



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

THEREZA RHAYANE BARBOSA CAVALCANTE

QUALIDADE DA ÁGUA DE FONTES HÍDRICAS DA SUB-BACIA DO BAIXO
JAGUARIBE, CEARÁ, BRASIL

FORTALEZA

2018

THEREZA RHAYANE BARBOSA CAVALCANTE

**QUALIDADE DA ÁGUA DE FONTES HÍDRICAS DA SUB-BACIA DO BAIXO
JAGUARIBE, CEARÁ, BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez.

Coorientador: Prof. Dr. David Correia dos Anjos.

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)

- C364q Cavalcante, Thereza Rhayane Barbosa.
Qualidade da água de fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará, Brasil / Thereza Rhayane Barbosa Cavalcante. – 2018.
104 f.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez.
Coorientação: Prof. Dr. David Correia dos Anjos.
1. Águas subterrâneas. 2. Metais Pesados. 3. Salinidade. I. Título.

CDD 631.4

THEREZA RHAYANE BARBOSA CAVALCANTE

**QUALIDADE DA ÁGUA DE FONTES HÍDRICAS DA SUB-BACIA DO BAIXO
JAGUARIBE, CEARÁ, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do solo.

Aprovada em: 30/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. David Correia dos Anjos
Instituto Centro de Ensino Tecnológico

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Maria Eugênia Ortiz Escobar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida, bem como para a execução de diversas atividades econômicas realizadas na sociedade. Nos últimos anos, tem-se dado uma maior atenção a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, visto que a água um recurso finito, susceptível a adversidades climáticas e contaminação por atividades poluentes, o que torna imprescindível a realização de um monitoramento das fontes hídricas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de água para fins de irrigação e consumo humano e animal, em águas superficiais e subterrâneas situadas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe-CE, Brasil. Para tanto, foi realizado um monitoramento para verificar a variabilidade espacial e temporal em 75 pontos, contemplando águas superficiais, poços rasos e poços profundos, em quatro coletas. As coletas foram feitas ao longo dos anos 2016 a 2018. Em campo, avaliou-se o nível estático dos poços, a fim de se verificar se houve depleção ou recarga de água no período avaliado. Em laboratório, determinou-se o pH, CE, RAS, os teores dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , S-SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , e HCO_3^- e a concentração de metais pesados nas águas. Os dados foram avaliados pela estatística descritiva e pela técnica multivariada da Análise das Componentes Principais (ACP), para identificar as principais componentes responsáveis pela variação de qualidade entre os pontos, correlações entre as variáveis de salinidade e metais pesados e a similaridade entre os pontos. A interpretação dos resultados foi auxiliada pelos limites padronizados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) de 2014. Concluiu-se que a qualidade das águas da margem esquerda do Rio Jaguaribe apresentou maior restrição para uso na irrigação que a margem direita do rio, com restrição mais acentuada durante o período seco. Entre os tipos de fontes hídricas, obteve-se maior restrição para irrigação nas águas de poços profundos que nos poços rasos e na água superficial. As águas apresentaram contaminações pelos metais Al, Fe, Mn e Pb. A pluviosidade verificada no período de avaliação não foi suficiente para recarregar os aquíferos da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Metais Pesados; Salinidade.

ABSTRACT

The water is an essential natural resource for the maintenance of life, as well for the execution of various economic activities realized in society. In recent years, a greater attention and quality of water resources has been observed, since water is a finite resource, susceptible to adversities and contamination by polluting activities, which makes it essential to carry out a monitoring of water sources. This work had as objective to evaluate the quality of water for irrigation, human and animal consumption, in surface and subterranean waters located in sub-basin of Baixo Jaguaribe, state of Ceará, Brazil. For this purpose, it was realized a monitoring to evaluate the spatial and temporal variability in 75 points, encompassing surface waters, shallows wells and deep wells, in four collects. The collects were done over the years 2016 to 2018. In field were evaluated the static level of wells, with the objective of to verify if there was depletion or recharge of water in studied period. In laboratory, it was determined the concentration of salts and contamination by heavy metals. The data were evaluated for descriptive statistics (average, minimum, maximum and coefficient of variation) and by the technique multivariate of the analysis of main components, to identify the main components responsible for the variation of quality among the points, correlations between the variables of salinity and heavy metals and the similarity among points. The interpretation of results was assisted by limits for Environmental Sanitation Technology Company (Cetesb) of 2014. Concludes. It was concluded that the water quality of the left bank of the Jaguaribe River presented greater restriction for use in irrigation than the right bank of the river, with more severe restriction during the dry period. Among the types of water sources, greater restriction was obtained for irrigation in the waters of deep wells than in the shallow wells and surface water. The waters presented contaminations by metals Al, Fe, Mn and Pb. Rainfall during the evaluation period was not sufficient to recharge the aquifers of the Baixo Jaguaribe Sub-Basin.

Keywords: Groundwater; Heavy metals; Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Coleta de água para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água em: A – Fonte superficial. B – Coleta de água subterrânea.....	20
Figura 2 - Mapa de localização dos pontos amostrados na sub-bacia do Baixo Jaguaribe-CE ...	20
Figura 3 - Mapa litogeográfico da área de estudo indicando os pontos(fontes hídricas) amostradas.....	21
Figura 4 -Precipitação mensal verificada ao longo das coletas e nos últimos 10 anos na região de estudo.....	22
Figura 5 - Garrafas de polietileno utilizadas nas coletas de água para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água em fonte superficial e subterrânea	23
Figura 6 - Medição do nível estático de poço profundo de um dos pontos de coleta de água.....	25
Figura 7 - Variações da CE verificada no período de coletas.....	31
Figura 8 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (período seco).....	58
Figura 9 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 2ª coleta (período chuvoso).....	58
Figura 10 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (período seco).....	59
Figura 12 - Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 1ª coleta.....	61
Figura 13- Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 2ª coleta.....	62
Figura 14 - Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 3ª coleta.....	62
Figura 15- Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 4ª coleta.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características dos pontos de coleta.....	79
Tabela 2	– Valores máximos permitidos (VMP) para os metais pesados em Água de acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), 2014.....	26
Tabela 3	– Variação do nível estático nos pontos para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água	27
Tabela 4	– Parâmetros físico-químicos dos pontos na 1ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	85
Tabela 5	– Parâmetros físico-químicos dos pontos na 2ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	88
Tabela 6	– Parâmetros físico-químicos dos pontos na 3ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	91
Tabela 7	– Parâmetros físico-químicos dos pontos na 4ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	94
Tabela 8	– Risco de salinização das fontes hídricas (%) em função do período de coleta e localização	41
Tabela 9	– Risco de sodificação das fontes hídricas (%) em função do período de coleta e localização	45
Tabela 10	– Teores de boro e metais pesados verificados nas águas dos pontos de coleta, na 1ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	97
Tabela 11	– Teores de boro e metais pesados verificados nas águas dos pontos de coleta, na 2ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	99
Tabela 12	– Teores de boro e metais pesados verificados nas águas dos pontos de coleta,	

	na 3ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	101
Tabela 13	– Teores de boro e metais pesados verificados nas águas dos pontos de coleta, na 4ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.....	103
Tabela 14	– Autoanálise da matriz de correlação da 1ª coleta	54
Tabela 15	– Autoanálise da matriz de correlação da 2ª coleta.	54
Tabela 16	– Autoanálise da matriz de correlação da 3ª coleta	55
Tabela 17	–Autoanálise da matriz de correlação da 4ª coleta	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Água: Uso, importância e distribuição	14
2.2 Gerenciamento hídrico no Brasil e no Ceará.....	15
2.3 Fatores que influenciam a qualidade das águas	16
2.4 Metais pesados nas águas.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Descrição da região de estudo	19
3.2 Amostragem	19
3.3 Coleta e condução do levantamento.....	21
3.3.1 Quantidade e épocas de coletas	21
3.3.2 Procedimento de coleta e transporte.....	22
3.3.3 Procedimento em laboratório	23
3.4 Variáveis analisadas	23
<i>3.4.1 Variáveis determinadas em laboratório.....</i>	<i>23</i>
<i>3.4.2 Variável determinada em campo.....</i>	<i>24</i>
<i>3.4.3 Parâmetros de qualidade avaliados</i>	<i>25</i>
3.5 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.2 Distribuição dos pontos de coleta	29
4.3 Características físico-químicas da água	29
<i>4.3.1 pH</i>	<i>29</i>
<i>4.3.2 Condutividade elétrica</i>	<i>30</i>
<i>4.3.3 Cálcio e Magnésio.....</i>	<i>33</i>
<i>4.3.4 Sódio e potássio.....</i>	<i>35</i>
<i>4.3.5 Cloreto.....</i>	<i>36</i>
<i>4.3.6 Enxofre</i>	<i>38</i>
<i>4.3.7 Carbonato e bicarbonato</i>	<i>38</i>
<i>4.3.8 Boro</i>	<i>40</i>
<i>4.3.9 Relação de Adsorção de Sódio (RAS).....</i>	<i>40</i>

4.4 Qualidade da água para irrigação quanto ao risco de salinização	41
4.5 Qualidade da água quanto ao risco de sodificação do solo	43
4.6 Qualidade de água quanto a concentração de metais pesados	45
<i>4.6.1 Alumínio.....</i>	<i>45</i>
<i>4.6.2 Cádmio</i>	<i>46</i>
<i>4.6.3 Cobalto</i>	<i>46</i>
<i>4.6.4 Cobre</i>	<i>47</i>
<i>4.6.5 Ferro.....</i>	<i>47</i>
<i>4.6.6 Mercúrio</i>	<i>48</i>
<i>4.6.7 Manganês</i>	<i>49</i>
<i>4.6.8 Molibdênio.....</i>	<i>50</i>
<i>4.6.9 Níquel</i>	<i>50</i>
<i>4.6.10 Chumbo.....</i>	<i>51</i>
<i>4.6.11 Titânio.....</i>	<i>51</i>
<i>4.6.12 Zinco</i>	<i>52</i>
<i>4.6.13 Zircônio</i>	<i>52</i>
4.7 Análise fatorial das componentes principais.....	53
Referências	67
ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para a manutenção da vida e saúde humana, para o equilíbrio da fauna e flora e para o desenvolvimento das atividades econômicas das populações, tanto no meio urbano, como no rural. Neste, a irrigação assume um papel de expressivo destaque por ser uma tecnologia que necessita de grandes volumes de água.

Nos últimos anos, a disponibilidade e a qualidade da água no planeta têm sido afetadas negativamente devido a variações climáticas adversas e fontes de poluição, como o descarte incorreto de resíduos pelas indústrias, sistemas ineficientes ou ausência de saneamento básico e uso indiscriminado de produtos fitossanitários, que contaminam os corpos d'água, adicionando metais pesados as fontes hídricas, o que se constitui um sério problema de saúde pública, visto que os metais pesados desencadeiam doenças de caráter crônico, como o câncer e Mal de Alzheimer.

Com isso, as águas subterrâneas, assim como as águas de superfície, representam uma importante fonte de abastecimento e é imprescindível a existência de um monitoramento da qualidade, pois esta pode variar em função do tempo e do espaço. Além disso, um acompanhamento da qualidade da água permite que esta seja manejada adequadamente, buscando-se uma melhor rentabilidade no setor agrícola. Se a água disponível para os produtores usarem na irrigação for de baixa qualidade, por exemplo, pela elevada concentração de sais, vê-se a necessidade de adoção de práticas especiais no sistema solo-água-plantas para manter a produtividade das culturas em níveis rentáveis ao produtor e para evitar a salinização do solo. Essas práticas especiais podem incluir, por exemplo, a seleção de espécies tolerantes a salinidade, a mistura de águas de diferentes qualidades e a aplicação de lâmina de lixiviação ao solo.

Na visão de Saúde Pública, a identificação de fontes hídricas contaminadas por metais pesados auxilia na busca de erradicar as fontes contaminantes e prevenir os riscos de entrada desses metais pesados na cadeia alimentar do homem.

Portanto, o presente estudo avaliou a qualidade da água de 75 fontes hídricas (poços profundos, rasos, e águas superficiais) na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, região em que o setor primário é essencial para o desenvolvimento econômico da região. Alguns trabalhos de coleta de água em municípios da região já haviam sido feitos por outros autores, porém com limitações, a exemplos de análise de água com poucos íons, com poucos pontos de

amostragem, em municípios de forma isolada e com apenas um período de coleta. Espera-se que este trabalho se torne uma ferramenta útil nos projetos de gerenciamento de água na região para atender as necessidades da população, para aprimorar a eficiência no sistema de produção e para avaliar se há riscos de poluentes nas águas..

Pelo exposto, este trabalho teve por objetivo comparar a qualidade da água para fins de irrigação e pelo teor de metais pesados nas fontes hídricas (água superficial, poços rasos e profundos) das margens direita e esquerda do Rio Jaguaribe, incluindo vários municípios da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe ao longo de dois anos (dezembro de 2016 a março de 2018). Além disso, o trabalho avaliou se a pluviosidade verificada no período de estudo foi suficiente para recarregar os aquíferos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Água: Uso, importância e distribuição

A água é um recurso indispensável para a manutenção da vida e a sua importância se dá em várias dimensões. A disponibilidade e qualidade deste recurso influenciam no equilíbrio da biodiversidade, na sobrevivência, na saúde humana, bem como na economia das civilizações (SOUZA et al., 2014). Dentre os diversos usos da água, a agricultura irrigada é considerada a atividade que mais de maior consumo e a escassez deste recurso pode levar a impactos negativos no crescimento econômico, na vida em sociedade e nos ecossistema (DISTEFANO; SCOTT, 2017)

A pesar desse grande consumo, a irrigação é uma prática de extrema importância no setor agrícola, pois possibilita o aumento do rendimento das culturas e é uma tecnologia que permite que o sistema de produção esteja em plena atividade durante o ano todo, pois reduz os riscos de perda de produção causados pelos fatores climáticos (KNAPP; HUANG, 2017).

A dinâmica da água no planeta é descrita pelo ciclo hidrológico, que mostra a transferência da água nos seus três estados físicos. Esta transferência da água sofre influência da energia solar, da força dos ventos e da gravidade, ocorrendo pelos mecanismos de evaporação, precipitação, percolação, infiltração e drenagem, por exemplo (TUNDISI, 2003). A superfície da Terra é 70% coberta por água, onde 97,5% deste recurso está nos oceanos e mares, restando apenas 2,5% de água doce (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI 2006).

O Brasil é um país privilegiado pela disponibilidade de recursos hídricos, entretanto a disponibilidade e o volume desse recurso não estão distribuídos de forma equilibrada no país, principalmente pela grande diversificação climática e pelas suas dimensões geográficas (REBOUÇAS, 2003; TUNDISI, 2008). Nos últimos anos o abastecimento de água tem sido crítico para as populações e esse problema não se limita apenas à regiões áridas ou semiáridas, tem ocorrido também em regiões com água em abundância. O aumento populacional, a crescente demanda de energia e o estilo de vida das pessoas nos países desenvolvidos são fatores que aumentaram a pressão sobre a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos (LIMA et al., 2011).

Alguns países, como Japão, Estados Unidos e Austrália têm adotado uma rede de reutilização de água como mais uma estratégia para superar o déficit de água frente a períodos

de escassez e elevada demanda populacional (WILCOX et al., 2016). No entanto, ainda se visualiza baixa eficiência nos sistemas de saneamento básico no mundo, que concomitante com o aumento da urbanização e da demanda de água, gera maiores volumes de esgoto que contaminam os corpos hídricos (BIXIO et al., 2008; NIU et al., 2017).

Portanto, como a degradação dos aquíferos e a escassez de abastecimento e saneamento eficiente refletem na saúde e qualidade de vida do ser humano, é importante a adoção de gestões e estudos que foquem na captação, conservação e qualidade de água, para que possa satisfazer as necessidades das populações, sem vir a causar riscos ambientais.

2.2 Gerenciamento hídrico no Brasil e no Ceará

No Brasil, a gestão de recursos hídricos se direcionava apenas a águas superficiais e por muitos anos não se tinha preocupação com aspectos associados à gestão das águas subterrâneas. No entanto, houve uma melhora na normatização desse recurso, especialmente com a criação da Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas, em 2000 (HAGER; D'ALMEIDA, 2008). A exploração de águas subterrâneas tem garantido água para atender as demandas durante os períodos de seca prolongadas e é considerada uma importante fonte de abastecimento de água no mundo, abastecendo mais de 50% da população mundial (HUGHES et al, 2011; CHEN et al., 2016).

As águas subterrâneas se diferenciam das águas superficiais em várias características, dentre elas o tempo para acumulação e as formas de aporte e perda. Todavia, estes corpos de água não são independentes, ou seja, dependendo da permeabilidade do leito de um rio, por exemplo, a água pode fluir deste para o aquífero e vice-versa. A exploração das águas necessita de um plano de gestão em função dos recursos hídricos disponíveis e pela resposta ao sistema de bombeamento das águas subterrâneas (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2008).

Ainda existem limitações na gestão dos aquíferos, mas ressalta-se a importância do seu gerenciamento, de modo a se avaliar a influência dos fatores naturais, como as chuvas, ou atividade antrópica sobre a qualidade da água (CHANG et al., 2017; HSIAO et al., 2017) e que se busque destinar as águas em função da sua aptidão, visto que um manejo adequado da água pode gerar excelentes produtividades, enquanto que o uso incorreto contribui na degradação ao ambiente (WANG et al. 2015).

Nos últimos cinco anos, a região Nordeste tem sofrido com a escassez de água de modo mais rigoroso, os reservatórios tiveram seus volumes intensamente reduzidos e se verificou uma maior necessidade de administrar esse recurso de modo eficiente. Diante disso, o estado do Ceará tem ganhado papel de destaque na gestão dos recursos hídricos em nível nacional, em que a otimização da gestão de água tem sido uma das prioridades do poder público, mediado pela Cogerh (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), notoriamente na gestão de água superficial.

Além dos gerenciamento das águas superficiais no Ceará, uma grande atenção é direcionada as águas subterrâneas da Bacia do Araripe cearense, visto que a região é composta por reservas hídricas subterrâneas significativas. O monitoramento na região compreende os municípios: Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, Missão Velha, Brejo Santo, Mauriti, Milagres, Porteiras, Jardim e Abaiara e é gerenciado de acordo com o Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia Araripe (COGERH, 2009; TAVARES et al., 2009). Os estudos hidrológicos da gestão no Ceará têm sido feito com base na verificação das características hidrológicas (vazão), requerimento de outorga dos poços, campanhas de fiscalização e regularização do uso da água, instalação de hidrômetros e na aplicação de ações emergenciais de distribuição de água (LIMA; SALES, 2015).

2.3 Fatores que influenciam a qualidade das águas

O acompanhamento da qualidade da água é importante para alcançar boas estatísticas na saúde pública, por permitir disponibilizar água potável à população (CARVALHEIRO, 2015) e para elevar a produtividade agrícola, com um melhor custo-benefício, buscando atenuar os riscos econômicos e obter uma produção rentável (GRATTAN, 2002).

A salinidade é um importante critério avaliado na qualidade da água de irrigação, pois pode comprometer as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e causa declínio nos rendimentos das culturas, pelo aumento da pressão osmótica, que dificulta a absorção ou ocasiona a perda de água pelas plantas e pelo efeito tóxico de íons absorvidos (cloreto, sódio e boro, principalmente). Essas limitações podem tornar o processo de produção inviável (VELOSO et al., 2012; GIOIA et al., 2018).

A água de irrigação é comumente classificada de acordo com a classificação de

Richards (1954), em que as águas podem ser classificadas como C1, C2, C3, C4, S1, S2, S2 e S3 ou com a classificação de Ayers e Westcost (1999) que avalia o grau de restrição de uso da água (nenhum, moderado ou severo). Em relação à qualidade de água dos aquíferos, as águas de poços localizados em regiões do embasamento cristalino apresentam um maior teor de sais que do tipo sedimentar, que esta comumente apresentam boa qualidade, porém pode ser afetada pelas formas de uso e ocupação do solo, o que pode conferir maiores coeficientes de variação a suas variáveis de qualidade (CIRILO, 2008; SILVA; ARAÚJO; SOUSA, 2008).

