosa) fosse totalmente encerrado, fazendo com que os produtores dependessem somente do uso de fontes subterrâneas.

Figura 3 – Precipitações pluviométricas ocorridas no posto meteorológico do município do Marco nos anos de 2012 a 2016



Fonte: FUNCEME (2016).

Em relação às culturas cultivadas, ao realizar um diagnóstico propositivo dos perímetros e áreas irrigadas com fruticultura e floricultura no Ceará o Instituto FRUTAL (2013) obteve o diagnóstico descrito na Tabela 1 para o DIBAU.

Tabela 1 – Frutíferas produzidas no DIBAU no ano de 2013

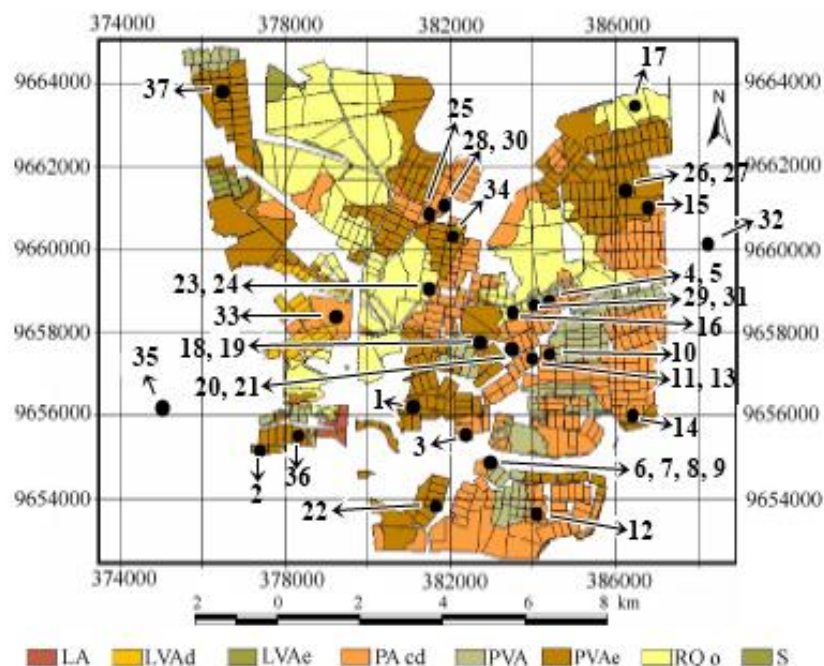
CULTURAS	Ha
Banana	585
Coco	448
Citros	197
Goiaba	176
Mamão	127
Caju	109,8
Graviola	86,6
Maracujá	78,4
Acerola	55
Manga	53
Abacaxi	26,5
Sapoti	25,95
Total	1.968,25

Fonte: Instituto FRUTAL (2013).

A geologia da área é representada por formação Terciária, Grupo Barreiras, sendo esta, caracterizada por depósitos de pouca consolidação, geralmente originando solos profundos e bem drenados. O relevo da área que abrange o DIBAU é razoavelmente suave, possuindo uma forte declividade longitudinal (MATIAS FILHO *et al.*, 2001). De um modo geral, os solos são profundos, bem drenados, com textura média, ou, média/leve e bastante permeáveis (ADECE, 2011).

Alves (2006) identificou que as manchas de solo presentes na área de estudo, pela classificação da EMBRAPA (1999), são: Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd), Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (LVAe), Argissolo Acinzentado Distrófico (PAcd), Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe), Neossolo Quartzarênico (RQo) e Planossolo (S) (FIGURA 4).

Figura 4 – Classes de solos presentes no DIBAU



Fonte: Alves (2006).

Caracterização dos pontos de coleta

Os pontos de coleta para caracterização da qualidade das águas subterrâneas foram previamente estabelecidos através de mapas do DIBAU (FIGURA 1), juntamente com visitas de campo, a fim de viabilizar a realização das coletas, foram selecionados 37 pontos de coleta (15 poços, 14 cacimbas e 8 tanques) com abrangência em todo o DIBAU. Os poços profundos dão acesso à água subterrânea através da perfuração vertical com pequeno diâmetro e profundidade de até 2000 metros. As cacimbas ou poços rasos têm grandes diâmetros e são escavados manualmente e revestidos geralmente com tijolos ou anéis de concreto, estes possuem profundidades em torno de 20 metros. Os pontos denominados como tanques, são provenientes de escavações realizadas no solo através de retroescavadeiras para obtenção de água das camadas menos profundas do solo.

Os pontos estabelecidos foram enumerados e georreferenciados (TABELA 2) por GPS tipo GARMIN MAP 76CSX, no formato UTM e convertido para coordenadas geográficas SIRGAS 2000, sendo que para algumas propriedades houve a existência de mais de um ponto de coleta.

Tabela 2 – Pontos estabelecidos para coleta das amostras (SIRGAS 2000)

Pontos	Identificação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Origem
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

Os pontos selecionados para amostragem de água têm como usos prioritários a irrigação e o consumo humano, os pontos C32 e C35 que se encontram nas proximidades do Perímetro Irrigado são influenciados de forma indireta pelo manejo de irrigação, os demais pontos estão inseridos nos lotes irrigados e são influenciados diretamente pelo tipo de manejo de irrigação. As águas das cacimbas C32, C34 e C35 são utilizados exclusivamente para consumo humano; enquanto que as águas dos P2, P4 e P7 são utilizados tanto para consumo

humano, como para irrigação; os demais reservatórios são utilizados exclusivamente para irrigação.

As águas dos reservatórios P15, T27 e T30 são provenientes de misturas de outras fontes subterrâneas, sendo o primeiro proveniente da mistura de águas de 4 poços situados na área, o segundo e o terceiro provenientes da mistura de água de poços e pontos escavados situados na área referente ao ponto estudado.

Vale salientar que o T10 secou a partir da 3ª coleta, o P21 foi desativado pelo proprietário a partir da 4ª coleta e o T27 secou a partir da 4ª coleta.

Aplicação de questionários: estudo prévio com participação dos produtores

Para caracterizar os lotes irrigados no qual foram coletadas as amostras para análises da água e realizar um diagnóstico sobre a qualidade e uso das fontes hídricas no DIBAU, foram aplicados questionários, contendo 12 questões, em setembro de 2015, com informações básicas iniciais, bem como também tipo de usos das fontes hídricas, sendo que para as fontes utilizadas na irrigação foi aplicada questões com relação às informações sobre o funcionamento, realizando assim, uma pesquisa participativa com os responsáveis pelos lotes das amostras coletadas. O modelo do questionário aplicado encontra-se no Apêndice I.

Para determinação do cálculo amostral, foi utilizada a técnica probabilística que leva em consideração a população total (N) de 37 amostras (tabela 2), o erro amostral (d) definido de 5%, um nível de confiança pelo desvio-padrão (Z) de 1,96, que corresponde a 95% de confiança e os percentuais dos elementos das amostras favoráveis (p) e desfavoráveis (q) ao atributo pesquisado de 50% para cada um. Para cálculo do tamanho amostral (n) utilizou-se a fórmula segundo Fonseca e Martins (1996):

$$n = \frac{Z^2 pq N}{d^2 (N-1) Z^2 pq + 1} \quad (1)$$

Substituindo na fórmula tem o seguinte valor:

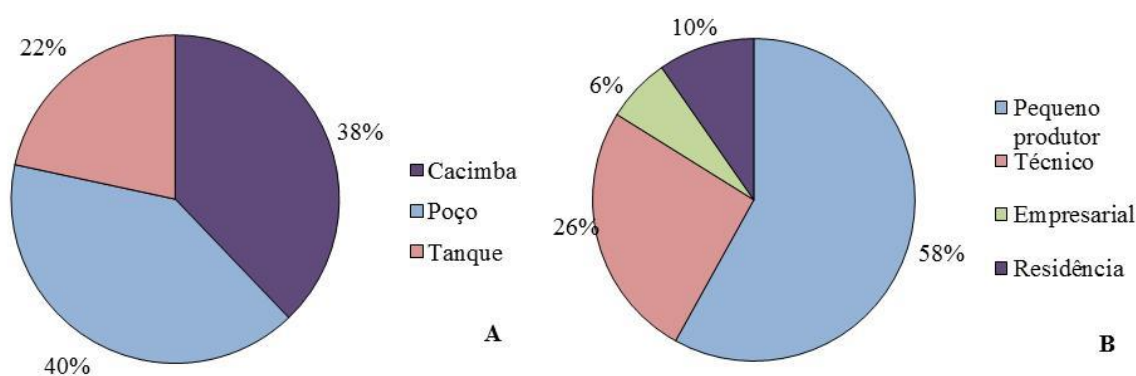
$$n = \frac{1,96^2 0,5 \cdot 0,5 \cdot 37}{0,05^2 (37-1) 1,96^2 0,5 \cdot 0,5 + 1} \rightarrow n = 33,83 \sim 34 \text{ questionários}$$

Vale salientar que foi aplicado um questionário para cada amostra e não para cada produtor, já que em algumas propriedades há a existência de mais de um ponto de coleta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir referem-se à caracterização das propriedades em que foram coletadas as amostras de água. Observa-se na Figura 5A que a maior parte das águas coletadas nos lotes irrigados estudados é proveniente dos poços, representando 40% do total, seguido das cacimbas (38%). A crescente busca por recursos hídricos subterrâneos tem aumentado em função da seca prolongada na bacia do Rio Acaraú, notadamente na parte baixa. Nos anos de 2015 e 2016 o DIBAU sofreu com intensa escassez decorrente das secas nos anos anteriores, em relação à disponibilidade hídrica. Os produtores em busca de aumentar a disponibilidade hídrica para as culturas, constantemente optaram por uso da água subterrânea proveniente de poços profundos, que fornecem uma quantidade mais segura de vazão hídrica, quando comparada com as quantidades provenientes de cacimbas e tanques.

Figura 5 – Tipos de fonte hídrica (A) e lote (B)



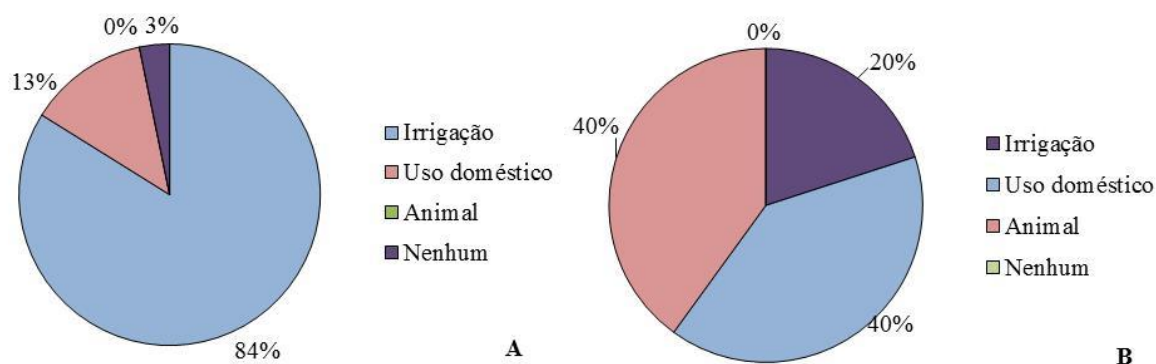
Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere aos tipos de lotes (FIGURA 5B), a maioria dos entrevistados possuem propriedades de pequeno produtor 58%, seguido de lote para técnico com 26% e para lote empresarial 6%; além destes, foram realizadas coletas em residências nas proximidades do DIBAU que representam 10%, para identificação se há alguma influência decorrente da irrigação nesses pontos.

Nas Figuras 6A e 6B encontram-se os usos prioritários e secundários, respectivamente, referentes a cada ponto de coleta das amostras. Nota-se que o uso prioritário predominante é a irrigação com 84%, já que se trata de um Perímetro Irrigado; logo em seguida com 13% são de uso doméstico; nota-se que 3% não estão sendo utilizados, os entrevistados relataram que esse não uso é justamente pelo fato da água aparentar qualidade

inferior. Como uso secundário tem uma predominância dos usos animal e doméstico com 40% para ambos.

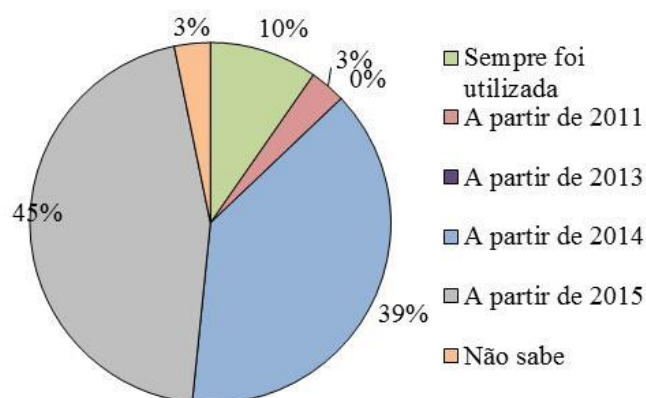
Figura 6 – Usos prioritários (A) e secundários (B) das fontes hídricas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 7, observa-se que o início do uso da maior parte das águas analisadas se deu nos anos de 2014 com 39% e 2015 com 45%, justificando-se pelo fato de que a seca prolongada que afetou a região nos últimos anos (2012 a 2015) fez com que houvesse uma procura maior no uso de águas subterrâneas, principalmente no ano de 2015. Mais de 80% das fontes hídricas foram utilizadas em decorrência da seca prolongada na região. Além do mais, o fornecimento de água foi encerrado devido à baixa quantidade de água fornecida pelo rio Acaraú.

Figura 7 – Anos de início de utilização dos pontos amostrados

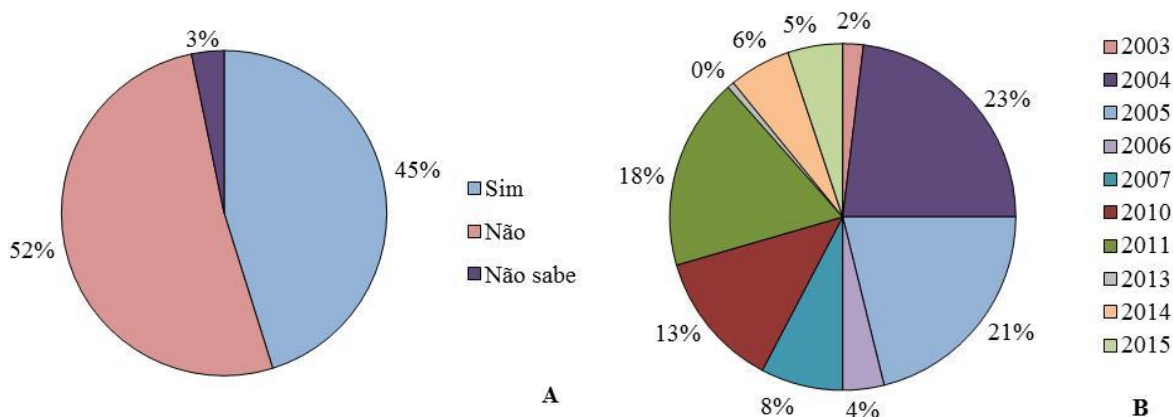


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à existência de realização de análises anteriores a esta, 45% dos entrevistados afirmaram que já foram realizadas outras análises; dos entrevistados, 52% afirmaram que não foi realizada nenhuma análise; e apenas 3% dizem não saber da existência de análises anteriores a estas (FIGURA 8A).

Pode-se observar que no que se diz respeito aos anos de realização das análises (FIGURA 8B), 23% foram realizadas no ano de 2004. Recentemente no ano de 2015 apenas 5% dos entrevistados afirmam ter sido realizada análises anteriores a esta. A maior parte dos entrevistados, afirmam que as análises feitas anteriormente foram em decorrência de estudos realizados, com o intuito de identificar a qualidade da água nesses pontos; alguns ainda afirmam que as análises foram realizadas de forma particular (6 produtores realizaram esse tipo de análise) a fim de proporcionar um manejo adequado da irrigação.

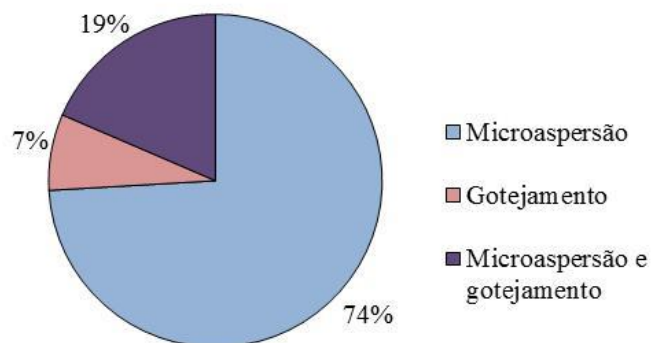
Figura 8 – Realização de análises de água anteriormente (A) e do ano das análises feitas anteriormente (B)



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de irrigação de maior utilização (FIGURA 9) nos lotes irrigados onde existem os pontos de coleta, é a microaspersão com 74%. Como o método para uso no DIBAU, é irrigação localizada, o uso desse sistema, justifica-se em decorrência do tipo de solo e cultura que é cultivada nas propriedades, pois permite um umedecimento maior da área, se comparando ao gotejamento, o que proporciona melhor desenvolvimento radicular das culturas.

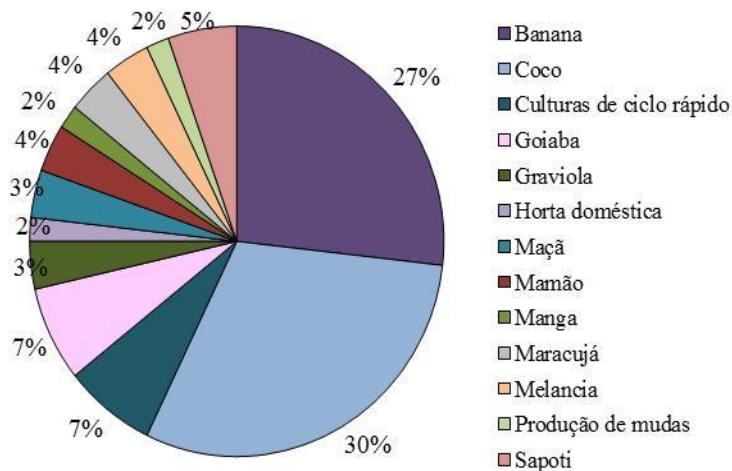
Figura 9 – Métodos de irrigação utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que para as propriedades estudadas, a cultura mais cultivada é o coqueiro, representando 31%, seguindo do cultivo de bananeira com 28% (FIGURA 10), sendo estas as duas culturas de maior cultivo no ano de 2013 de acordo com o Instituto Frutal (2013) descritos na Tabela 1. Porém devido à ocorrência da escassez hídrica, os entrevistados relataram que os rendimentos das culturas caíram consideravelmente, por isso, vários produtores optaram por cultivar culturas de ciclo rápido, a fim de alcançar uma renda maior, já que a água é um fator limitante para cultivo de culturas demandantes de muita água.

Figura 10 – Culturas irrigadas

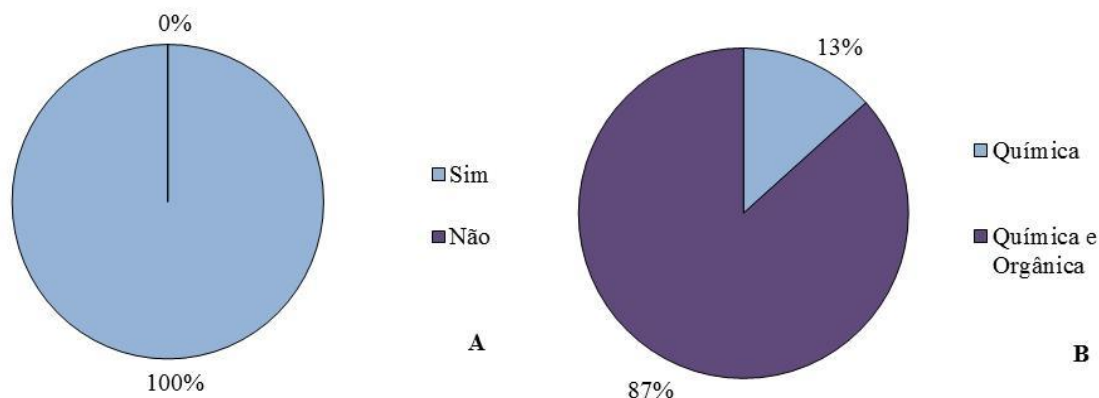


Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as propriedades analisadas utilizam algum tipo de adubação (FIGURA 11A) com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas irrigadas. A maioria dos

proprietários busca a aplicação de adubos químicos e orgânicos (FIGURA 11B) com 87% dos entrevistados, visando principalmente o aumento de retenção de água no solo, já que o perímetro se encontra em sua maior parte em solos de textura média a média/leve.

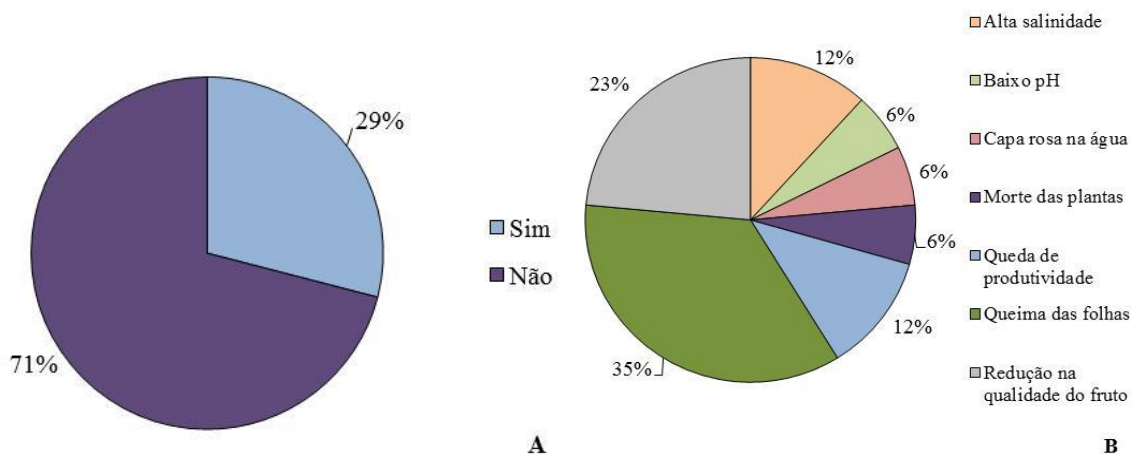
Figura 11 – Realização de adubação (A) e tipo de adubação realizada (B)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando indagados sobre a existência de algum problema com o uso da água, 29% responderam que identificaram problemas e 71% responderam que não foi identificado (FIGURA 12A). O principal problema observado foi a queima das folhas com 35%, seguido da redução na qualidade dos frutos com 23% (FIGURA 12B). Os entrevistados associam os problemas ocorridos pela qualidade da água, principalmente à salinidade, presença de ferro e variações no pH.