Em relação às águas subterrâneas, as suas características estão fortemente associadas à geologia da região e pelos processos: dissolução, precipitação, oxidação, redução, pelos elementos climáticos, além das atividades antropogênicas. (VAROL; DAVRAZ, 2015; NIU, 2017). As águas subterrâneas também são menos vulneráveis a contaminações causadas, quando comparada a água de superfície. Todavia, há uma tendência de salinização das águas dos aquíferos por solutos provenientes da superfície do solo, que pode ocorrer em condição natural ou não, como pela intrusão de águas de qualidade inferior (HAN; POST; SONG, 2015). Além disso, a expansão das atividades humanas tem ocasionado a poluição de águas subterrâneas, especialmente em locais que manuseiam e descartam de modo inadequado os resíduos sólidos, efluentes e pelo uso indiscriminado de produtos fitossanitários (SIQUEIRA; KRUSE, 2008; VAROL; DAVRAZ, 2015).

2.4 Metais pesados nas águas

Os metais pesados são os elementos da tabela periódica que possuem densidade superior a 5 g cm^{-3} (MALAVOLTA, 1980; BARAKAT, 2010). Ocorrem no solo naturalmente, pela presença no material de origem, bem como pela contribuição antrópica, a exemplo dos trabalhos de mineração e pelo despejo de resíduos e efluentes e por emissão na atmosfera, pelos veículos e atividades industriais (BANERJEE, 2003; BINI; MALECI; WASHA, 2017). Alguns metais são essenciais para as plantas, que são os micronutrientes, como o Mn, Mo, Ni, Zn, Fe e Cu. A elevada concentração desses metais no meio, como na solução do solo, e a presença de outros metais sem função biológica como o Cd, Pb e o Hg são potencialmente tóxicos às plantas (MACEDO; MORRIL, 2008; FREITAS et al., 2009).

Nas áreas agrícolas, a elevação de metais pesados no ambiente está associada ao uso de água de irrigação contaminada, a aplicação de corretivos e fertilizantes, principalmente

o fosfatado (FREITAS et al., 2009; VAROL; DAVRAZ, 2015). A contaminação por metais pesados no ambiente se configura atualmente como um dos principais enfoques do ponto de vista de poluição. Os metais pesados podem gerar problemas de qualidade aos recursos naturais, como a toxicidade nas plantas, e afetar negativamente o metabolismo dos microorganismos.

A capacidade que os metais pesados tem de se acumular nos tecidos dos organismos de diversos ecossistemas, pode alcançar níveis nocivos aos mesmos e transferir elementos tóxicos para o homem, que ao ingerir água e alimentos contaminados fica susceptível a uma gama de doenças de caráter crônico (MAZHARY; ATTAR; HAGHIGHI, 2017), o que mostra a relevância de se avaliar as concentrações destes elementos nos recursos naturais, como água e solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da região de estudo

A região de estudo está inclusa nas mesorregiões Litoral Leste e Vale do Jaguaribe, localizadas na porção oriental do Ceará, na sub-bacia do Baixo Jaguaribe. A região corresponde a 4,64% do território do Ceará, apresenta um trecho do Rio Jaguaribe com extensa planície aluvial, com declividade de 0,029% em relação ao vale a jusante, cobrindo áreas que vão até a encosta da Chapada do Apodi. Está inserida no clima semiárido, apresenta temperatura média de 28° C e pluviosidade média anual de 838,8 mm (CEARÁ, 2009; LIMA; SALES, 2015).

Em relação às águas subterrâneas na área de estudo, há um predomínio de aquíferos de rochas sedimentares, englobando as seguintes unidades litoestratigráficas: Grupo Barreiras, com Formação Faceira (constituído de conglomerados basais, avermelhados, com seixos e calhaus de rochas cristalinas), Grupo Apodi, representado pelas formações Jandaira (calcários) e Açú (folhelhos e arenitos finos a médios) e Aquífero Aluvionar (CPRM, 2013).

A área de estudo tem a economia bastante influenciada pela agricultura com tradicional uso da tecnologia de irrigação, onde os irrigantes têm a água como um importante recurso para assegurar as suas atividades agropecuárias. Além da agricultura, a aquicultura e a carcinicultura são atividades presentes na região e demandam grandes volumes de água.

3.2 Amostragem

A coleta de dados foi realizada em 75 fontes hídricas na zona rural, incluindo águas de superfície e águas subterrâneas (figura 1) com coletas em poços rasos e poços profundos. De acordo com o Decreto Estadual nº 31.007/12 os poços rasos são aqueles com profundidade de até 20 m, e acima desse limite são denominados poços profundos. A coleta foi realizada em quatro coletas ao longo de dezembro de 2016 a março de 2018.

Em alguns pontos de coleta não foi possível realizar as 4 coletas, por ocasiões de inacessibilidade ao ponto (morador ausente ou estrada inacessível) ou pontos sem água no período seco. No entanto, foi possível realizar as quatro amostragens em 36 pontos e os resultados destes foram submetidos a análise estatística multivariada Análise das Componentes

Principais.

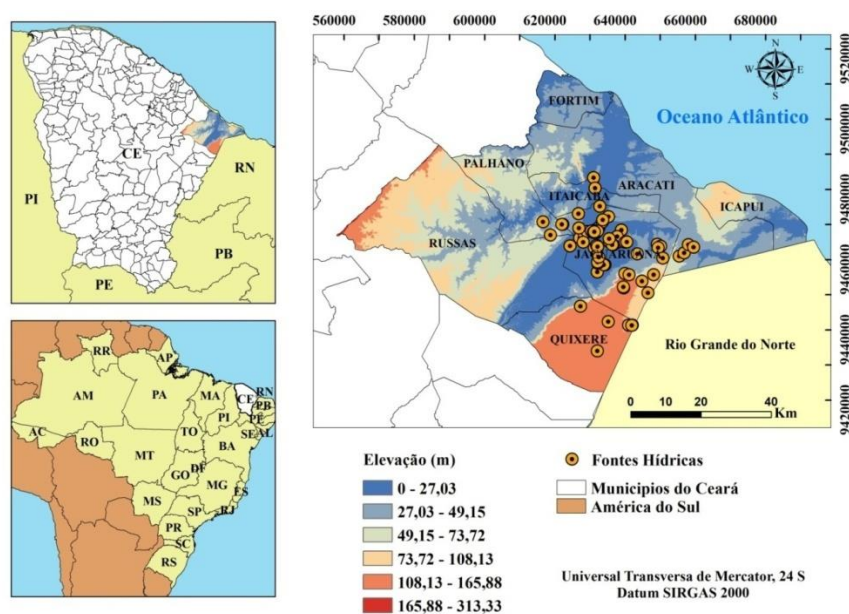
Figura 1- Coleta de água para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água em: A – Fonte superficial. B – Coleta de água subterrânea.



Fonte: Autora.

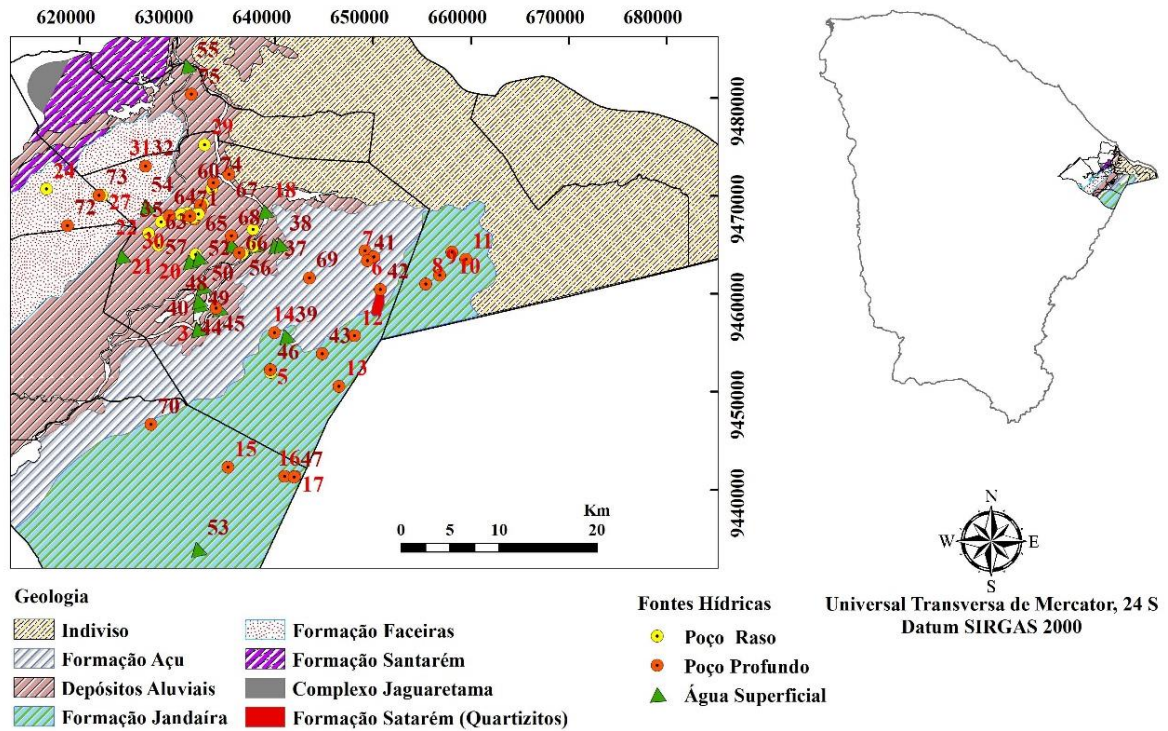
Os pontos foram georreferenciados com um auxílio de um GPS e as informações como: coordenadas em UTM, altitude e formas de uso e ocupação do solo, estão descritos na tabela 1 (anexo). A partir das coordenadas UTM foi gerado o mapa (figura 2) com os pontos da área usando o software ArcGis 9.3.

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos amostrados na sub-bacia do Baixo Jaguaribe-CE



.Gerou-se também um mapa com as unidades litoestratigráficas, que são um conjunto de rochas individualizadas e delimitadas com base nos seus caracteres geológicos, observadas na área de estudo, na figura 3.

Figura 3 - Mapa litogeográfico da área de estudo indicando os pontos(fontes hídricas) amostradas.



Fonte: Adaptado do CPRM (2003)

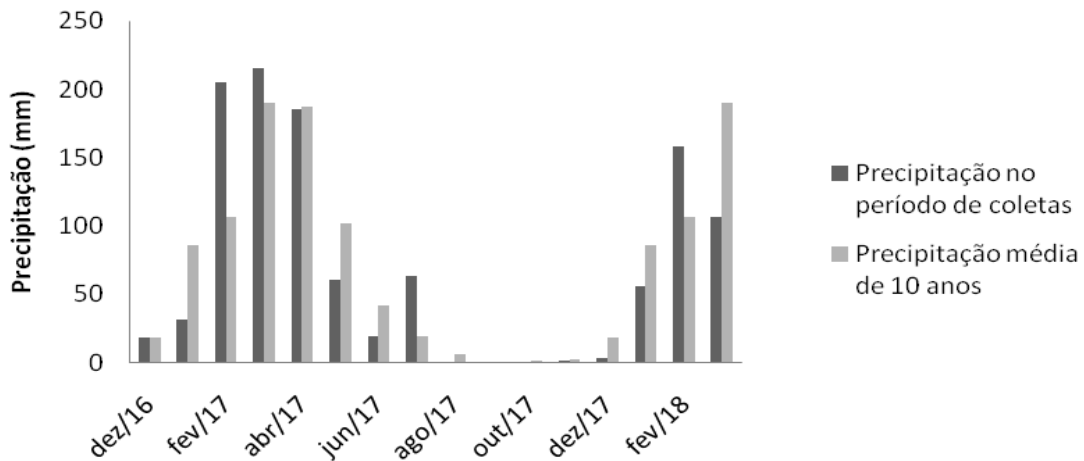
3.3 Coleta e condução do levantamento

3.3.1 Quantidade e épocas de coletas

Foram realizadas quatro coletas, no período de dezembro de 2016 a março de 2018, sendo duas coletas no período seco e duas coletas no período chuvoso. A primeira coleta foi realizada em dezembro de 2016 (Final do período seco), a segunda em abril de 2017 (No meio do período chuvoso), a terceira coleta em outubro de 2017 (No meio do período seco) e a quarta coleta em março de 2018 (Início do período chuvoso). A precipitação média mensal no

período de coleta de amostragem e a média mensal de 10 anos estão disposto na figura 4.

Figura 4 -Precipitação mensal verificada ao longo das coletas e nos últimos 10 anos na região de estudo.



Fonte: FUNCEME.

3.3.2 Procedimento de coleta e transporte

Em cada ponto de amostragem, a água coletada foi armazenada em duas garrafas de polietileno, de 500 e 300 mL (subamostras) (Figura 5), para a realização de análises dos atributos de salinidade e metais pesados, respectivamente. No momento da coleta, as garrafas foram lavadas com a água dos locais de amostragem, identificadas, condicionadas em caixa de isopor, e transportadas para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Ceará.

Figura 5 - Garrafas de polietileno utilizadas nas coletas de água para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água em fonte superficial e subterrânea



Fonte: Autora.

3.3.3 Procedimento em laboratório

Ao chegar ao laboratório, às garrafas com água para fins de análise físico-químicas comumente usadas para fins de irrigação (500 mL) foram refrigeradas até o momento da realização das análises. As subamostras de água (garrafas de 300 mL), destinadas para análise de metais pesados, após a coleta foram acidificadas a 1% pela adição de ácido nítrico, seguindo o método 3005 A (USEPA, 2007). Antes das análises, as amostras foram filtradas em papel de filtro (0,45 μm) para retirar os sedimentos suspensos.

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Variáveis determinadas em laboratório

a) Atributos físico-químicas

Foram determinados os atributos: condutividade elétrica (CE), pH e concentração dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e S-SO_4^{2-} seguindo as metodologias estabelecidas pela EMBRAPA (2011).

b) Relação de Adsorção de Sódio (RAS)

Em todas as amostras foi obtida a RAS pelas equação 1.

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

Em que as concentrações dos íons Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} são em mmolc L^{-1} .

c) Metais pesados

As concentrações dos metais pesados: alumínio (Al), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), titânio (Ti), zinco (Zn) e zircônio (Zr) foram determinadas utilizando o ICEP 3000 DUO da Thermo Scientific. Além dos metais, também se analisou a concentração de boro (B) nas águas coletadas.

As curvas usadas para quantificar os elementos foram preparadas a partir de padrões de 1000 mg L^{-1} (SpecSol®), em que se fez uso de água ultra pura para a realização das diluições. As condições operacionais do ICP para determinação multielementar foram usadas de acordo com as indicações do fabricante. As curvas de calibração para os metais apresentaram valores de R próximos a 0,999.

3.4.2 Variável determinada em campo

a) Nível estático das águas subterrâneas

Nessa variável, mediu-se o nível da água em equilíbrio no poço, fazendo uso de um medidor elétrico de nível d'água, com sinal sonoro (figura 6), em que essa medição representa a distância vertical entre a superfície do solo e o nível d'água no poço. Na medição, tomou-se a boca do poço como referência e após a leitura foi subtraída a altura do tubo acima da superfície do solo.

Figura 6 - Medição do nível estático de poço profundo de um dos pontos de coleta de água.



Fonte: Autora.

O nível estático dos foi medido nos poços em que foi possível a entrada do equipamento para realizar a medição, visto que nem todos os poços possuíam abertura ou orifício para entrada do sensor do medidor no poço.

Nos poços sem abertura para entrada do sensor no poço, quando estes se encontravam secos, adotou-se o valor do nível estático igual ao valor da profundidade do poço.

3.4.3 Parâmetros de qualidade avaliados

a) Qualidade para irrigação

A interpretação foi feita com base nas diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação da University of California Committee of Consultants, 1974.

b) Qualidade sobre o ambiente e consumo

As concentrações de metais pesados obtidas nas amostras foram comparadas com os valores máximos permitidos (VMP) padronizados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) de 2014, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Valores máximos permitidos (VMP) para os metais pesados em Água de acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), 2014.

Metais	Valor máximo permitido (ppm)
Alumínio	0,2
Cádmio	0,005
Cobalto	0,007
Cobre	2
Ferro	0,3
Mercúrio	0,001
Manganês	0,1
Molibdênio	0,03
Níquel	0,07
Chumbo	0,01
Titânio	-
Zinco	1,8
Zircônio	-

Fonte: Cetesb (2014).

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à estatística descritiva (média) e a Análise das Componentes Principais (PCA), que é um método de estatística multivariada de expressivo destaque nas geociências, que neste trabalho foi feita com o objetivo de identificar as principais variáveis responsáveis pelas variações de qualidade entre os pontos. Para tanto foi utilizado o software estatístico R[®] (R Core Team, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nível estático das fontes hídricas

Na tabela 3 se verifica o comportamento do nível estático dos pontos nas coletas avaliadas e a indicação de fontes de água superficial que estavam secas durante o momento da coleta.

Tabela 3 - Variação do nível estático nos pontos para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade da água .

Ponto	Tipo de poço	Profundidade do poço (m)	Altitude (m)	Nível estático (m)		
				Coleta		
				2 ^a (Abril / 2017)	3 ^a (Outubro/ 2017)	4 ^a (Março/ 2018)
4	Raso	10	25	4,27	5,68	9,25
6	Profundo	60	30	10,81	11,16	12,75
10	Profundo	66	42	5,83	11,00	12,7
16	Profundo	71	112	23,55	25,50	27,43
17	Profundo	70	119	23,65	25,71	28,36
37	Água superficial	-	18	AD	Seco	Seco
42	Profundo	69	38	> 30	> 30	> 30
48	Água superficial	-	19	AD ¹	Seco	AD
49	Água superficial	-	21	AD	Seco	AD
50	Água superficial	-	18	AD	Seco	IN ²
52	Água superficial	-	12	AD	Seco	AD
53	Água superficial	-	12	Seco	AD	AD
57	Raso	13	23	AD	13	AD
71	Profundo	30	48	AD	30	IN
74	Profundo	25	12	AD	25	AD

Legenda: 1: AD - Água disponível (Nas fontes água superficial ou em poços sem abertura para medição do nível estático); 2: IN- Inacessível.

Na primeira coleta de dados do nível estático dos poços (abril de 2017), foi obtido um valor médio de 11,11 m. Na coleta seguinte (outubro/2017) o nível estático médio foi 13,33 m na última coleta (março/2018) foi 15,35 m. Se observou um rebaixamento do nível estático ao longo das coletas. Nas águas superficiais, no período seco se verificou escassez de água, com exceção do ponto 53 (Lagoa dos Porcos), o que mostra a susceptibilidade a evaporação desse tipo de fonte hídrica.

Os poços profundos dos pontos 71 e 74 secaram totalmente no período seco, assim como o ponto 57 (poço raso). No entanto, nos poços profundos dos pontos 6, 10, 16 e 17 se verificou uma redução de no máximo 40,51% em relação a capacidade total de armazenamento do poço, visto no ponto 17, o que mostra que apesar do rebaixamento do nível estático, a água subterrânea se mantém como uma alternativa importante para a disponibilizar água a comunidade.

Nos poços rasos avaliados (ponto 4 e 57), verificou-se que o rebaixamento do nível estático foi mais limitante para a disponibilização de água para o produtor, em que estes pontos ficaram sem água armazenada durante o período seco. Isso é justificado devido aos poços rasos possuírem menor profundidade e capacidade de armazenamento de água.

Nos poços das propriedades que os produtores usam a água para fins de irrigação, se verificaram as menores variações do nível freático, de no máximo 4,71 m, observado no ponto 17. Comportamentos semelhantes foram obtidos por Andrade et al., (2016), que obtiveram um menor declínio do lençol freático em áreas irrigadas, em comparação a áreas de sequeiro no Baixo Acaraú, mostrando o efeito da irrigação na manutenção do nível freático. Diante disso, pode-se inferir que a água de irrigação pode estar sendo aplicada em quantidades acima do que é requerido pelas culturas, sendo necessário assim, a realização de cálculo a fim de usar a água de modo mais eficiente.

Um estudo realizado no semiárido de Alagoas, numa área com predomínio de aquífero cristalino, observou-se que precipitações mensais acima de 100 mm possibilitaram a saturação do solo e recarga dos aquíferos (SANTOS; FREIRE; SOUZA, 2008). Diferentemente do estudo supracitado, os pontos avaliados no presente trabalho predominam no aquífero sedimentar, que apresenta características diferentes do embasamento cristalino, como uma maior capacidade de armazenamento de água e vazão (SILVA; ARAÚJO; SOUSA, 2008), o que pode explicar o rebaixamento do nível estático nos poços avaliados.