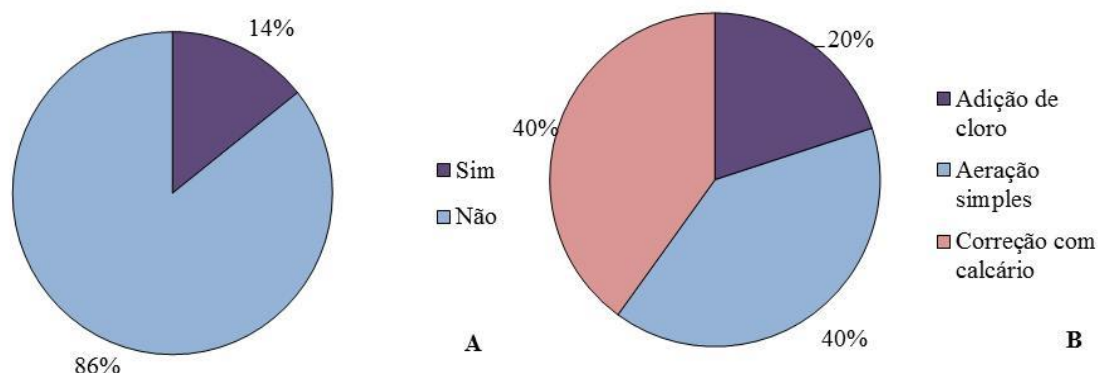
Figura 12 – Problemas detectados com o uso das águas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a ações desenvolvidas para melhoria da qualidade da água, 86% responderam que não foi desenvolvida nenhuma ação e 14% responderam que sim (FIGURA 13A). Dos entrevistados que responderam sim, 40% disseram optar por aeração simples para proporcionar a oxidação e precipitação de compostos indesejáveis, 40% responderam que optam por fazer a correção do pH da água com calcário e 20% afirmam realizar a aplicação de cloro para o tratamento de limpeza da água, no caso de consumo para abastecimento (FIGURA 13B).

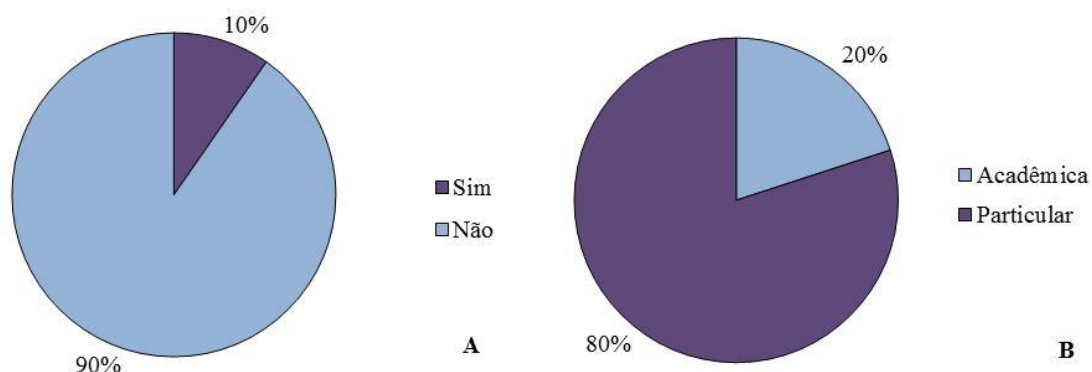
Figura 13 – Ações desenvolvidas para melhoria da qualidade da água



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto a orientações técnicas que os entrevistados receberam referentes à qualidade da água, apenas 10% responderam que tiveram acesso a algum tipo de orientação e 90% responderam que não (FIGURA 14A). Observa-se na Figura 14B que dos entrevistados que receberam orientações técnicas, 20% afirmam que sua orientação foi decorrente da formação acadêmica (graduação ou pós-graduação na área) e 20% responderam que recorreram a orientações particulares.

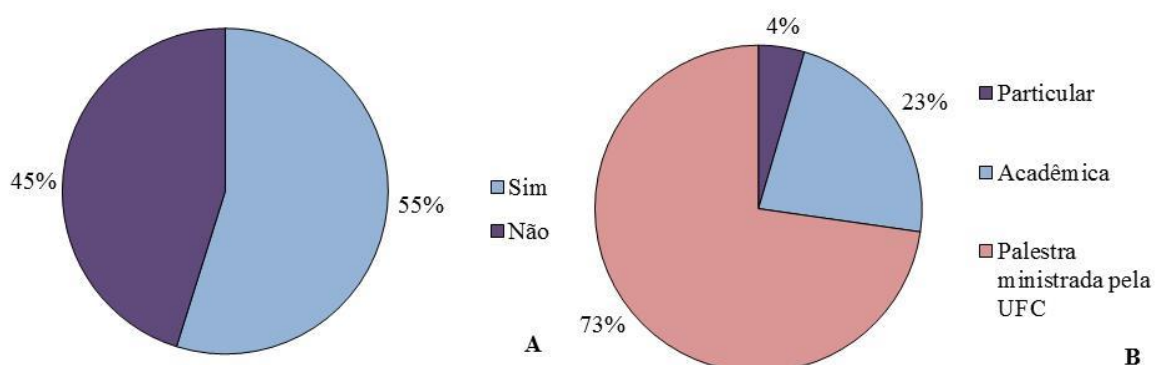
Figura 14 – Orientação técnica recebida pelos produtores sobre qualidade da água



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito a orientações técnicas referentes à água salobra, 45% responderam que não obtiveram nenhuma orientação e 55% responderam que já receberam orientação (FIGURA 15A). Porém percebe-se que 73% somente receberam orientação fornecida por uma palestra ministrada em junho de 2015, pela Universidade Federal do Ceará e 23% afirmam que os conhecimentos sobre água salobra foram adquiridos pela formação acadêmica (FIGURA 15B).

Figura 15 – Orientação técnica recebida pelos produtores sobre água salobra



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÕES

Houve aumento da demanda do uso da água subterrânea em decorrência da seca prolongada (2012 a 2016), principalmente nos anos de 2014 e 2015, sendo que mais de 80% das fontes hídricas avaliadas foram utilizadas devido à seca;

Há carência de informações precisas e de orientação técnica sobre qualidade da água para os produtores entrevistados;

Cerca de 30% dos produtores detectaram problemas causados pela qualidade das fontes de água subterrânea, sendo os principais a salinidade, presença de ferro e variações de pH.

REFERÊNCIAS

ADECE - Agencia de desenvolvimento do estado do Ceará. **Perímetros públicos do estado do Ceará**, 2011.

ALVES, L. B.; BELDERRAIN, M. C. N.; SCARPEL, R. A. Tratamento multivariado de dados por análise de correspondência e análise de agrupamentos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA – XIII ENCITA, 2007, São José dos Campos, **Anais...** São José dos Campos, 2007.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 11-19, 2010.

DNOCS. **Perímetros irrigados**. 2002. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html>. Acesso em: 24 set 2015.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996, 320 p.

FUNCEME. **Calendário de chuvas no estado do Ceará**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/regioes/media/anual>>. Acesso em: 02 fev 2016.

HELBEL, A. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná/RO – Brasil**. 2011, 111 f. Graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

INSTITUTO FRUTAL. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DA FRUTICULTURA E AGROINDÚSTRIA. **Diagnóstico propositivo dos perímetros e áreas irrigadas com fruticultura e floricultura no Ceará**. Fortaleza. 110 p. 2013.

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

LOPES, F. B. **Índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, Ceará**. 2008, 116 f. Mestrado (Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

LOPES, F. B.; SOUZA, F. de; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 301-316, 2011.

MATIAS FILHO, J. COSTA, R. N. T.; MENEZES, J. A. L.; LOIOLA, M. L.; MEIRELES, M.; PEREIRA, A. L. S. **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, 27 p. (Relatório Técnico).

PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015.

SOUZA, J. R. de; MORAES, M. E. B. de; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

5 VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO ACARAÚ – CE, DURANTE DOIS ANOS DE SECA

RESUMO

A água subterrânea é de grande importância para população, principalmente no nordeste brasileiro, onde o interesse por essas águas tem crescido para seus variados usos. Objetivou-se analisar a influência da sazonalidade climática na qualidade da água subterrânea no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - CE. Para caracterizar a sazonalidade e a influência da irrigação na qualidade da água nos reservatórios foram realizadas análises hidroquímicas dos atributos de HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , CE, Mg^{2+} , K^+ , pH, RAS, Na^+ , SDT, SO_4^{2-} em junho de 2015, novembro de 2015, junho de 2016 e novembro de 2016. Foi realizada a análise estatística através do método multivariado (análise de agrupamento) hierárquico aglomerativo. Foi empregada a medida de distância euclidiana quadrada e a determinação do número de agrupamento definido pelo coeficiente de aglomeração, sua representação foi realizada pelo dendograma. As médias foram comparadas pelo teste T ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade e apresentada pela estatística descritiva “boxplot”, empregando-se o software SPSS 16.0. Para classificação e avaliação das águas foi utilizado o diagrama de Piper e para irrigação a metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos pelo software QUALIGRAF 1.17, já o grau de restrição do uso para irrigação foi realizado pela metodologia da University of California of Consultants. A sazonalidade climática não foi determinante na composição dos grupos pela técnica aplicada, havendo influência apenas da variabilidade espacial sobre a qualidade das águas analisadas. Houve a formação de 2 grupos, em que o grupo 2 (29% do total das amostras) apresentou altos teores de cátions, principalmente o sódio, e de cloreto, apresentando restrições para consumo humano e irrigação; Na classificação hidroquímica houve uma predominância da classe sódica-cloretada para os grupos, confirmando a alta presença desses íons nas águas analisadas; Quanto à classificação das águas para irrigação para os grupos houve uma predominância das classes C_2S_1 e C_3S_1 , com maiores riscos de salinidade do que de sodicidade.

Palavras-chave: Qualidade da água. Sazonalidade climática. Análise multivariada.

ABSTRACT

Groundwater is of great importance for the population, mainly in the Brazilian northeast, where the interest for these waters has grown for its varied uses. The objective of this study was to analyze the influence of climatic seasonality on groundwater quality in the Irado Perara Irado do Baixo Acaraú - CE. HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , CE^- , Mg^{2+} , K^+ , pH, RAS, Na^+ , SDT, SO_4^{2-} in June 2015 were analyzed to characterize the seasonality and the influence of irrigation on water quality in the reservoirs. , November 2015, June 2016 and November 2016. Statistical analysis was performed using the agglomerative hierarchical multivariate clustering method. The squared Euclidean distance measure was used and the determination of the cluster number defined by the agglomeration coefficient was used, its representation was performed by the dendrogram. The means were compared by the T test at the level of $P < 0.05$ of probability and presented by the descriptive statistical "boxplot", using SPSS software 16.0. For the classification and evaluation of the waters, the Piper diagram was used and for irrigation the methodology of the Salinity Laboratory of the United States by QUALIGRAF software 1.17, already the degree of restriction of the use for irrigation was realized by the methodology of the University of California of Consultants. The climatic seasonality was not determinant in the composition of the groups by the applied technique, having influence only of the spatial variability on the quality of the waters analyzed. Two groups were formed, in which group 2 (29% of the total samples) presented high levels of cations, mainly sodium, and of chloride, presenting restrictions for human consumption and irrigation; In the hydrochemical classification there was a predominance of the sodium-chlorate class for the groups, confirming the high presence of these ions in the analyzed waters; As to the classification of waters for irrigation for the groups, there was a predominance of classes C_2S_1 and C_3S_1 , with higher salinity risks than sodicity.

Keywords: Water quality. Climatic seasonality. Multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

Em decorrência da escassez das águas superficiais, o uso de fontes hídricas subterrâneas tem aumentado consideravelmente em todo mundo. Vários países de todo o mundo, tem utilizado as águas subterrâneas como meio de suprimento das necessidades (NEVES *et al.*, 2017). Devido ao crescimento populacional, que é acompanhado pela

expansão da ocupação de terras e demanda de água para consumo humano e agricultura, as reservas superficiais já não se encontram suficientes para satisfazer as necessidades, tanto pelo volume baixo ou até mesmo pela qualidade das águas afetada (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Tem-se a ideia de que as águas subterrâneas correspondem a uma fonte cada vez mais importante para suprimento das necessidades de demanda humana (ANDRADE *et al.*, 2016). O uso das águas subterrâneas torna-se viável devido às suas vantagens como, por exemplo, a operação simples de sistemas de abastecimento de água com poços tendo como uso a mão de obra pouco especializada e o abastecimento de água em pequenas vilas, povoados e em algumas grandes cidades brasileiras (HELBEL, 2011). No estado do Ceará, há milhares de poços (22.409 poços) que fornecem água principalmente para irrigação e consumo humano, que são a principal fonte de abastecimento de água em algumas dessas áreas (ALMEIDA; FRISCHKORN, 2015).

A região do nordeste brasileiro é vulnerável a variabilidade climática. Vários cenários globais e regionais de mudanças climáticas no futuro indicam que a região poderá ser afetada pela baixa incidência de chuvas e aumento das regiões áridas no próximo século (VIERA *et al.*, 2015). Sendo assim, para avaliação da qualidade da água, é de fundamental importância o monitoramento dos corpos hídricos, fazendo com que seja possível o conhecimento das alterações destas águas no decorrer do tempo e do espaço em função das intervenções humana no meio ambiente (LOPES *et al.*, 2014).

O monitoramento dos recursos hídricos por períodos longos e diferentes estações produz um banco de dados grande, abrangendo diversos parâmetros de qualidade da água. Isso dificulta a análise, interpretação e a extração de informações úteis para uma gestão adequada, tornando o banco de dados subutilizado. Os métodos multivariados são excelentes ferramentas exploratórias para a interpretação desse complexo conjunto de informações (TRINDADE *et al.*, 2017). Vários pesquisadores têm utilizado técnicas de estatística multivariada - análise de agrupamento e análise de componentes principais para identificação de grupos similares e dos fatores que determinam a qualidade das águas (MEIRELES *et al.*, 2010; PALÁCIO, 2011; RODRIGUES FILHO *et al.*, 2015; SILVA; ARAÚJO NETO, 2016; WANG *et al.*, 2013).

Portanto, objetivou-se analisar a influência da sazonalidade climática na qualidade da água subterrânea no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú - CE.

MATERIAL E MÉTODOS

As seções a seguir encontram-se descritas nas respectivas páginas no capítulo 1.

Seções

Caracterização da área.....	42
Localização.....	42
Clima, cultivo, geologia e solo.....	43
Caracterização dos pontos de coleta.....	46

Atributos analisados na água amostrada

A fim de acompanhar as possíveis mudanças durante os períodos de seca e de chuva, caracterizar a sazonalidade e também a influência da irrigação na qualidade da água nos reservatórios foram realizadas análises hidroquímicas com os atributos presentes na Tabela 1. As coletas foram realizadas em junho de 2015 (final do período chuvoso), novembro de 2015 (final do período seco), junho de 2016 (final do período chuvoso) e novembro de 2016 (final do período seco). No geral, foram totalizadas 1.584 dados (37 reservatórios, 4 períodos de coleta e 11 atributos analisados).

As amostras de água foram coletadas em recipientes plásticos com volume de 1 L. É importante lembrar que no momento das coletas das amostras de água, foi realizada uma tríplice lavagem no recipiente, para possibilitar a diminuição de interferências que possam ser causadas por qualquer resíduo de coletas realizadas anteriormente. As amostras foram encaminhadas para análises hidroquímicas no Laboratório de Água e Solo no Departamento de Ciências do Solo, localizado na Universidade Federal do Ceará e foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Richards (1954).

Tabela 1 – Atributos analisados

Atributos Analisados	Unidade
Bicarbonato (HCO_3^-)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Cálcio (Ca^{2+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Cloreto (Cl^-)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Condutividade Elétrica (CE)	dS m^{-1}
Magnésio (Mg^{2+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Potássio (K^+)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	-
Sódio (Na^+)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg L^{-1}
Sulfato (SO_4^{2-})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS), utilizou-se a fórmula desenvolvida pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\left(\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}\right)^{1/2}} \quad (1)$$

em que: Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} representam, respectivamente, as concentrações de sódio, cálcio e magnésio em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, obtidas pela análise da água.

Análise estatística

Para classificação hidroquímica, as amostras de água foram agrupadas de acordo com seu grau de similaridade. Para isso foi empregada a técnica de análise multivariada (análise de agrupamento) pelo método hierárquico aglomerativo, utilizando o software Statistical Package for Social Science for Windows - SPSS 16.0.

Visando eliminar o efeito escalar dos dados no resultado final e efeito de diferentes unidades, foi realizada a padronização convertendo cada variável em escores padrão (escore Z), de acordo com a equação abaixo:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (2)$$

onde: X_{ij} representa o valor da j -ésima observação da i -ésima variável; X_i é a média da variável X_{ij} ; S_i é o desvio padrão da variável X_{ij} ; Y_{ij} representa a j -ésima observação da i -ésima variável transformada.

O algoritmo de aglomeração foi o método de Ward, esse procedimento tende a combinar agrupamento com um pequeno número de observações, onde a soma de quadrados é relacionada diretamente com o número de observações (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Na medida de similaridade foi empregada a medida de distância euclidiana quadrada ou absoluta. Estas são as medidas de distância mais empregadas em análise de agrupamento, por representar similaridade com a proximidade das observações umas com as outras. A distância euclidiana quadrada ou absoluta, é a soma dos quadrados das diferenças, sua vantagem é que não tem necessidade de se calcular a raiz quadrada, o que acelera o tempo de computação e é recomendada para o método de Ward.

De acordo com Ludewig *et al.* (2009) a distância euclidiana $d(A, B)$ pode ser representada pela equação 3:

$$d(A, B) = \left[\sum_{i=1}^p (x_i(A) - x_i(B))^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

em que: $x_i(A)$ é o elemento da i -ésima coordenada do objeto A; $x_i(B)$ é o elemento da i -ésima coordenada do objeto B.

Para representação gráfica das variáveis em relação aos pontos de coleta estudados nos anos de 2015 e 2016, foi utilizado o dendrograma, pois sua estrutura retrata todo o processo realizado, e, como este é escalonado, pode ser percebido que as menores distâncias indicam uma maior homogeneidade.

Na determinação do número ótimo de agrupamentos utilizou-se o coeficiente de aglomeração (EQUAÇÃO 4), onde mostra que, aumentos repentinos no valor do coeficiente de aglomeração representam uma fusão de elementos diferentes no dendrograma, no qual são representados pelos maiores valores da distância (DILLON; GOLDSTEIN, 1984). Autores como, Andrade *et al.* (2011) e Lopes *et al.* (2011) têm empregado este método no estudo de qualidade da água.

$$CA = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left(\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right)^2 \right) \quad (4)$$

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

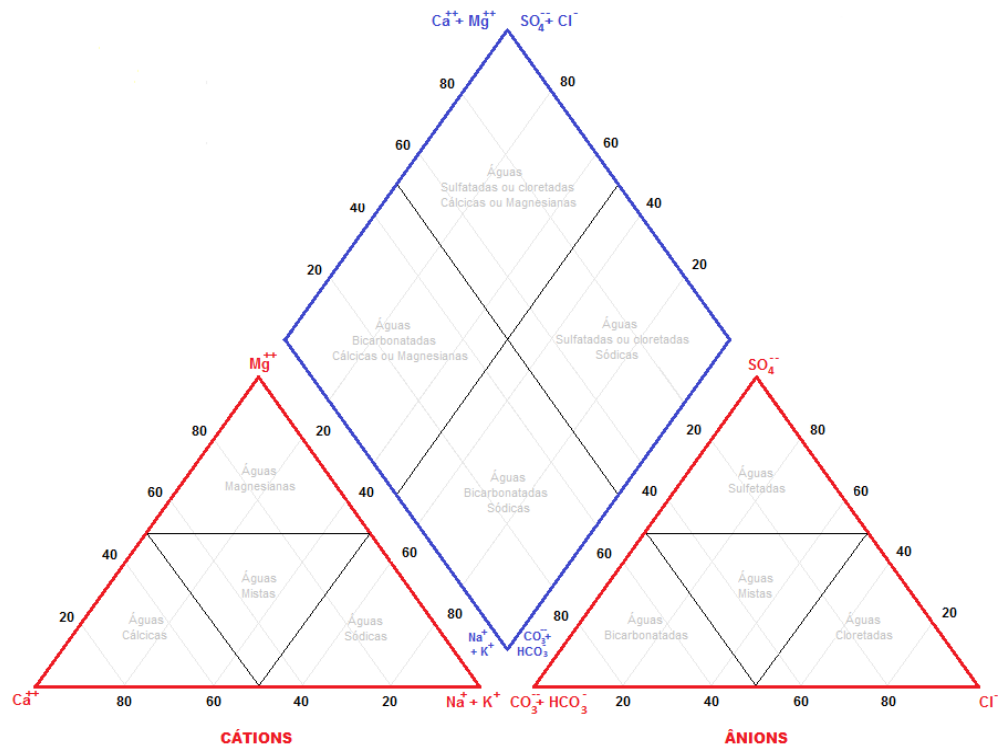
Os grupos formados pela técnica do agrupamento hierárquico método aglomerativo tiveram suas médias comparadas pelo teste T ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade, através do programa SPSS 16.0.

Ainda utilizando o software SPSS 16.0, foi realizada a técnica de “Boxplot”, a fim de apresentar uma análise estatística descritiva para conhecimento do comportamento dos íons, da tendência central (mediana), do percentil e da variabilidade dos valores (amplitude, extremos, discrepantes), contribuindo para avaliar os efeitos do espaço e tempo nas águas subterrâneas do DIBAU.

Classificação e avaliação das águas

Para a classificação química das águas amostradas foi aplicado o diagrama de Piper (FIGURA 1) através do software QUALIGRAF versão 1.17, que classifica as águas analisadas conforme sua concentração de íons, sendo que a classificação é em função das concentrações de cálcio, magnésio, da soma de sódio e potássio pelos ânions cloretos, sulfatos e a soma de bicarbonatos com carbonatos (FUNCEME, 2001). Esta é uma ferramenta que auxilia na análise da qualidade da água, sendo desenvolvido principalmente para interpretação gráfica dos dados hidroquímicos.

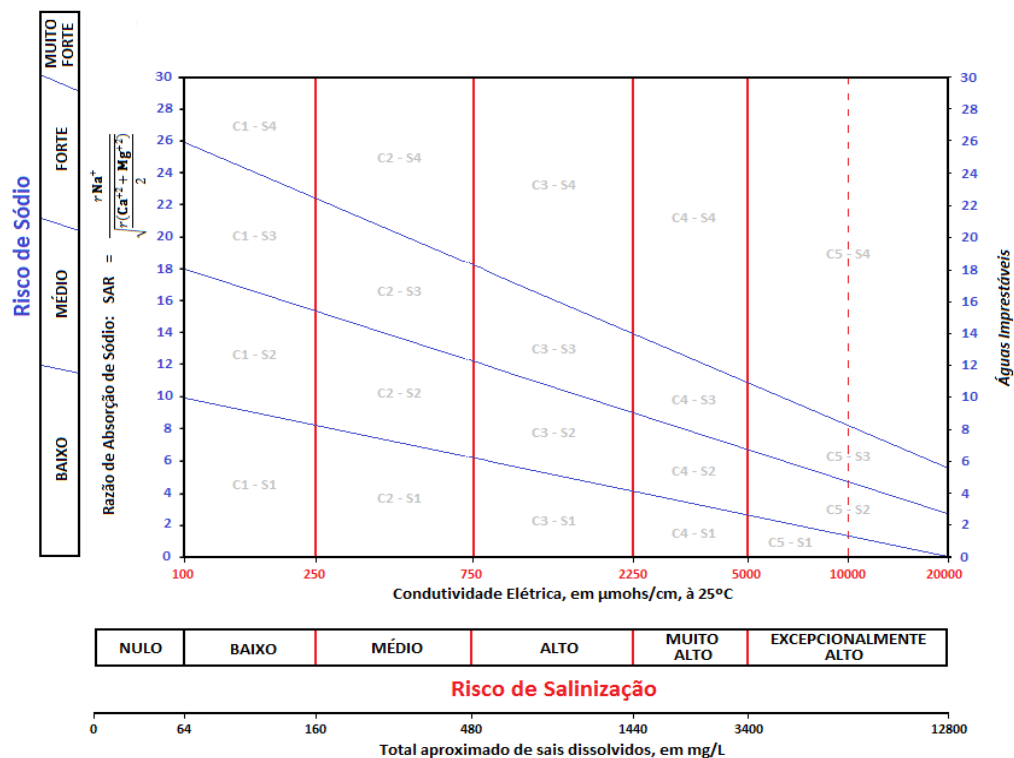
Figura 1 – Diagrama de Piper



Fonte: FUNCEME (2001).