Além disso, a região semiárida apresenta uma evapotranspiração potencial maior que as taxas de precipitação, portanto seriam necessárias situações favoráveis de precipitação

para o volume precipitado ser capaz de promover a recarga dos aquíferos (VASCONCELOS, TEIXEIRA; ALVES NETO, 2010) ou poderiam ser adotadas novas tecnologias que proporcionasse o reuso ou redução do uso da água, para que as baixas precipitações proporcionarem a reposição das águas utilizadas (PRISCIANDARO et al., 2016).

4.2 Distribuição dos pontos de coleta

Os pontos da margem direita do Rio Jaguaribe apresentam altitude que variam de 4 a 130 m, em que as menores altitudes são nos pontos 1, 2, 3, 37 e 38, correspondentes a fonte de água superficial. Foram estudados 19 poços profundos de profundidade média de 111,55 m na margem direita do Rio Jaguaribe, com maior número nos municípios de Quixeré e Jaguaruana.

Um considerável número de poços profundos pode ser verificado na margem direita do Rio Jaguaribe, porque em 1996 houve um aumento das perfurações dos poços no aquífero de formação Jandaíra para destinar água a irrigação (MORAIS et al., 2005).

Na margem esquerda do Rio Jaguaribe, as altitudes do pontos variam entre 9 a 48 m, portanto esta margem é menos elevada que a margem direita. Um maior número de poços rasos foi estudado nesta margem do Rio Jaguaribe, com 18 poços rasos de 12,9 m de profundidade média. Os poços profundos da margem esquerda do Rio Jaguaribe possuem um valor médio de 60,2 m de profundidade observados nos municípios de Itaiçaba, Jaguaruana e Palhano.

4.3 Características físico-químicas da água

As médias obtidas de pH, CE concentração dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e S-SO_4^{2-} em cada coleta estão dispostos nas tabelas 4, 5, 6 e 7 no anexo.

4.3.1 pH

Na margem direita do Rio Jaguaribe, o pH médio por coleta das águas superficiais variou de 7,56 a 8,58. Nos poços rasos, foram observados valores de 7,74 a 8,04 e nos poços

profundos variando de 7,88 a 8,14 ao longo das coletas.

Na margem esquerda, o pH médio das águas superficiais se encontraram numa faixa de 7,62 a 7,83. Nos poços rasos variou de 7,38 a 7,49 e nos poços profundos foram encontrados valores entre 7,07 a 8,02. De acordo com Ayers e Westcost (1999), valores de pH entre 6 e 8,5 estão numa faixa normal para agricultura. Em um estudo de qualidade de água no Rio Jaguaribe durante o período chuvoso e seco do ano em 2013, os valores de pH se também mantiveram numa faixa de 6 a 9,0 (FREIRE et al., 2013).

Neste estudo, valores de pH acima do padrão para irrigação foram obtidos nos pontos 3 (pH= 9,39), na 2ª coleta e no ponto 40 na 1ª (pH = 9,64) e 2ª coleta (pH = 9,39). Elevados valores de pH nestes pontos e épocas de coleta ocorreram pelo aumento da concentração dos íons carbonatos e bicarbonatos na água. A presença destes íons geram problemas de entupimentos na tubulações, o que reduz a eficiência da aplicação de água no sistema de irrigação (SOTO et al., 2017). Em situações de valores de pH inferior a 5 quase todos os íons carbonatos e bicarbonatos se convertem em dióxido de carbono, por isso não são verificadas problemas de carbonato e bicarbonato nas águas (NAN et al., 2016).

No ponto 60 (poço raso) foram verificados valores de pH abaixo do recomendado para a irrigação ao longo das coletas. Alguns autores associam a redução do pH a presença de materiais sulfurosos (LILICRAP et al., 2018; ARAÚJO et al., 2015) e isso explica estes baixos valores de pH no ponto 60, visto que a concentrações de $S-SO_4^{2-}$ neste ponto são superiores as observadas nos demais pontos de coleta.

Um baixo valor de pH (6,47) também foi obtido no ponto 36, no poço profundo da margem esquerda na 2ª coleta, em uma fazenda de carcinicultura. Em um estudo de atividades de carcinicultura em Aracati, também foram verificados baixos valores de pH em região próxima a saída de efluentes da carcinicultura, no Rio Jaguaribe (COSTA, 2009), logo menores valores de pH associado a produção de camarão pode ser atribuída a lâmina de resíduos orgânicos no viveiro, oriundos de diversas fontes, como das fezes dos camarões, de camarões mortos, de caramujos e da deposição do fitoplâncton, comumente observado no esvaziamento do viveiro FIGUEIREDO et al., 2006; BRITO et al., 2017).

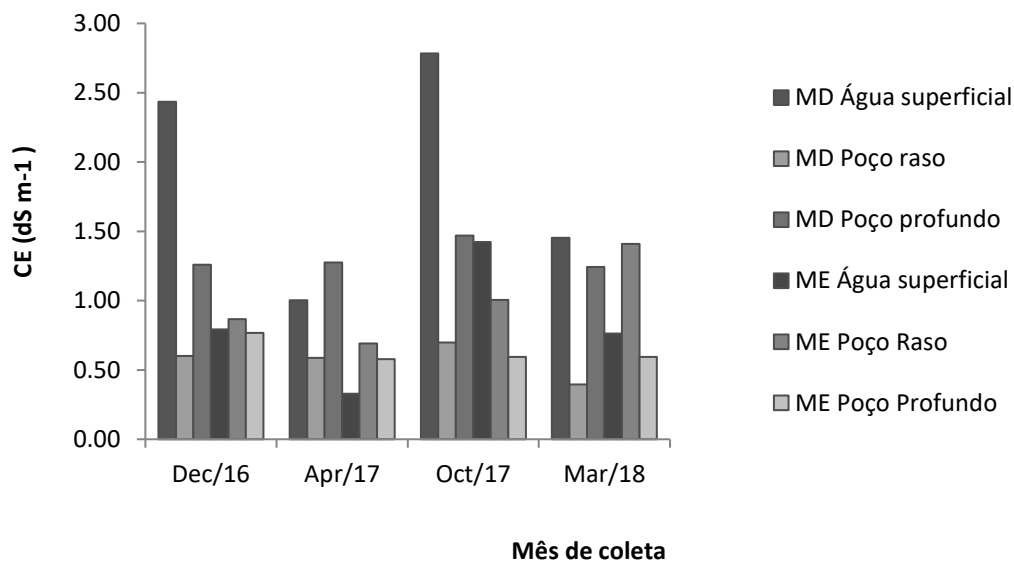
4.3.2 Condutividade elétrica

Na margem esquerda do Rio Jaguaribe, as médias de CE de águas de superfície,

inseridas no aquífero aluvionar, variaram entre 0,33 a 1,42 dS m⁻¹ por coleta, com maior CE (2,09) observada no ponto 18, no período seco (3^a coleta).

Em média, o máximo grau de restrição verificado nas fontes de água ao longo das coletas foi restrição moderada. Na figura 7 estão apresentados os valores de precipitação verificados dentro do período de coleta e os valores de CE obtidos nas duas margens do Rio Jaguaribe nas três fontes avaliadas.

Figura 7 - Variações da CE verificada no período de coletas.



Legenda: MD - Margem direita; ME – Margem esquerda.

Os poços rasos da margem esquerda (ME) foram observados valores médios entre 0,69 e 1,41 dS m⁻¹ por coleta, com valor máximo (4,38 dS m⁻¹) verificado no ponto 24, poço raso inseridos na formação Faceiras (Grupo Barreiras).

No material de origem aluvionar, no ponto 30 (poço raso) também foi verificada moderada restrição de uso da água na agricultura ao longo de todas as coletas avaliadas. Isso ocorre provavelmente por este ponto está numa área mais baixa (altitude: 9 m) em relação aos demais poços rasos nesta margem do Rio Jaguaribe, pela deposição de sais de áreas mais elevadas. Os três poços profundos observados na margem esquerda, apresentaram valores

mínimos e máximo de 0,31 a 1,61 dS m⁻¹, respectivamente, ao longo das coletas.

No ponto 32 (poço profundo. Localidade: Mendonça), na margem esquerda, se verificou a maior concentração de sais, com CE acima de 3,0 dS m⁻¹ continuamente, variando entre 16,79 a 17,93 dS m⁻¹, mostrando que este ponto apresentou restrição severa ao longo de todo o período analisado. Durante as coletas neste local (Mendonça) a comunidade mostrou interesse em comunicar que a água desse poço comunitário não tinha muito uso por conta da sua alta salinidade e pediram que fosse prestada uma maior atenção do poder público para melhorar sua qualidade, visto que é um local de fácil acesso a estradas e a comunidades vizinhas, o que facilitaria o acesso à água de qualidade a uma boa parte da população. Este ponto está inserido em área de Formação Faceiras (Grupo Barreiras), que é um grupo que se caracteriza por se situar próximo aos sedimentos eólicos e por vezes afloram próximo a praia, constituindo falésias vivas (BEZERRA; MAIA, 2012).

Num outro estudo de qualidade de águas subterrâneas inseridas em área de formação Barreiras também foram verificadas águas com restrição severa, com valores de CE em torno de 6,5 dS m⁻¹, na região metropolitana em Fortaleza (FERNANDES et al., 2008). Numa avaliação de salinidade de águas subterrâneas, obtiveram-se maiores valores de salinidade na área de Grupo Barreiras (Formação Faceiras) que no Calcário Jandaíra, visto que neste tipo de formação é possível ocorrer uma diluição dos sais a cada período chuvoso pela recarga de água oriunda de sumidouros encontrados em áreas inseridas no Calcário, o que não acontece no grupo Barreiras (MEDEIROS et al., 2003; ANA, 2010). Portanto, águas com poços de material de origem inserido na formação faceiras deve-se dar uma maior atenção quando para irrigação, pela concentração de sais.

No ponto 55 (Localidade Ramalho) também se verificou restrição severa para uso na irrigação ao longo das coletas. O ponto é um fonte de água superficial (barragem) no município de Itaiçada e é próximo ao estuário, o que explica a elevada concentração de sais nas águas, ocasionado pela intrusão da água do mar (CAI et al., 2015).

As águas superficiais da margem direita apresentaram valores médios por coleta numa faixa de 1,00 a 2,78 dS m⁻¹. Os maiores valores de CE nesta margem foram obtidos no ponto 2, numa barragem na localidade de Córrego do Machado, durante o período seco (1^a e 3^a coletas), com valores em torno de 4,03 dS m⁻¹.

A elevada salinidade no período seco, evidente na 3^a coleta, provavelmente foi

causado pela redução da precipitação, concomitante com a elevada evaporação dos corpos d'água, o que resultou no aumento do teor de sais nesta fonte, enquanto que um aumento no aporte de água no período chuvoso diminui a concentração de sais nas águas superficiais (JONES; VLIET, 2018). Durante as coletas no período seco, as fontes de águas superficiais coletadas neste estudo apresentaram uma considerável redução no volume de água em comparação ao período chuvoso. Além disso, num estudo feito em Itaiçaba-CE, município próximo a área de estudo, a alta concentração de sais mostrou ter sido influenciada pela evaporação da água, pelo período de baixa precipitação e pelos despejos dos efluentes municipais e da carcinicultura da região no rio (NOBRE, 2009).

Em relação às águas subterrâneas do lado direito do Rio Jaguaribe observou-se uma maior frequência de poços inseridos em material de Formação Jandaíra. A CE dos poços profundos da margem direita apresentou valores médios de $1,47 \text{ dS m}^{-1}$ ao longo das coletas, sendo superiores ao poços rasos, com valor médio de $0,70 \text{ dS m}^{-1}$. SILVA et al. (2015) assim como neste estudo, encontraram variação na qualidade das águas no Calcário Jandaíra, obtendo águas do tipo C1, C2, C3 e C4 nos poços inseridos em municípios do Baixo Jaguaribe, no estado do Ceará e em Mossoró e Baraúna, no Rio Grande do Norte, com as águas apresentando maior salinidade no período seco. Portanto, deve-se dar uma atenção aos pontos 2, 24, 32, 41, 45, 48, 52, 55, 63, 66 e 73, maioria inserido na margem esquerda do Rio Jaguaribe, com exceção do ponto 2, por terem apresentado um grau de restrição severo em pelo menos uma das amostragens, principalmente durante o período seco.

4. 3. 3 Cálcio e Magnésio

Nas águas superficiais da área avaliada observou-se um valor máximo de Ca^{2+} de $12,20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ numa barragem inserida em depósito aluvionar, no ponto 2. Nas coletas seguintes, obtiveram-se menores teores de Ca^{2+} neste ponto, de até $1,6 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, no período de chuvas. De acordo com Ayers e Westcott, as concentrações deste íon em até $20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ são consideradas adequadas.

O lançamento contínuo de efluentes no Rio Jaguaribe e em demais corpos d'água, aumentam os nutrientes nas águas, contribuindo para a eutrofização de lagos e barragens na região. A barragem de Itaiçaba, dentro da sub-bacia estudada, é um exemplo de corpo hídrico

que tem o seu espelho d'água coberto por macrófitas (FIGUEIREDO et al., 2006).

Nos poços rasos, na margens direita obtiveram-se valores médios de 0,85 a 2,27 mmol_c L⁻¹ por coleta. Na margem esquerda do Rio Jaguaribe, que possui um maior número de poços rasos foram observados valores mínimos e máximo de 0,09 a 4,15 mmol_c L⁻¹ de Ca²⁺. Nos poços profundos da margem direita, os teores médios por coleta obtidos foram: 1,59 a 3,75 mmol_c L⁻¹, e na margem esquerda de 0,19 a 0,77 mmol_c L⁻¹ de Ca²⁺.

Nos pontos em que se observaram baixas concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ ou Na⁺ elevado, podem resultar em problemas de baixa infiltração no solo. As menores concentrações de Ca²⁺ em águas subterrâneas podem ocorrer devido a precipitação de sais, visto que o Ca²⁺ é o cátion mais susceptível à reação, precipitando-se em carbonato e sulfato, que são sais de baixa solubilidade (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 1998; SILVA; MIGLORINI, 2014).

As concentrações de Ca²⁺ mais elevadas provavelmente são decorrentes da aplicação de calcário feitas pelos produtores de carcinicultura, visando corrigir o pH, neutralizar o Al e o Mn tóxico disponível nos viveiros (QUEIROZ, BOEIRA, 2006). Na maioria das fazendas, a aplicação de calcário é feita sem uma análise de solo e o excesso de aplicação faz com que o Ca²⁺ seja lixiviado na fase de enchimento do viveiro no ciclo de produção (FIGUEIREDO et al., 2006). Os pontos 32, 48 e 55 apresentaram teor de Ca²⁺ acima do limite recomendado para ser usado na irrigação em pelo menos uma das coletas.

Em relação ao Mg²⁺, este íon apresenta propriedades similares ao Ca²⁺, porém é mais solúvel e dificilmente precipita, e quando ocorre é na forma de bicarbonato. O Mg²⁺ e o Ca²⁺ compõem a dureza da água, conferindo a esta um sabor salobro (SANTOS; FREIRE; SOUSA, 2008).

Nas águas de superfície da margem esquerda do Rio Jaguaribe, os teores médio de Mg²⁺ por coleta variaram de 0,87 a 2,87 mmol_c L⁻¹. Os maiores teores foram observados nos dois períodos secos em água superficial (ponto 2), com concentração acima do normal para irrigação, que é até 5 mmol_c L⁻¹ (AYERS; WESTCOST, 1999).

Nos poços rasos da margem direita os valores médios por coleta variaram de 0,86 a 3,02 mmol_c L⁻¹. Na margem esquerda, verificaram-se concentrações entre 1,80 a 4,67 mmol_c L⁻¹ de Mg²⁺. Nesta margem, obteve-se um valor máximo de 12,46 mmol_c L⁻¹ no ponto 24 (Formação Faceiras) a água da localidade vem sendo utilizada para consumo dos animais. Nos poços profundos da margem esquerda, os valores médios por coleta foram: 1,32 a 2,40 mmol_c L⁻¹. Na margem direita, os poços profundos inseridos em sua maioria no Calcário Jandaíra, apresentaram teores de Mg²⁺ de 3,38 a 4,77 mmol_c L⁻¹ por coleta. Portanto, uma

maior concentração de Mg^{2+} é verificado na margem direita. Os teores de Mg^{2+} podem estar associados ao material de origem, visto que a maioria dos poços profundos na margem direita do Rio Jaguaribe estão inserido na formação Açú e na Formação Jandaíra, que apresentam uma variação litológica compostas por calcários, siltitos, folhelhos e dolomitos (FEITOSA, 1994; VASCONCELOS, TEIXEIRA; ALVES NETO, 2010). Águas subterrâneas com material de origem calcário e rochas dolomíticas podem conter altos níveis de carbonato de cálcio e magnésio, devido a dissolução do seu material (OKUBO, 2011) e mais de 20 oligoelementos presentes em quantidade variáveis, principalmente Fe, Mn, B, Ni, Cu, Zn, Mo (DIAS, 2000).

No presente trabalho, obtiveram-se concentrações de Mg^{2+} acima do recomendado para irrigação nos pontos 1, 12, 13, 27, 32 na 1ª coleta. Na 2ª coleta o mesmo se observou nos pontos 3, 13, 32 e 36. Na 3ª coleta os pontos 1, 2, 10, 13, 16, 18, 24 e 32 são considerados inaptos para a irrigação, assim como nos pontos 3, 10, 13, 23, 24 e 32 na 4ª coleta. Valores acima do recomendado também foram verificados nos pontos 45, 48, 53, 55 e 75.

Assim como neste estudo, em uma avaliação de qualidade hídrica de poços situados no calcário Jandaíra, no Rio Grande do Norte, foram obtidas concentrações de magnésio acima do recomendado para o consumo humano e uso na agricultura, em que o autor recomenda que o uso dessas água na irrigação seja usada em culturas mais tolerantes a salinidade (MISTRETTA, 1984).

4.3.4 Sódio e potássio

Na margem direita, a concentração de sódio (Na^+) nas águas superficiais apresentou valores médios por coleta variando de 4,40 a 14,68 $mmol_c L^{-1}$. Na margem esquerda, verificaram-se valores médios de 1,98 a 8,93 $mmol_c L^{-1}$ de Na^+ .

Em dois poços rasos na margem direita o teor médio de sódio por coleta variou entre 1,50 a 3,98 $mmol_c L^{-1}$. Na margem esquerda, os valores médios entre as coletas tiveram uma maior amplitude, variando de 3,21 a 7,05 $mmol_c L^{-1}$ de Na^+ por coleta.

Nos poços profundos da margem direita, obtiveram-se médias por coleta variando de 4,78 a 6,55 $mmol_c L^{-1}$ enquanto que na margem esquerda 2,70 a 5,21 $mmol_c L^{-1}$. Concentrações de Na^+ de até 40 $mmol_c L^{-1}$ são considerados adequados para irrigação, de acordo com o estabelecido pelas diretrizes de qualidade de água.

O Na^+ foi o cátion predominante nas águas deste estudo, mas a maioria dos pontos apresentou teor de sódio abaixo de $40 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$, com exceção do ponto 31 (Ramalho), 48 (lagoa dos afogados) e 55 (Itaiçaba), em que já foram mencionados quanto a sua elevada problemática de salinidade.

Deve-se dar uma atenção também ao ponto 2, água superficial na localidade: Córrego do Machado, em que a concentração de Na^+ se eleva consideravelmente no período seco. Avaliando a qualidade de águas subterrânea para irrigação em vários municípios na região do Baixo Jaguaribe, Barroso et al. (2010) verificaram que o Na^+ foi o íon encontrado em maior concentração na maioria das amostras de água analisadas, assim como neste trabalho. Altas concentrações de Na^+ ocorrem associados ao íon Cl^- . Resultados semelhantes foram obtidos em análises de água do Rio Jaguaribe, coletadas em Iguatu-CE, com concentrações de Na^+ acima do limite, o que pode causar problemas de toxidez à culturas (BATISTA et al. 2016).

Em relação ao potássio (K^+), foi o íon que apresentou menor concentração em relação ao Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ em todas as amostras analisadas. Na margem direita do Rio Jaguaribe, nas águas superficiais a concentração deste íon variou de 0,09 a $0,96 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$. Nos poços rasos de 0,08 a $0,27 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$, nos poços profundos de 0,06 a $1,37 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ de K^+ , com maior concentração no ponto 15. Enquanto que na margem esquerda, as águas superficiais apresentaram concentrações de 0,05 a $1,73 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$. Nos poços rasos, os valores tiveram numa faixa de 0,04 a $1,45 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ e nos poços profundos de 0,09 a $0,87 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$.