Ainda utilizando o software QUALIGRAF versão 1.17, foi realizada a classificação das águas que têm com uso a irrigação, que levam em consideração a concentração dos íons, tais como o sódio, potássio, cloreto e sulfato, juntamente com parâmetros como sais dissolvidos, condutividade elétrica e a concentração total de para identificar se as amostras apresentam algum risco de salinização e/ou sodificação dos solos nos respectivos períodos (FIGURA 2), pela metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954).

Figura 2 – Risco de salinização e sodificação



Fonte: FUNCEME (2001).

Ainda para águas que têm como uso a irrigação, foi determinado o grau de restrição do uso da água de irrigação, utilizando a metodologia da University of California of Consultants (UCC) (1974), descrita na Tabela 2, que leva em consideração os problemas causados por salinidade, infiltração, toxicidade de íons específicos, bicarbonato e pH, onde encontram-se descritos no texto e determinados nos “boxplots”.

Tabela 2 – Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

Problema Potencial		Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CE _a	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SDT	mg L ⁻¹	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando CE _a e RAS conjuntamente)				
RAS = 0-3 e CE _a =		> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
RAS = 3-6 e CE _a =		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
RAS = 6-12 e CE _a =		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
RAS = 12-20 e CE _a =		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
RAS = 20-40 e CE _a =		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidade de Íons Específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 – 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	meq L ⁻¹	< 4	4 – 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3,0	
Outros (afeta culturas sensíveis)				
Bicarbonato (HCO ₃)	meq L ⁻¹			
(apenas aspersão convencional)		< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH		Faixa Normal: 6,5 – 8,4		

Fonte: Adaptado de University of California Committee of Consultants (1974).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Similaridade temporal e espacial para dois anos de estudo

Para investigação da influência da sazonalidade climática em estudo de dois anos (2015 e 2016), de acordo com a tabela 3, a primeira maior variação ocorreu entre os coeficientes de aglomeração 858,225-1573,000, sendo assim, a determinação do corte ocorreu no momento que o coeficiente de aglomeração apresentou variação de 11,145-25,000 pela distância reescalada, determinada pela interpolação dos coeficientes, onde há um maior distanciamento na similaridade para a formação de agrupamentos posteriores.

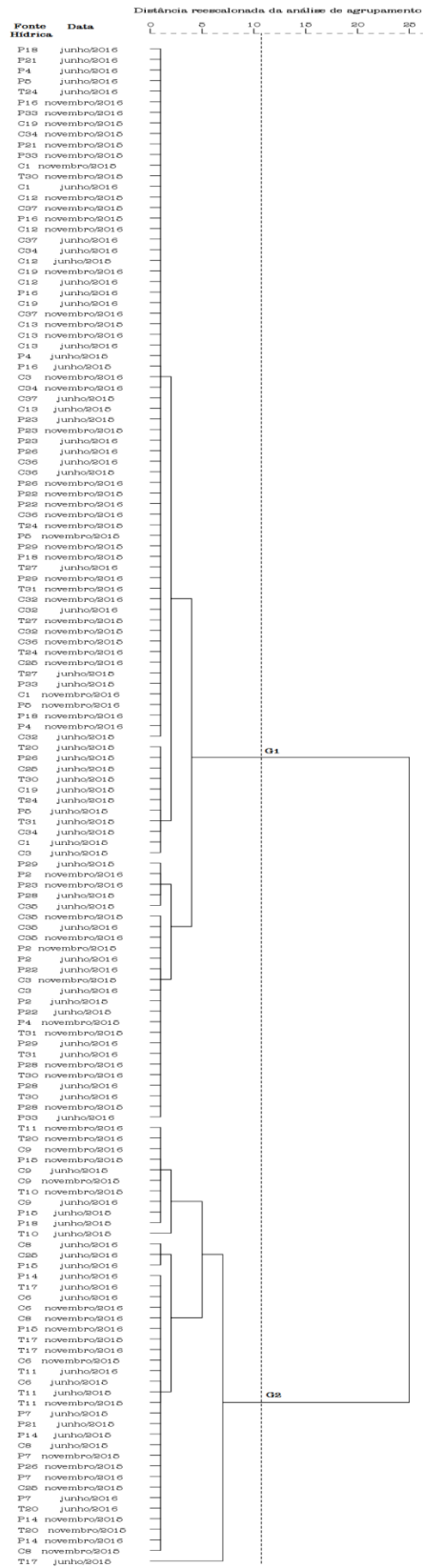
Tabela 3 – Variação do coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento para os anos de 2015 e 2016

Agrupamentos	Coeficientes	Diferença entre coeficientes	Distância reescalada
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
2	858,225	714,775	11,145
1	1573,000	-	25,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

O grupo 1 representa 71% do total amostrado, e é composto pelos pontos com menores concentrações dos atributos. Este foi formado pelas águas provenientes 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; já o grupo 2 representa 29% do total das amostras e é composto pelas águas de maior concentrações dos atributos. Este foi formado pelos pontos 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) (FIGURA 3).

Figura 3 – Similaridade das concentrações iônicas das águas de poços no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

A formação dos agrupamentos do estudo se deu pela variação espacial dos atributos analisados e por sua composição hidroquímica, não havendo influência da variação sazonal. Andrade *et al.* (2010) estudando a similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas no DIBAU, encontraram variação espacial na qualidade da água de poços, sem influência maior da variação temporal. Bertossi *et al.* (2013) estudando a qualidade das águas superficiais no estado do Espírito Santo também não identificaram variação quanto aos período de coleta (chuva e estiagem). O contrário ocorreu no estudo realizado por Fontenele *et al.* (2011) com a análise espaço-temporal na qualidade da água na parte alta da bacia do salgado. É possível identificar também que não houve distinção entre os diferentes tipos de fontes subterrâneas, pois estas não diferiram entre si.

De todos os pontos, os C32 e C35 não se encontram em lotes irrigados, esses são pertencentes ao grupo 1, que apresentou um menor valor médio e menores concentrações para os atributos nos pontos estudados, esse fato se dá provavelmente por esses pontos não se encontrarem sob influência direta da irrigação. Apesar disso, o C35 apresentou concentrações menores que o C32, isso pode ser decorrente da proximidade desse ponto com o rio Acaraú, recebendo influência deste, e consequentemente apresentando uma menor concentração, já o C32 encontra-se sob o tipo de solo Argissolo Acinzentado Distrófico que pode ter contribuído para que houvesse uma maior concentração nesse ponto.

Variabilidade dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) nas águas dos reservatórios subterrâneos do DIBAU

Os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos cátions e ânions dos grupos formados pela análise de agrupamento segundo a composição das águas do perímetro irrigado do baixo Acaraú para os anos de 2015 e 2016 encontram-se descritos na tabela 4.

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

Tabela 4 – Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os cátions e ânions dos grupos formados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016

Atributos	Parâmetros descritivos	Grupo 1	Grupo 2
Ca²⁺ (mmol_c L⁻¹)	Média	0,83 ± 0,59 b	2,19 ± 1,24 a
	Mínimo	0,10	0,40
	Máximo	3,40	6,30
Mg²⁺ (mmol_c L⁻¹)	Média	2,23 ± 1,20 b	7,36 ± 2,96 a
	Mínimo	0,60	3,80
	Máximo	10,40	15,70
K⁺ (mmol_c L⁻¹)	Média	0,38 ± 0,25 b	1,20 ± 1,35 a
	Mínimo	0,10	0,10
	Máximo	1,70	6,80
Na⁺ (mmol_c L⁻¹)	Média	3,94 ± 2,16 b	13,16 ± 4,25 a
	Mínimo	0,30	7,40
	Máximo	17,30	26,90
Cl⁻ (mmol_c L⁻¹)	Média	6,98 ± 3,79 b	23,06 ± 8,15 a
	Mínimo	1,40	0,00
	Máximo	32,40	40,40
SO₄²⁻ (mmol_c L⁻¹)	Média	0,07 ± 0,11 a	0,09 ± 0,18 a
	Mínimo	0,00	0,00
	Máximo	0,50	0,80
HCO₃⁻ (mmol_c L⁻¹)	Média	0,41 ± 0,50 a	0,23 ± 0,69 a
	Mínimo	0,00	0,00
	Máximo	2,60	4,40

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

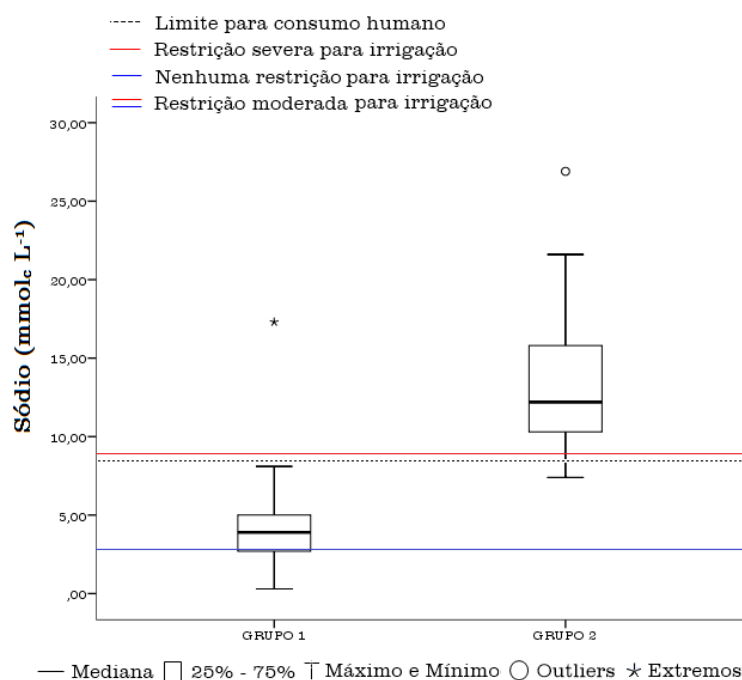
Fonte: Elaborado pelo autor.

Variabilidade do sódio (Na⁺)

Para o sódio o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância do grupos 1, apresentando o maior valor médio (13,16 mmol_c L⁻¹). Para o sódio as médias do grupo 1 para o 2 apresentaram um acréscimo de 234,01%. No grupo 2 houve uma maior variabilidade dos dados que são representados pelas maiores aberturas das caixas no box plot

(FIGURA 4), o que significa que houve uma maior heterogeneidade entre os pontos estudados nesse grupo.

Figura 4 – Sódio para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

O grupo 2 encontra-se acima do limite de potabilidade descritos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 (200 mg L⁻¹ ou 8,7 mmol_c L⁻¹ de Na⁺ e < 250 mg L⁻¹ ou 7,04 mmol_c L⁻¹), e também pode acarretar problemas de toxidez para as plantas, principalmente quando se utiliza a irrigação por aspersão (AYERS; WESCOT, 1976). . Porém, para 71% das amostras (grupo 1) não há risco à saúde humana e os riscos de toxidez às plantas são bem menores. É importante salientar que, o sódio é responsável pela regulação da quantidade de líquidos que ficam nas células, no caso de excesso do nutriente no sangue, ocorre alteração no equilíbrio entre os líquidos. O organismo acaba por reter mais água, aumentando o volume de líquido e sobrecarregando o coração e os rins, o que pode levar à hipertensão (BRASIL, 2012).

Para irrigação, o grupo 2, de acordo com a tabela 2, encontra-se com um grau de restrição severo, limitando seu uso, porém o valor médio do grupo 1 apresenta uma restrição moderada, tais restrições podem ser modificadas dependendo do tipo de irrigação utilizada. A sodicidade é representada pelo conteúdo de sódio existente na água. Seu uso como parâmetro de qualidade é pelo efeito que tem sobre a permeabilidade do solo, nutrição e toxicidade das plantas (ALMEIDA, 2010). O íon de sódio é considerado como principal responsável pelo

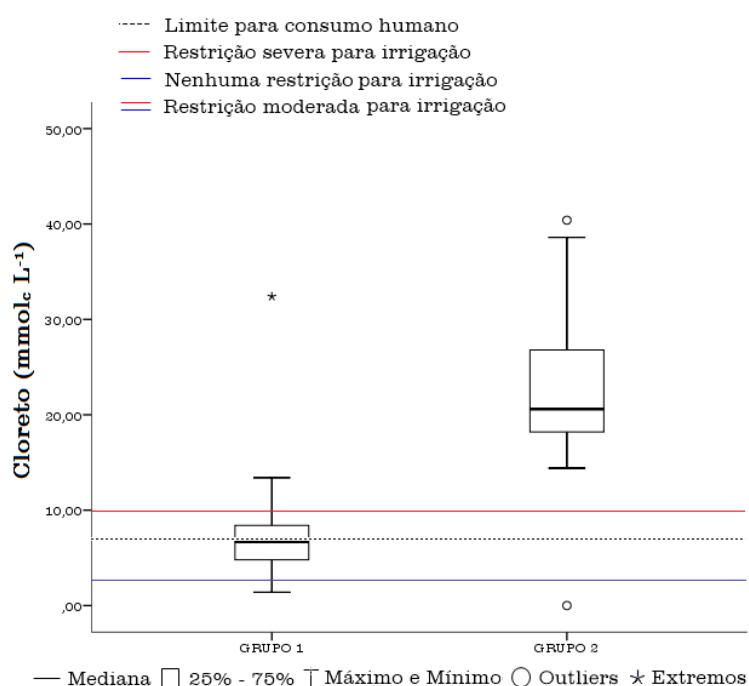
aumento constante da salinidade das águas naturais no que se diz respeito aos cátions (MENEZES *et al.*, 2013).

Vasconcelos *et al.* (2009) analisando a qualidade da água para irrigação na microbacia do baixo Acaraú as amostras não apresentaram risco de sodicidade para uso na irrigação. Já Lima Júnior *et al.* (2017) estudando a água de irrigação na cidade de Campina Grande encontraram um risco de sodicidade variando de baixo a médio no período chuvoso e um risco médio no período seco.

Variabilidade dos ânions cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-})

Para o cloreto as médias dos grupos diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância, este apresentou um acréscimo de 230,37% do grupo 1 para o grupo 2.

Figura 5 – Cloreto para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

A média do grupo 1 encontra-se dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 ($< 250 \text{ mg L}^{-1}$ ou $7,04 \text{ mmolc L}^{-1}$), porém o grupo 2 apresentou uma média altíssima ($818,63 \text{ mg L}^{-1}$), quando comparados com o padrão de potabilidade (FIGURA 5). O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso da deficiência de cloreto de sódio no metabolismo, por exemplo, na insuficiência cardíaca

congestiva, já os níveis acima do limite podem provocar um sabor salgado a água (CETESB, 2009).

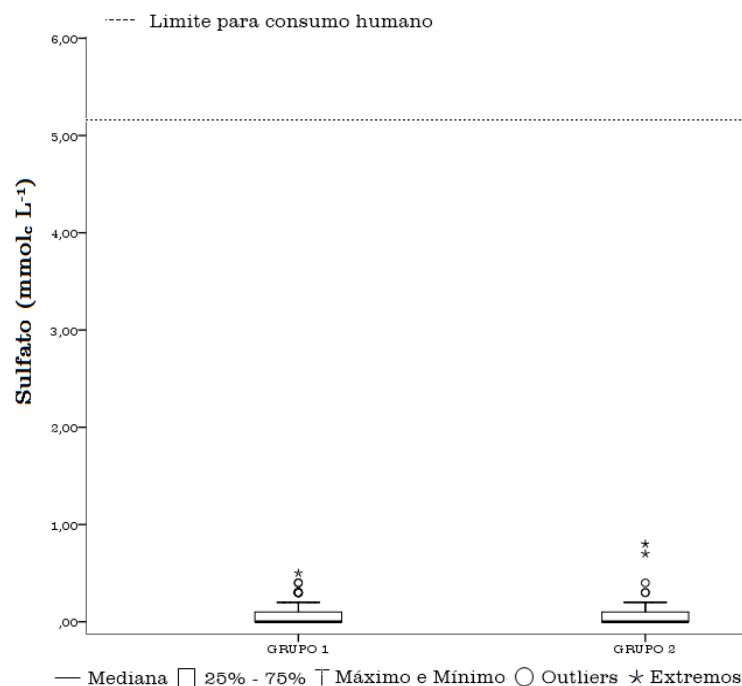
Para irrigação a média do grupo 2, de acordo com a tabela 2, apresentou um grau de restrição severo ($> 10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), diferentemente do grupo 1 que não apresentou um grau de restrição moderado, no caso da utilização para irrigação por superfície. O tipo de irrigação influencia na absorção do cloreto, no caso do método de irrigação por aspersão a toxicidade é mais rápida, pois a absorção é realizada diretamente pelas folhas. Essa absorção pode ser afetada pela qualidade da água utilizada na irrigação e também pela capacidade que a planta tem em excluir o seu conteúdo no solo, o qual se controla com a lixiviação (MORAIS *et al.*, 1998; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2006; BELIZÁRIO *et al.*, 2014).

A presença elevada do cloreto no grupo 2 pode ser explicada, em parte, pela lixiviação de fertilizantes agrícolas, visto que este íon está presente na formulação do cloreto de potássio, principal fertilizante potássico utilizado na adubação de culturas como coco e banana no perímetro. Observação semelhante foi mencionada por D'almeida *et al.* (2005), estudando o processo de salinização em Solos da Chapada do Apodi. A contaminação agrícola das águas subterrâneas geralmente resulta de aplicações de fertilizantes em cultivos, o que acumula nutrientes nas águas subterrâneas (VASANTHAVIGAR *et al.*, 2010).

Acredita-se também que a elevação do atributo estudado esteja 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. Meireles (2007) estudando a dinâmica das águas superficiais da bacia do Acaraú encontrou uma elevação da concentração do cloreto nas águas superficiais do açude Acaraú Mirim, que está a uma distância de 61 km do perímetro irrigado e 90 km da costa.

Já para o atributo de sulfato os grupos apresentaram valores baixos (FIGURA 6), sendo que o grupo 1 não diferiu estatisticamente do grupo 2, com um acréscimo de 28,57%. Para o padrão de potabilidade descrito pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 os grupos apresentam valores bem abaixo dos limites recomendados ($< 250 \text{ mg L}^{-1}$ ou $5,21 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$). Terra *et al.* (2016) analisando a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul também encontraram valores dentro dos limites permitidos de potabilidade.

Figura 6 – Sulfato para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para irrigação os grupos apresentaram também valores bem abaixo dos normais encontrados na água de irrigação que vai de 0 a 20 mmolc L⁻¹, de acordo com Ayers e Westcot (1976), havendo uma baixa variabilidade dos dados pelo box plot, porém foi identificando que algumas amostras apresentaram valores extremos, que não ultrapassaram os limites recomendados. Nos estudos realizados por Rizzatti *et al.* (2015) em águas subterrâneas do município de Fortim também não encontraram valores de sulfato acima dos limites encontrados para irrigação. Já Arruda *et al.* (2012) analisando a contaminação por sulfatos e cloretos em águas em Pernambuco, encontraram em um dos poços estudados valores acima dos limites de potabilidade, porém dentro dos valores usuais na irrigação.

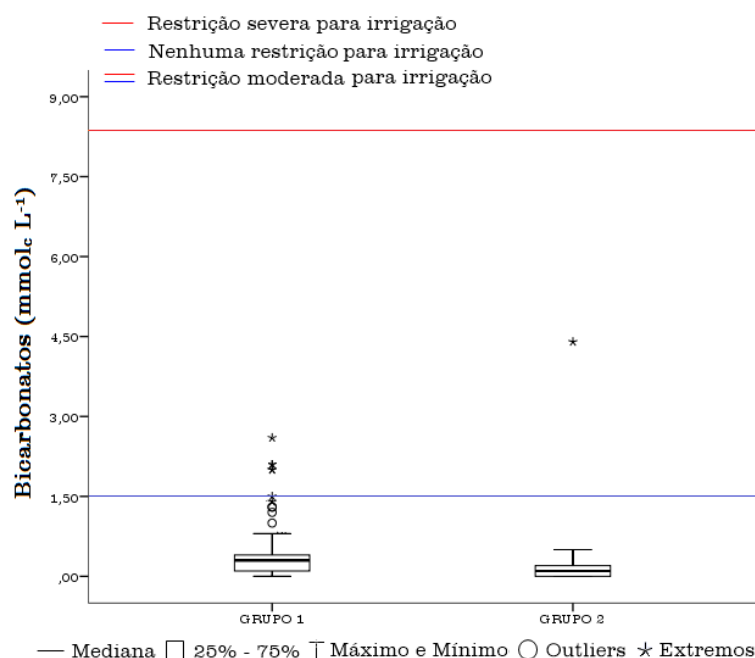
Variabilidade do bicarbonato (HCO₃⁻)

Quanto aos bicarbonatos o grupo 1 não diferiu estatisticamente do grupo 2, este apresentou o maior valor médio (0,41 mmolc L⁻¹), porém os valor máximo foi apresentado no grupo 2 (4,40 mmolc L⁻¹). Para este atributo houve um decréscimo de 43,90% do grupo 1 para o grupo 2. De acordo com Moraes (2008) os principais constituintes do pH são os bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃⁻) e hidróxidos (HO⁻), sendo que para valores menor

ou igual a 4,4 até 8,3, há apenas bicarbonatos. Nesse estudo os valores de pH encontram-se abaixo de 7,5, o que evidencia a presença dos bicarbonatos.

A origem do bicarbonato em águas subterrâneas está principalmente relacionada a processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas (OBIEFUNA; SHERIFF, 2011).

Figura 7 – Bicarbonato para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se diz respeito à irrigação as médias dos grupos não apresentaram restrição quanto ao uso ($< 1,5 \text{ mmolc L}^{-1}$), porém foi apresentando alguns valores extremos que ultrapassaram os limites.

Em estudos nas águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte realizados por Santos *et al.* (1984), foi verificado que com o aumento da salinidade, o sódio, cálcio e magnésio crescem paralelamente e abaixo dos níveis de cloretos, enquanto bicarbonatos caem muito rapidamente. esse comportamento pode ser observado nesse estudo, os menores valores de bicarbonato são observados no grupo dois, onde houve os maiores valores de sódio, cálcio, magnésio e cloreto. Guimarães *et al.* (2017) e Maia *et al.* (2012) também encontraram o mesmo comportamento em águas subterrâneas.

Variabilidade da CE, RAS, pH e SDT nas águas dos reservatórios subterrâneos comparados do DIBAU

Os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos atributos de condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio, potencial hidrogeniônico e sólidos dissolvidos totais para composição das águas do perímetro irrigado do baixo Acaraú utilizadas para comparação encontram-se descritos na tabela 5. Os atributos diferiram entre os grupos estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, sendo todos esses determinantes para formação dos grupos.

Tabela 5 – Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para CE, RAS, pH e SDT dos grupos formados pelos poços do DIBAU, nos anos de 2015 e 2016

Atributos	Parâmetros Descritivos	Grupo 1	Grupo 2
CE (dS m⁻¹)	Média	0,74 ± 0,38 b	2,41 ± 0,77 a
	Mínimo	0,15	1,46
	Máximo	3,22	4,53
RAS	Média	2,25 ± 0,89 b	5,59 ± 2,04 a
	Mínimo	0,30	2,72
	Máximo	6,62	11,84
pH	Média	4,73 ± 0,96 a	3,61 ± 0,79 b
	Mínimo	2,90	2,70
	Máximo	7,50	6,60
SDT	Média	740,49 ± 377,34 b	2405,12 ± 765,08 a
	Mínimo	150,00	1460,00
	Máximo	3220,00	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: Elaborado pelo autor.

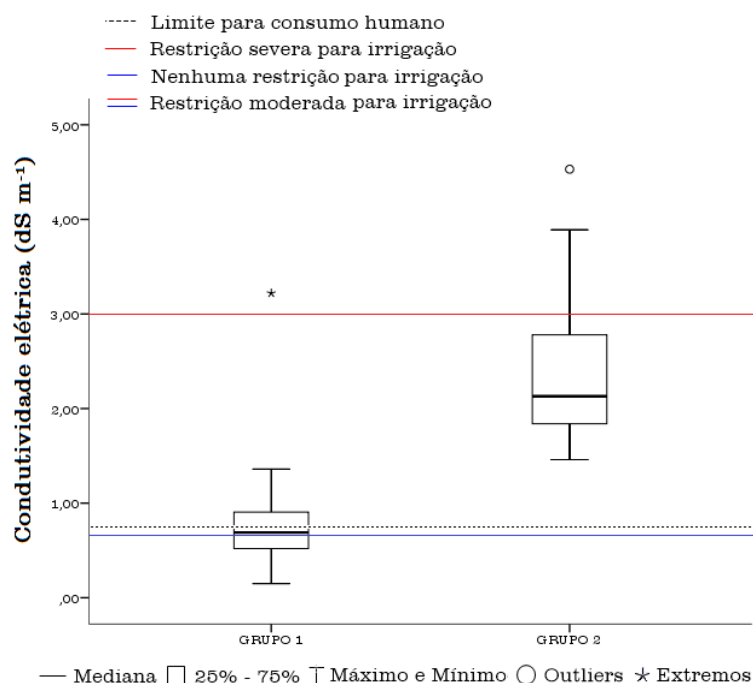
Variabilidade da condutividade elétrica (CE)

Para condutividade elétrica o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância do grupo 1, apresentando o maior valor médio de 2,41 dS m⁻¹, o que é

condizente com os valores elevados dos cátions e da RAS, indicando uma maior concentração de sais no grupo 2 que no 1 (FIGURA 8). Do grupo 1 para o grupo 2, houve um aumento nos valores médios de aproximadamente 225,68%.

De acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA são consideradas águas doces as que apresentam salinidade igual ou inferior a 0,5‰ (0,78 dS m⁻¹); são consideradas águas salobras as águas com salinidade superior a 0,5‰ (0,78 dS m⁻¹) e inferior a 30 ‰ (4,68 dS m⁻¹); são consideradas águas salinas as com salinidade igual ou superior a 30‰ (4,68 dS m⁻¹). Portanto as águas dos grupos 1 são consideradas águas doces com salinidade igual ou inferior a 0,78 dS m⁻¹; porém as águas do grupo 2 são consideradas salobras apresentando salinidade superior a 0,78 dS m⁻¹ e inferior a 4,68 dS m⁻¹, estas quando utilizadas para consumo humano podem conferir sabor desagradável. Em sua grande maioria os pontos encontram-se acima do recomendado para consumo humano.

Figura 8 – Condutividade elétrica para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para irrigação o grupo 2 apresentou o maior valor médio, porém os dois grupos encontram-se com restrição moderada, para os valores médios, de acordo com a tabela 2. Observa-se pelo box plot (FIGURA 8) que esses grupos apresentaram alguns pontos com restrição severa ao uso na irrigação. A elevação da condutividade elétrica pode estar

associada, pontualmente, as maiores concentrações de íons principalmente de cloretos (GOMES; CAVALCANTE, 2017). O que foi confirmado por Rizzatti *et al.* (2015) estudando a qualidade da água subterrânea no município de Fortim, que encontraram uma maior CE onde houve maior teores do íon cloreto.

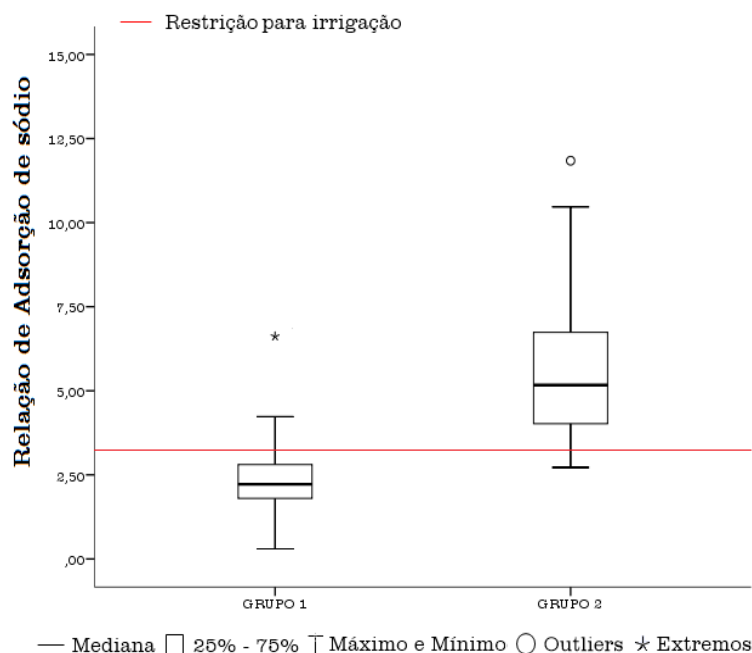
De acordo com Almeida (2010) a salinidade é resultante da acumulação de sais na solução do solo, o que reduz o potencial osmótico e assim, dificulta a absorção de água pelas plantas e provoca alterações na absorção não seletiva de nutrientes. A qualidade da água utilizada na irrigação é um dos fatores que podem causar a salinização do solo, que se agrava quando o manejo da irrigação e drenagem é inapropriado. Em estudos realizados por Mota *et al.* (2012) foi observado que 35,47% da área do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú foi classificada com baixo risco de salinização.

Silva *et al.* (2015) estudando as concentrações iônicas em águas superficiais na bacia metropolitana do Ceará, observaram que quanto a condutividade elétrica os grupos formados apresentaram águas de baixa e alta salinidade.

Variabilidade da relação de adsorção de sódio (RAS)

Para o atributo de RAS os dois grupos diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância, não ultrapassando o valor médio de 6,00 (FIGURA 9), porém alcançando valores máximos de até 11,84. O grupo 1 apresentou um aumento de 148,44% para o grupo 2. Para avaliação do grau de restrição, de acordo com a tabela 2, deve-se ser avaliado este parâmetro juntamente com a CE, pois está relacionado com os teores de sódio, cálcio e magnésio. O grupo 2 apresentou uma maior variabilidade dos dados apresentados no box plot, apresentando um valor médio com restrição para uso na irrigação, indicando perigo de sodicidade.

Figura 9 – Relação de adsorção de sódio para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sales *et al.* (2014) estudando a qualidade da água em reservatório da região semiárida, encontraram valores sempre abaixo do limite de restrição para irrigação (< 3), não apresentando risco de sodicidade. Já no estudo realizado por Guedes *et al.* (2016) em águas subterrâneas e superficiais, foi encontrado valores de RAS ultrapassando um pouco o limite para uso na irrigação, apresentando um risco médio de sodicidade. Eloi *et al.* (2014) estudando a qualidade da água em açudes da bacia do Acaraú observaram que a RAS varia ao longo do ano (de 0,98 a 9,6 mmolc L⁻¹), apresentando momentos com nenhum, moderado ou severo grau de restrição ao uso na irrigação.

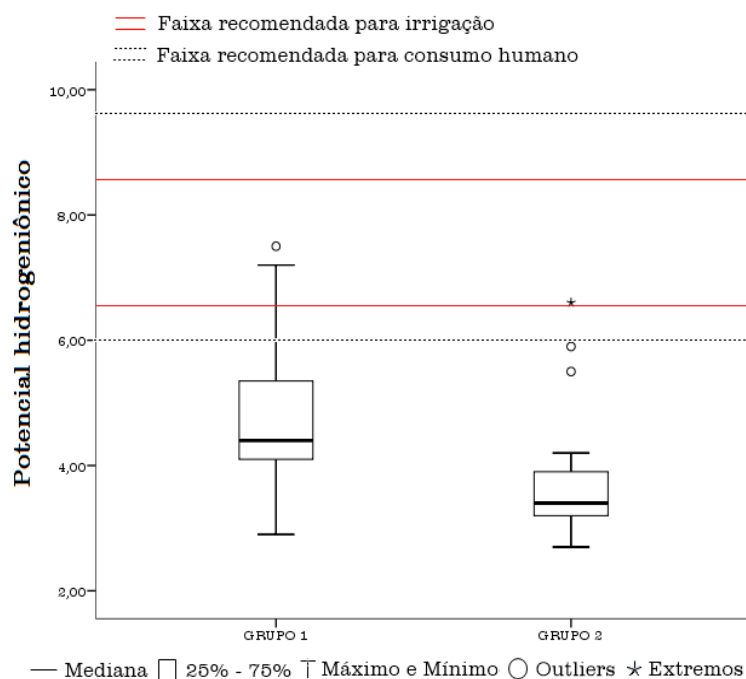
Este parâmetro de avaliação é de grande importância, pois indica o perigo de sodicidade do solo. A diminuição da capacidade de infiltração do solo está associada com elevadas concentrações de sódio, em relação às concentrações de cálcio e/ou as baixas concentrações de sais solúveis na água de irrigação. A redução da velocidade de irrigação pode alcançar tal magnitude que as raízes das plantas não recebam água suficiente entre as irrigações (ALMEIDA, 2010).

Variabilidade do potencial hidrogeniônico (pH)

Para o pH houve diferença a nível de 5% de significância entre os grupos. As águas dos grupos apresentaram no geral valores de pH abaixo de 7,5, ou seja, tendência para acidez, diferindo estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (FIGURA 10).

Nenhum dos valores médios dos grupos apresentou padrões dentro dos limites de potabilidade para consumo humano, estabelecidos pela portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011, que vai de 6,0 e 9,5, os demais grupos encontram-se fora dos padrões de potabilidade. Nas águas de abastecimento, os baixos valores de pH podem contribuir para a corrosividade e agressividade e valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações nas redes de distribuição, o estudo desse parâmetro visa a diminuição desses problemas. Coelho *et al.* (2017) monitorando a água de poços na cidade de São Luís encontraram valores de pH variando de 5,35 a 5,81, estando fora dos limites de potabilidade e apresentando uma acidez.

Figura 10 – Potencial hidrogeniônico para os pontos estudados no DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando na água de abastecimento este pode está relacionado com a acidez, que tem a distribuição em função do pH (pH > 8,2 - CO₂ livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 - acidez carbônica; pH < 4,5 - acidez por ácidos minerais fortes). Águas com acidez mineral são

desagradáveis ao paladar, sendo, portanto desaconselhadas para abastecimento doméstico (BRASIL, 2006).

No que se diz respeito à irrigação, nenhum dos valores médios dos grupos apresentaram um pH entre a faixa usual que vai de 6,5 a 8,4. As águas com pH anormal podem causar desequilíbrios na nutrição das plantas ou conter íons tóxicos. No solo as mudanças ocasionadas pela água são bastante lentas, assim, o pH quando adverso, pode ser corrigido pela aplicação de corretivos na água, porém, prefere-se o tratamento direto no solo. O perigo maior das águas com valores anormais de pH é pela deterioração do equipamento de irrigação (AYERS; WESTCOT, 1976). Lima *et al.* (2014) estudando a qualidade das águas subterrâneas em Crateús, identificaram que nenhuma das amostras estudadas apresentou pH que comprometesse a qualidade das águas, ou seja, não houve restrição, seja na irrigação ou para consumo humano.

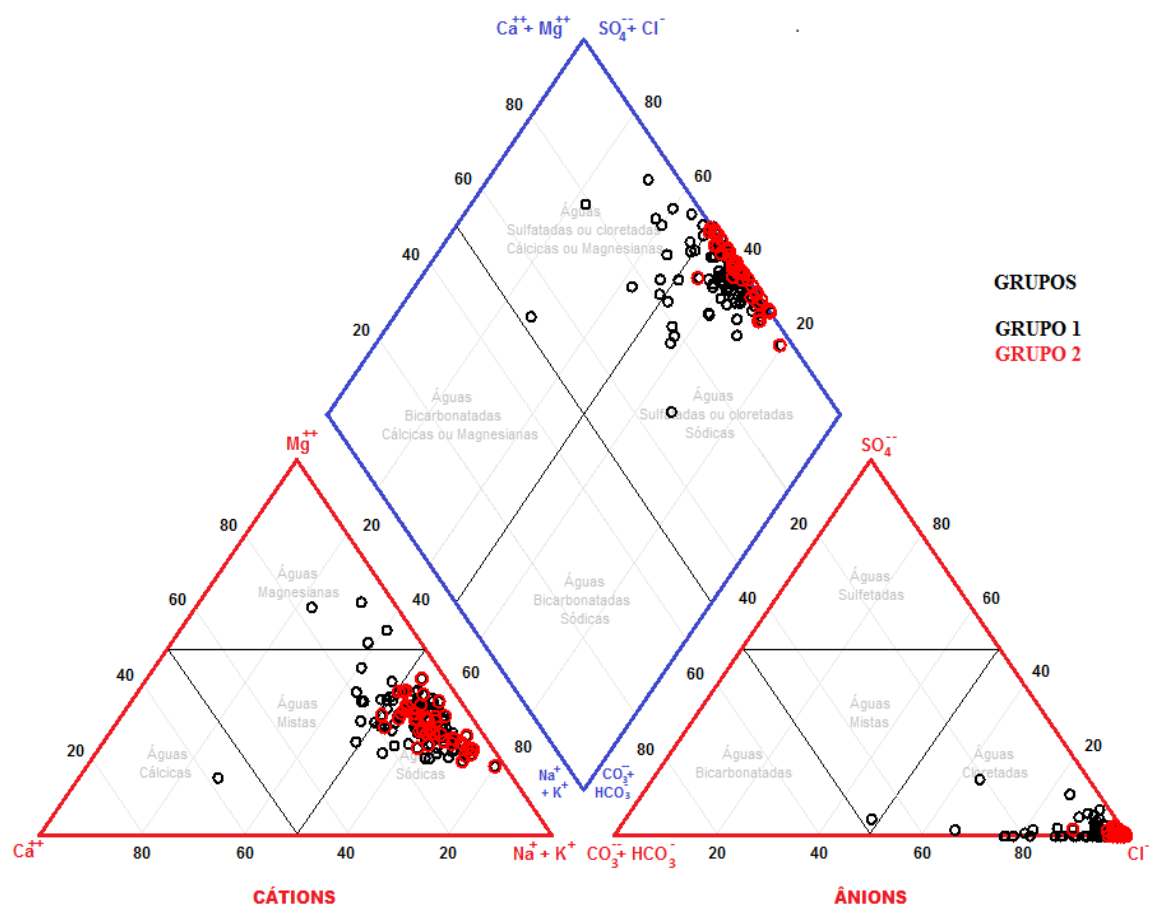
A ocorrência de um pH mais baixo é explicado pela presença de CO₂, ácidos minerais e hidrolisados, pois quando um ácido reage com a água o íon de hidrogênio é liberado, acidificando o meio (PEREIRA, 2004). No estudo realizado por Pereira *et al.* (2010) foram encontrados dois pontos com águas tendenciosas para acidez, nesse estudo, esses valores são atribuídos ao aumento da profundidade do poço, onde o oxigênio é consumido pelas reações com a matéria orgânica e o CO₂ passa a ser o gás dissolvido predominante.

Classificação das águas para irrigação segundo duas diferentes metodologias

Para analisar de maneira mais detalhada a influência que os íons tiveram na formação dos grupos, foi aplicado o Diagrama de Piper nos 2 diferentes grupos formados (FIGURA 11).

Para os grupos, de maneira geral, das amostras analisadas, 88% foram classificadas como águas sódicas cloretadas, 7% como cloretadas mistas, 3% como magnesianas cloretadas e 1% como cálcicas mistas. No triângulo menor que representa os cátions, 89% foram classificadas como águas sódicas, 7% classificadas como mistas, 3% como águas magnesianas, e 1% como águas cálcicas; no triângulo menor que representa os ânions, 99% foram classificadas como cloretadas e 1% como águas mistas. Pode-se observar que o grupo 1 apresentou uma maior dispersão nos dados. No que se diz respeito ao grupo 2, as águas foram classificadas como sódica cloretadas e uma amostra como somente sódica.

Figura 11 – Classificação das águas subterrâneas dos grupos do DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

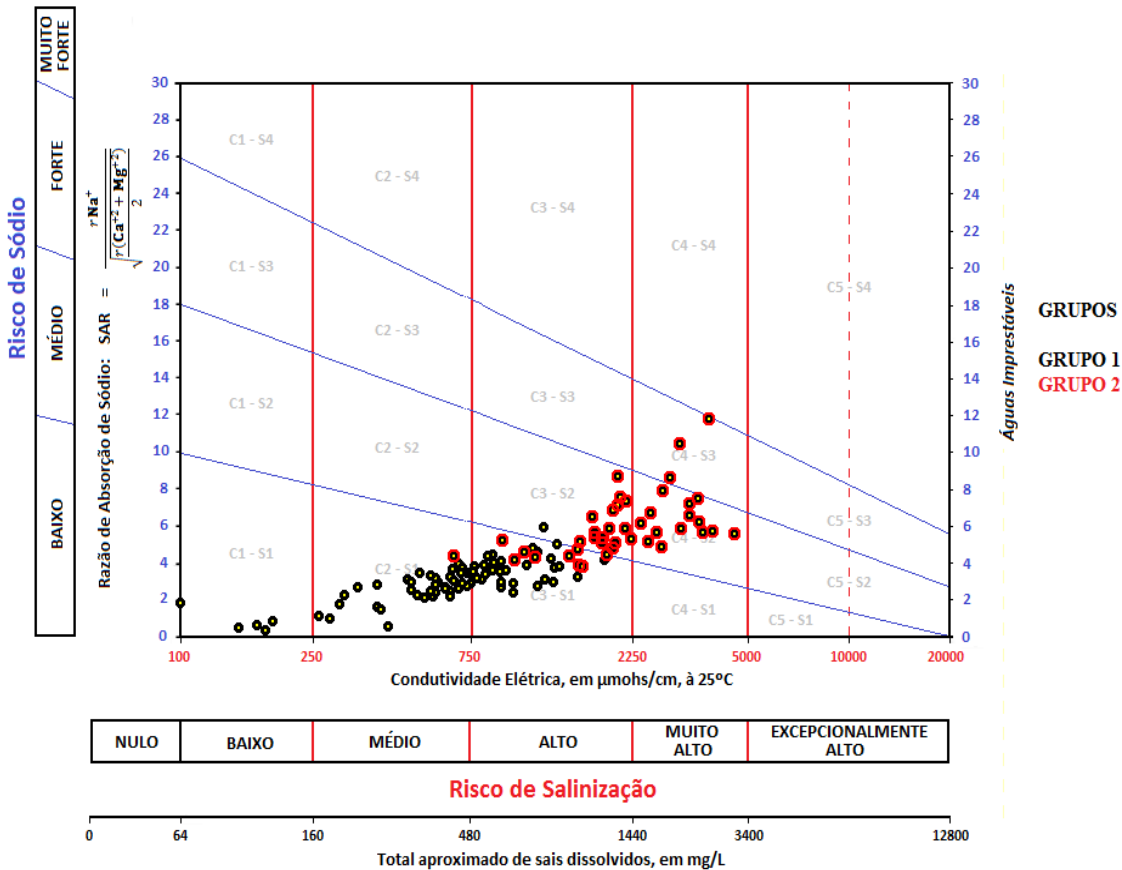
No geral observa-se que nesse estudo houve uma predominância quanto aos cátions da classe sódica e quanto aos ânions da classe cloretada, confirmando a alta presença desses atributos na análise hidroquímica. Silva Júnior *et al.* (2000) cita que as águas do cristalino do Nordeste do Brasil se classificam como cloretadas sódicas, correspondendo a litologia local.

Lobato *et al.* (2008) estudando a sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado do Baixo Acaraú – Ceará da barragem Santa Rosa, verificou que houve uma predominância da classe bicarbonatada sódica e cloretada sódica nos períodos seco e chuvoso. Nos estudos realizados por Mesquita *et al.* (2004) na dinâmica iônica das águas superficiais da parte baixa da bacia do Acaraú, observaram que, quanto aos ânions, apresentaram uma maior tendência para serem classificadas como cloretadas, já para os cátions enquadraram-se como mistas (cálcicas, magnesianas e sódicas).

Em estudos realizados por Barroso *et al.* (2011) na avaliação de águas superficiais e subterrâneas para irrigação na região do centro sul no estado do Ceará, foi observado que houve uma predominância de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas (73,9%). Gomes *et al.* (2017) estudando a qualidade da água subterrânea no município de Fortaleza, encontraram uma predominância das classes cloretada sódica e atribuem essa predominância a presença dos aerossóis marinhos e evaporação, favorecida pela proximidade da área com a faixa costeira.

A classificação das águas para uso na irrigação que leva em consideração o risco de salinização e o risco de sodicidade pela metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954) para os anos de 2015 e 2016 encontram-se descritas na Figura 12.

Figura 12 – Classificação das águas subterrâneas dos grupos utilizados para irrigação do DIBAU, nos anos de 2015 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

No geral as fontes hídricas avaliadas apresentaram uma variação que vai de C₀S₁ equivalente a (2,4% do total de dados), C₁S₁ (3,2% do total das amostras), C₂S₁ que equivale a

(32,5% do total das amostras), C_3S_1 (31,7% do total das amostras), C_3S_2 que equivale a (16,7% do total das amostras), C_4S_2 (11,1% do total das amostras) e C_4S_3 (2,4% do total das amostras). As águas que apresentam uma alta salinidade e uma média sodicidade não podem ser utilizadas em solos com drenagem restrita (SRINIVASAMOORTHY *et al.*, 2011).

O fato de que nesse estudo não houve uma influência da variação sazonal está relacionado principalmente aos anos consecutivos de secas, sendo assim, as precipitações não tão elevadas durante o período chuvoso dos anos de 2015 e 2016 não influenciaram para que houvesse variações. Além disso, As águas subterrâneas sofrem uma menor influência da sazonalidade que as águas superficiais. Lobato *et al.* (2008) ao classificar as águas superficiais da parte baixa da Bacia do Acaraú, encontrou diferenças para o período chuvoso as águas variaram entre as classes C_1S_1 e C_2S_1 , enquanto no período seco as amostras foram classificadas apenas como C_2S_1 .

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_1S_1 e nas águas dos poços variaram de C_2S_1 a C_2S_2 . Já Oliveira *et al.* (2013) estudando a qualidade da água de poços na chapada do Apodi classes variando entre C_0S_1 , C_1S_1 , C_2S_1 , C_3S_1 e C_4S_2 . A região do estado do Ceará encontra-se embasada 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.

CONCLUSÕES

A sazonalidade climática não influenciou a qualidade das águas subterrâneas analisadas;

Houve a formação de 2 grupos, em que o grupo 2 (29% do total das amostras) apresentou altos teores de cátions, principalmente o sódio, e de cloreto, apresentando restrições para consumo humano e irrigação;

A elevação dos íons de Na^+ e Cl^- está associada à presença de sais em decorrência dos aerossóis marinhos, pela aproximação com a costa marítima;

Na classificação hidroquímica houve uma predominância da classe sódica-cloretada para os grupos, confirmando a alta presença desses íons nas águas analisadas;

Quanto à classificação das águas para irrigação para os grupos houve uma predominância das classes C_2S_1 e C_3S_1 , com maiores riscos de salinidade do que de sodicidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.