O K^+ é um íon que tem como principal fonte a sua liberação pelo intemperismo das rochas e adição pela atividade antrópica, visto que está presente em fertilizantes usados na agricultura (GURAV et al., 2018). No entanto, o íon K^+ interage com os componentes do solo, mantendo-se em baixas concentrações na solução do solo (SIMONSSON; HILLIER; OBORN, 2009).

4.3.5 Cloreto

Na margem direita, as concentrações médias de Cl^- nas águas de superfície variaram de 5,33 a $21,56 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ ao longo das coletas. Nos poços rasos variou de 1,42 a $3,54 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ e nos poços profundos obtiveram-se valores médios de 7,07 a $7,79 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ por coleta.

Concentrações de até $30 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ são consideradas adequadas. Os pontos 1 e 2 apresentaram os valores mais extremos na 3ª coleta, com médias de $26,75 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ e $29,92 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ respectivamente. Além dos pontos 1 e 2, no ponto 32, 45, 48, 55, 73, 75 o teor de Cl^- atingiu níveis inadequadas para uso na agricultura, requerendo uma maior atenção nestes pontos em relação ao manejo da irrigação. Concentrações de Cl^- acima de $30 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$ são prejudiciais à agricultura e quando absorvido pelas raízes das plantas se acumula nas folhas com o processo de transpiração (PAZAND et al., 2018). A irrigação por aspersão pode causar queimaduras nas folhas e redução da produtividade, logo o sistema mais indicado é o gotejamento (YAN et al., 2013; LI et al., 2017).

Nos demais pontos desta margem, mesmo o íon Cl^- estando em concentração superior aos demais ânions, a sua concentração se apresentou dentro do limite aceitável para uso da água na irrigação.

Ao se avaliar a margem esquerda as águas superficiais apresentam teores variando de $1,23$ a $10,02 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$, com maior concentração obtida no período seco (3ª coleta). Os poços rasos apresentaram valores médios de $3,89$ a $10,67 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$. Nos poços profundos, obtiveram-se concentrações médias de $2,58$ a $5,19 \text{ mmol}_c\text{L}^{-1}$.

Em outro estudo com ponto de coleta semelhante ao deste trabalho, no Rio Palhano, localizado a margem esquerda no Rio Jaguaribe, a água foi classificada como cloretada sódica, apresentando CE com valores de $1,03 \text{ dS m}^{-1}$, $1,78 \text{ dS m}^{-1}$ em março e agosto de 2012, respectivamente (NOBRE, 2009), o que mostra que se deve dar uma maior atenção na irrigação nesta margem do Rio Jaguaribe. Assim como neste trabalho, a coleta foi feita em período de baixa precipitação e a alta concentração de sais mostra ter sido influenciada pela evaporação da água e pelos despejos dos efluentes municipais e da carcinicultura da região no rio (NOBRE, 2009).

Em Quixeré, município inserido na Sub-bacia do Baixo Jaguaribe, o íon Cl^- exerceu maior influência nos altos valores da CE na profundidade de $0 - 60 \text{ cm}$, o que mostra a lavagem desses nutrientes no solo e sua elevada adição na região de estudo (ANA, 2010). O Cl^- forma compostos de alta solubilidade e se concentra, juntamente com o Na^+ em zonas de recarga subterrânea. Concentrações elevadas de Cl^- provavelmente são ocasionadas pela intrusão da água do mar e por contaminação por aterros sanitários (PERERA et al., 2018).

4.3.6 Enxofre

A presença desse elemento em águas subterrâneas tem como possíveis causas a dissolução do material originário do aquífero ou pela atividade bacteriana na decomposição da matéria orgânica, comum em meios pobres de oxigênio, bem como íons lixiviados de resíduos industriais, efluentes de esgoto e uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos (HELENA, 2000; SARTI et al., 2008).

Na margem direita do Rio Jaguaribe, a concentração média de $S-SO_4^{2-}$ por coleta variou de 0,82 a 3,73 $mmol_cL^{-1}$ nas águas de superfície. Nas águas de poços rasos, a concentração variou de 0,14 a 0,56 $mmol_cL^{-1}$ de $S-SO_4^{2-}$, enquanto que nos poços profundos obtiveram-se valores de 1,34 a 3,81 $mmol_cL^{-1}$ de $S-SO_4^{2-}$.

Na margem esquerda, foram verificadas concentrações de 0,28 a 1,24 $mmol_cL^{-1}$ nas águas de superfície. Nos poços rasos, obteve-se valor médios por coleta variando 0,36 a 1,47 $mmol_cL^{-1}$ e nos poços profundos de 0,33 a 1,79 $mmol_cL^{-1}$ de $S-SO_4^{2-}$. Uma faixa de 0 a 20 $mmol_cL^{-1}$ é considerada normal normal para uso na irrigação. Neste estudo nenhum ponto chegou 20 $mmol_cL^{-1}$, logo não há restrições por $S-SO_4^{2-}$ nos pontos avaliados.

4.3.7 Carbonato e bicarbonato

As águas superficiais da margem direita apresentaram concentrações médias por coleta entre 0 a 0,27 $mmol_cL^{-1}$ de carbonato (CO_3^{2-}). Os pontos de água superficiais avaliados apresentaram as maiores concentrações na 2ª coleta (período chuvoso). Nas águas subterrâneas, os poços rasos apresentaram concentrações de 0,07 a 0,25 $mmol_cL^{-1}$ de CO_3^{2-} . Nos poços profundos os valores médios obtidos variaram de 0,17 a 0,30 $mmol_cL^{-1}$ de CO_3^{2-} .

Na margem esquerda, as águas de superfície apresentaram concentrações de 0,02 a 0,11 $mmol_cL^{-1}$. Os poços rasos apresentaram valores médio de 0,07 a 0,17 $mmol_cL^{-1}$ e os poços profundos de 0,08 a 0,21 $mmol_cL^{-1}$ de CO_3^{2-} .

Concentrações de CO_3^{2-} acima de 0,1 $mmol_cL^{-1}$ já são consideradas fora do ideal para irrigação, pois podem promover a precipitação de cálcio, o que facilitaria a sodificação (AYERS; WESTCOST, 1999) e a precipitação de micronutrientes no solo pela elevação do pH após anos de cultivo (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001).

Neste estudo, na 1ª coleta obteve-se valores acima de 0,1 $mmol_cL^{-1}$ nos pontos 1;

4; 5; 6 ; 7; 8; 9; 13; 22; 23;24; 31; 35; e 36. Na 2ª coleta, a maioria dos pontos da margem direita apresentou restrição por carbonato, com exceção dos pontos 6; 9; 12; 13 e 16. Na margem esquerda apenas os pontos 22; 23; 24; 33 e 35 apresentaram concentrações acima do ideal.

Na 3ª coleta, a maioria dos pontos da margem direita continuou a apresentar limitações pela concentração de CO_3^{2-} , com exceção dos pontos 1; 2; 3; 4; 6; 10; 12 e 16. Na margem esquerda, observou limitações apenas nos pontos 18; 20; 22; 23; 24; 26 e 35.

Na 4ª coleta, no período chuvoso, quase todos os pontos da margem direita apresentaram restrições, com exceções nos pontos 1; 5; 8 e 16. Na margem esquerda, apenas 7 pontos apresentaram maior limitação, verificados nos pontos: 18; 20; 22; 23; 24; 26 e 35.

Portanto, a margem direita, que apresenta um predomínio de poços inseridos no calcário Jandaíra apresentam maiores limitações por CO_3^{2-} . Portanto, nos pontos em que a concentração de CO_3^{2-} apresentou-se acima do limite recomendado, deve-se ter cuidado em relação ao entupimento dos emissores da irrigação localizada que interfere na uniformidade e distribuição de água e fertilizantes via fertirrigação (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001).

Quanto ao bicarbonato (HCO_3^-), a faixa normal de concentração na água para irrigação é de 0 a 10 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ (AYERS; WESTCOST, 199). Na margem direita do Rio Jaguaribe, as concentrações médias de bicarbonato nas águas de superfície variaram de 1,73 a 3,75 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ de HCO_3^- por coleta. Nas águas subterrâneas, nos poços rasos variou de 1,37 a 3,56 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ e em poços profundos variou de 2,14 a 2,99 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ de HCO_3^- .

Na margem esquerda, as águas superficiais apresentaram uma concentração de 1,27 a 2,59 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$. A água dos poços rasos apresentou de 1,56 a 2,08 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$, enquanto que os poços profundos apresentaram uma variação de 1,37 a 1,74 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ de HCO_3^- .

Num estudo de qualidade de águas de irrigação no baixo Jaguaribe, 47,5% das águas subterrâneas analisadas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas, com grande variabilidade nas concentrações de HCO_3^- , variando de 0,11 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ a 3,83 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ de HCO_3^- (BARROSO et al., 2010) e assim como neste estudo, os valores se apresentaram dentro da concentração considerada normal para uso na irrigação.

As águas de aquíferos sedimentares, em geral, apresentam baixa salinidade e normalmente são águas bicarbonatadas-mistas, ou comumente cloretadas-mistas, em que o termo “mista” reflete uma homogeneidade dos sedimentos que constituem o aquífero explorado (LIMA et al., 2002).

Em situações de água de irrigação com elevadas concentrações de HCO_3^- , há uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio, aumentando o risco de sodicidade no solo (HANNAN et al. 2016). Neste estudo, nenhum dos pontos apresentou concentrações de HCO_3^- acima do ideal.

4.3.8 Boro

Uma faixa de 0-2 ppm de B na água de irrigação é considerada normal na agricultura. Em concentrações excessivas, as plantas apresentam clorose e necrose como sintomas de toxidez (LIMA et al., 2007). Na região estudada, a concentração máxima verificada foi menor que 0,5 ppm. Portanto, não há riscos por excesso de B nas plantas pela água de irrigação. A concentração de B entre as fases sólida e líquida do solo é dependente do pH. Alguns autores tem obtido aumento de adsorção de B na fase sólida com um aumento de pH numa faixa 7,5 a 8,5 e a partir de então a adsorção decresce (CATANI; ALCARDE; FURLANI, 1971).

Quando o B está em concentrações que causam problemas de fitotoxicidade às culturas, as prováveis causas são: o descarte inadequado de resíduos industriais e efluentes urbanos, além do manejo inadequado de insumos agrícolas que contém B, como herbicidas e inseticidas (SOARES; CASAGRANDE; ALLEONI, 2008).

4.3.9 Relação de Adsorção de Sódio (RAS)

Os valores de RAS considerados normais estão numa faixa de 0 a 15. Na margem direita do Rio Jaguaribe, os valores médios de RAS por coleta das águas superficiais avaliadas variaram de 3,05 a 6,94. Os poços rasos apresentaram valores de RAS de 1,16 a 4,49 e os poços profundos de 3,29 a 5,19.

Na margem esquerda, as águas superficiais apresentaram valores de RAS variando de 3,05 a 6,20. Os poços rasos apresentaram valores entre 2,69 a 4,87 e nos poços profundos, a RAS variou de 2,58 a 6,99. com o maior valor sendo observado no ponto 36, numa fazenda de carcinicultura, durante o período seco (1ª coleta).

Em todos os pontos avaliados o valor de RAS esteve sempre dentro da faixa de

normalidade. No entanto, o risco de sodicidade da água para uso na irrigação, também é influenciado pela condutividade elétrica (CE), em que maiores valores de CE atenuam o risco de sodificação pela água aplicada na irrigação, pelo efeito de floculação dos sais no solo (JELDRES et al., 2017).

4.4 Qualidade da água para irrigação quanto ao risco de salinização

O risco de salinização do solo pela água, levando-se em consideração à disponibilidade de água para as plantas, é avaliada pelo valor da condutividade elétrica (CE). A água que apresenta valores de CE menores que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ não possuem restrições para o uso na agricultura, os valores entre $0,7$ e 3 dS m^{-1} apresentaram uma moderada restrição, enquanto que os pontos com CE acima de 3 dS m^{-1} possuem restrição severa (AYERS; WESTCOST, 1999).

Neste estudo, os pontos das margens direita e esquerda apresentaram variações, como apresentado na tabela 8, que mostra a porcentagem dos pontos em relação ao grau de risco de salinização.

Tabela 8. Risco de salinização das fontes hídricas (%) em função do período de coleta e localização.

Margem	Amostragem/ Período	Pontos (%)		
		Grau de restrição		
		Nenhum CE < 0,70 dS m-1	Ligeira a moderada 0,70 < CE < 3,0 dS m-1	Severo CE > 3,0 dS m-1
Direita	1 (Período seco)	41,18	47,06	11,76
	2 (Período chuvoso)	35,29	58,82	5,88
	3 (Período Seco)	29,41	52,94	17,65
	4 (Período Chuvoso)	41,18	58,82	0,00
Esquerda	1 (Período seco)	47,37	47,37	5,26
	2 (Período chuvoso)	52,63	42,11	5,26
	3 (Período Seco)	21,05	73,68	5,26
	4 (Período Chuvoso)	42,11	47,37	10,53

Fonte: Autora.

Na margem esquerda, 25% dos pontos são águas de superfície, 45% são poços rasos e 30% são poços profundos, enquanto que na margem direita há um predomínio de poços profundos (70,5%) em relação a frequência de poços rasos (11,76%) e águas de superfície (17,64%).

Pode-se observar que na 1ª coleta (dezembro/2016), aproximadamente 50% dos pontos apresentaram restrição moderada nas duas margens do Rio Jaguaribe. Os pontos que apresentaram restrição severa foram os pontos 2, 13 e 32, com valores de CE 5,09, 3,69 e 17,09 dS m⁻¹, respectivamente.

Na 2ª coleta, no mês em que se verificou a maior precipitação (abril/2017), diminuiu a quantidade de pontos (5,88%) com restrição severa na margem direita, em que o ponto 2, que é uma fonte de água superficial, passou a ter restrição moderada de uso, com CE igual a 0,92 dS m⁻¹. Na margem esquerda, 11% dos pontos que apresentavam restrição moderada, passaram a não apresentar restrição.

A margem esquerda do Rio Jaguaribe com maior número de poços rasos estudados em relação a margem direita. Num estudo feito no município de Pombal-PB, também foi observado um efeito das chuvas na redução da condutividade elétrica da água em poços rasos e assim como predominou neste estudo, as águas foram classificadas como de salinidade moderada (CHAVES et al., 2015).

Com a chegada do período seco, na 3ª coleta, a margem direita, que tem um predomínio de poços profundos, apresentou um aumento de 11,7% de pontos com restrição severa, observado nos pontos 1, 2 e 13.

Na margem esquerda, 73,68% passaram a apresentar restrição moderada, ou seja, houve um aumento de restrição em 31,6% dos pontos que não estavam apresentando restrições de uso. Portanto, com a chegada do período seco, houve um aumento da concentração de sais em ambas às margens, mais evidente na margem esquerda.

Na 4ª coleta (período chuvoso), na margem direita, o máximo grau de restrição verificado foi de ligeiro a moderado, não se observando restrição severa, enquanto que na margem esquerda, 21% dos pontos que apresentavam moderada restrição passaram a não apresentar restrição, e 5,4% passaram a apresentar restrição severa (pontos 24, com 4,38 dS m⁻¹).

Um estudo realizado em Valladolid, na Espanha, verificou a influencia de poluentes de atividades agrícolas afetando a qualidade das águas subterrâneas, aumentando a

concentração iônica das águas próximas a fontes poluidoras (HELENA et al. 2000), o que mostra que as formas de uso e a ocupação do solo nos pontos de coleta afetam a qualidade desse recurso hídrico.

No presente estudo, as atividades agrícolas e aquicultura são atividades que afetam a qualidade dessas águas de irrigação no Baixo Jaguaribe, visto que são atividades de expressiva influencia econômica na região, contando com mais de 50 fazendas voltadas para a criação de camarão, com um espelho d'água de mais de 2000 ha, inseridos nos municípios de Itaiçaba, Jaguaruana e Quixeré (LEITÃO et al., 2011). Os processos de descarga para a renovação da água dos tanques e aplicação de produtos como calcários, fertilizantes e rações podem gerar problemas ambientais (NOBRE, 2009).

Um dos municípios em estudo, Itaiçaba, com pontos localizados a margem esquerda do Rio Jaguaribe não dispõem de uma rede de instalação sanitária para a comunidade, que muitas vezes recorre ao uso de fossas sépticas. Estes fatores somados a proximidade com a área do estuário, com a captação de águas das estações de carcinicultura e a perfuração dos poços, que pode permitir a intrusão marinha, provavelmente ocasionaram o um maior grau de restrição na margem esquerda do Rio Jaguaribe.

Ademais, Marins et al., (2003), afirmam que podem existir pontos com baixas concentrações de sais, semelhantes à água doce, na margem esquerda do Rio Jaguaribe, devido a existência de uma barreira física a 30 km da foz, em que há um dique de contenção, em que o açude recebe água oriunda do Rio Banabuiú para o canal do Trabalhador, que foi construído para levar água para cerca de 2 milhões de habitantes em Fortaleza.

4.5 Qualidade da água quanto ao risco de sodificação do solo

Também se pode avaliar a qualidade da água em relação ao risco de sodificação do solo, visto os impactos negativos causados pelo efeito do sódio na estrutura do solo, como a redução da permeabilidade.

Neste estudo, os pontos situados nas margens direita e esquerda do Rio Jaguaribe apresentaram graus de restrições que variaram entre ambas as margens e ao longo das coletas, como mostra a tabela 9.

Tabela 9. Risco de sodificação das fontes hídricas (%) em função do período de coleta e localização.

Margem	Coleta	Porcentagem dos pontos (%)		
		Grau de restrição		
		Nenhum	Ligeiro a Moderada	Severa
Direita	1 ^a	52,94	47,05	0
	2 ^a	47,06	52,94	0,00
	3 ^a	70,59	29,41	0,00
	4 ^a	47,06	52,94	0,00
Esquerda	1 ^a	15,79	73,68	10,53
	2 ^a	31,58	63,16	5,26
	3 ^a	36,84	63,16	0,00
	4 ^a	36,84	63,16	0,00

Fonte: autora.

Pode-se observar que a maioria das fontes hídricas da margem esquerda apresentaram um maior risco de sodificação que a margem direita. Na margem esquerda, se observam maiores porcentagens de pontos com restrição moderada em todas as coletas. Isso acontece provavelmente por esta margem se aproximar da porção estuarina, que situa-se entre a região de Itaiçaba e sua foz, em Fortim-CE (MARTINS; CASTELO BRANCO; MAGINI, 2011).

Neste trabalho, verificou-se pontos com restrição severa apenas na margem esquerda, nas duas primeiras coletas. Na margem direita do Rio Jaguaribe, com a chegada do período de chuvas, na 2^a coleta, houve um aumento no grau de risco em pontos que não apresentavam restrição na margem direita. Já no período seco, 3^a coleta, houve uma redução no grau de restrição nas duas margens do Rio Jaguaribe.

Na 4^a coleta, no período de chuvas, a qualidade em relação ao risco de sodificação da margem esquerda se manteve inalterada, enquanto que foi verificado um aumento do grau de restrição na margem direita, em 20,7% dos pontos. O aumento das RAS no período de chuvas ocorre devido à drenagem superficial e lixiviação dos sais, predominando o sódio, oriundo de contaminantes de áreas agrícolas, de atividades agropecuárias e de esgotos domésticos. A ocorrência do sódio acontece por ter ampla distribuição nas fontes minerais, pela baixa estabilidade dos minerais que o contém, pela elevada solubilidade em água e por

difícilmente precipitar em solução. Nas águas subterrâneas, o sódio geralmente ocorre associado ao íon cloreto (FEITOSA et al., 2008).

4.6 Qualidade de água quanto a concentração de metais pesados

As concentrações de metais pesados obtidos neste estudo na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estão apresentados nas tabelas 10, 11, 12 e 13 anexo, respectivamente. Os teores de metais verificados na águas foram comparados com os valores máximos permitidos (VMP) pela Cetesb (2014).

4.6.1 Alumínio

Os pontos 2; 4; 10; 12; 16; 18; 19; 20; 21; 29 e 32 apresentaram restrições pela concentração de alumínio (Al) na 1ª coleta. Na 2ª coleta; os pontos que apresentaram valores acima do VMP foram: 1; 2; 3; 4; 18; 19; 20; 21; 24; 27; 28 e 29. Já na 3ª coleta se obteve restrições nos pontos 1; 2; 4; 6; 10; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26 e 29. Na 4ª coleta, os pontos 1;2; 3; 10; 12; 18; 19; 20; 21 ;29; 32; 33 e 35 são considerados impróprios.

Diante disso, a margem esquerda tem um maior número de pontos com restrições por alumínio. As restrições pelo teor de Al predominaram no aquífero aluvionar. Este tipo de aquífero é representado por sedimentos areno-argilosos, que ocorrem margeando os principais rios e riachos da região. Meyer et al., (2017) também analisaram a concentração de alumínio em águas subterrâneas em aluviões e verificaram o enriquecimento de alumínio nessas águas. A ocorrência de Al em aquífero aluvionar é descrito como um fenômeno bastante comum por diversos autores no mundo (LUCAS et al., 2012; GROOVER; IZBICK, 2018).

O Al é um metal que causando alterações nas células, nas atividades enzimáticas, que pode levar o ser humano a apresentar doenças degenerativas, sendo associado a casos de mal de Alzheimer (MIRZA et al., 2017).O Al é um metal que apresenta maior solubilidade em baixos valores de pH, com maior severidade em pH abaixo de 5,0 A presença deste metal diminui o crescimento e desenvolvimento das raízes e afeta a absorção de nutrientes pelos vegetais, o que é prejudicial a produtividade agrícola (SINGH et al., 2017).

Em um estudo de avaliação dos níveis de Al em açudes em São Paulo também foram obtidas restrições em águas com pH médio de 7,3, ($\pm 0,42$), semelhantes aos valores de pH verificados neste estudo (DEVECCHI et al., 2006).

4.6.2 Cádmi

Não foram obtidas restrições de cádmio (Cd) neste estudo. O máximo valor encontrado neste estudo foi 0,001 ppm de Cd no ponto 35 na 4ª coleta. Normalmente, a atividade do Cd é pouco influenciada pelo pH em valores inferiores a 8,0 (LINDSAY, 1979). No Ceará, em um estudo realizado no Rio Curu, o máximo valor obtido foi 0,00103 ppm de Cd e assim como neste estudo não apresentou restrições (ANJOS et al., 2018).

Em 19% das terras agrícolas na China há contaminação por cádmio e isso tem afetado de modo considerável a produção de arroz a nível nacional. As contaminações de Cd nas águas são atribuídas ao aumento das atividades de extração de minério e atividades de refino, que contaminam as terras cultivadas por meio do escoamento superficial de efluentes industriais (NAKAYA et al., 2018). Diante disso, verifica-se a influência da atividade antropogênica no aumento da concentração de Cd nos corpos hídricos da China. Na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, a mineração não é uma atividade dominante, o que explica as baixas concentrações de Cd nas águas pela atividade antrópica.

4.6.3 Cobalto

Não houve restrições em relação ao teor de cobalto Co neste trabalho. O Co é relativamente escasso na natureza, mas quando encontrado é oriundo da queima de combustíveis fósseis, de fabricações de pigmentos e está na composição de ligas metálicas e fertilizantes fosfatados (PASQUAZZI; WEISSENBACHER; OEHLERS, 2017).

Em um estudo da ocorrência de Co em água superficiais e subterrâneas em Piracicaba-SP, este foi encontrado em concentrações acima dos valores permitidos apenas em 5% das amostras analisadas (REGATTIERI; CECCATO; BERTOLLO, 2011). Assim como no presente estudo, também não foram encontradas concentrações de Co acima do VMP pelos órgãos regulamentadores em uma avaliação da qualidade de água no Rio Curu-CE (ANJOS et al., 2018), corroborando a baixa concentração de Co encontrada nas águas e pouca

contribuição pela adição de Co oriunda atividades na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe.

4.6.4 Cobre

Neste estudo não há restrições de cobre (Cu). O Cu, assim como o Mn, Co e Zn estão presentes nas formulações de suplementos minerais para bovinos e em fertilizantes (FACCHINELLI; SACCHI; MALLÉN, 2001). Teores de cobre acima dos valores máximos permitidos também podem estar associados ao uso de fungicidas cúpricos, bastante utilizado em cultivos de olerícolas, por exemplo, (NASCIMENTO; FONTES, 2004). Quando encontrado em baixas concentrações, ocorre pela sua grande capacidade de interagir com compostos minerais e orgânicos da fase sólida, formando precipitados com ânions, como carbonato, hidróxido e sulfato (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Em um estudo em Punjab, na Índia, aplicou-se no solo de água de esgoto contendo Cu e verificou-se baixas concentrações de Cu nas camadas mais profundas do solo, em comparação as camadas superficiais, o que mostra a capacidade desse metal de interagir com as partículas do solo, com um menor risco de lixiviação (BRAR et al., 2000, o que explica o baixo teor desse metal nos aquíferos deste trabalho). Diante do supracitado, a dissolução de Cu do material de origem, bem como a influência antrópica da região não adiciona Cu de modo considerável nos corpos hídricos.

4.6.5 Ferro

A maioria dos pontos apresentou limitações pela concentração de ferro (Fe). Na região, o excesso de Fe é refletido num fenômeno conhecido popularmente como “capa rosa”, em que a água e os sistemas de distribuição de água (chafariz, caixas d’água e tubulações) podem apresentar coloração avermelhada e turbidez.

Os produtores se preocupam quando a água apresenta essa característica, devido ao riscos de obstrução aos sistemas de irrigação localizada, o que afeta a eficiência no sistema de distribuição de água. Além disso, elevados teores de Fe podem atuar como substrato para o crescimento de bactérias nas tubulações, produzindo mal cheiro e sabor desagradável nas água (DAS et al., 2007).

Na 1ª coleta foram verificadas restrições pela concentração de Fe nos pontos 2; 3; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16 ao 26; 28 ao 36. Na 2ª coleta, valores acima do VMP foram verificadas no pontos 1; 2 ; 4; 5; 7; 18; 19; 20; 21; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 31; 32; 34; 35 e 36.

Na 3ª coleta verificou-se restrições nos pontos 1; 2; 4; 6; 7; 10; 12; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35 e 36 e na 4ª coleta os pontos 1; 2; 3; 4; 5; 10; 12; 18; 19; 20; 21; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35 e 36 apresentaram restrições. Logo 80,55% dos pontos apresentaram restrições pelo teor de Fe.

Altas concentrações de Fe tem origem principalmente em compostos minerais, a exemplo dos óxidos, silicatos e sulfatos, bem como em agrotóxicos (KHATRI; THYAGE; RAWTANI, 2017). Teixeira Filho (2016), verificou concentrações entre 7000 e 25000 ppm de Fe em solos da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, observados em planossolo, cambissolo e neossolo flúvico, o que explica as restrições verificadas na maioria dos corpos hídricos deste estudo.

Além dos problemas na agricultura, o alto teor de ferro em águas pode manchar roupas e tubulações, conferindo a estes uma cor avermelhada, pode alterar o sabor da água e ocasionar problemas de saúde, como câncer, doenças cardíacas e oculares (KHATRI; THYAGE; RAWTANI, 2017; CHATUVERDI, 2018).

Em um estudo de avaliação da qualidade de águas subterrâneas e superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos-RJ, verificaram-se teores de Fe ultrapassando os valores permitidos tanto nas águas superficiais como em poços profundos. Os autores atribuem as altas concentrações aos resíduos agrícolas, visto que o Fe está na composição de diversos agrotóxicos (MENEZES et al., 2009; PIRATOBA et al., 2017).

4.6.6 Mercúrio

A concentração máxima de mercúrio (Hg) obtida ao longo das coletas foi de 0,00032 ppm, logo não se verificou restrições de Hg na fontes hídricas avaliadas no Baixo Jaguariba, visto que para a Cetesb o VMP é 0,001 ppm.

As concentrações de Hg encontradas nas fontes hídricas deste estudo são oriundos do material origem, como o calcário, que é o aquífero que a maioria dos poços profundos da margem direita estão inseridos. O calcário tem em sua composição cerca 18 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de Hg (AGOSTINO et al., 2014).

Marins et al., (2004) avaliaram a concentração de Hg no Rio Ceará e Rio Jaguaribe e obtiveram concentrações de 0,045 ppm em sedimentos superficiais no estuário do Rio Ceará e 0,019 ppm em sedimentos do Rio Jaguaribe, o que representa fontes de Hg nas águas superficiais da região.

A presença de mercúrio nos recursos naturais também está associada à atividade antrópica. No entanto, verificou-se que nem a presença no material de origem, nem a ação do homem tem adicionado concentrações que gerem restrições por Hg nas águas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

4.6.7 Manganês

. Obteve-se restrições pela concentração de Mn na maioria dos pontos avaliados. Na 1ª coleta os pontos 2; 4; 16; e nos pontos 18 ao 36 apresentam restrições. Na 2ª coleta o mesmo foi verificado nos pontos 1; 2; 3; 4; 5; 7; 9; 10; 12; 14; 15; 18; 19; 20; 21 e nos pontos 24 ao 36.

Na 3ª coleta, apenas os pontos 3; 6; 8; 11; 13; 15; 16 e 17 estão aptos para consumo humano e na 4ª coleta o mesmo se verifica nos pontos: 6; 9; 10; 11; 15; 16 e 17. Portanto, a qualidade de água pela concentração de Mn é mais restrita nos pontos da margem esquerda (aluvião e formação faceiras), em que se verificou um maior número de pontos com restrições.

Ao avaliar a concentração de metais na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos-RJ, Menezes et al. (2009), obtiveram que o Mn foi o segundo metal que mais apresentou restrições ao uso em amostras de água superficiais e subterrâneas. Os autores atribuíram a presença de Mn aos resíduos de insumos usados na região, a exemplo do Mancozeb e Manzte 800, e pela presença no material de origem, visto que o Mn está presente em vários grupos de minerais silicatos formadores de rochas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

O MN, assim como o Fe, apresenta dois números de oxidação, e são controlados pelos fenômenos denominados oxidação-redução, que influenciam na solubilidade desses metais. Normalmente, encontram-se solúvel na água na forma reduzida e quando oxidados formam precipitados nas cores vermelhos e escurecida, para o Fe e Mn, respectivamente (YOU et al., 2018).

4.6.8 Molibdênio

Não se obteve restrições pelas concentrações de molibdênio em nenhum dos pontos de coleta. Neste estudo a concentração de Mo variou de 0,0001 a 0,0186 ppm. O molibdênio é um metal que pode ser encontrado naturalmente na água, pois é liberado facilmente dos minerais primários pela intemperismo das rochas e se mantém relativamente móvel na forma de molibdatos potencialmente solúveis (PEREIRA et al., 2013; ROBY et al., 2018). Portanto, pela baixa concentração nas águas, verifica-se que há baixa concentração de Mo no material de origem da área de estudo e não há adição considerável pela atividade antrópica.

A deficiência de Mo nos solos pode reduzir a produtividade das culturas, em especial as leguminosas. No entanto, as plantas requerem o Mo em pequenas concentrações e normalmente a sua disponibilidade se eleva com o aumento do pH do solo, logo não se verifica deficiência deste elemento em solos de pH mais elevado (TORQUATO, 2009).

4.6.9 Níquel

Não se verificou restrições de níquel (Ni) em nenhum dos pontos de coleta. Nas águas subterrâneas, não se esperam altas concentrações de níquel, porém o teor de Ni é influenciado pelo tipo de solo, profundidade e pH. No solo, por exemplo, em pH menor que 6,5 predominam compostos de níquel solúveis. No entanto, em pH maior que 6,7 o níquel predomina na forma insolúvel, como hidróxido de níquel. O aumento da concentração de Ni na água pode ocorrer pela passagem de água por tubulações metálicas (FORTUNATO, 2009; BIELA; KUČERA, 2016;).

Nas águas superficiais, concentrações mais elevadas são associadas a resíduos industriais ou de mineração (ALAM; CORBETT; PTOLEMY; 2008). Em um estudo da concentração de Ni em solos irrigados com água superficial em região semiárida, na Tunísia, verificou-se pouco incremento da concentração de Ni no solo pela água (AZOUZI et al., 2017) assim como neste trabalho. Portanto, pelas baixas concentrações de Ni nas águas no presente estudo, no máximo 0,0401 ppm, a atividade antrópica não contribuiu de modo significativo na adição de Ni nas águas no período avaliado.

4.6.10 Chumbo

A Cetesb apresenta VMP igual a 0,01 ppm de Pb. Neste estudo se verificou restrições pelos teores de chumbo nos pontos: 6 e 18, na 3ª coleta, e nos pontos 19, 20, 33 e 34, na 4ª coleta, em que os pontos 6, 19 e 20 são fontes de água superficial e os demais são poços profundos. Logo 16,6% dos pontos avaliados apresentaram restrições por Pb.

A elevação do teor de Pb nas águas pode estar associado a presença de tubulações antigas e poluição, queima de combustíveis fosses e resíduos de produtos como munições, baterias, tintas, soldas e tubulações. O Pb é altamente tóxico e carcinogênico ao homem, sua exposição pode causar problemas neurológicos, renais e levar o indivíduo a óbito (FREITAS et al., 2017). O valor máximo de Pb verificado ao longo das coletas foi 0,0259 ppm

O chumbo geralmente se encontra na água na forma solúvel em baixas concentrações. A presença de chumbo em água é limitada pela presença de sulfatos e carbonatos, porque formam compostos de baixa solubilidade (FORTUNATO, 2009). Esse metal ocorre na natureza nas formas de sulfato de chumbo, carbonato de chumbo, sulfeto de chumbo e clorofosfato de chumbo. Sua mobilidade é influenciada pelo pH e presença de matéria orgânica. Em pH entre 6 e 9, o chumbo pode se precipitar na formas de carbonato de chumbo e fosfato de chumbo, que tem reduzida solubilidade (SHUQAIR, 2002), o que explica a baixa concentração de Pb na maiorias dos pontos deste trabalho.

4.6.11 Titânio

O titânio é um dos metais mais comuns da crosta terrestre. É amplamente utilizado na indústria química, aero-espacial, médica e odontológica, cosméticos e indústria alimentar (LU et al., 2015). Não existem VMP por órgãos regulamentadores, visto que o titânio é fisiologicamente inerte, ou seja, sua forma metálica não é considerada tóxica (BRAGA; FERREIRA; CAIRO, 2007)

No entanto, recentemente o pó de dióxido de titânio (TiO₂) foi considerado como um carcinogênico no grupo 2B, ou seja, possivelmente é cancerígeno para os seres humanos, pela Agencia Internacional para Pesquisa Sobre o Câncer – IARC (ANTEZANA, HURTADO, 2016). Alguns autores verificaram que o descarte de produtos composto de TiO₂ exercem

danos a alguns organismos e ecossistemas, a exemplo de algas e animais invertebrados (HARTMANN et al., 2016) e ressaltam a importância de pesquisas sobre o efeito tóxico deste metal. Portanto, é importante registrar as concentrações de titânio encontradas no ambiente. Neste trabalho, a concentração máxima de Ti foi 0,3394 ppm.

4.6.12 Zinco

Na área de estudo, o Zn, assim como o Cu são importantes para o metabolismo do camarão *Litopenaeus vannamei*, participando de seus processos enzimáticos, sendo assim requerido na composição das rações, evidenciando que a carcinicultura é considerada uma das fontes de incremento de Zn na área de estudo. Lopes (2006) verificou que a contribuição antrópica de Zn supera as fontes naturais deste metal na região. No entanto, neste trabalho verificou-se que as concentrações de Zn obtidas nas águas não são consideradas restritivas. O valor máximo observado foi de 0,474 ppm de Zn.

Em um estudo de qualidade de águas subterrâneas, também realizada em região de clima semiárido, os autores também não obtiveram restrições pelo teor de Zn, em que os autores verificaram um teor máximo de 0,04 ppm de Zn, em Ardestan no Irã (PAZAND et al., 2018).

Em outra avaliação de qualidade de água para irrigação em Qus, no Egito, o teor Zn nas águas superficiais e subterrâneas foram obtidos em altas concentrações, justificadas pelo acúmulo de efluentes sólidos e industriais descartados na região, visto que as fontes hídricas ficam próximas a fábricas de papel no município. O Zn em concentrações em torno de 3 ppm, pode conferir uma aparência leitosa e um gosto metálico a água (ABDALLA; KALIL, 2018).

4.6.13 Zircônio

Não há valor máximo restritivos para o Zr. No entanto, vê-se a necessidade de estudos que quantifiquem a concentrações deste metal nos ambiente pela sua importância econômica, visto que é utilizado na indústria de cerâmica e de produtos químicos, e para auxiliar estudos posteriores deste metal no ambiente. No presente trabalho, a concentração nas

águas variou de 0,0003 a 0,0741 ppm de Zr.

As maiores reservas conhecidas no mundo estão localizadas na Austrália, África do Sul, Ucrânia e EUA, e totalizam cerca de 84%. Na natureza, o Zr ocorre nas rochas, principalmente na forma do mineral Zircão ($ZrSiO_4$), que apresenta grande estabilidade na superfície terrestre, ou seja, é um metal bastante resistente ao intemperismo (MIGDISOV et al., 2011).. Este metal também é comumente extraído dos minerais dolomita, carbonatitos e laterita (ZUDDAS et al., 2018), o que explica concentrações deste metal na área de estudo, visto que há carbonatos e dolomitos na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe.

4.7 Análise fatorial das componentes principais

Foi realizada a Análise das Componentes Principais (ACP) para cada coleta realizada, considerando-se a salinidade e a presença dos metais pesados, para identificar a interação entre ambos e identificar as principais variáveis responsáveis pela variação entre os pontos.

De acordo com a recomendação para a análise, desconsideraram-se os pontos com variáveis apresentando valores extremos e componentes que representaram pouca contribuição na variância total em uma ACP realizada previamente. Este procedimento de reduzir o número de componentes não relevantes na variância é bastante comum em estudos que apresentam um grande número de variáveis (MINGOTI, 2005).

Na 1ª coleta, desconsiderou-se o ponto 2 e as componentes: Mo, Cd, Al, Hg e Cu. Para a ACP da 2ª coleta, o ponto 13 e as componentes Mo, Zn, Cu, Cd, Hg foram desconsiderados. Na 3ª coleta, o mesmo foi feito no ponto 18 e nas componentes Zr, Hg, Cu, Mo e Zn e na 4ª coleta desconsiderou-se apenas o Mo.

A baixa contribuição destas componentes na variação dos dados é um indicativo que a atividade antrópica não têm participado de modo significativo na adição desses metais nas águas e suas concentrações são verificadas pela presença natural no material de origem. Resultados semelhantes foram verificados por Zhang et al. (2018), ao verificarem concentrações constantes de metais em superfície e sub-superfície do solo, indicando que as concentrações verificadas são de fontes naturais. Nas tabelas 14, 15, 16 e 17, a seguir, estão dispostas as proporções da variância de cada componente obtidas para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coleta.

Tabela 14. Autoanálise da matriz de correlação da 1ª coleta.

Componente	Co	CE	Ni	Cl ⁻	Na ⁺	pH	Mn	Ti	Mg ²⁺	K ⁺	S- SO ₄ ²⁻	B	HCO ₃ ⁻	Pb	Ca ²⁺	Zr	CO ₃ ²⁻	Fe	Zn	RAS
Desvio padrão	2,27	1,6787	1,4339	1,3169	1,1952	1,0886	1,0718	0,9752	0,9091	0,8361	0,7817	0,6683	0,608	0,5397	0,3509	0,2772	0,1961	0,1692	0,06	0,0333
Proporção da variância	0,258	0,1409	0,1028	0,0867	0,0714	0,0592	0,0574	0,0475	0,0413	0,0349	0,0305	0,0223	0,0185	0,0145	0,0061	0,0038	0,0019	0,0014	0,0001	0,00005
Proporção acumulada	0,2579	0,3989	0,5017	0,5884	0,6598	0,7191	0,7765	0,8241	0,8654	0,9003	0,9309	0,9532	0,9718	0,9863	0,9925	0,9964	0,9983	0,9997	0,9999	1

Tabela 15. Autoanálise da matriz de correlação da 2ª coleta.