ALMEIDA, J. B.; BARROS, J. F.; MESQUITA, B. A. de; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F. Cluster analysis and geochemical processes for the characterization of the aquifer system in Maracaná/ São Luís/ MA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 832-840, 2016.

ALMEIDA, J. R. F. de; FRISCHKORN, H. Salinization mechanisms of a small alluvial aquifer in the semiarid region of northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 643-649, 2015.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. do N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 11-19, 2010.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 410-415, 2011.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. do N.; LUNA, N. R. de S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. de A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 5, p. 621-630, 2016.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. de F. e; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 873-880, 2006.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. Contaminação em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina – PE. **Estudos Geológicos**, v. 22, n. 2, 2012.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. 97 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB. 1991. 218p. (FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BARROSO, A. de A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, E. de O.; PALÁCIO, H. A. de Q.; LIMA, C. A. de. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 588-593, 2011.

BELIZÁRIO, T. L.; SOARES, M. A.; ASSUNÇÃO, W. L. Qualidade da água para irrigação no projeto Dom José Mauro, Uberlândia – MG. **Revista Getec**, v. 3, n. 5, p. 53-73, 2014.

BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C. de; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G de O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Excesso de sal pode causar doenças cardiovasculares**. 2012. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/11/excesso-de-sal-pode-causar-doencas-cardiovasculares> >. Acesso em: 02 jan 2017.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, 2009. 44 p.

COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M. dos; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A. dos; MARTINS, A. S. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em comunidade rural da cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis methods and applications**. New York: John Wiley e Sons, 1984. 587 p.

ELOI, W. M.; SALES, M. A. de L.; LIRA, J. V. de; NASCIMENTO, N. V. do; SOUZA, J. V. R. da S. de S. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 3, p. 247-255, 2014.

FONTENELE, S. de B.; ANDRADE, E. M. de; SALGADO, E. V.; MEIRELES, A. C. M.; SABIÁ, R. J. Análise espaço-temporal da qualidade da água na parte alta da bacia do rio salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 102-109, 2011.

FUNCEME. **QUALIGRAF**. 2001. Disponível em: < <http://www3.funceme.br/qualigraf/> >. Acesso em: 13 nov 2015.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GUEDES, T. A.; SANTOS, J. R. C. dos; FEITOSA, A. K.; NOGUEIRA, D. H. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. **Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 10, n. 3, p. 37- 44, 2016.

GUIMARÃES, R. F. B.; FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J.; ARAÚJO, R. M. Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista, PB. **Revista Espacios**, v. 38, n. 2, p. 8, 2017.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna, 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HELBEL, A. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná/RO – Brasil**. 2011, 111 f. Graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

LIMA, J. O. G. de; LOPES, F. das C. da C.; LIMA, J. R. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, 2014.

LIMA JÚNIOR, B. C.; LIMA, V. L. A. de; FARIAS, M. S. S. de; DANTAS NETO, J.; GUIMARÃES, J. P.; LIMA, M. G. M. de; ALVES, A. de S. Classificação da água de irrigação em uma área cultivada com fruticultura irrigada. **Revista Espacios**, v. 38, n. 9, p. 20, 2017.

LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LOPES, F. B.; SOUZA, F. de; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 301-316, 2011.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014.

LUDEWING, D. R.; OPAZO, M. A. U.; GIMENES, R. M. T.; SOUZA, E. G. de. O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.

MAIA, C. E.; RODRIGUES, K. K. R. P.; LACERDA, V. da S. Relação entre bicarbonatos e cloreto em águas para fins de irrigação. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p. 206-219, 2012.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R. dos; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3318-3326, 2013.

MEIRELES, A. C. M. **Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação**. 2007. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2007.

MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE E. M.; CHAVES, L. C. G.; FRISCHKORN, H.; CRISÓSTOMO, L. A. A new proposal of the classification of irrigation water. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 349-357, 2010.

MESQUITA, T. B. **Caracterização da qualidade das águas empregadas nos distritos irrigados da bacia do Acaraú**. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solo e geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN. **Caatinga**, v. 11, n. 1/2, p. 75-83, 1998.

MORAIS, P. B. **Tratamento biológico de efluentes líquidos**. Campinas: UNICAMP, 2008. 14 p.

MOTA, L. H. da S. de O.; GOMES, A. da S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. da. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1203-1209, 2012.

NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P., LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste – CE. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, vol. 12, n. 1, p. 124-135, 2017.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. 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**, v. 3, p. 131-141, 2011.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH – UFRGS, v. 1, n. 1, p. 20-36, 2004.

PEREIRA, S. de F. P.; COSTA, A. de C.; CARDOSO, E. do S. C.; CORRÊIA, M. do S. S.; ALVES, D. T. V.; MIRANDA, R. G.; OLIVEIRA, G. R. F. de. Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba – Pará. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 50-62, 2010.

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

RIZZATTI, I. M.; LEITE, N. S.; SILVA, E. V. da. Avaliação de parâmetros físicos e químicos das águas subterrâneas do município de Fortim, Ceará. **Revista GeoAmazonia**, v. 3, n. 6, p. 133-142, 2015.

RODRIGUES FILHO, J. L.; ABE, D. S.; GATTI JÚNIOR, P.; MEDEIROS, G. R.; DEGANI, R. M.; BLANCO, F. P.; FARIA, C. R. L.; CAMPANELLI, L.; SOARES, F. S.; GALLI, C. V. S.; SILVA, V. T.; TUNDISI, J. E. M.; TUNDISI, T. M.; TUNDISI, J. G. Spatial patterns of water quality in Xingu River Basin (Amazonia) prior to the Belo Monte dam impoundment. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 75, n. 3, supl. 3, p. 34-46, 2015.

SALES, M. M. de; LOPES, F. B.; MEIRELES, A. C. M.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M. de. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas em reservatório da região semiárida para fins de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 411-421, 2014.

SANTOS, J. P., AZEVEDO, S. G.; MISTRETTA, G. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo: IPT, 1984. 27 p.

SILVA JÚNIOR, J.N; SOUSA, A.R.; SÁ, V.A.L.; LIMA, B.P. 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**, Campina Grande, v.4, n.2, p.189-193, 2000.

SILVA, E. B. da; ARAÚJO NETO, J. R. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; SALES, M. M. de; BARROS, B. E. A. Modelagem da concentração iônica em águas superficiais na bacia metropolitana do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 145-157, 2015.

SILVA, E. B.; ARAÚJO NETO, J. R. de. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. **Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 5, p. 417-426, 2016.

SRINIVASAMOORTHY, K.; VIJAYARAGHAVAN, K.; VASANTHAVIGAR, M.; SARMA, V. S.; RAJIVGANDHI, R.; CHIDAMBARAM, S.; ANANDHAN, P.; MANIVANNAN, R. Assessment of groundwater vulnerability in Mettur region, Tamilnadu, India using drastic and GIS techniques. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 4, n. 7, p. 1215-1228, 2011.

OLIVEIRA, H. A.; BEZERRA, H. N.; ARAÚJO, J. M. S.; TAVARES, L. A. F. Qualidade de águas de poços dos assentamentos da chapada do Apodi - RN para o uso na agricultura. **Revista HOLOS**, ano 29, v. 1, p. 64-72, 2013.

TERRA, L. G.; BORBA, W. F. de; FERNANDES, G. D.; TROMBETA, H. W.; SILVA, J. L. S. da. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul – RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 94-104, 2016.

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. de B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13-24, 2017.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis: University of California, 1974. 13 p.

VASANTHAVIGAR, M.; SRINIVASAMOORTHY, K.; RAJIV GANTHI, R.; VIJAYARAGHAVAN, K.; SARMA, V. S. Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. **Arabian Journal Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 245-258, 2012.

VASCONCELOS, R. S.; LEITE, K. do N.; CARVALHO, C. M. de; ELOI, W. M.; SILVA, L. M. F. da; FEITOSA, H. de O. Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 30-38, 2009.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P. de; SOUZA, M. S. B. de; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A. de; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, 6, p. 347-360, 2015.

WANG, Y.; WANG, P.; BAI, Y.; TIAN, Z.; LI, J.; SHAO, X.; MUSTAVICH, L. F.; LI B. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 7, p. 30-40, 2013.

6 INFLUÊNCIA DA SECA PROLONGADA (2012 A 2016) SOBRE O NÍVEL FREÁTICO E QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DIBAU

RESUMO

A população da região semiárida tem convivido com períodos de seca prolongada que afetam as atividades agropecuárias e dificultam a melhoria das condições de vida. Diante disso, objetivou-se avaliar a influência da sazonalidade climática e seca prolongada na qualidade da água subterrânea do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – CE. Foram selecionados 6 pontos para realização da comparação com um estudo anterior, com análises hidroquímicas dos atributos de HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , CE, Mg^{2+} , K^+ , pH, RAS, Na^+ nos períodos de novembro/2010, junho/2011, junho/2015, novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016. No ano de 2016 para identificar a variação do nível freático foi realizada a leitura da profundidade do lençol freático. Foi utilizada a análise de agrupamento pelo método hierárquico aglomerativo, sendo a medida de distância euclidiana quadrada e a determinação do número de agrupamento definido pelo coeficiente de aglomeração, sua representação foi por dendograma. As médias foram testadas através do teste T ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade e apresentada por estatística descritiva “boxplot”, no software SPSS 16.0. Na classificação e avaliação das águas foi utilizado o diagrama de Piper e para irrigação a metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos pelo software QUALIGRAF 1.17, já o grau de restrição do uso para irrigação foi realizado pela metodologia da University of California of Consultants. A dinâmica do lençol freático indica que a seca prolongada reduziu o nível da lâmina de água nas cacimbas. Houve a formação de 2 grupos, sendo que para o grupo 1 as amostras não apresentaram influência pela redução da precipitação nos anos de 2012 a 2016). As variáveis indicadoras de salinidade aumentaram no grupo 2 em função da sua localização, que se encontra em área baixa do perímetro irrigado e recebe influência da recarga das áreas mais altas, contribuindo para elevação, que se agravou com a ocorrência da seca prolongada. Para classificação das águas de irrigação não houve uma influência maior da seca no geral, porém para o C8 houve, isso é decorrente da localização desse ponto. Para classificação das águas de irrigação houve uma variação das classes C_1S_1 a C_3S_2 .

Palavras-chave: Recursos hídricos. Estiagem. Análise multivariada.

ABSTRACT

The population of the semi-arid region has been living with periods of prolonged drought that affect agricultural activities and hinder the improvement of living conditions. The objective of this study was to evaluate the influence of prolonged dry and climatic seasonality on the groundwater quality of the Acaraú - CE Irrigated Perimeter. HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , CE , Mg^{2+} , K^+ , pH, RAS, Na^+ in the periods of November / 2010, June / 2011, June were selected for comparison with a previous study, with hydrochemical analyzes of the attributes of HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- / 2015, November / 2015, June / 2016 and November / 2016. In the year 2016 to identify the variation of the water table, the depth of the water table was read. The cluster analysis was used by the agglomerative hierarchical method, the square Euclidean distance measure and the determination of the cluster number defined by the agglomeration coefficient, its representation was by dendrogram. The means were tested through the T test at the level of $P < 0.05$ of probability and presented by descriptive statistical "boxplot", in software SPSS 16.0. In the classification and evaluation of the waters was used the diagram of Piper and for irrigation the methodology of the Laboratory of Salinity of the United States by the software QUALIGRAF 1.17, already the degree of restriction of the use for irrigation was realized by methodology of the University of California of Consultants. The dynamics of the water table indicates that the prolonged drought reduced the level of the water slide in the cacimbas. Two groups were formed, and for group 1 the samples were not influenced by the reduction of precipitation in the years 2012 to 2016). Salinity indicator variables increased in group 2 due to their location, which is located in a low area of the irrigated perimeter and is influenced by the recharge of the higher areas, contributing to the increase, which was aggravated by the occurrence of prolonged drought. In order to classify irrigation water, there was not a greater influence of drought in general, but for C8 there was, this is due to the location of this point. To classify irrigation water, there was a variation of classes C_1S_1 to C_3S_2 .

Keywords: Water resources. Drought. Multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

Antes mesmo de se falar em mudanças climáticas, a população da região semiárida já convivia com períodos de seca prolongada que afetavam as atividades agropecuárias e dificultavam a melhoria das condições de vida. Em decorrência de vários períodos de seca prolongada, as experiências de convivência com esta, servem para analisar o modo como a população reage às situações de escassez, tanto pela aprendizagem e adaptação ou até mesmo pelo aumento dos conflitos socioambientais (PEREIRA; CUELLAR, 2015).

A perspectiva de aumentos na frequência e duração dos períodos secos em climas futuros na região do nordeste brasileiro tem gerado preocupação entre os gestores de recursos naturais, agricultores e pesquisadores, que tentam entender como essas mudanças irão afetar os recursos hídricos, produção de alimentos, renda e subsistência. No período dos anos de 2010 a 2015, somente 2011 teve chuvas acima da média, mas este foi seguido pelos déficits de precipitação mais graves em 2012, o que sugere uma natureza multianual da atual seca, dos quais os primeiros sinais começaram em 2010 (MARENGO, 2016).

É característico da região semiárida do Brasil um sistema de precipitações pluviométricas irregular com grande variação espacial e temporal e um curto período de chuva, de janeiro a abril, seguido de um longo período seco, de maio a dezembro (SALGADO *et al.*, 2011). No estado do Ceará a quantidade de precipitação sofre modificações pela circulação atmosférica de grande escala, que é influenciada pela atuação dos fenômenos El Niño e La Niña, assim como pela temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico Tropical norte e sul (MAGALHÃES; ZANELLA, 2011).

É de grande importância a identificação da qualidade da água, bem como verificar a sua vulnerabilidade à atividade humana, para que seja realizada uma gestão adequada dos recursos hídricos no que se refere ao seu gerenciamento, uso e conservação (SANTI *et al.*, 2012). É importante também que se identifique a adequação dos principais usos que são consumo humano e irrigação (MONJEREZI; NGONGONDO, 2012).

Quando se visa determinar a qualidade da água é necessário que se avalie as variáveis que possam indicar alguma mudança na sazonalidade climática, identificando a sua característica multivariada. As técnicas de estatística multivariada vêm sendo empregadas nas ciências naturais para auxiliar na interpretação de matrizes geradas pelo monitoramento dos processos naturais multivariados (ANDRADE *et al.*, 2011). O uso dessa ferramenta tem como

finalidade a identificação das características dos objetos estudados pelas similaridades dos parâmetros processados (SOUZA *et al.*, 2014).

Com isso, objetivou-se avaliar a influência da sazonalidade climática e seca prolongada na qualidade da água subterrânea do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – CE, para os anos de 2010, 2011, 2015 e 2016.

MATERIAL E MÉTODOS

As seções a seguir encontram-se descritas nas respectivas páginas no capítulo 1.

Seções	
Caracterização da área.....	42
Localização.....	42
Clima, cultivo, geologia e solo.....	43
Análise estatística.....	63
Classificação e avaliação das águas.....	68

Caracterização dos pontos de coleta para estudo comparativo

Para identificar a influência que a seca prolongada exerceu sobre os pontos estudados anteriormente, foi realizada também a análise multivariada pelo método de agrupamento dos atributos estudados, buscando encontrar a similaridade existente entre as fontes hídricas no final do período chuvoso (junho de 2011, 2015 e 2016) e final do período seco (novembro de 2010, 2015 e 2016). As cacimbas utilizadas para identificar a inferência da seca prolongada (2012 a 2016) sobre a qualidade da água e nível freático foram a C8 (profundidade de 11,45 m), C32 (profundidade de 20,15 m), C34 (profundidade de 13,4 m), C35 (profundidade de 12,65 m), C36 (profundidade de 17,00 m) e C37 (profundidade de 21,13 m), os quais estão descritos na tabela 2 do capítulo 1. Destes pontos os C32, C34 e C35 são utilizados exclusivamente para consumo humano, já os C8, C36 e C37 são utilizados somente na irrigação. No geral, foram analisadas 37 amostras.

Como descritos na figura 1 do capítulo 1, apesar de todos os pontos encontrarem-se localizados na área do DIBAU, os pontos C32 e C35 não estão em lotes irrigados. Já os pontos C8, C34, C36 e C37 se encontram em áreas irrigadas. O C35 está localizado em uma

comunidade nas proximidades da barragem Santa Rosa, que pereniza o rio Acaráu e também próximo à área de bombeamento do DIBAU. O lote do C36 situa-se próximo ao canal principal do perímetro. Já o lote do C37 localiza-se próximo as margens da rodovia CE 178. O C32 localiza-se em uma comunidade, sendo este pertencente à bacia litorânea e está fora da área útil do perímetro. O C8 além de estar inserido em um lote irrigado encontra-se nas proximidades de uma comunidade, que também está próximo a uma área de vegetação nativa.

Parâmetros analisados na água amostrada para estudo comparativo

Para identificar a influência da seca prolongada (2012 a 2016) nos pontos estudados e as possíveis mudanças durante os períodos de seca e de chuva, caracterizando a sazonalidade climática, bem como, a influência da irrigação na qualidade da água nas cacimbas foram analisados os atributos presentes na tabela 1. Foi comparado o estudo anterior realizado nos pontos nos períodos de novembro de 2010 e junho de 2011 por Luna (2012) e também foi realizada coletas em junho de 2015, novembro de 2015, junho de 2016 e novembro de 2016. As amostras foram coletadas de acordo com a metodologia no capítulo 2, totalizando 324 dados (6 cacimbas, 6 períodos de coleta e 11 atributos analisados).

Tabela 1 – Atributos analisados

Atributos Analisados	Unidade
Bicarbonato (HCO_3^-)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Cálcio (Ca^{2+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Cloreto (Cl^-)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Condutividade Elétrica (CE)	dS m^{-1}
Magnésio (Mg^{2+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Potássio (K^+)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	-
Sódio (Na^+)	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS), utilizou-se a fórmula 1 que se encontra no capítulo 2.

Para investigar o efeito climático das precipitações pluviométricas sobre a variação da lâmina da água do lençol freático, foi realizada a leitura do nível da lâmina nos pontos C8, C32, C34, C35, C36 e C37 no ano de 2016, avaliadas juntamente com os dados de

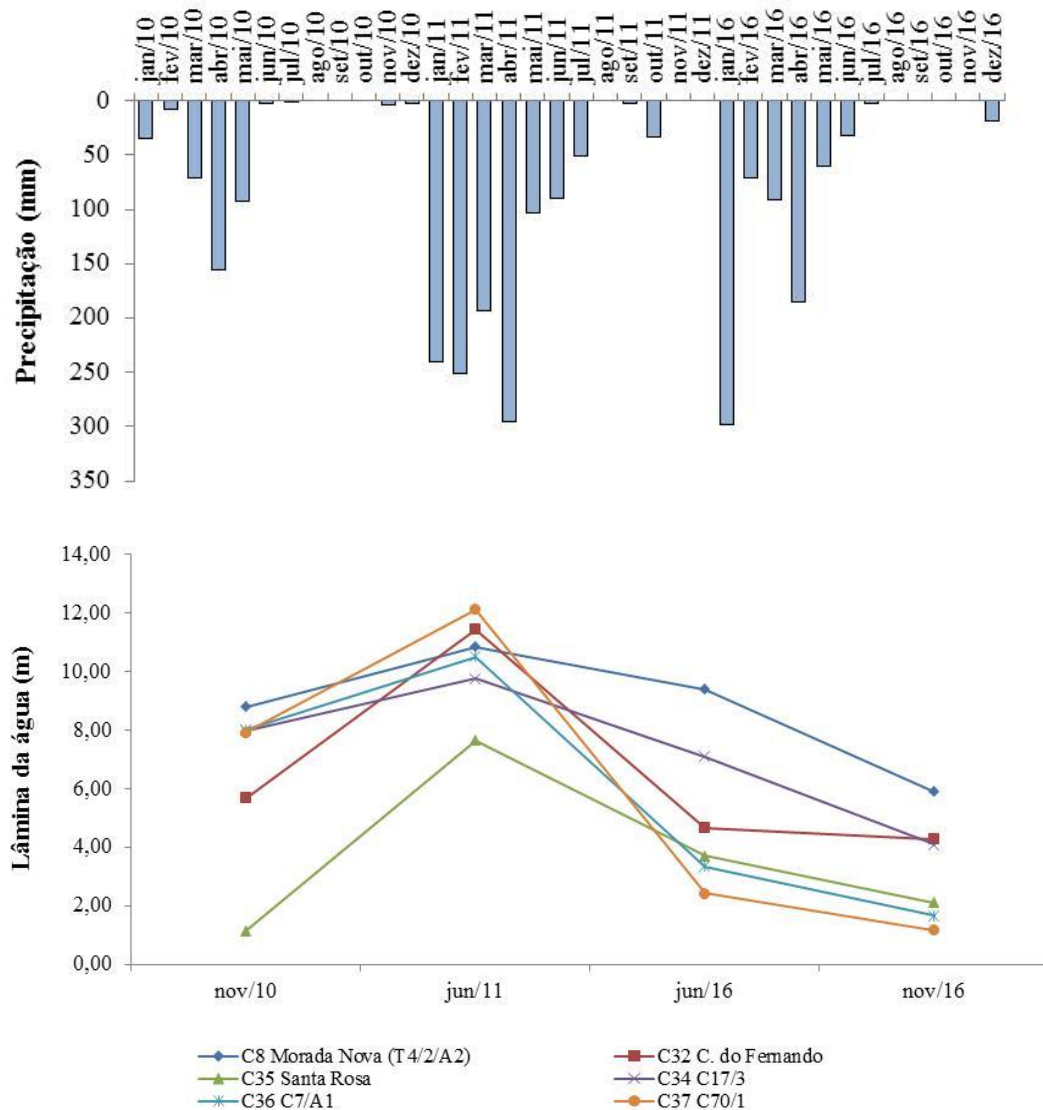
precipitações pluviométricas ocorridas na área de estudo. Para os anos de 2010 e 2011 houve disponibilidade de dados dos trabalhos anteriores realizados por Luna (2012) nos mesmos pontos. Para esse estudo, utilizou-se um medidor de nível de água, onde se mediu o comprimento do cabo em nível do solo até atingir a superfície da água. A lâmina da água foi feita através da diferença entre a profundidade da cacimba e o nível da água medido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica do lençol freático

No geral, os poços encontram-se influenciados pelas precipitações (FIGURA 1), apresentando um comportamento semelhante, com maior lâmina da água no final do período chuvoso e menor lâmina no final do período seco, indicando a influência da sazonalidade climática na dinâmica do nível dos poços, fato também observado por Andrade *et al.* (2016) e Burte *et al.* (2005).

Figura 1 – Variação do lençol freático no DIBAU



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi identificado um aumento significativo da lâmina da água nas cacimbas no ano de 2011, de acordo com o estudo realizado por Luna (2012), fato esse, decorrente da maior e melhor distribuição nas precipitações ocorridas nesse ano ($1262,1 \text{ mm ano}^{-1}$), quando comparada aos demais anos do período de estudo.

Pode-se perceber pela figura 1 que nos anos de 2010 e 2011, as cacimbas localizadas em áreas não irrigadas (C32 e C35) se mostraram mais sensíveis com as precipitações pluviométricas, apresentando um maior aumento na lâmina do lençol freático do que nos pontos que se encontram em áreas irrigadas (C8, C34, C36 e C37). Esses últimos sofrem influência direta do manejo de irrigação, demonstrando haver um comportamento

diferente, indicando que houve uma recarga hídrica ocasionada pela ocorrência da aplicação da irrigação nos pontos inseridos nessa área, fato esse, observado também por Luna (2012).