Componente	Ni	CE	Al	Ti	Co	Na	Cl ⁻	B	Ca ²⁺	Pb	Zr	RAS	S-SO ₄ ²⁻	K	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Fe	Mn	pH
Desvio padrão	2,4741	1,7779	1,5297	1,4248	1,1664	0,974	0,8785	0,8394	0,7595	0,7222	0,6471	0,5399	0,5262	0,4052	0,3813	0,274	0,2381	0,1641	0,0704	0,0431
Proporção da variância	0,306	0,158	0,117	0,1015	0,068	0,0474	0,0385	0,035	0,0288	0,026	0,0209	0,0145	0,0138	0,0082	0,0072	0,0037	0,0028	0,0013	0,0002	0,0431
Proporção acumulada	0,306	0,4641	0,5811	0,6826	0,7506	0,7981	0,8367	0,8729	0,9007	0,9268	0,9478	0,9623	0,9762	0,9844	0,9917	0,9954	0,9983	0,9996	0,9999	1

Tabela 16. Autoanálise da matriz de correlação da 3ª coleta.

Componente	CE	Cl ⁻	Na ⁺	Fe	Ni	Ca	Ti	S-SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Al	CO ₃ ²⁻	K ⁺	B	Mn	Cd	Ph	Co	Pb	RAS	HCO ₃ ⁻
Desvio padrão	2,300	2,077	1,443	1,239	1,102	1,019	0,988	0,847	0,826	0,696	0,650	0,625	0,530	0,459	0,390	0,3068	0,232	0,199	3,7 e ⁻²	2,2 e ⁻²
Proporção da variância	0,264	0,215	0,104	0,076	0,060	0,051	0,0488	0,035	0,034	0,024	0,021	0,019	0,014	0,010	0,007	0,0004	0,002	0,001	7,0 e ⁻²	2,6 e ⁻⁵
Proporção acumulada	0,264	0,480	0,584	0,6615	0,722	0,774	0,823	0,859	0,893	0,917	0,938	0,958	0,972	0,982	0,990	0,995	0,997	0,999	9,9 e ⁻¹	1

Tabela 17. Autoanálise da matriz de correlação da 4ª coleta. (Continua)

Componente	Ni	CE	Al	Zn	Cl ⁻	S-SO ₄ ²⁻	Co	Ca	Ti	B	Na	Mg
Desvio padrão	2,6604	1,9373	1,6695	1,4896	1,2904	1,0923	0,9386	0,924	0,8463	0,8073	0,7061	0,6241
Proporção da variância	0,2949	0,1563	0,1161	0,0924	0,0693	0,0497	0,0367	0,0355	0,0298	0,0271	0,0207	0,0162
Proporção acumulada	0,2949	0,4512	0,5674	0,6599	0,7282	0,79	0,8157	0,8512	0,8811	0,9082	0,929	0,9453

Tabela 17. Autoanálise da matriz de correlação da 4ª coleta. (Conclusão)

Componente	CO ₃ ²⁻	Fe	Zr	K	Pb	Cu	RAS	HCO ₃ ⁻	Ti	Mn	Hg
Desvio padrão	0,5977	0,5027	0,4514	0,407	0,3714	0,3021	0,2218	0,1679	0,1255	0,086	0,0499
Proporção da variância	0,0148	0,0105	0,0084	0,0069	0,0057	0,0038	0,002	0,0011	0,00006	0,00003	0,00001
Proporção acumulada	0,9601	0,9707	0,9792	0,9861	0,9918	0,9956	0,9977	0,9988	0,9995	0,9998	0,9999

Ao se fazer a análise da 1ª coleta obteve-se que das 20 componentes, a primeira componente principal (Co) foi responsável por cerca de 25,8% da variância e a segunda componente (CE) representou cerca de 14,09% da variância, ambas são responsáveis por 39,89% da variância total na 1ª coleta. Portanto, as informações mais relevantes na 1ª coleta estão contidas nessas duas componentes principais. Em relação aos teores de Co, observa-se que há um maior teor na margem esquerda do Rio Jaguaribe, no entanto, como já mencionado, este metal não apresenta concentrações acima do recomendado pelos órgãos regulamentadores.

Ao realizar a análise da 2ª coleta, obteve-se que a 1ª componente principal (CE) explica 30,6% da variância entre os dados, e a 2ª componente principal (Ni) corresponde a 15,8% da variância e as duas juntas são responsáveis por 46,4% da variância total na 2ª coleta.

Ao avaliar a 3ª coleta as duas componentes principais justificam 48,05% da variância entre os pontos, em que a 1ª componente principal justifica 26,46% da variância total e a 2ª componente principal 21,58%, em que estas são, respectivamente, CE e Cl. Na 4ª coleta, as duas componentes principais corresponderam a 45,12% da variância total. A primeira componente principal (CE) foi responsável por 29,49% da variância e a segunda componente respondeu a 15,63% (Ni) da variância.

Diante disso, verificou-se que CE é a componente que está justificando a variação entre os dados em todas as coletas, logo compreende-se que a informação contida nessa variável é de extrema importância na compreensão dos resultados.

Além da identificação das principais componentes responsáveis pela variação entre os dados, geraram-se os círculos de correlações entre as componentes para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coleta, dispostos nas figuras 8, 9, 10 e 11, respectivamente.

Figura 8 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (período seco).

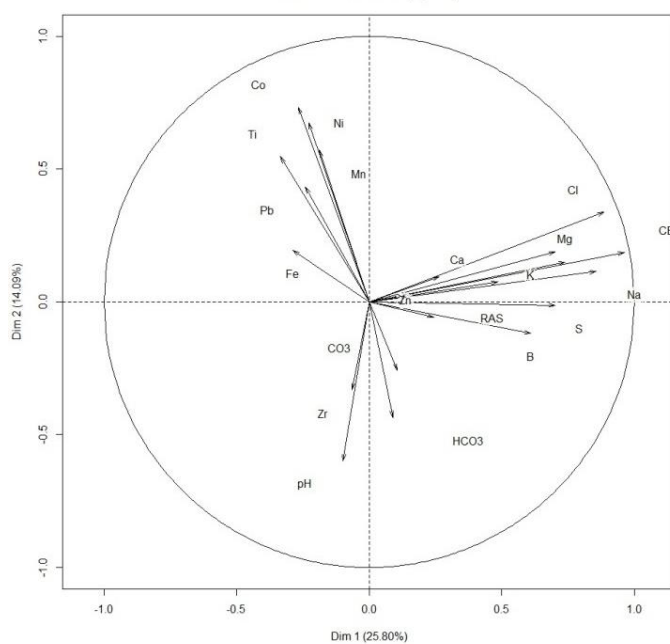


Figura 9 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 2ª coleta (período chuvoso).

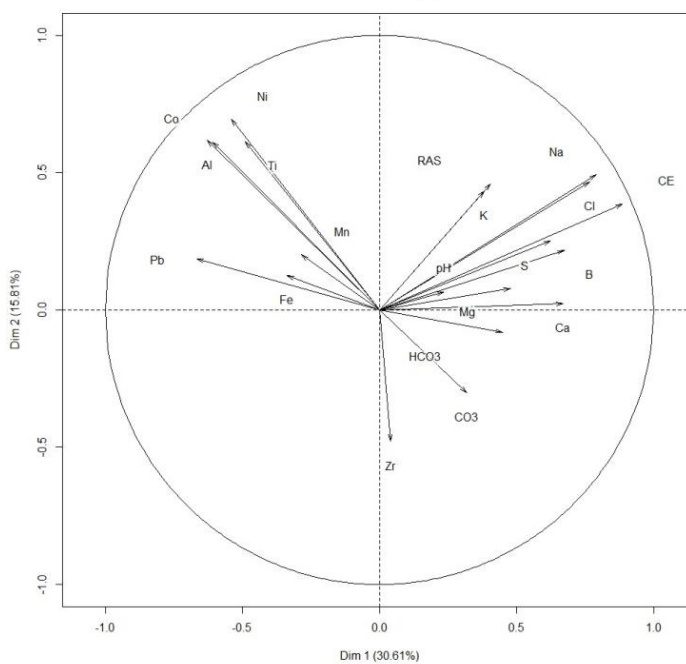


Figura 10 - Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (período seco).

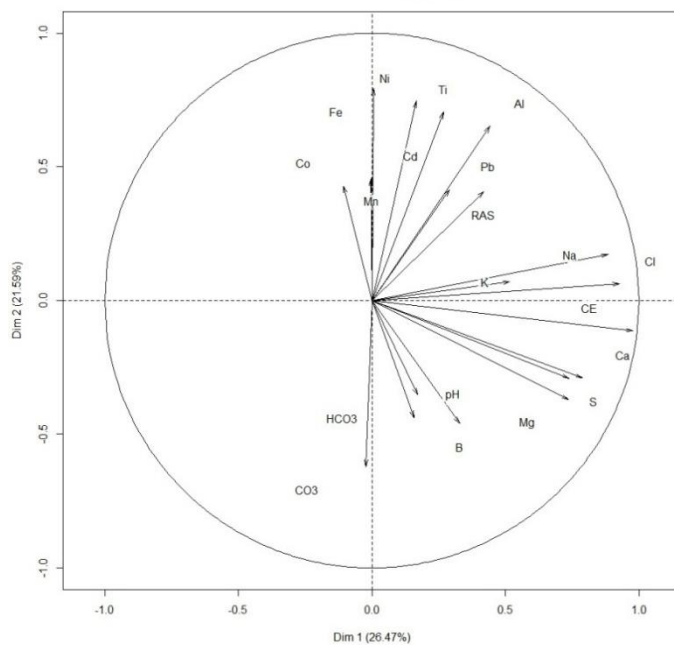
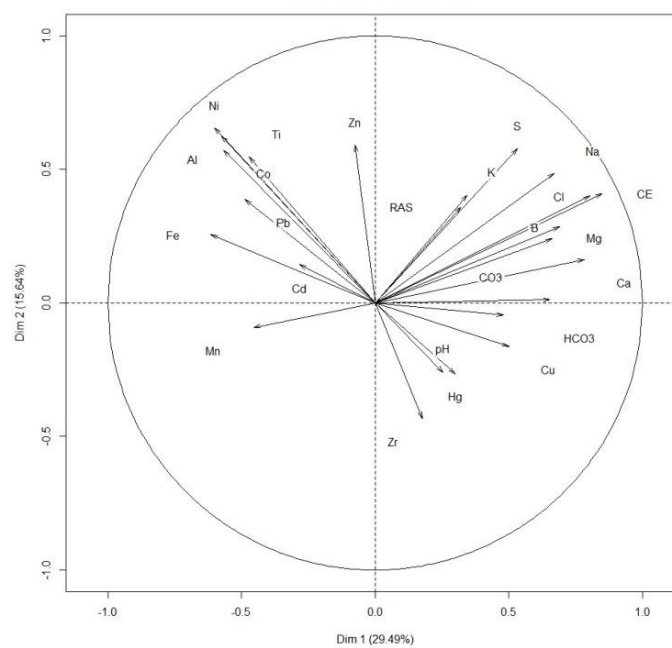


Figura Círculo de correlação entre as variáveis físico-químicas e metais pesados das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 4ª coleta (período chuvoso).



Na 1ª coleta verificou-se correlação positiva da CE com as componentes Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , S, B, e Zn. Relações semelhantes foram verificadas em outros trabalhos, que mostram que estas componentes comumente se apresentam correlacionadas, por conta das interações água-rocha no aquíferos e o aumento das suas concentrações contribuem para elevar a CE da água, o que justifica a correlação positiva com a CE (MORA; HERRERO; WEINDORF, 2017; JIANG et al., 2015).

As componentes Pb, Ti e Fe, Mn, e Ni se apresentaram positivamente correlatas na 1ª coleta. Na 2ª coleta, comportamento semelhante foi verificado, assim como os metais Al, Fe, Co, Ti, e Pb. Garcia-Gíl et al., (2016) também encontraram interação positiva entre os metais Fe, Mn e Pb em águas subterrâneas em Zaragoga, na Espanha. A obtenção de correlações positivas entre estes metais significa que eles têm fontes em comum e apresentam comportamentos semelhantes (GUO et al., 2008; BASTAMI et al., 2015). Resultados similares foram obtidos por outros autores, em que efluentes agrícolas foram considerados fontes de metais em corpos hídricos superficiais e em aquíferos (CHATUVERDI et al., 2018; GANUGAPENTA et al., 2018).

Em contrapartida aos metais, as componentes CO_3 , HCO_3 e pH, que são correlacionados positivamente entre si se apresentaram negativamente correlatos com os metais. Ou seja, um comportamento de redução de pH é acompanhado pelo aumento da disponibilidade de metais. Brittes (2017) obteve resultado semelhante ao avaliar a disponibilidade de Fe, Mn, Cr e Ni de águas subterrâneas em São Leopoldo, no Rio Grande do Sul. Outros autores também obtiveram correlações negativas entre pH e metais (YABE; OLIVERA, 1998), corroborando as correlações encontradas neste estudo. O mesmo se verificou na 2ª, 3ª e 4ª coleta.

Na 4ª coleta as correlações entre metais e variáveis de salinidade apresentou comportamento semelhante às coletas anteriores. Nesta coleta, a correlação entre Hg e pH foi mais considerável que nas coletas anteriores, permanecendo na análise estatística, no entanto observa-se baixa influência de ambas as componentes na variação dos dados. Em um trabalho da correlação da concentração de Hg e características físicas do solo com material de origem calcário, também se obteve correlação entre o Hg com pH (SOARES et al., 2015), resultado semelhante ao obtido neste trabalho.

Em relação a similaridade entre os pontos, gerou-se o Diagrama de Ordenação entre os pontos para cada coleta. Nos diagramas, a distância entre os pontos é proporcional a

similaridade entre eles, ou seja, pontos próximos são semelhantes e pontos distantes apresentam variações mais acentuadas. As figuras 12, 13, 14 e 15 representam similaridade entre os pontos da 1^a, 2^a, 3^a e 4^a coleta, respectivamente.

Figura 11 - Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 1^a coleta.

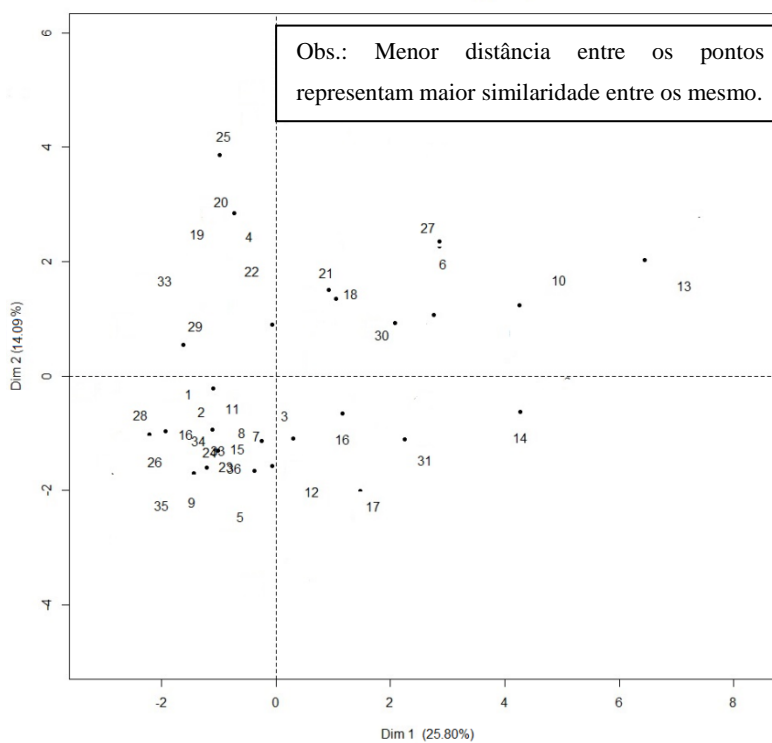


Figura 12- Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 2ª coleta.

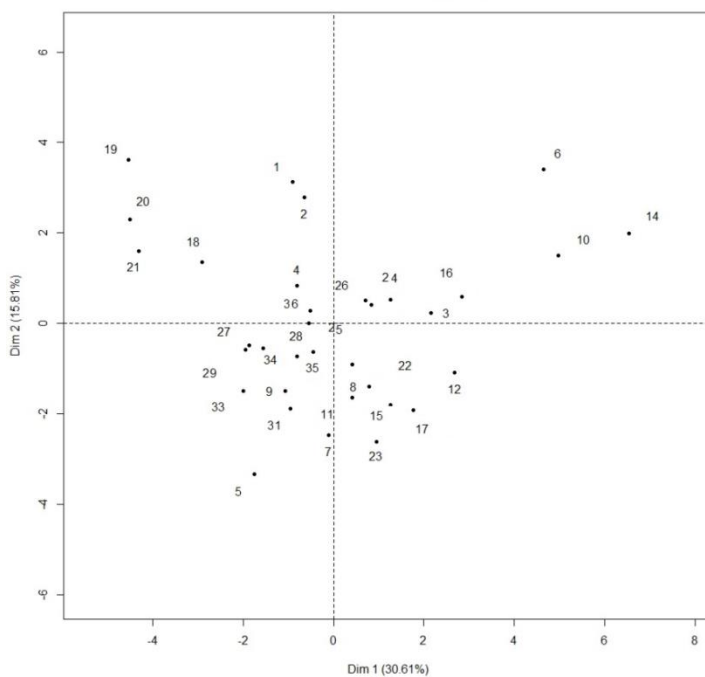


Figura 13 - Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 3ª coleta.

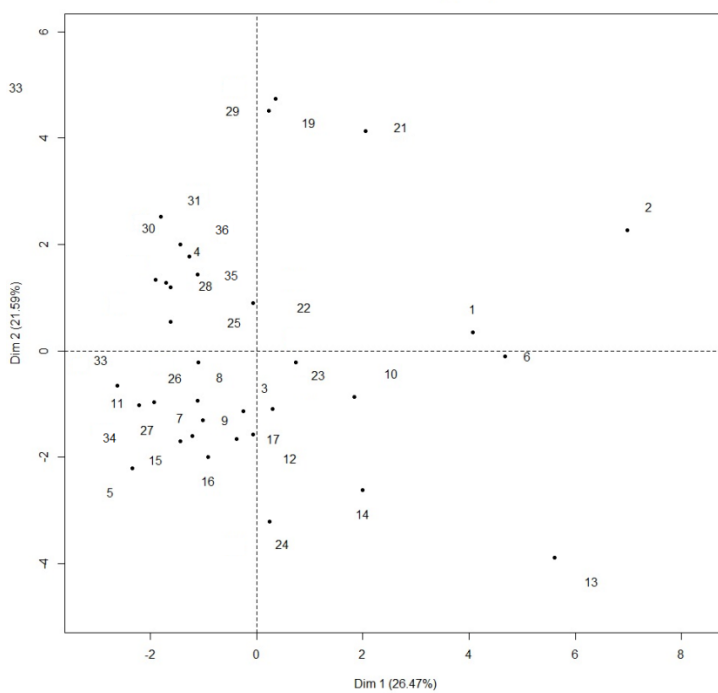
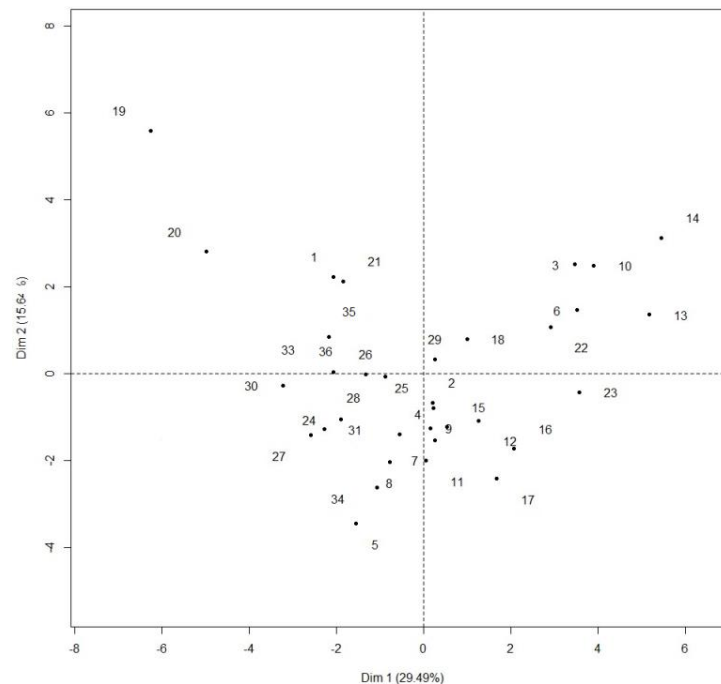


Figura 14- Diagrama de Ordenação de similaridade entre os pontos da 4ª coleta.



Ao se observar o comportamento dos pontos em relação ao passar do tempo, observa-se que na 1ª coleta (período seco) alguns pontos da margem esquerda, a exemplo do 25 e 22, que são poços rasos apresentaram pouca similaridade com os pontos da margem direita, a exemplo dos pontos 10, 13 e 14, que são poços profundos que ganharam destaque por apresentar um maior grau de restrição de uso ao longo das coletas.

No entanto, alguns poços rasos da margem esquerda, a exemplo dos pontos 27, 35 e 30 apresentaram um grau de semelhança com 10, 13 e 14 (poços profundos) da margem direita. Os demais pontos também se apresentaram semelhantes entre si. Na 2ª coleta (período chuvoso), observa-se comportamento semelhante nos pontos 6, 10 e 14 (poços profundos) em indicando que não houve um efeito expressivo de diluição nestes poços profundos.

Visualiza-se também que os pontos 1, 2, 4, 18 e 19 estão próximos indicando semelhança entre eles. Destes pontos, o 1, 2 e 4 estão na margem direita e outros na esquerda, mas a maioria são águas superficiais, com exceção do ponto 4 que é um poço raso, mostrando que a precipitação ocasionou uma diluição nessa fonte hídrica independente da margem do Rio Jaguaribe.

Uma avaliação da qualidade de água realizada em 66 estações de monitoramento

no sul dos EUA, entre os anos 2000 a 2017, também mostrou que no período chuvoso, a água dos rios apresentava melhor qualidade de água pelo teor de sais quando comparado ao período de escassez de água (ZHANG et al., 2018).

Na 3ª coleta, no período seco, o ponto 1 (Rio Serafim) apresentou similaridade com o ponto 6, que é um poço profundo, e ambos os pontos passaram dum grau de restrição moderado para restrito ($CE > 3 \text{ dS m}^{-1}$), o que mostra o efeito da redução do volume de água na elevação da concentração de sais nas águas. Vale ressaltar que o ponto 31 (Mendonça) e 13 (Sítio Flor), apresentam restrição severa para uso na irrigação ($CE > 3,0 \text{ dS m}^{-1}$).

. Na 3ª coleta, verifica-se ainda similaridade entre os poços rasos (ponto 21 e 20) com a água superficial (ponto 19), mostrando que o período seco também elevou a salinidade em ambas as fontes. Além disso, a similaridade entre rios e poços representa uma efeito da permeabilidade que há entre o leito rio e o aquífero (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2008).

Verificou-se maiores valores de CE no ponto 2 e observa-se que este está mais próximo dos pontos 1, 6, 13 e 21. portanto, são requeridos maiores cuidados no manejo da irrigação usando água destas fontes devido a concentração de sais, assim, como nos pontos 19, 21, 29, 36, 32 pela concentração de Cl⁻. Os demais pontos se mostraram mais próximos na figura, ou seja, os pontos nas duas margens do Rio Jaguaribe apresentaram semelhanças entre si.

Na 4ª coleta, com a chegada do período chuvoso, novamente se observou uma redução na concentração de sais na água superficial, a exemplo dos pontos 19 e 20, que apresentam semelhanças e estão mais próximos dos pontos 1 e 21 (água de superfície) do que dos pontos 10 e 13 (poços profundos), que estão localizados na margem direita.

Diante disso, verifica-se que a qualidade de água dos poços rasos apresentou uma maior semelhança com a fonte de água superficial e estas apresentaram maior sensibilidade a dinâmica climática da região que os poços profundos. Maiores restrições de uso da água para irrigação nos pontos avaliados foram verificados no período seco.

5 CONCLUSÕES

As fontes hídricas da margem esquerda da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe apresentam maior restrição de uso (salinidade e sodicidade) na irrigação do que as fontes da margem direita; Restrição mais acentuada no período seco.

Entre os tipos de fontes hídricas, as águas de poços profundos apresentam maior restrição para uso na irrigação do que as águas de poços rasos e águas superficiais.

As fontes hídricas estudadas apresentaram concentração dos metais pesados Al, Fe, Mn e Pb acima do limite indicado pela Cetesb. O Al apresentou restrição em 61,1 % das fontes hídricas avaliadas, o Fe em 80,88%, o Mn em 80,55% das fontes e o Pb esteve acima do limite recomendado em apenas 16,6% dos pontos.

A pluviosidade no período avaliado (dezembro/2016 a março/2018) não foi suficiente para recarregar os aquíferos da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe.

RECOMENDAÇÃO

Levando-se em conta que o estudo foi realizado numa sequência de anos secos, é recomendável continuar os estudos contemplando anos com período chuvoso típico da região, de maneira a obter subsídios para regulamentar a gestão de águas da região.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, F.; KHALIL, R. Potential effects of groundwater and surface water contamination in an urban area, Qus City, Upper Egypt. **Journal of African Earth Sciences**, v, 141, p. 164-178, 2018.
- AGOSTINO, F. D.; OLIVERI, E.; BAGNATO, E.; FALCO, F.; MAZZOLA, S.; SPROVIERI, M. Direct determination of total mercury in phosphate rock using alkaline fusion digestion. **Analytica Chimica Acta**, v. 852, n. 10, p. 8 – 12, 2014.
- ALAM, N.; CORBETT S. J.; PTOLEMY, H. C. Environmental health risk assessment of nickel contamination of drinking water in a country town in NSW. **Public Health Bulletin**, v. 19, p. 9-10, 2008.
- ANA - agência nacional das águas. **Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e proposição de modelo de gestão compartilhada para os aquíferos da Chapada do Apodi, entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará**. Brasília, 2010.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; LUNA, N. R. S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 5, p. 621-630, out, 2016.
- ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F. ; BANUELOS, G. S. ; DANGI, S. R. ; TIRADO-CORBALA, R. ; SILVA, F. N. ; MENDES FILHO, P. F. Microbial community and heavy metals content in soils along the Curu River in Ceará, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p. e00173, 2018.
- ANTEZANA, A. F. G.; HURTADO, T. L. L. Efectos sobre la salud en los trabajadores expuestos al dióxido de titânio. **Medicina y Seguridad Del Trabajo**, v. 62, n. 242, p. 79-95. 2016.
- ARAÚJO, J. L.; SEVERO, P. J. S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G.; PAIVA, K. F. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 388-396, out. -dez. 2015
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- AZOUZI, A.; CHAREF, A.; AYED, L.; KHADHAR, S. Effect of Water Quality on Heavy Metal Redistribution-Mobility in Agricultural Polluted Soils in Semi-Arid Region. **Pedosphere**, v. 94, n. 6, 2017.
- BANERJEE, A. D. K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. **Environmental Pollution**, n. 123, p. 95–105, 2003.
- BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater.

Arabian Journal of Chemistry, v.4, p. 361- 377, 2011.

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

BASTAMI, K. D.; NEYESTANI, M. R.; SHEMIRANI, F.; SOLTANI, F.; HAGHPARAST, S. AKBARI, A. Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 21, n. 1-2, p. 237-243. Mar. 2015.

BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.12, n.1, p.48-54, 2016.

BEZERRA, L. J. C.; MAIA, L. P. Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do estado do Ceará. **Arquivo de Ciência do Mar**, Fortaleza, 2012, v. 45, n 1, p. 47 - 55.

BIELA, R.; KUČERA, T. Efficacy of Sorption Materials for Nickel, Iron and Manganese Removal from Water. **Procedia Engineering**, v. 162, p. 56-63, 2016.

BINI, C.; MALECI, L.; WHASHA, M. Potentially toxic elements in serpentine soils and plants from Tuscany (Central Italy). A proxy for soil remediation. **Catena**, v. 148, p. 60-66, 2017.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; WINTGENS, T.; RAVAZZINI, A.; MISKA, V.; MUSTON, M. CHIKUREL, H. AHARONI, A. JOKSIMOVIC, D., MELIN, T. Water reclamation and reuse: implementation and management issues. **Desalination**, v. 218, p. 13-23, 2008.

BRAGA, N. A.; FERREIRA, N. G.; CAIRO, C. A. A. Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. **Química Nova**, São Paulo , v. 30, n. 2, p. 450-457, Abr. 2007 .

BRAR, M. S.; MALHI, S. S.; SIGH, A. P.; ARORA; C. L.; GILL, K. S. Sewage water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and potato plants in northwestern India. **Canadian Journal of Soil Science**, v.80, n.3p. 465 - 471, 200.

BRITO, L. O. SIMÃO, B. R.; PEREIRA NETO, J. B.; CEMIRAMES, G.; AZEVEDO, C. M. S. B. Densidade planctônica do policultivo de *Litopenaeus vannamei* E *Oreochromis niloticus*. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 18, 2017.

BRITTES, B. R. **Mobilidade dos metais Fe, Mn, Cr e Ni nas águas subterrâneas e sedimentos do Arroio João Correa, proveniente de are de disposição irregular de resíduos sólidos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

CAI, H.; SAVENIJE, H. G. H.; ZUO, Z.; JIANG, C.; CHUA, V. P. A predictive model for salt

intrusion in estuaries applied to the Yangtze estuary. **Journal of Hydrology**, v. 529, p. 1336-1349, out. 2015.

CARVALHEIRO, J. R. Água e saúde: bens públicos da humanidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 139-149, 2015.

CATANI, R. A.; ALCARDE, J. C.; FULANI, P. R. A adsorção de molibdênio pelo solo. **Anais da Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 27, p. 223-327, 1971.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado. INESP, 2009.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: CETESB, 2014. 43 p.

CHANG, F. J.; HUANG, C. W.; CHENG, S.T.; CHANG, L.C. Conservation of groundwater from over-exploitation—Scientific analyses for groundwater resources management. **Science of The Total Environment**. v. 598, n.15, p. 828-838, 2017.

CHATUVERDI, A. BHATTARCHAGE, S.; SINGH, A. K.. KUMAR, V. A new approach for indexing groundwater heavy metal pollution. **Ecological Indicators**, v. 87, p. 323-332, abr. 2018.

CHAVES, A. D. C. G.; ALMEIDA, R. R. P.; CRISPINM, D. L.; QUEIROZ, M. M. F.; MARACAJÁ, dP. B. Condutividade elétrica, pH e a relação adsorção de sódio nas águas de poços do município de Pombal-PB. **Revista Verde**, Pombal, v. 10, n.1, p.06 - 12, jan-mar, 2015.

CHEN, M.; QIN, X; ZENG, G.; LI, J. Impacts of human activity modes and climate on heavy metal “spread” in groundwater are biased. **Chemosphere**, v. 152, p. 439-445, 2016.

CIRILO, J.A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro**. Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 63, p. 61-82, 2008.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia do Araripe: Estado do Ceará. Fortaleza:– COGERH, 2009.

COSTA, B. G. B. **Distribuição de mercúrio (hg) em sedimento, água e biota da região de influencia dos efluentes da carcinicultura, na Gamboa do Cumbe - Rio Jaguaribe – Ceará –Brasil**. Mestrado em (Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Secretaria de Minas e Metalurgia**. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2003. 1p.

DAS, B.; HAZARICA, P.; SAIKIA, G.; KALITA, H.; GOSWAMI, D. C.; DAS, H. B.; DUBE, S. N.; DUTTA, R. K. Removal of iron from groundwater by ash: A systematic study

of a traditional method. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, p. 834-841. 2007.

DEVECCHI, G. C. R.; FERREIRA, P. C.; ABREU, K. A.; TREVILATO, T. M. B.; MUÑOZ, S. I. S. Níveis de Alumínio e Zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes Fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. **O mundo da Saúde**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 619-627, out-dez, 2006.

DIAS, G. T. M. Granulados bioclásticos: algas calcárias. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 307-318, 2000.

DISTEFANO, T. SCOTT, K. Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. **Ecological Economics**, v. 142, p. 130-147, 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Manual de análise química dos solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLIN, L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. **Environmental Pollution**, Barking, v.114, p.313- 324, 2001.

FEITOSA, E.C. O aquífero Jandaíra no município de Baraúna/ RN – Atualização dos conhecimentos. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID). Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (FADE), Natal, RN, 1994.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM ; Recife: LABHID, 2008. 812 p.

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. A origem dos sais nas águas na Formação Barreiras e no Complexo gnáissico-migmatítico nos municípios não Costeiros na região metropolitana de Fortaleza/CE. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15.; 2008, Natal.

FIGUEIREDO, M. C. B.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; MORAIS, L. F. S.; PAULINO, W. D.; GOMES, R. B. Impactos ambientais da carcinicultura de águas interiores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 231-240, Set. 2006.

FORTUNATO, J.M., Comportamento dos íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado ao antigo lixão no município de Santos - SP. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE, F. G. C.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; COSTA, S. C.; OLIVEIRA, A. F. M. Indicadores de qualidade da água no Rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe-CE, Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 700-707, out.-dez, 2013.

FREITAS, B. T.; FREIRAS, J. C. S.; MARTINS, R. C.; FERREIRA, L. M. G.; FERREIRA, M. E. Q.; FERREIRA, R. M. Q.; CARMO, D. R. A study of bio-hybrid silsesquioxane/yeast: Biosorption and neuronal toxicity of lead. **Journal of Biotechnology**, v. 264, n. 20, p.43-50,

dez. 2017.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART, D. F.; SILVA, J. P. S. Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1899-1907, 2009.

GANUGAPENTA, S.; NADIMIKERI, J.; CHINNAPOLLA, S. R. R. B.; BALLARI, L.; MADIGA, R.; TELLA, N. K. L. P. Assessment of heavy metal pollution from the sediment of Tupilipalem Coast, southeast coast of India. **International Journal of Sediment Research**, fev. 2018.

GARCÍA-GIL, A.; EPTING, J.; GARRIDO, E.; SUÑE, E. V.; LAZARO, J. M.; NAVARRO, J. A. S.; HUGGENBERGER, P.; CALVOO, M. A. M. A city scale study on the effects of intensive groundwater heat pump systems on heavy metal contents in groundwater. **Science of The Environment**, v. 572, p. 1047-1059, dez. 2016.

GIOIA, F.; ROSSKOPF E.; LEONARDI, C.; GIUFFRIDA F. Effects of application timing of saline irrigation water on broccoli production and quality. *Agricultural Water Management*, v. 203, p. 97-104, abr. 2018.

GRATTAN, R. S. Irrigation water salinity and crop production. **Agriculture and Natural Resources**, Davis, n.21, 2002.

GROOVER, D. K.; IZBICKI, J. A. Selected trace-elements in alluvium and rocks, western Mojave Desert, southern California. **Journal of Geochemical Exploration**, 2018.

GUO, H.; YANG,S.; TANG, X.;LI, Y.; SHEN, Z. Groundwater geochemistry and its implications for arsenic mobilization in shallow aquifers of the Hetao Basin, Inner Mongolia. **Science of The Total Environment**, v. 393, n. 1, p. 131-144, 2008.

GURAV, P. P.; DATTA, S. C.; RAY, S. K.; CHOUDHARY, P. L.; AHMED, N. Assessment of potassium release threshold levels of Vertisols (shrink-swell soils) in different agro-ecological regions of India. *Applied Clay Science*, v. 165, p. 155-163, dez., 2018.

HAGER, F. P. V. D'ALMEIDA, M. L. **Legislação aplicada às águas subterrâneas**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15. 2008, Natal, 2008.

HAN, D.; POST, V. E. A.; SONG, Groundwater salinization processes and reversibility of seawater intrusion in coastal carbonate aquifers. **Journal of Hydrology**, v. 531, p. 1067-1080, dez. 2015.

HANNAM, K.D.; KEHILA, D.; MILLARD, P.; MIDWOOD, A.; **NEILSEN, D.**; NEILSEN, G.H.; **FORGE**, T.A.; NICHOL, C.; JONES, M.D. Bicarbonates in irrigation water contribute to carbonate formation and CO₂ production in orchard soils under drip irrigation. **Geoderma**, v. 266, p.120 -126. Mar. 2016.

HARTMANN, N.B.; KAMMER, F. V.; HOFMANN, T.; BAALOUSHA, M.; OTTOFUELLING, S. BAUN, A. Algal testing of titanium dioxide nanoparticles—Testing considerations, inhibitory effects and modification of cadmium bioavailability. **Toxicology**, v.

269, n. 2–3, p. 190 - 197, 2010.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 807-816, fev. 2000.

HSIAO, C. T.; CHANG, L. C.; TSAI, J. P.; CHEN, Y. C. Features of spatiotemporal groundwater head variation using independent component analysis. **Journal of hydrology**, v. 547, p. 623-67, 2017.

HUGHES, C. E. CENDÓN, D. I; HARRISON, J. J.; HANKIN, S.I.; JONHANSEN, M.P.; PAYNE, T. E.; VINE, M.; COLLINS, R. N. HOFFMAN, E.L.; LOOSZ, T. et al. Movement of a tritium plume in shallow groundwater at a legacy low-level radioactive waste disposal site in eastern Australia. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 102, n. 10, p. 943-952, 2011.

JELDRES, R.I.; PICEROS, E. C.; LEIVA, W. H.; TOLEDO, P.G.; HERRERA, N. Viscoelasticity and yielding properties of flocculated kaolinite sediments in saline water, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 529, p. 1009-1015, 2017.

JIANG, Y.; GUO, H.; JIA, Y.; CAO, Y.; HU, C. Principal component analysis and hierarchical cluster analyses of arsenic groundwater geochemistry in the Hetao basin, Inner Mongolia. **Chemie der Erde - Geochemistry**, v. 75, n. 2, p. 197-205, 2015.

JONES, E.; VLIET, M. T. H. V. Drought impacts on river salinity in the southern US: Implications for water scarcity. **Science of The Total Environment**, v. 644, n. 10, p. 844-853, dez, 2018.

KABATA-PENDIAS A.; PENDIAS, H. Trace Elements in Soil and Plants. 3. ed., Boca Raton: CRC Press, 1992. 548 p.

KHATRI, N.; TYAGI, S.; RAWTANI, A. Recent strategies for the removal of iron from water: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 19, p. 291- 304, out. 2017.

KNAPP, T.; HUANG, Q. Do climate factors matter for producers' irrigation practices decisions. **Journal of hidrology**, v. 552, p.81-91, 2017.

LEITÃO, R. C.; CAVALCANTE, R. R.; RIBEIRO, E. M.; CLAUDINO, R. L.; MACIEL, N. M.; ROSA, M. F. Reuso da água da despesca na produção de camarão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.12, p.1314 -1320, 2011.

LI, X.; KANG, Y.; WAN, S.; CHEN, X. LIU, S.; XU, J. Effect of ridge planting on reclamation of coastal saline soil using drip-irrigation with saline water. *CATENA*, v. 150, p. 24-31, 2017.

LILICRAP, A. M.; BIERMANN, V.; GEORGE, R. J.; GRAY, D. J.; OLDHAM, C. E. The distribution and origins of extremely acidic saline groundwaters in the south of Western

Australia – Groundwater and digital mapping datasets provide new insights. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 717-731, 2018.

LIMA, E. A.; BERALDO, V. J.; GUILERA, S. C.; BRANDÃO, L. C. R.; COSTA, E. A.; COUTINHO, R. M. P. Mapa de classificação química das águas subterrâneas da região nordeste do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2002, Campo Grande.

LIMA, G.; SALES, C. Alocação de água no semiárido. Fortaleza. **Palestras**. COGERH. 2015.

LIMA, J. A.; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M. A. P. M.; JANSEN, J. G.; MARCHETTO, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n.3, p. 291-298, 2011.

LIMA, J. C. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J. G. C.; LIRA JÚNIOR, M. A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, p. 73-79. 2007.

LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soil. New York, John Wiley, 1979. 439 p.

LOPES, D.V. **Acúmulo de metais traço cobre (Cu) e zinco (Zn) em viveiros de cultivo de camarão (Litopenaeus vannamei)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

LU, P. J.; HUANG, S. C.; CHEN, Y.P. CHIUEH, L. C. CHIHSHIH, Y. Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 3, p. 587-594, set. 2015.

LUCAS, Y.; MONTES, C. R.; MOUNIER, S.; CAZALET, M. L.; ISHIDA, D.; ACHARD, R.; GARNIER, C. COULOMB, B. MELFI, A. J. Biogeochemistry of an Amazonian podzol-ferralsol soil system with white kaolin. **Biogeosciences**, v. 9, n. 9, p. 3705-3720, 2012.