A atuação dos perímetros irrigados, associada ao regime irregular das chuvas e às altas taxas de evapotranspiração nas regiões semiáridas, tende a causar alterações dos teores de sais dos solos e das águas, consequentemente causa aumentos da concentração de íons tóxicos e elevação do nível do lençol freático (OSENBRÜCK *et al.*, 2006).

No ano de 2010 houve menor ocorrência das precipitações do que no ano de 2016, entretanto a lâmina de água para este ano foi menor nos pontos do que em 2010. Esse fato é devido a uma menor ocorrência das precipitações nos últimos 5 anos anteriores a 2016 (acumulado de 3.200,6 mm) que nos últimos 5 anos anteriores a 2010 (acumulado de 4.536,5 mm). Também se verificou que houve uma diminuição brusca na lâmina do lençol freático nos pontos C32, C34, C35, C36 e C7 do ano de 2011 a 2016, principalmente nos pontos localizados na área irrigada, o que é decorrente do aumento do uso das fontes hídricas subterrâneas na irrigação, devido ao corte da água vinda da barragem Santa Rosa para uso dos lotes irrigados. Confirmando assim, que a seca prolongada influenciou para o aumento do uso dessas fontes subterrâneas, principalmente, como meio para suprir a necessidade hídrica das culturas e para obtenção de uma produtividade razoável no período de menor disponibilidade de água. Entretanto os pontos C8 e C34 apresentaram menor variação que os demais pontos nos anos, esse fato se dá pela presença de um maior nível do lençol freático nesses pontos.

No ano de 2016 os pontos pertencentes à área não irrigada apresentaram baixa variação. O C32 apresentou um decréscimo menor que nos demais pontos no ano de 2016 (0,38 m de profundidade). Esse ponto encontra-se fora do perímetro irrigado e é o ponto mais distante da área, a sua recarga hídrica se dá de forma mais lenta. O C35 recebe uma influência significativa sobre a recarga do lençol freático do rio Acaraú, pois este se encontra localizado nas proximidades da barragem Santa Rosa e apresenta dinâmica semelhante ao do rio Acaraú.

Avaliação dos efeitos da seca prolongada sobre a qualidade das águas

Para avaliação da seca prolongada pela análise estatística de agrupamento, observa-se que a primeira maior variação, de acordo com o coeficiente de aglomeração se deu entre os coeficientes 208,238-350,000 onde ocorreu a passagem da formação de 2 para 1 grupos, identificando que o número de agrupamentos adequado são 2 grupos (TABELA 2).

Tabela 2 – Variação do coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento para fim de comparação

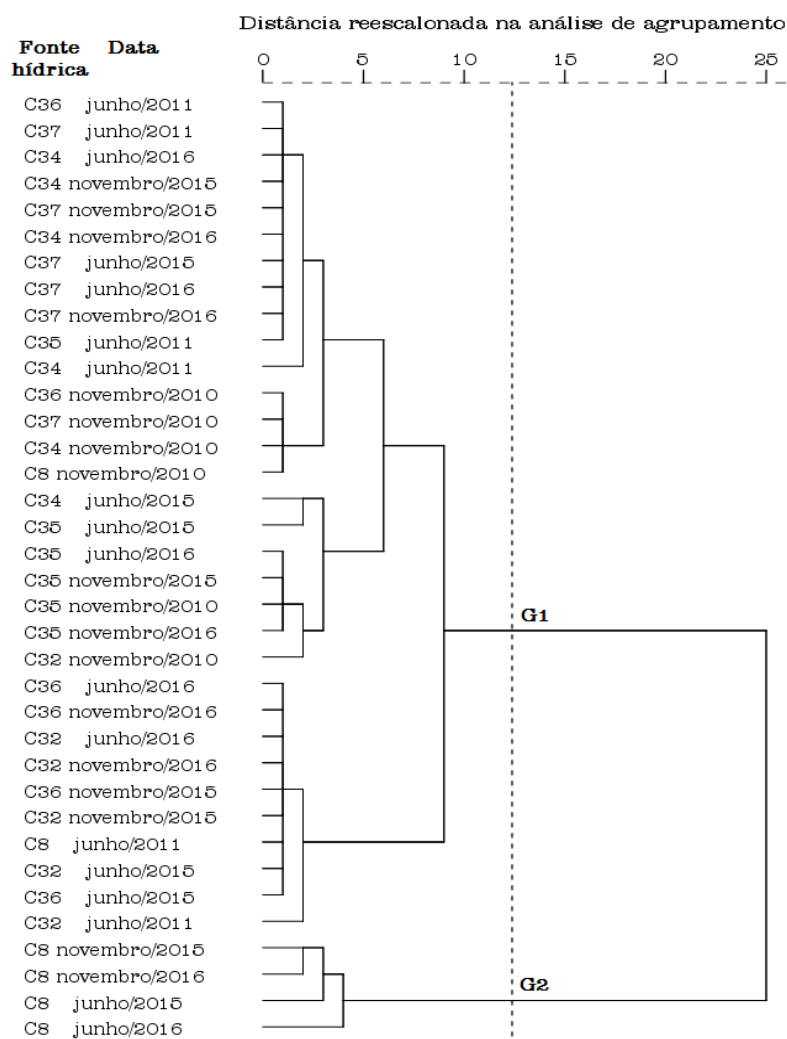
Agrupamentos	Coeficientes	Diferença entre coeficientes	Distância reescalada
8	48,068	7,566	1,000
7	55,634	8,502	1,680
6	64,136	13,096	2,445
5	77,232	15,930	3,622
4	93,162	35,355	5,054
3	128,517	48,526	8,233
2	177,043	137,957	12,596
1	315,000	-	25,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo dendrograma (FIGURA 2) a determinação do ponto de corte ocorreu no momento em que o coeficiente de aglomeração, pela distância reescalada, apresentou maior variação (12,596-25,000), determinada pela interpolação dos coeficientes, onde há um maior distanciamento na medida de similaridade para a formação de agrupamentos posteriores.

O grupo 1 é composto pelas águas dos pontos C8 (novembro/2010 e junho/2011), C32, C34, C35, C36, C37; já o grupo 2 é composto por águas com maior concentração e foi formado apenas pelo ponto C8 (novembro de 2015 e 2016 e junho de 2015 e 2016). Apesar das altas precipitações ocorridas no ano de 2011 (1262,1 mm) não houve diferença entre este e os demais anos, isso é decorrente da diminuição da concentração dos atributos pelas precipitações maiores nos anos anteriores a 2010, além disso, o C8 apresenta um maior nível do lençol freático que os demais pontos, devido estar localizado em um ponto mais baixo da área do perímetro, indicando a possibilidade da presença de sais carreados de outras áreas, sendo assim, a diminuição desse nível nos anos de 2015 e 2016 proporcionaram o agravamento da elevação das concentrações de sais nesse ponto.

Figura 2 – Similaridade das concentrações iônicas das águas das cacimbas no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A determinação dos agrupamentos da qualidade das águas subterrâneas do perímetro irrigado do baixo Acaraú se deu pela composição hidroquímica dos atributos, não havendo influência maior da variabilidade temporal (estação seca e chuvosa), sendo estes dados semelhantes aos de Salgado *et al.* (2011) que estudando a similaridade das variáveis hidroquímicas na bacia do salgado identificaram que a sazonalidade climática não foi determinante na formação dos grupos. Lemos *et al.* (2010) estudando em estudos na qualidade da água da Lagoa do Apodi encontraram variabilidade espacial e temporal.

Variabilidade dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-) nas águas das cacimbas comparadas do DIBAU

Os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos cátions e ânions para composição das águas do perímetro irrigado do baixo Acaraú utilizadas para comparação encontram-se descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os cátions e ânions dos grupos formados pelas cacimbas do DIBAU, para fim de comparação

Atributos	Parâmetros descritivos	Grupo 1	Grupo 2
Ca^{2+} (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,51 ± 0,36 b	1,38 ± 0,67 a
	Mínimo	0,04	0,70
	Máximo	1,50	2,20
Mg^{2+} (mmol _c L ⁻¹)	Média	1,55 ± 0,76 b	5,63 ± 0,83 a
	Mínimo	0,58	4,60
	Máximo	3,60	6,60
K^+ (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,37 ± 0,27 b	1,13 ± 1,00 a
	Mínimo	0,04	0,50
	Máximo	1,27	2,60
Na^+ (mmol _c L ⁻¹)	Média	3,09 ± 1,96 b	11,53 ± 1,33 a
	Mínimo	0,17	10,40
	Máximo	6,50	13,40
Cl^- (mmol _c L ⁻¹)	Média	4,86 ± 3,20 b	19,42 ± 1,22 a
	Mínimo	0,25	17,90
	Máximo	11,20	20,60
HCO_3^- (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,53 ± 0,57 a	0,18 ± 0,24 a
	Mínimo	0,00	0,00
	Máximo	2,00	0,50

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com exceção do atributo de bicarbonato, os demais foram determinantes para formação dos grupos, o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T do grupo 1 para os atributos, apresentando os maiores valores médios, sendo determinantes da dissimilaridade da qualidade da água, de maneira a influenciar na formação dos grupos. Fernandes *et al.* (2010) identificaram que os atributos determinantes da formação dos grupos foram o cloreto, magnésio, potássio, sódio e a dureza total.

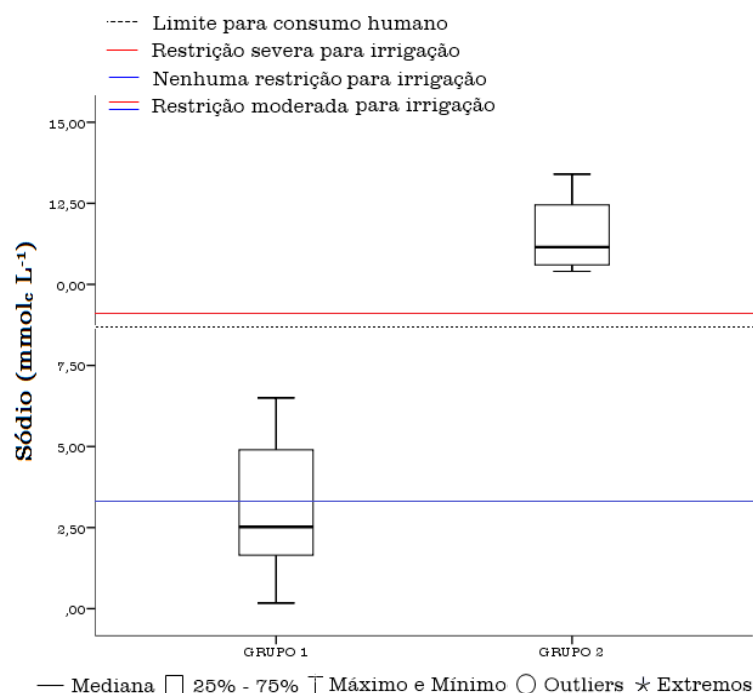
O grupo 2, formado pelo C8 nos meses de junho e novembro nos anos de 2015 e 2016, quando comparado aos demais pontos nos mesmos anos, foi o que apresentou maior concentração de sais e consequentemente qualidade inferior aos demais. Esse ponto apresenta um lençol freático raso, sendo assim, a influência da seca prolongada foi maior, fazendo com que pertença a um grupo isolado.

Variabilidade do sódio (Na^+)

Para o sódio o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância do grupo 1, apresentando o maior valor médio ($11,53 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$). O atributo do sódio apresentou uma média com um acréscimo de aproximadamente 273,14% do grupo 1 para o grupo 2. Observa-se que o grupo 1 apresentou maior variabilidade dos dados que são representados pelas maiores aberturas das caixas (FIGURA 3).

Para consumo humano a média do grupo 2 encontra-se acima do limite dos padrões de potabilidade descritos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 que é 200 mg L^{-1} ($8,7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), excedendo 32,53% do total recomendando, enquanto o grupo 1 encontra-se dentro dos limites de potabilidade. Altos níveis de sódio na água são frequentemente relacionados às doenças cardiovasculares (CAJAZEIRAS, 2007).

Figura 3 – Sódio para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

No estudo realizado por Luna (2012), para os mesmos pontos nos anos de 2010 e 2011, estes não ultrapassaram os limites recomendados de potabilidade; nesse período de estudo a diminuição dos valores desse atributo em todos os pontos estudados está associada às maiores precipitações ocorridas nos anos anteriores, a mesma ressalta que as precipitações pluviométricas foram 68% acima da média normal da região.

Para irrigação, o valor médio do grupo 2 encontra-se com um grau de restrição severo, limitando seu uso, enquanto o valor médio do grupo 1 não apresenta nenhuma restrição, conforme Ayers & Westcot (1999). Com o aumento do atributo do sódio, há um agravamento da qualidade da água, o seu uso na irrigação sem um manejo adequado pode causar sérios problemas ao solo pelo aumento da concentração de sais e de sódio trocável, o que reduz a sua fertilidade e, em longo prazo, pode promover uma maior concentração de sais no lençol freático ou levar a desertificação da área afetada (RIBEIRO *et al.*, 2010).

A presença do sódio na água de irrigação também favorece o aumento da porcentagem de sódio trocável (PST) no solo, o que afeta as propriedades físicas e químicas e dificulta a atividade da água a ser utilizada pela planta (SANDRI *et al.*, 2009).

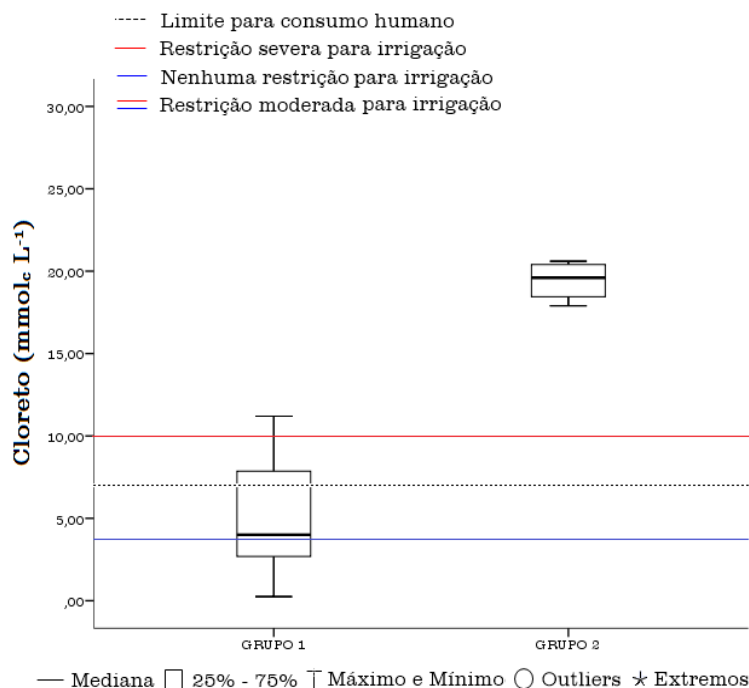
Figueredo *et al.* (2013) avaliando a qualidade das águas superficiais do distrito irrigado Tabuleiros no Piauí encontraram valores baixos, estes não ultrapassaram $1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, não apresentando risco de sodicidade. Já nos estudos realizados por Guedes *et al.* (2016) na

qualidade das águas subterrâneas e superficiais no município de Aurora foi encontrado em dois poços com restrição moderada para uso na irrigação.

Variabilidade do cloreto (Cl⁻)

O comportamento do íon cloreto assemelhou-se ao do sódio. Para o cloreto as médias dos grupos diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância, sendo apresentado um acréscimo de 299,59% do grupo 1 para o grupo 2. A média do grupo 1 (FIGURA 4) encontra-se dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011 ($< 250 \text{ mg L}^{-1}$). O grupo 2 apresentou valores altíssimos ($689,41 \text{ mg L}^{-1}$), quando comparados com o padrão de potabilidade. Luna (2012) observou que durante o período seco, o P9 que é equivalente ao C8 desse estudo, foi um dos pontos que apresentou maior valor médio, porém esse não ultrapassou os padrões de potabilidade. Lima *et al.* (2014a) em estudos para avaliar a qualidade da água subterrânea no semiárido cearense, encontraram um grupo de poços com teores de cloreto acima do limite de potabilidade recomendado. Quando presente em altas concentrações pode conferir um sabor salgado.

Figura 4 – Cloreto para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para irrigação o grupo 2 apresentou um grau de restrição severo ($> 10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), diferentemente do grupo 1 que apresentou um grau moderado. No grupo 2 (C8) o aumento dos níveis de cloreto se deu por sua localização, que teve o efeito agravado pela seca prolongada dos últimos anos, que proporcionou maior concentração pela diminuição do lençol freático nesse ponto nos anos de 2015 e 2016. Quando há na água de irrigação altos teores do íon cloreto, estes são absorvidos pelas raízes das plantas e transportados às folhas onde se acumulam, acarretando queima nas bordas das folhas, principalmente em condições de alta evapotranspiração (MAIA *et al.*, 2012).

A presença desse íon também é devido à proximidade que a área de estudo tem da costa marítima, sendo esta influenciada pelas águas marinhas e aerossóis que aumentam as concentrações deste atributo nas águas subterrâneas. Gomes e Cavalcante (2017) também observaram o aumento desse íon em decorrência da influência da costa marítima.

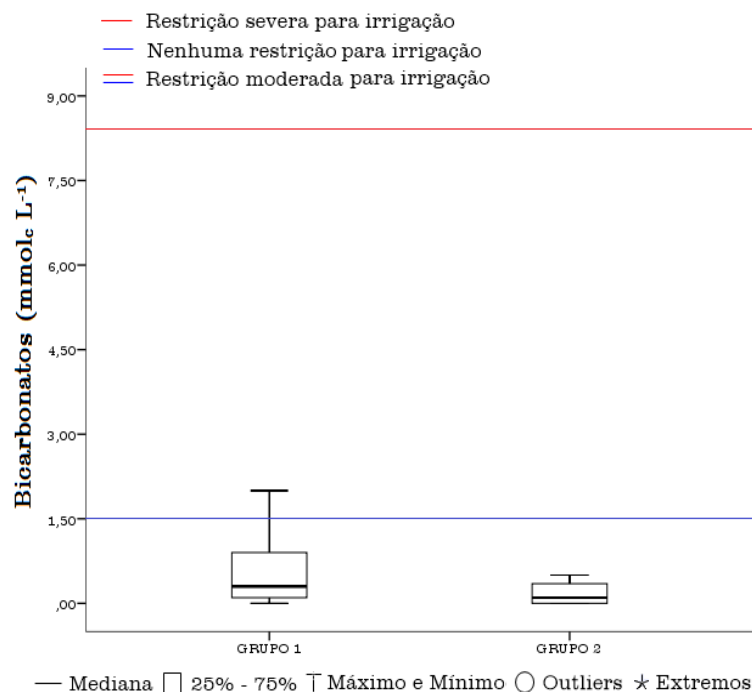
A ocorrência elevada dos sais de sódio e cloreto no perímetro irrigado do baixo Acaraú justificam-se principalmente pelos fatores edáficos e hidrogeológicos, já que a região se encontra na parte baixa do terço inferior da bacia do Acaraú, onde há predominância de solos aluviais arenosos e derivados do arenito e cristalino. A área é banhada por águas provenientes da drenagem dos solos cristalinos da parte alta da bacia. Os acúmulos de sódio e cloro nas águas dos poços estudados podem ser intensificados pelo tipo de textura do solo da região, já que os solos arenosos apresentam menores resistências a lixiviações profundas dos sais existentes nestes (ANDRADE *et al.*, 2010).

Variabilidade do bicarbonato (HCO_3^-)

Quanto aos bicarbonatos não houve diferença estatística ao nível de 5% de significância entre os grupos estudados. O grupo 1 apresentou um maior valor ($0,53 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) que o grupo 2, sendo que houve um decréscimo de 66,04%. Assim como Luna (2012) os valores encontrados para bicarbonatos foram baixos.

Para irrigação nenhuma média dos grupos apresentou restrição quanto ao uso ($<1,5$), porém pode-se observar que o grupo 1 foi o que apresentou maior variabilidade dos dados com restrição moderada para algumas amostras.

Figura 5 – Bicarbonato para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em estudo realizado por Silva Júnior *et al.* (1999) na composição química de águas do cristalino brasileiro foi observado que há uma predominância dos íons cloreto e sódio de acordo com o aumento da salinidade; já os teores de bicarbonato contrariamente diminuía com o aumento da salinidade, o que pode estar relacionada à baixa solubilidade, que tende favorecer a sua precipitação. Fato esse que pode ser observado no grupo 2 desse estudo, onde houve uma maior salinidade e consequentemente um menor teor de bicarbonatos.

Variabilidade da CE, RAS e pH nas águas das cacimbas comparadas do DIBAU

Os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos atributos de condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio e potencial hidrogeniônico para composição das águas do perímetro irrigado do baixo Acaraú utilizadas para comparação encontram-se descritos na tabela 4. Os parâmetros diferiram entre os grupos estatisticamente ao nível de 5% de significância, sendo estes determinantes para formação dos grupos.

Tabela 4 – Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para CE, RAS e pH dos grupos formados pelas cacimbas do DIBAU, para fim de comparação

Atributos	Parâmetros Descritivos	Grupo 1	Grupo 2
CE (dS m⁻¹)	Média	0,59 ± 0,29 b	1,97 ± 0,09 a
	Mínimo	0,09	1,84
	Máximo	1,15	2,06
RAS	Média	2,45 ± 1,50 b	5,36 ± 1,59 a
	Mínimo	0,21	3,85
	Máximo	7,81	7,59
pH	Média	4,81 ± 0,98 a	3,50 ± 0,27 b
	Mínimo	3,50	3,30
	Máximo	7,50	3,90

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

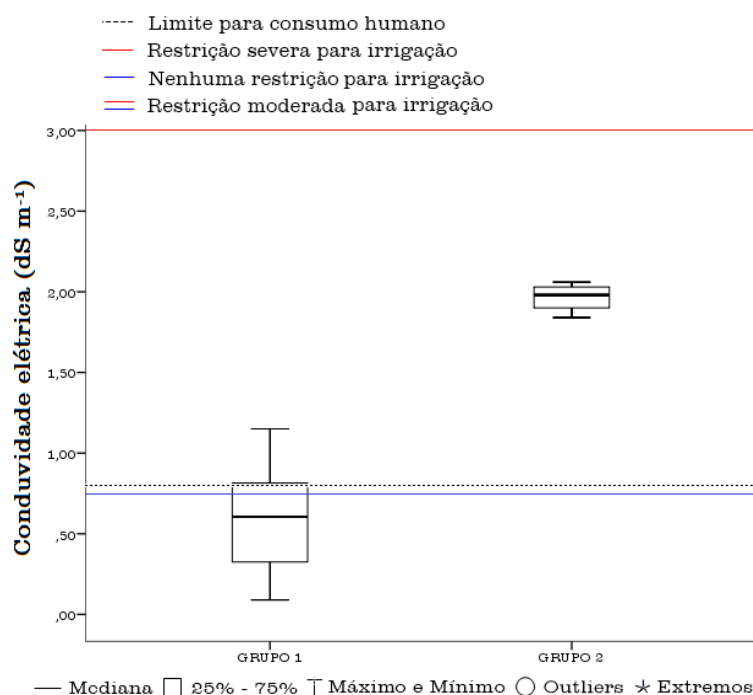
Fonte: Elaborado pelo autor.

Variabilidade da condutividade elétrica (CE)

Para condutividade elétrica o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância do grupo 1, apresentando o maior valor médio (1,97 dS m⁻¹), o que condiz com os valores elevados dos cátions (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺), indicando maior concentração de sais no grupo 2 do que nos demais grupos, confirmando os resultados obtidos por Aquino (2008) e Luna (2012). O grupo 2 apresentaram valores menores de CE, não ultrapassando 0,60 dS m⁻¹ (FIGURA 6). Do grupo 1 para o grupo 2, houve um aumento nas médias de 233,90%.

De acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA a média do grupo 1 é considerada como água doce por apresentar salinidade igual ou inferior a 0,78 dS m⁻¹; já as águas do grupo 2 pela mesma resolução são consideradas salobras apresentando salinidade superior a 0,78 dS m⁻¹ e inferior a 4,68 dS m⁻¹. Esse grupo apresentou menor variabilidade, quando comparado ao grupo 1, representado pela abertura das caixas do box plot.

Figura 6 – Condutividade elétrica para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a média do grupo 2, quanto ao grau de restrição de acordo com a tabela 2 do capítulo 1 pela UCCC (1974), a restrição é moderada, recomenda-se uma atenção maior ao tipo de cultura que se utiliza e o manejo de irrigação para que possa se alcançar um potencial adequado de rendimento. Já para a média do grupo 1 não há restrição para uso na irrigação. Elevados níveis de sais nas águas de irrigação, tanto podem prejudicar o desenvolvimento das culturas como causar a obstrução dos sistemas de irrigação (GARGIA *et al.*, 2008). A irrigação com águas de baixa qualidade pode trazer elementos indesejáveis para o solo em quantidades excessivas, afetando sua fertilidade (NISHANTHINY *et al.*, 2010).

A condutividade elétrica é representada pelos valores das cargas de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e ânions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) presentes, e um dos fatores das variações desses atributos é material geológico de origem penetrado em cada poço. Portanto, quanto maior for a concentração de íons presentes dissolvidos na água maior será a sua CE (LÖBLER *et al.*, 2015). Guimarães *et al.* (2017) analisando os sais em águas superficiais e subterrâneas no município de Boa Vista confirmam esse resultado, quando encontraram uma alta correlação entre os íons de cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloreto com a condutividade.

As águas que apresentam concentrações de sais elevadas podem ocasionar uma salinização do solo, podendo impossibilitar o cultivo agrícola (SILVA; ARAÚJO NETO, 2016).

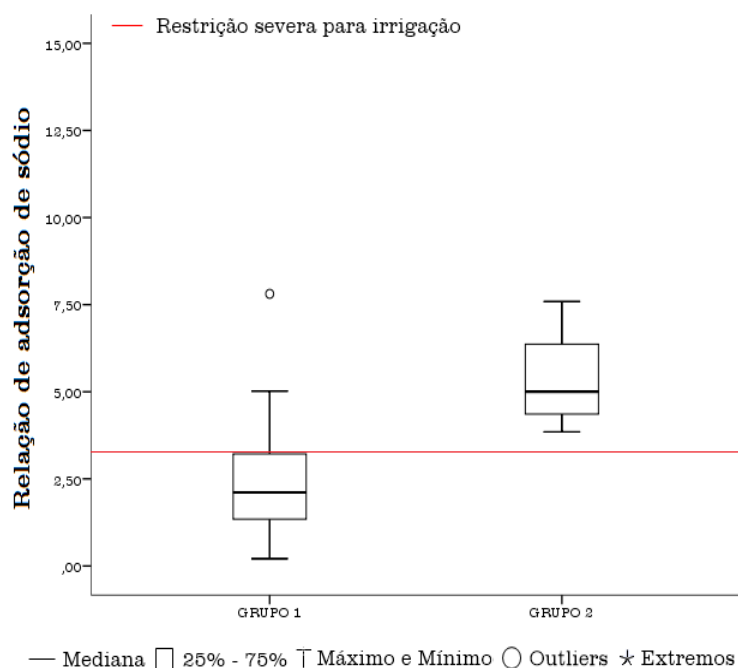
Em estudos realizados por Eloi *et al.* (2014) na qualidade da água de irrigação de reservatórios na bacia do rio Acaraú, foram encontrados valores de condutividade elétrica inferiores ao limite de restrição ao uso na irrigação. Figueredo Júnior *et al.* (2013) avaliando a qualidade da água do distrito de irrigação Tabuleiros no Piauí, identificaram que não houve restrição quanto ao uso na irrigação, apresentando baixa salinidade. Lima *et al.* (2014a) encontraram classes variando de média a muito alta salinidade na água subterrânea no semiárido cearense.

A elevação CE nas águas subterrâneas também está relacionada à pluviometria através dos aerossóis que são transportados pelas chuvas e acumulados nos solos e fraturas. No cristalino não existe uma rede contínua do fluxo regional, por isso, muitas vezes são observadas grandes diferenças de salinidade de uma fratura para outra (BRASIL, 2005).

Variabilidade da relação de adsorção de sódio (RAS)

Para o atributo de RAS os grupos diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância. O grupo 1 apresentou média com o valor de 2,50 (FIGURA 7), encontrando-se dentro do recomendado para utilização na irrigação ($< 3,00$), entretanto com valores máximos de 7,50. Houve um acréscimo de 118,78% do grupo 1 para o grupo 2. Já o grupo 2 apresentou média acima do recomendado para irrigação de acordo com a tabela 2 do capítulo 1.

Figura 7 – Relação de adsorção de sódio para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Souza *et al.* (2016) comparando a qualidade de água para irrigação em três sistemas hídricos no semiárido encontraram na água de poço um risco de média a alta sodicidade. Já Lopes *et al.* (2014) investigando a qualidade das águas do reservatório Orós na região semiárida, observaram que as águas para uso na agricultura irrigada não apresentaram risco de sodicidade, pois os valores médios encontrados para RAS foram inferiores ao limite de restrição para água de irrigação.

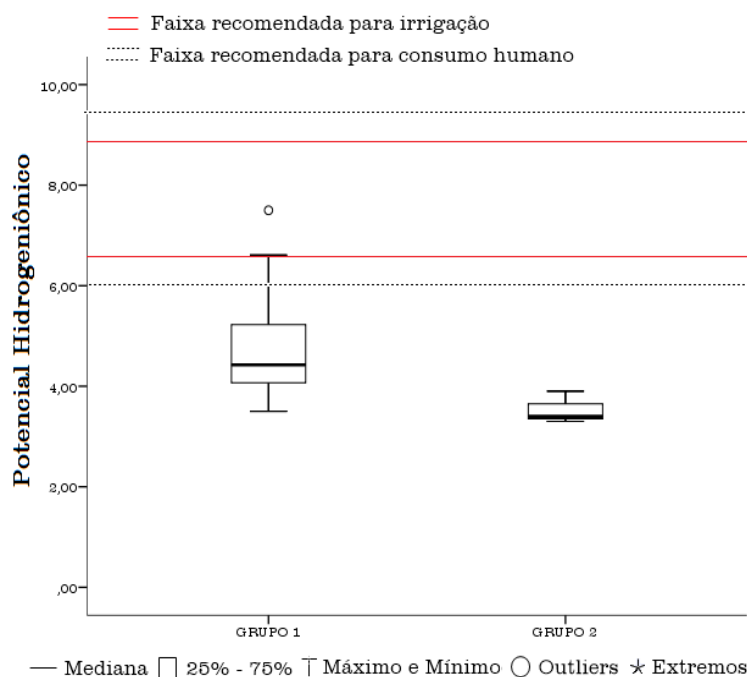
A avaliação da RAS é importante para determinar a adequação da água para irrigação, já que teores excessivos de sódio em relação aos de cálcio e magnésio reduzem a permeabilidade do solo e, conseqüentemente, inibem a oferta de água necessária para as culturas (MENEZES *et al.*, 2013).

Variabilidade do potencial hidrogeniônico (pH)

Os grupos diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância, sendo que as águas dos grupos apresentaram um pH tendencioso para acidez (FIGURA 8). Da média do grupo 1 para o 2 houve um decréscimo nos valores de 27,23%. Nenhuma das médias dos grupos apresentou valores dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano,

estabelecidos pela portaria MS N° 2914 de 12/12/2011, que deve estar entre 6,0 e 9,5, os demais grupos encontram-se fora dos padrões de potabilidade.

Figura 8 – Potencial hidrogeniônico para os pontos estudados no DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em geral, as águas analisadas apresentaram baixo pH. Esta característica de acidez pode resultar em corrosão a determinados materiais, como superfícies de cimento-amianto (GOMES; CAVALCANTE, 2017). Este é um atributo abiótico, de grande importante nos ecossistemas aquáticos e difícil interpretação pela quantidade de fatores que o podem afetar (ESTEVES, 2011).

De acordo com Hermes e Silva (2012) o pH tende a ser mais elevado quando há presença de bicarbonatos nas águas; esse fato pode ser observado nas médias dos grupos, onde há uma maior presença de bicarbonatos o pH é mais elevado e onde há menor presença o pH é mais baixo. Gomes e Cavalcante (2017) citam que o pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido (CO_2) e dos ácidos orgânicos disponíveis nos solos que aumentam a acidez das águas subterrâneas, contribuindo para o baixo pH. Para a mesma área de estudo Aquino (2007) e Luna (2011) também encontraram valores de pH tendenciosos para acidez.

Foi observado que o ponto em que o pH se aproximou mais da neutralidade foi o C35, provavelmente pela localização, visto que este se encontra próximo ao rio Acaraú, que

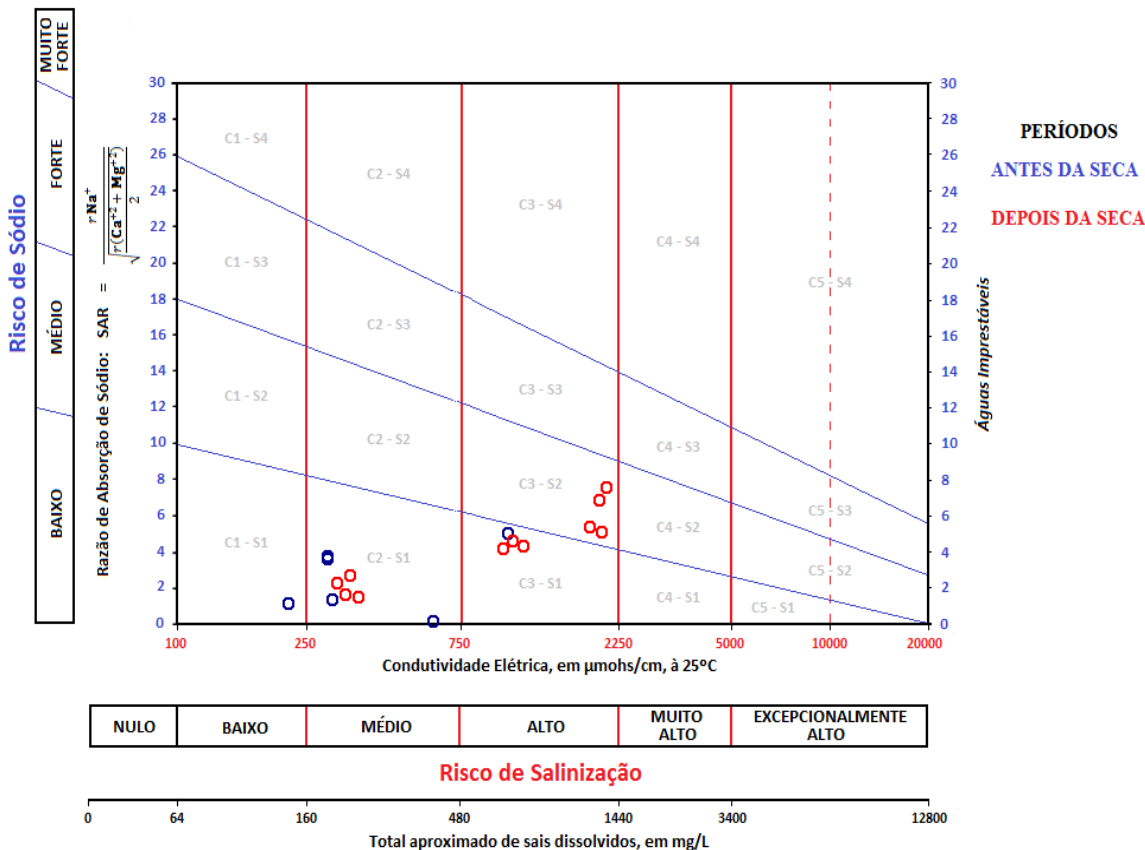
está perenizado pela barragem Santa Rosa. Na barragem Santa Rosa foi constatado uma variação de pH de 6,9 a 7,5 para os anos de 2015 e 2016 nos meses de junho e julho (dados não mostrados), já no C35 para esse mesmo período de estudo foi encontrado uma variação de pH de 6,3 a 7,5, constatando a semelhança com as águas do rio Acaraú.

Para irrigação, nenhum dos valores médios dos grupos apresentaram um pH entre a faixa usual que vai de 6,5 a 8,4. Eloi *et al.* (2014) estudando a qualidade de águas superficiais na bacia do Acaraú observaram que os valores do pH para as águas com uso na irrigação se encontraram na faixa normal (7,67 e 8,09).

Classificação das águas para irrigação das cacimbas comparadas do DIBAU

A classificação das águas para irrigação pela metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos está descrita na FIGURA 10, levando em consideração somente os pontos em uso da irrigação (C8, C36 e C37).

Figura 9 – Classificação das águas subterrâneas dos grupos utilizados para irrigação do DIBAU, para fim de comparação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos estudados variam entre as classes C_1S_1 no qual equivale a 5,6% do total das amostras (C36 novembro/2010), C_2S_1 representando 44,4% (C8 novembro/2010; C36 junho/2011; P37), C_3S_1 equivalente a 27,8% (C8 junho de 2011; C36 junho/2015 e 2016 e novembro/2015 e 2016) e C_3S_2 que equivale a 22,2% (C8 junho e novembro de 2015 e 2016). Sendo assim, como já citado no trabalho a influência maior da seca para as águas utilizadas na irrigação foi somente para o C8 que está localizado em área baixa do perímetro.

Lobato *et al.* (2008) estudando a qualidade da água em reservatório no DIBAU observaram que no período chuvoso as classes variaram de C_1S_1 a C_2S_1 e no período seco foi C_2S_1 . Chaves *et al.* (2010) estudando a qualidade das águas superficiais para irrigação no Ceará encontraram no período seco classes entre C_1S_1 , C_2S_1 , C_3S_1 a C_3S_2 já para o período chuvoso variaram de C_1S_1 , C_2S_1 , C_3S_1 e C_4S_2 . Branco *et al.* (2014) analisando a qualidade das águas subterrâneas no município de Frecheirinha encontraram águas classificadas como C_3S_1 .

Freire *et al.* (2003) alertam para a necessidade de um controle criterioso da água usada na irrigação, principalmente quando a condutividade elétrica e relação de adsorção de sódio apresentam valores baixos como C_1S_1 podem apresentar comportamento semelhante às águas C_1S_5 , quanto à velocidade de infiltração, em decorrência da dispersão dos coloides.

CONCLUSÕES

A dinâmica do lençol freático indica que a seca prolongada reduziu o nível da lâmina de água nas cacimbas, em consequência da diminuição da recarga e do aumento do uso dessas fontes hídricas na irrigação;

Houve a formação de 2 grupos, sendo que para o grupo 1 as amostras não apresentaram influência pela redução da precipitação nos anos de 2012 a 2016, com semelhança dos atributos estudados no ano de 2011 com os observados após cinco anos de seca (2015 e 2016);

As variáveis indicadoras de salinidade (CE , Cl^- e Na^+) aumentaram no grupo 2 em função de estar localizado na área baixa do perímetro irrigado que recebe influência da recarga de água e sais das áreas mais altas, problema que se agravou com a ocorrência da seca prolongada, que proporcionou redução no nível do lençol e aumento nas concentrações dos íons estudados nos anos de 2015 e 2016;

Para classificação das águas de irrigação houve uma variação das classes C_1S_1 a C_3S_2 , que vai de baixo risco de salinidade e sodicidade a alto risco de salinidade e médio risco de sodicidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 11-19, 2010.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 410-415, 2011.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. do N.; LUNA, N. R. de S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. de A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 5, p. 621-630, 2016.

AQUINO, D. N. **Irrigação e sustentabilidade dos recursos solo e água na área do Distrito de Irrigação Baixo Acaraú – DIBAU – Ceará**. 2007, 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

BARROSO, A. de A. F.; NESS, R. L. L.; GOMES FILHO, R. R.; SILVA, F. L. da; CHAVES, M. J. L.; LIMA, C. A. de. Avaliação qualitativa das águas subterrâneas para irrigação na região do baixo Jaguaribe – Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 150-155, 2010.

BRANCO, A. C.; ALBUQUERQUE, C. A. da S.; SABADIA, J. A. B.; SOUTO, M. V. S. Qualidade das águas subterrâneas do município de Frecheirinha – estado do Ceará e caracterização das obras de captação. **Revista de geologia**, v. 27, n. 2, p. 183-200, 2014.

BRASIL. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília-DF. ANA. 2005.74 p.

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

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

BURTE, J.; COUDRAIN, A.; FRISCHKORN, H.; CHAFFAUT, I.; KOSUTH, P. Impacts Anthropiques sur Les Termes du Bilan Hydrologique d'un Aquifère Alluvial Dans Le Nordeste Semi-Aride, Brasil. **Hidrological Sciences Journal**, v. 50, n. 1, p. 95-110, 2005.

CAJAZEIRAS, Cláudio Cesar de Aguiar. Qualidade e uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; FEITOZA, R. M.; RODRIGUES, J. O.; ALEXANDRE. Distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010.

ELOI, W. M.; SALES, M. A. de L.; LIRA, J. V. de; NASCIMENTO, N. V. do; SOUZA, J. V. R. da S. de S. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 3, p. 247-255, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa produção de informação, Rio de Janeiro, 2006.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. de B.; MEIRELES, A. C. M., RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa o risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003.

FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de; FERREIRA, J. R.; FERNANDESC. N. V.; ANDRADE, A. C.; AZEVEDO, B. M. de; SARAIVA, K. R. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí – DITALPI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 3, p. 213- 223, 2013.

GARGIA, G. de O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F. dos; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. de A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 7-18, 2008.

GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará/Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos**. 2013, 213 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GUEDES, T. A.; SANTOS, J. R. C. dos; FEITOSA, A. K.; NOGUEIRA, D. H. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. **Tecnologia e Ciência Aprovecuária**, João Pessoa, v. 10, n. 3, p. 37-44, 2016.

GUIMARÃES, R. F. B.; FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J.; ARAÚJO, R. M. Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista, PB. **Revista Espacios**, v. 38, n. 2, p. 8, 2017.

HERMES, L. C.; SILVA, A. S. Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32 p.

LEMOES, M. de; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. da S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, v. 14, n. 2, p. 155-164, 2010.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014a.

LIMA, J. O. G. de; LOPES, F. das C. da C.; LIMA, J. R. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, 2014b.

LÖBLER, C. A.; BORBA, W. F. de; SILVA, J. L. S. da. Relação entre a pluviometria e a condutividade elétrica em Zona de Afloramento do sistema Aquífero Guarani. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 115-121, 2015.

LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014.

LUNA, N. R. de S. **Investigação de mudanças na qualidade das águas subterrâneas do Baixo Acaraú em decorrência do manejo da irrigação**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

MAIA, C. E.; RODRIGUES, K. K. R. P.; LACERDA, V. da S. Relação entre bicarbonatos e cloreto em águas para fins de irrigação. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p. 206-219, 2012.

MAGALHÃES, B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da região metropolitana de Fortaleza. **Revista de Geografia da UFC**, v. 10, n. 23, p. 129-145, 2011.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 4, n. 1, 2016.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R. dos; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3318-3326, 2013.

MONJEREZI, M.; NGONGONDO, C. Quality of Groundwater Resources in Chikhwawa, Lower Shire Valley, Malawi. **Exposure and Health**, v. 4, n. 1, p. 39-53, 2012.

NISHANTHINY, S. C.; THUSHYANTHY, M.; BARATHITHASAN, T.; SARAVANAN, S. Irrigation water based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, p. 100-102, 2010.

LOSENBROCK, K.; FEIDLER, S.; KNÖLLER, K.; WEISE, S. M.; SÜLTENFUT, J.; OSTER, H.; STRAUCH, G. Timescales and development of groundwater pollution by nitrate in drinking water wells of the Jahna-Aue, Saxonia, Germany. **Water Resources Research**, 42:3259-3270, 2006.

PEREIRA, G. R.; GUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015.

RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. de S.; SANTOS, S. R. dos S.; KOBAYASHI, M. K. Classificação da água de poços tubulares do norte do estado de Minas Gerais para irrigação. **REVENG**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 208-218, 2010.

SALGADO, E. V.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. de B.; MEIRELES, A. C. M. Similaridade das variáveis hidroquímicas com o uso da análise multivariada, na bacia do salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 158-166, 2011.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 775-764, 2009.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. de M.; MENEZES, R. S. de; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, v. 11, n. 1, p. 23-31, 2012.

SILVA, E. B. da; ARAÚJO NETO, J. R. de. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 417-426, 2016.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 11-17, 1999.

SOUZA, A. de; LASTORIA, G.; FONTENELE, S. de B.; OLIVEIRA, A. P. G. Similaridade da qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Negro, MS. **Ciência e Natura**, v. 36, ed. especial II, p. 510-519, 2014.

SOUZA, C. A. de; ARAÚJO, Y. R.; ARAÚJO NETO, J. R. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; BARROS, B. E. A. Análise comparativa da qualidade de água para irrigação em três sistemas hídricos conectados no semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 6, p. 1011-1022, 2016.

CONCLUSÃO

Houve aumento da demanda do uso da água subterrânea em decorrência da seca prolongada (2012 a 2016), principalmente nos anos de 2014 e 2015, sendo que mais de 80% das fontes hídricas avaliadas foram utilizadas devido à seca;

Há carência de informações precisas e de orientação técnica sobre qualidade da água para os produtores entrevistados;

Cerca de 30% dos produtores detectaram problemas causados pela qualidade das fontes de água subterrânea, sendo os principais a salinidade, presença de ferro e variações de pH.;

No estudo dos dois anos houve a formação de 2 grupos, em que o grupo 2 (29% do total das amostras) apresentou altos teores de cátions, principalmente o sódio, e de cloreto, apresentando restrições para consumo humano e irrigação;

A sazonalidade climática não influenciou a qualidade das águas subterrâneas analisadas;

A elevação dos íons de Na^+ e Cl^- está associada à presença de sais em decorrência dos aerossóis marinhos, pela aproximação com a costa marítima;

Na classificação hidroquímica houve uma predominância da classe sódica-cloretada para os grupos, confirmando a alta presença desses íons nas águas analisadas;

Quanto à classificação das águas para irrigação para os grupos houve uma predominância das classes C_2S_1 e C_3S_1 , com maiores riscos de salinidade do que de sodicidade;

No estudo comparativo com estudo anterior a dinâmica do lençol freático indica que a seca prolongada reduziu o nível da lâmina de água nas cacimbas, em consequência da diminuição da recarga e do aumento do uso dessas fontes hídricas na irrigação;

Houve a formação de 2 grupos, sendo que para o grupo 1 as amostras não apresentaram influência pela redução da precipitação nos anos de 2012 a 2016, com semelhança dos atributos estudados no ano de 2011 com os observados após cinco anos de seca (2015 e 2016);

As variáveis indicadoras de salinidade (CE , Cl^- e Na^+) aumentaram no grupo 2 em função de estar localizado na área baixa do perímetro irrigado que recebe influência da recarga de água e sais das áreas mais altas, problema que se agravou com a ocorrência da seca

prolongada, que proporcionou redução no nível do lençol e aumento nas concentrações dos íons estudados nos anos de 2015 e 2016;

Para classificação das águas de irrigação houve uma variação das classes C_1S_1 a C_3S_2 , que vai de baixo risco de salinidade e sodicidade a alto risco de salinidade e médio risco de sodicidade.

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-amoniaco 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

- ADECE - Agencia de desenvolvimento do estado do Ceará. **Perímetros públicos do estado do Ceará**, 2011.
- AFONSECA, T. G.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; RODRIGUES, J. O. Ação do clima na dinâmica do nitrato e cloreto no lençol do DIBAU, Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1 CD.
- ALMEIDA, J. R. F. de; FRISCHKORN, H. Salinization mechanisms of a small alluvial aquifer in the semiarid region of northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 643-649, 2015.
- ALMEIDA, J. B.; BARROS, J. F.; MESQUITA, B. A. de; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F. Cluster analysis and geochemical processes for the characterization of the aquifer system in Maracaná/ São Luís/ MA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 832-840, 2016.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.
- ALVES, I.; OLIVEIRA, C. S.; BRITO, J. A. de M. Um estudo do problema de detecção de comunidades em redes. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 4, p. 566-574, 2014.
- ALVES, L. B.; BELDERRAIN, M. C. N.; SCARPEL, R. A. Tratamento multivariado de dados por análise de correspondência e análise de agrupamentos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA – XIII ENCITA, 2007, São José dos Campos, **Anais...** São José dos Campos, 2007.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 1, p. 11-19, 2010.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 410-415, 2011.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. do N.; LUNA, N. R. de S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. de A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 5, p. 621-630, 2016.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. de F. e; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 873-880, 2006.

AQUINO, D. N. **Irrigação e sustentabilidade dos recursos solo e água na área do Distrito de Irrigação Baixo Acaraú – DIBAU – Ceará.** 2007, 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ARAÚJO, J. C. de. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações.** Recôncavo da Bahia, 2012. p. 30-39.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. Contaminação em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina – PE. **Estudos Geológicos**, v. 22, n. 2, 2012.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture.** Rome: FAO, 1976. 97 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

ADECE - Agencia de desenvolvimento do estado do Ceará. **Perímetros públicos do estado do Ceará,** 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB. 1991. 218p. (FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BABCOCK, K.L.; EGOROV, V.V. **Chemistry of saline and alkali soil of arid zone.** In: **IRRIGATION, drainage and salinity.** Paris: FAO/UNESCO, 1973. p. 122-127.

BAGHVAND, A.; NASRABADI, T.; BIDHENDI, G. N.; VOSOOGH, A.; KARBASSI, A.; MEHRDADI, N. Groundwater quality degradation of na aquifer in Iran central desert. **Desalination**, v. 260, p. 264-275, 2010.

BARROSO, A. de A. F.; NESS, R. L. L.; GOMES FILHO, R. R.; SILVA, F. L. da; CHAVES, M. J. L.; LIMA, C. A. de. Avaliação qualitativa das águas subterrâneas para irrigação na região do baixo Jaguaribe – Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 150-155, 2010.

BARROSO, A. de A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, E. de O.; PALÁCIO, H. A. de Q.; LIMA, C. A. de. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 588-593, 2011.

BELIZÁRIO, T. L.; SOARES, M. A.; ASSUNÇÃO, W. L. Qualidade da água para irrigação no projeto Dom José Mauro, Uberlândia – MG. **Revista Getec**, v. 3, n. 5, p. 53-73, 2014.

BELIZÁRIO, W. da S. Análise ambiental de bacias hidrográficas urbanas: um olhar a partir da avaliação físico-química e microbiológica de águas superficiais. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 9, n. 2, 2016.

BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. de O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **O aquífero Guarani.** Curitiba, 2004. 214 p.

BRAGA, L. M. M.; FERRÃO, A. M. de A. A gestão dos recursos hídricos na França e no Brasil como foco nas bacias hidrográficas e seus sistemas territoriais. **Labor & Engenho**, v. 9, n. 4, p. 19-33, 2015.

BRANCO, A. C.; ALBUQUERQUE, C. A. da S.; SABADIA, J. A. B.; SOUTO, M. V. S. Qualidade das águas subterrâneas do município de Frecheirinha – estado do Ceará e caracterização das obras de captação. **Revista de geologia**, v. 27, n. 2, p. 183-200, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 40 p.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Excesso de sal pode causar doenças cardiovasculares**. 2012. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/11/excesso-de-sal-pode-causar-doencas-cardiovasculares> >. Acesso em: 02 jan 2017.

BRASIL. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília-DF. ANA. 2005.74 p.

BURTE, J.; COUDRAIN, A.; FRISCHKORN, H.; CHAFFAUT, I.; KOSUTH, P. Impacts Anthropiques sur Les Termes du Bilan Hydrologique d'un Aquifère Alluvial Dans Le Nordeste Semi-Aride, Brasil. **Hidrological Sciences Journal**, v. 50, n. 1, p. 95-110, 2005.

CAIRES, A. C. P. **Química ambiental – curso técnico em meio ambiente**. Disponível em: <<https://professorasoelygeraldis.wikispaces.com/file/view/APOSTILA01.pdf>>. Acesso em: 25 dez 2015.

CAJAZEIRAS, Cláudio Cesar de Aguiar. Qualidade e uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, 2009. 44 p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Ficha de informação toxicológica – Potássio**. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/potassio.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2015.

CHAPMAN, D. (ed). **Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2. ed. Great Britain: University Press, Cambridge, 1996. 625 p.

- CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; FEITOZA, R. M.; RODRIGUES, J. O.; ALEXANDRE. Distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010.
- COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M. dos; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A. dos; MARTINS, A. S. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em comunidade rural da cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017
- CONCÓRVIA, J. A.; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã – PR. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2 especial, p. 39-48, 2012.
- D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.
- DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis methods and applications**. New York: John Wiley e Sons, 1984. 587 p.
- DNOCS. **Perímetros irrigados**. 2002. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html>. Acesso em: 24 set 2015.
- ELOI, W. M.; SALES, M. A. de L.; LIRA, J. V. de; NASCIMENTO, N. V. do; SOUZA, J. V. R. da S. de S. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 3, p. 247-255, 2014.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa produção de informação, Rio de Janeiro, 2006.
- ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.
- FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.
- FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. de B.; MEIRELES, A. C. M., RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010.
- FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de; FERREIRA, J. R.; FERNANDESC. N. V.; ANDRADE, A. C.; AZEVEDO, B. M. de; SARAIVA, K. R. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí – DITALPI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 3, p. 213- 223, 2013.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996, 320 p.

FOLEGATTI, M. V.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; COELHO, R. D.; FRIZZONE, J. A. Gestão dos Recursos Hídricos e agricultura irrigada no Brasil. p. 15-23. In: BICUDO, C. E. M.; TUDINSI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. 222 p.

FONTENELE, S. de B.; ANDRADE, E. M. de; SALGADO, E. V.; MEIRELES, A. C. M.; SABIÁ, R. J. Análise espaço-temporal da qualidade da água na parte alta da bacia do rio salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 102-109, 2011.

FREIRE, C. C.; OMENA, S. P. F. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Aproveitamento em Gestão de Recursos Hídricos: modalidade à distância. 2013.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa o risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003.

FUNCEME. **Calendário de chuvas no estado do Ceará**. Disponível em: < <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/regioes/media/anual> >. Acesso em: 02 fev 2016.

FUNCEME. **QUALIGRAF**. 2001. Disponível em: < <http://www3.funceme.br/qualigraf/> >. Acesso em: 13 nov 2015.

GARGIA, G. de O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F. dos; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. de A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 7-18, 2008.

GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará/Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos**. 2013, 213 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GOUVÊA, M. A.; PREARO, L. C.; ROMEIRO, M. do C. Avaliação da adequação de aplicação de técnicas multivariadas em estudos do comportamento do consumidor em teses e dissertações de duas instituições de ensino superior. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 338-355, 2012.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. de; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

GUEDES, T. A.; SANTOS, J. R. C. dos; FEITOSA, A. K.; NOGUEIRA, D. H. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora,

Ceará, para fins de irrigação. **Tecnologia e Ciência Apropiciária**, João Pessoa, v. 10, n. 3, p. 37-44, 2016.

GUIMARÃES, R. F. B.; FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J.; ARAÚJO, R. M. Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista, PB. **Revista Espacios**, v. 38, n. 2, p. 8, 2017.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna, 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HELBEL, A. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano de Ji-Paraná/RO – Brasil**. 2011, 111 f. Graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

HERMES, L. C.; SILVA, A. S. Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32 p.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006, 859 p.

HENRIQUE, W.; FERRAUDO, A. S.; SAMPAIO, A. A. M.; PERECIN, D.; SILVA, T. M. da; TEDESCHI, L. O. Agrupamento hierárquico, não hierárquico e redes neurais artificiais na caracterização de grupos de bovinos machos terminados em confinamento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 72, n. 1, p. 41-50, 2015.

INSTITUTO FRUTAL. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DA FRUTICULTURA E AGROINDÚSTRIA. **Diagnóstico propositivo dos perímetros e áreas irrigadas com fruticultura e floricultura no Ceará**. Fortaleza. 110 p. 2013.

JALES, J. V.; PORTELA, S. V. da S.; MERA, R. D. M.; ALECAR JÚNIOR, J. S. de; MAYORGA, M. I. de O. Análise da sustentabilidade do perímetro irrigado do baixo Acaraú, no estado do Ceará. In: 48º CONGRESSO SOBER – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2010.

KÖPPEN, N. W. **Climatologia**: com um estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1918. 478 p.

KUMAR, S. K.; CHANDRASEKAR, N.; SERALATHAN, N.; GODSON, P. S.; MAGESH, N. S.; Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4127-4138, 2012.

LAUTHARTTE, L. C. **Avaliação da qualidade de água subterrânea no Distrito de Jaci-Paraná, município de Porto Velho – RO**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2013.

LEMOS, M. de; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. da S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, v. 14, n. 2, p. 155-164, 2010.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014a.

LIMA, J. O. G. de; LOPES, F. das C. da C.; LIMA, J. R. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, 2014b.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de informação da FSMA**, Rio de Janeiro, n.4, p. 18-36, 2009.

LIU, Y.; CHEN, W.; LI, D.; HUANG, Z.; SHEN, Y.; LIU, Y. Cyanobacteria-/cyanotoxin contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 4, p. 575-581, 2011.

LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LUDEWING, D. R.; OPAZO, M. A. U.; GIMENES, R. M. T.; SOUZA, E. G de. O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.

LUNA, N. R. de S. **Investigação de mudanças na qualidade das águas subterrâneas do Baixo Acaraú em decorrência do manejo da irrigação**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

LIMA JÚNIOR, B. C.; LIMA, V. L. A. de; FARIAS, M. S. S. de; DANTAS NETO, J.; GUIMARÃES, J. P.; LIMA, M. G. M. de; ALVES, A. de S. Classificação da água de irrigação em uma área cultivada com fruticultura irrigada. **Revista Espacios**, v. 38, n. 9, p. 20, 2017.

LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LÖBLER, C. A.; BORBA, W. F. de; SILVA, J. L. S. da. Relação entre a pluviometria e a condutividade elétrica em Zona de Afloramento do sistema Aquífero Guarani. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 115-121, 2015.

LOPES, F. B. **Índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, Ceará**. 2008, 116 f. Mestrado (Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014.

LOPES, F. B.; SOUZA, F. de; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 301-316, 2011.

LOPES, F. B.; SOUZA, F. de; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 301-316, 2011.

LIMA, J. O. G. de; LOPES, F. das C. da C.; LIMA, J. R. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, 2014.

LUDEWING, D. R.; OPAZO, M. A. U.; GIMENES, R. M. T.; SOUZA, E. G. de. O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.

LUNA, N. R. de S. **Investigação de mudanças na qualidade das águas subterrâneas do Baixo Acaraú em decorrência do manejo da irrigação**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

MAGALHÃES, B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da região metropolitana de Fortaleza. **Revista de Geografia da UFC**, v. 10, n. 23, p. 129-145, 2011.

MAIA, C. E.; RODRIGUES, K. K. R. P.; LACERDA, V. da S. Relação entre bicarbonatos e cloreto em águas para fins de irrigação. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p. 206-219, 2012.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 4, n. 1, 2016.

MATIAS FILHO, J. COSTA, R. N. T.; MENEZES, J. A. L.; LOIOLA, M. L.; MEIRELES, M.; PEREIRA, A. L. S. **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, 27 p. (Relatório Técnico).

MEIRELES, A. C. M. **Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação**. 2007. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2007.

MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE E. M.; CHAVES, L. C. G.; FRISCHKORN, H.; CRISÓSTOMO, L. A. A new proposal of the classification of irrigation water. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 349-357, 2010.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R. dos; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3318-3326, 2013.

MESQUITA, T. B. **Caracterização da qualidade das águas empregadas nos distritos irrigados da bacia do Acaraú**. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MONJEREZI, M.; NGONGONDO, C. Quality of Groundwater Resources in Chikhwawa, Lower Shire Valley, Malawi. **Exposure and Health**, v. 4, n. 1, p. 39-53, 2012.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LEAL, I. G.; NASCIMENTO, J. J.; ARAÚJO, T. C. Análise da recarga de origem pluviométrica e sua relação com a salinidade da água de aquífero aluvial no semi-árido do nordeste brasileiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6, 2002, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1 CD.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solo e geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN. **Caatinga**, v. 11, n. 1/2, p. 75-83, 1998.

MORAIS, P. B. **Tratamento biológico de efluentes líquidos**. Campinas: UNICAMP, 2008. 14 p.

MOTA, L. H. da S. de O.; GOMES, A. da S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. da. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1203-1209, 2012.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R. dos; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3318-3326, 2013.

MONJEREZI, M.; NGONGONDO, C. Quality of Groundwater Resources in Chikhwawa, Lower Shire Valley, Malawi. **Exposure and Health**, v. 4, n. 1, p. 39-53, 2012.

NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P., LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste – CE. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, vol. 12, n. 1, p. 124-135, 2017.

NISHANTHINY, S. C.; THUSHYANTHY, M.; BARATHITHASAN, T.; SARAVANAN, S. Irrigation water based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, p. 100-102, 2010.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. 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**, v. 3, p. 131-141, 2011.

OLIVEIRA, C. M. de; AMARANTE JÚNIOR, O. P. de; FIORILLO, C. A. P.; COLENCI, P. L. Regulação das águas doces superficiais e subterrâneas na integração regional do MERCOSUL. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 291-303, 2016.

OLIVEIRA, H. A.; BEZERRA, H. N.; ARAÚJO, J. M. S.; TAVARES, L. A. F. Qualidade de águas de poços dos assentamentos da chapada do Apodi - RN para o uso na agricultura. **Revista HOLOS**, ano 29, v. 1, p. 64-72, 2013.

- LOSENBROCK, K.; FEIDLER, S.; KNÖLLER, K.; WEISE, S. M.; SÜLTENFUB, J.; OSTER, H.; STRAUCH, G. Timescales and development of groundwater pollution by nitrate in drinking water wells of the Jahna-Aue, Saxonia, Germany. **Water Resources Research**, 42:3259-3270, 2006.
- PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011.
- PANTERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água salinização, fertirrigação e legislação. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (Ed.). **Irrigação**. São Paulo: FUNEP, 2001. v. 1, p. 195-253.
- PEDDE, S.; KROEZE, C.; RODRIGUES, L. N. Escassez hídrica na América do Sul: situação atual e perspectivas futuras. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2013.
- PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH – UFRGS, v. 1, n. 1, p. 20-36, 2004.
- PEREIRA, S. de F. P.; COSTA, A. de C.; CARDOSO, E. do S. C.; CORRÊIA, M. do S. S.; ALVES, D. T. V.; MIRANDA, R. G.; OLIVEIRA, G. R. F. de. Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba – Pará. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 50-62, 2010.
- PEREIRA, G. R.; GUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 749 p.
- RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. de S.; SANTOS, S. R. dos S.; KOBAYASHI, M. K. Classificação da água de poços tubulares do norte do estado de Minas Gerais para irrigação. **REVENG**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 208-218, 2010.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).
- RIZZATTI, I. M.; LEITE, N. S.; SILVA, E. V. da. Avaliação de parâmetros físicos e químicos das águas subterrâneas do município de Fortim, Ceará. **Revista GeoAmazonia**, v. 3, n. 6, p. 133-142, 2015.
- RODRIGUES FILHO, J. L.; ABE, D. S.; GATTI JÚNIOR, P.; MEDEIROS, G. R.; DEGANI, R. M.; BLANCO, F. P.; FARIA, C. R. L.; CAMPANELLI, L.; SOARES, F. S.; GALLI, C. V. S.; SILVA, V. T.; TUNDISI, J. E. M.; TUNDISI, T. M.; TUNDISI, J. G. Spatial patterns of water quality in Xingu River Basin (Amazonia) prior to the Belo Monte dam impoundment. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 75, n. 3, supl. 3, p. 34-46, 2015.

SALES, M. M. de; LOPES, F. B.; MEIRELES, A. C. M.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M. de. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas em reservatório da região semiárida para fins de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 411-421, 2014.

SALGADO, E. V.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. de B.; MEIRELES, A. C. M. Similaridade das variáveis hidroquímicas com o uso da análise multivariada, na bacia do salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 158-166, 2011.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 775-764, 2009.

SANTANA, Eudoro Walter de. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará. Pacto das Águas: compromisso sócio-ambiental compartilhado**. Fortaleza: INESP, 2008. 174 p.

SANTOS, J. P., AZEVEDO, S. G.; MISTRETTA, G. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo: IPT, 1984. 27 p.

SANTOS, R. V. M. dos. **Sistema de apoio à decisão para gestão da pós-colheita do café**. 2012, 84 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2012.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. de M.; MENEZES, R. S. de; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, v. 11, n. 1, p. 23-31, 2012.

SHIKLOMANOV, I. A. et al. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. In: LEWIS, E. L. et al. (Ed.) **The Freshwater Budget of the Arctic Ocean**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 281-96.

SRINIVASAMOORTHY, K.; VIJAYARAGHAVAN, K.; VASANTHAVIGAR, M.; SARMA, V. S.; RAJIVGANDHI, R.; CHIDAMBARAM, S.; ANANDHAN, P.; MANIVANNAN, R. Assessment of groundwater vulnerability in Mettur region, Tamilnadu, India using drastic and GIS techniques. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 4, n. 7, p. 1215-1228, 2011.

SILVA, E. B. da; ARAÚJO NETO, J. R. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; SALES, M. M. de; BARROS, B. E. A. Modelagem da concentração iônica em águas superficiais na bacia metropolitana do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 145-157, 2015.

SILVA, E. B.; ARAÚJO NETO, J. R. de. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. **Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 5, p. 417-426, 2016.

SILVA, P. C. A. da. **Reserva hídrica: Aquífero Guarani e seu uso sustentável**. 2011, 79 f. Especialização (Legislação e Políticas Públicas) – Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento, Brasília. 2011.

SILVA, V. P. R. da; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V. de; SOUSA, F. de A. S. de; SOUSA, I. F. de. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011b.

SILVA JÚNIOR, J. N.; SOUSA, A. R.; SÁ, V. A. L.; LIMA, B. P. 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**, Campina Grande, v.4, n.2, p.189-193, 2000.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 11-17, 1999.

SOUZA, J. R. de; MORAES, M. E. B. de; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

SOUZA, A. de; LASTORIA, G.; FONTENELE, S. de B.; OLIVEIRA, A. P. G. Similaridade da qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Negro, MS. **Ciência e Natura**, v. 36, ed. especial II, p. 510-519, 2014.

SOUZA, C. A. de; ARAÚJO, Y. R.; ARAÚJO NETO, J. R. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; BARROS, B. E. A. Análise comparativa da qualidade de água para irrigação em três sistemas hídricos conectados no semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 6, p. 1011-1022, 2016.

TANAKA, O. Y.; DRUMOND JÚNIOR, M.; CRISTO, E. B.; SPEDO, S. M.; PINTO, N. R. da S. Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. **Saúde e Sociedade**, v. 24, n. 1, p. 34-45, 2015.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água**: Conceitos, teorias e práticas. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

TERRA, L. G.; BORBA, W. F. de; FERNANDES, G. D.; TROMBETA, H. W.; SILVA, J. L. S. da. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul – RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 94-104, 2016.

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. de B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13-24, 2017.

TUNDISI, J. G. (coord.). **Recursos hídricos no Brasil**: problemas, desafios e estratégias. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis: University of California, 1974. 13 p.

VAN VLIET, M. T. H.; ZWOLSMAN, J. J. G. Zwolsman, Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. **Journal of Hydrology**, v. 353, p.1–17, 2008.

VASANTHAVIGAR, M.; SRINIVASAMOORTHY, K.; VIJAYARAGAVAN, K.; RAJIV GANTHI, R.; CHIDAMBARAM, S.; ANANDHAN, P.; MANIVANNAN, R.; VASUDEVAN, S. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. **Environ Monit Assess**, v. 609, p. 171-595, 2010.

VASANTHAVIGAR, M.; SRINIVASAMOORTHY, K.; RAJIV GANTHI, R.; VIJAYARAGHAVAN, K.; SARMA, V. S. Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. **Arabian Journal Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 245-258, 2012.

VASCONCELOS, R. S.; LEITE, K. do N.; CARVALHO, C. M. de; ELOI, W. M.; SILVA, L. M. F. da; FEITOSA, H. de O. Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 30-38, 2009.

VASCONCELOS, V. M. M. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém-PA**. 2010. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P. de; SOUZA, M. S. B. de; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A. de; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, 6, p. 347-360, 2015.

VILLANUEVA, T. C. B.; LEAL, L. R. B.; ZUCCHI, M. do R.; AZEVEDO, E. G.; VILLANUEVA, P. R. Diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos na região de Irecê – BA. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 1, p. 30-41, 2015.

VILLAR, P. C. Em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 1, p. 83-102, 2016.

XIAOLONG, W. et al. Spatial and seasonal variations of the contamination within water body of the Grand Canal, China. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 1513-1520, 2010.

WANG, Y.; WANG, P.; BAI, Y.; TIAN, Z.; LI, J.; SHAO, X.; MUSTAVICH, L. F.; LI B. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 7, p. 30-40, 2013.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO - PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO ACARAÚ
QUESTIONÁRIO - PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO ACARAÚ

Data: __ / __ / ____

Informar numeração da amostra, tipo de fonte hídrica (cacimba, poço profundo ou tanque) e profundidade: _____

Setor/Lote: _____

ENTREVISTADO: _____

1. Tipo de fonte hídrica:

A – Cacimba B – Poço C – Tanque

2. Tipo de lote:

A – Pequeno produtor B – Técnico C – Empresarial D - Outro _____

Informar a área: _____

3. Tipo de uso da fonte hídrica (se houver mais de um uso deve-se marcar, e indicar o uso prioritário com a letra P):

A – Irrigação B – Uso doméstico C – Animal D – outro _____

E - nenhum

4. Desde quando essa água vem sendo utilizada?

A – sempre foi usada B – a partir de 2012 C – a partir de 2013 D – a partir de 2014

E – a partir de 2015

5. Já foi realizada análise da qualidade dessa água anteriormente? Se sim, informar quantas vezes e quando.

Em caso de uso para irrigação, informar:

6. O sistema de irrigação utilizado:

A – Microaspersão B – Gotejamento C – Os dois

7. A cultura e/ou culturas que estão sendo irrigadas com essa água:

A área irrigada: _____

8. É realizado algum tipo de adubação? Informar o tipo.

9. Já detectou algum problema com uso dessa água? Informar o tipo de problema detectado.

10. Alguma ação foi desenvolvida para melhorar a qualidade da água? Informar qual ação foi desenvolvida.

11. Já recebeu/recebe alguma orientação técnica referente á qualidade de água para irrigação?
Se sim, informar quando e onde.

12. Já recebeu/recebe alguma orientação técnica sobre uso de água salobra na irrigação? Se sim, informar quando e onde.