MACEDO, L. S.; MORRIL, W. B. B. Origem e comportamento dos metais fitotóxicos: revisão da literatura. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.2, p. 2-38, 2008.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R.C. de; OLIVEIRA, M. Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 71-75, abr. 2001.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1980. 215p.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARINS, R. LACERDA, L. D.; ABREU, I. M.; DIAS, F. J. S. Efeitos da Açudagem no rio Jaguaribe. **Ciência Hoje**, v.33, n. 197, p. 66-70, 2003.

MARTINS, J. A.; CASTELO BRANCO, R. M. G.; MAGINI, C. Análise geoambiental do uso e ocupação do solo em áreas de implantação de carcinicultura no baixo Jaguaribe - Nordeste do Ceará: um enfoque SIG, Geologia e Hidrogeologia. **Revista de Geologia**, v. 24, n. 2, p. 8-125, 2011.

MAZHARY, S. A.; ATTAR, R. S.; HAGHIGHI, F. Heavy metals concentration and availability of different soils in Sabzevar area, NE of Iran. **Journal of African Earth Sciences**, v. 134, p. 106-112, 2017

MEDEIROS, J. S. O.; ARRUDA, F. H. T.; VIEIRA, J. A.; FONTES, M. S.; FERREIRA, M. P. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 183-194, Fev. 2010.

MENEZES, J. PRADO, R. B.; SILVA JÚNIOR, G. C.; MANSURA, K. L.; OLIVEIRA, E. S. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos - RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 687-698, 2009.

MEYER, C. M. C.; RODRIGUEZ, J. M.; CARPIO, E. A.; GARCÍA, P. A.; STENGEL, C.; BERG, M. Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). **Science of The Total Environment**, v. 607-608, p. 1437-1450, dez. 2017.

MIGDISOV, A.; WILLIAMS-JONES, A. E.; HINSBERG, V. V.; SALVI, S. An experimental study of the solubility of baddeleyite (ZrO₂) in fluoride-bearing solutions at elevated temperature. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 75, n. 23, p. 7426-7434, 2011.

MINGOTI, S.A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada – uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2005. 295p.

MIRZA, A.; KING, A.; TROAKES, C.; EXLEY, C. Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer's disease. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 40, p. 30-36, mar. 2017

MISTRETTA, G. Aquífero Jandaíra da Bacia Potiguar. 1984. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

MORA, J. L. HERRERO, D.C. WEINDORF, Multivariate analysis of soil salination-desalination in a semi-arid irrigated district of Spain. **Geoderma**, v. 291, p. 1-10, 2017.

MORAIS, L. F. S.; ROCHA FILHO, F. C.; CORDEIRO, W.; FIGUEIREDO, M. C. ROSA, M. F. Análise das águas subterrâneas nos municípios do Médio e Baixo Jaguaribe: mapeamento e estimativa da disponibilidade atual. **Revista Ciência Agrônômica**, V. 36, n.1, p. 34-43, jan - abr., 2005.

NAKAYA, S.; CHI, H.; MURODA, K.; MASUDA, H. Forms of trace arsenic, cesium, cadmium, and lead transported into river water for the irrigation of Japanese paddy rice fields. **Journal of Hydrology**, v. 561, p. 335-347, jun. 2018.

NAN, Z. YI, H. ZHU, R. ZHAO, X. L. Fast Detection of Carbonate and Bicarbonate in Groundwater and Lake Water by Coupled Ion Selective Electrode. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, v. 44, n. 3, mar., 2016.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.965-971, 2004.

NIU, B.; WANG, H.; LOAICIGA, A. H. HONG, S. SHAO, W. Temporal variations of groundwater quality in the Western Jiangnan Plain, China. **Science of The Total Environment**, v. 578, p. 542-550, 2017.

NOBRE, M. E. S. **Hidroquímica do aquífero aluvionar do Baixo Jaguaribe - Itaíçaba – ceará**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OKUBO, J. Grãos em carbonatos marinhos cretácicos da Bacia Potiguar: formações Ponta do Mel e Jandaíra. 2011. 94 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

PARIZI, H. S.; SAMANI, N. Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical techniques. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, p. 1699-1718, 2013.

PASQUAZZI A.; WEISSENBACHER, R.; OEHLERS, M. Improvement of the compressibility of cobalt powders for the cemented carbide industry. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 62, p.118-125, jan., 2017.

PAZAND, K.; KHOSRAVI, D.; GHADERI, M. R.; REZYANIANZADEH, M. R. Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater in a semi-arid region using major ion chemistry: A case study of Ardestan basin in Central Iran. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 6, p. 245-254, mar. 2018.

PERERA, M. D. N. D.; RANASINGHE, T.K.G. P.; PIYADASA R.U.K.; JAYASINGHEA G.Y. Risk of seawater intrusion on coastal community of Bentota river basin Sri Lanka. **Procedia Engineering**, v. 212, p. 699-706, 2018.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, V. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n.3, p. 436-454, mai-jun, 2017.

PRISCIANDARO, M.; CAPOCELLI, M.; PIEMONTE, V.; BARBA, D. Process analysis applied to water reuse for a “closed water cycle” approach. **Chemical Engineering Journal**, v. 304, p.602-608, 2016.

QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C. Recomendações práticas para o manejo de sedimentos do fundo dos viveiros de aquicultura. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2006.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. B.; TUNDISI, J. G. T. águas Doces no Brasil. ed. 3 São Paulo: Escrituras, 2006.

REGATTIERI, S.; CECCATO, M.; BERTOLO, R. A. Cobalto em Águas Subterrâneas: poluição, anomalia geoquímica, erro analítico ou padrão ambiental restritivo? In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2., 2011, São Paulo.

ROBY, R. B.; Adsorption and desorption of molybdenum (VI) in contaminated water using a chitosan sorbent. **Conservation and Recycling**, v. 134, p. 61-69. Jul. 2018.

SANTOS, M. V. C.; FREIRE, C. C.; SOUZA, V. C. B. Análise potenciométrica e variação de nível do aquífero Aluvionar da bacia experimental do riacho gravatá, no município de Santana do Ipanema – Al – primeiros Resultados. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 9, 2008, Salvador.

SARTI, A.; SILVA, A. J.; CORTES, R. S.; FORESTI, E. Remoção de sulfato de águas residuárias industriais em reator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas seqüenciais. **engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro , v. 13, n. 1, p. 15-22, Mar. 2008 .

SHUQAIR, S. M. S. Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no estado do Paraná. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências) - **Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

SILVA, F. M.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. NOGUEIRA, D. H.; CHAVES, L. C. G. **Dinâmica da qualidade da água para fins de irrigação em reservatório da região semiárida**. In: In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3.; 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2015. p. 3559 - 3565.

SILVA, J. J. F. MIGLORINI, R. B. Caracterização das águas subterrâneas do aquífero Furnas na região sul do estado de Mato Grosso. **Geociências**, v. 33, n. 2, p.261-277, 2014

SIMONSSON, M.; HILLIER, S.; OBORN, I. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. **Geoderma**, v. 151, n 3-4, p. 109-120, jul, 2009.

SINGH, S.; TRIPATHI, D. K.; SINGH. S.; SHARMAC, S.; DUBEY. K.; CHAUHANA, D. K.; VACULÍ, M. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review.**Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 177-193, mai. 2017.

SIQUEIRA, S. L.; KRUSE, M. H. L. Agrotóxicos e saúde humana: contribuição dos

- profissionais do campo da saúde. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 584-590, set. 2008.
- SOARES, L. C.; LINHARES, L. A.; EGREJA FILHO, F. B.; WINDMOLLER, C. C.; YOSHIDA, M. I. Mercúrio em Solos da Região Sudeste do Brasil sem Influência Antropogênica e sua Correlação com as Características Químicas e Físicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 903-914, Jun. 2015.
- SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F. Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 111-120, fev. 2008.
- SOTO, I. S.; VIRTO, I.; BARRÉ, P.; ULGALDE, E. I.; ANTÓN, R.; MARTÍNEZ, I.; CHADUTEAU, C. A model for field-based evidences of the impact of irrigation on carbonates in the tilled layer of semi-arid Mediterranean soils. **Geoderma**, v. 297, p. 48-60, jul 2017.
- SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; 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.
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P.; ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Revista Escola de Minas**, v.62, n. 2, p. 227-236.
- TEIXEIRA FILHO, C. D. Teores de metais pesados em alguns solos do estado do Ceará. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- TORQUATO, J. P. P. **Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de nutrientes e na produção de Feijão-Caupi**. 2009. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, 2003.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1. 2007. 30 p.
- VAROL, S. DAVRAZ, A. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain. **Environmental Earth Science**, v. 73, n. 4, p.1725-1744, 2015.
- VASCONCELOS, S. M. S.; TEIXEIRA, Z. A.; ALVES NETO, J. Caracterização do aquífero Jandaíra, porção situada no Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Geologia**, v. 23, n.1, p.50 - 60, 2010.

WANG, X.; YANG, J.; LIU, G.; YAO, R.; YU, S. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 44-54, 2015.

WILCOX, J. et al. Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review. Sustainable. **Cities and Society**, v.27, p. 448-456, 2016.

YABE, M. J. F.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 5, p. 551-556. Out. 1998.

YAN, Z.; LIU, G.; SUN, R.; TANG, Q.; WU, D. WU, B.; ZHOU, C. Geochemistry of rare earth elements in groundwater from the Taiyuan Formation limestone aquifer in the Wolonghu Coal Mine, Anhui province, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 135, p. 54-62, dez. 2013.

YOU, Z.; LI, G.; DANG, J.; YU, W.; LV, X. The mechanism on reducing manganese oxide ore with elemental sulfur. **Powder Technology**, v. 330, p. 310-316, 2018.

ZHANG, X.; SHUAI, W.; SUN, Q.; WADDOD, S. A. GUO, B. Source identification and spatial distribution of arsenic and heavy metals in agricultural soil around Hunan industrial estate by positive matrix factorization model, principle components analysis and geo statistical analysis. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, V. 159, p.354-362, 2018.

ZUDDAS, P.; CENSI, P; INGUAGGIATO, C.; SPOSITO, F. The behaviour of zirconium and hafnium during water-rock interaction. **Applied Geochemistry**, v. 94, p; 46-52, 2018.

ANEXOS

Tabela 1. Características, uso e localização das fontes hídricas avaliadas na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe.

Fonte hídrica	Tipo ⁽¹⁾	Profundidade (m)	Altitude (m)	Unidade Litoestratigráfica ⁽²⁾	Uso	Localidade	Coordenadas UTM	
							Coordenada N	Coordenada E
Margem direita								
1	AS	-	17	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Rio Serafim – Barragem	9464968	637993
2	AS	-	23	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Córrego do Machado – Barragem	9458529	634248
3	AS	-	23	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Rio lagoa vermelha	9456418	632072
4	PRA	10	25	DA	Consumo doméstico	Jaguaruana	9464861	637779
5	PRA	20	130	FJ	Irrigação e consumo animal	Lagoa da Salsa	9451949	639553
6	PPR	60	30	FA	Irrigação	Perereca	9464398	649180
7	PPR	60	33	FA	Irrigação	Perereca	9463770	650091
8	PPR	160	54	FJ	Consumo doméstico	Boi gordo	9461000	655390

9	PPR	150	50	FJ	Irrigação	Boi gordo	9461873	656816	
						Assentamento			
10	PPR	66	42	FJ	Consumo doméstico	Campos Verdes	9464261	658056	
11	PPR	60	39	FJ	Consumo humano	Cajazeiros	9463530	659513	
12	PPR	90	96	FJ	Consumo doméstico	Serra Dantas	9455709	648128	
13	PPR	90	93	FJ	Consumo humano e animal	Sítio Flor	9450545	646523	
14	PPR	124	111	FA	Consumo humano e animal	Cabeço branca	9456035	639910	
15	PPR	360	112	FA	Irrigação e consumo humano	Bom sucesso	9442285	635183	
16	PPR	71	112	FJ	Irrigação, consumo doméstico e animal	Lageiro do mel	9441346	640978	
Margem esquerda									
17	PPR	70	110	FJ	Irrigação e consumo doméstico	Lageiro do mel	9441341	642042	
18	AS	-	17	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Lagoa do Guilherme	9468427	638953	
19	AS	-	17	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Lagoa João Gomes	9463996	631885	
20	AS	-	16	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Córrego João Gomes	9463324	631249	

21	AS	-	18	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Lagoa do sargento	9463850	624324
22	PRA	10	16	DA	Consumo doméstico e carcinicultura	Saquinho	9466583	637580
23	PRA	12	16	DA	Consumo doméstico e carcinicultura	Saquinho	9466581	637748
24	PRA	8	17	FF	Consumo animal	Jiqui	9470696	616609
25	PRA	8	17	DA	Consumo doméstico	Bomba	9464010	631883
26	PRA	18	14	DA	Consumo doméstico	Pasta vermelha	9466156	627047
27	PRA	20	39	FF	Consumo doméstico	Ramalho	9470024	622295
28	PRA	15	19	DA	Irrigação	Currais	9469164	632614
29	PRA	17	17	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Caissara	9475195	632775
30	PRA	19	9	DA	Carciniculttura	Pasta branca	9467347	628320
31	PRA	30	16	DA	Consumo doméstico	Jurema	9467605	631770
32	PPR	60	44	FF	Consumo doméstico	Mendonça	9473039	626725
33	PPR	30	15	DA	Carciniculttura	Currais	9468638	632409
34	PPR	30	15	DA	Irrigação	Currais	9469022	632374
35	PPR	150	14	DA	Irrigação, consumo doméstico e animal	Figueiredo	9467952	629179
36	PPR	31	13	DA	Carciniculttura	Jurema	9467605	631744

Margem direita								
37	AS	-	18	DA	Lazer, irrigação e consumo animal	São Bento	9464962	640001
38	AS	-	16	DA	Irrigação	São Bento	9465014	640526
39	AS	-	110	DJ	Rocha - Sem atividade antrópica	Cabçoço branca	9455690	641107
40	AS	-	23	FJ	Lazer, irrigação e consumo animal	Lagoa Vermelha	9456418	632072
41	PPR	60	27	FA	Irrigação	Perereca	9463378	649417
42	PPR	69	38	FS	Consumo humano	Serra Dantas	9460440	650765
43	PPR	>20	111	DJ	Consumo humano e animal	Sítio Gurgel	9453864	644812
44	PPR	21	22	DA	Consumo humano	Córrego do Machado	9458538	633947
45	PPR	>20	214	DA	Consumo humano	Igreja Boas Novas	9458534	633952
46	PPR	>20	134	FJ	Irrigação	Lagoa da Salsa	9452236	639511
47	PPR	>20	109	FJ	Irrigação e consumo animal	Lageiro do mel	9441260	641937
Margem esquerda								
48	AS	-	19	DA	Consumo doméstico	Lagoa dos afogados	9458895	632244
49	AS	-	21	DA	Consumo humano e animal	Lagoa dos	9459304	632137

						afogados		
50	AS	-	18	DA	Irrigação, consumo humano e animal	Rio dos afogados	9460724	632541
51	AS	-	14	DA	Consumo humano e animal	Jaguaruana	9464975	635567
52	AS	-	12	DA	Lazer, irrigação e consumo animal	Lagoa dos porcos	9463693	632191
53	AS	-	12	DA	Consumo humano	Lagoa dos porcos	9433961	632081
54	AS	-	14	FF	Irrigação e consumo animal	Lagos dos patos	9468970	626827
55	AS	-	11	DA	Consumo doméstico	Itaiçaba	9483290	631015
56	PRA	8	20	DA	Consumo animal	DNOCS	9464123	636625
57	PRA	13	23	DA	Consumo humano e animal	Sargento	9464941	628066
58	PRA	19	11	DA	Irrigação e consumo animal	Jurema	9467898	631376
59	PRA	15	15	DA	Irrigação, consumo humano e animal	Jurema	9468228	631002
60	PRA	20	13	DA	Irrigação	Jurema	9470694	633508
61	PRA	20	15	DA	Consumo humano	Figueiredo Bruno	9468103	630377
62	PRA	12	14	DA	Carcinicultura	Jurema	9467734	630927
63	PRA	20	16	DA	Consumo humano e animal	Lagoa dos patos	9467800	631658

64	PPR	>20	18	DA	Irrigação, consumo humano e animal	DNOCS	9464192	636304
65	PPR	>20	16	DA	Irrigação	Jiqui	9472202	635288
66	PPR	70	22	DA	Consumo humano e animal	Jaguaruana	9465921	635512
67	PPR	50	27	DA	Irrigação	Jaguaruana	9461611	643490
68	PPR	>20	17	DA	Consumo humano	Curralinho dos Patos	9446669	627298
69	PPR	>20	19	DA	Consumo animal	Sargento	9467912	631273
70	PPR	30	20	FF	Consumo animal	Sítio Baixo verde	9466964	618764
71	PPR	30	48	FF	Consumo animal	Lagoa dos porcos	9470051	621979
72	PRA	20	16	DA	Consumo humano	Jurema	9468083	631895
73	PRA	20	18	DA	Carcinicultura	Currais	9468118	632165
74	PPR	25	10	DA	Carcinicultura	Currais	9471330	633678
75	PPR	31	15	DA	Irrigação	Itaiçaba	9480378	631421

Legenda: 1: AS- Água superficial; PRA- Poço Raso; PPR- Poço profundo; 2: DA-Depósitos Aluvionares; FA- Formação Açú; FJ- Formação Jandaíra; FF- Formação Faceiras; FS- Formação Santarém (Quartzitos).

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos dos pontos na 1ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

Ponto / Fonte	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Soma de cátions	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Soma de ânions	RAS
		dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹			mmolc L ⁻¹							
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
1	7,58	0,75	0,87	1,74	4,15	0,35	7,12	4,17	0,08	0,24	3,17	7,66	3,65
2	7,59	5,09	12,2	9,77	29,37	0,43	51,76	46,83	2,55	0	0,85	50,24	8,86
3	8,39	1,46	1,42	1,78	10,5	0,82	14,52	13,67	0,42	0	1,17	15,26	8,31
Poço raso													
4	7,5	0,68	0,97	1,26	3,92	0,21	6,37	5,25	0,14	0,16	0,72	6,27	3,74
5	8,28	0,52	0,72	0,46	4,03	0,26	5,47	1,83	0,14	0,13	2,03	4,13	5,25
Poço profundo													
6	8	1,91	3,28	3,98	9,34	1,44	18,04	15,67	1,14	0,24	1,88	18,93	4,91
7	7,98	0,52	0,98	0,75	3,24	0,3	5,27	4,42	0	0,4	0,85	5,67	3,49
8	8,16	0,57	0,17	0,47	4,91	0,11	5,66	2,83	0,69	0,59	0,97	5,08	8,82
9	8,51	0,64	0,45	0,76	4,54	0,12	5,86	2,67	0,35	0,24	2,92	6,18	5,86
10	7,88	1,93	2,12	2,11	14,52	0,3	19,05	14,92	2,82	0,08	1,31	19,13	9,99
11	8,08	0,51	0,4	0,21	3,79	0,34	4,74	1,42	0,48	0,08	3,08	5,05	7,75
12	7,8	0,82	1,3	5,43	1,59	0,19	8,5	3,17	3,41	0,08	2,39	9,04	0,87
13	7,39	3,69	1,21	21,15	11,13	1	34,49	18,92	14,72	0,32	1,47	35,42	3,33
14	8,27	1,96	1,6	2,85	13,84	0,87	19,16	12,33	4,84	0	1,73	18,91	9,28
15	7,73	0,72	1,35	1,76	3,39	0,09	6,59	3,58	1,38	0	2,07	7,03	2,72
16	8,13	0,97	3,86	1,54	4,34	0,2	9,93	5,33	0,56	0	4,45	10,34	2,65
17	7,71	0,88	2,38	2,3	3,97	0,1	8,76	5,92	0,49	0	2,59	9	2,6
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
18	7,78	1,31	1,72	4,88	6,71	0,3	13,61	12,83	0,38	0,08	1,44	14,73	3,71
19	7,56	0,31	0,16	0,19	1,81	0,22	2,37	2,33	0,09	0	0,75	3,17	4,99
20	7,29	0,21	0,09	0,08	1,74	0,23	2,14	1,5	0,02	0	0,45	1,97	6,76
21	7,84	1,35	0,74	1,24	9,06	0,27	11,31	9,16	0,64	0	2,44	12,24	8,43
Poço raso													
22	7,48	0,9	1,86	1,56	5,2	0,12	8,74	6	0,61	0,37	1,43	8,41	3,98

23	7,58	0,87	1,51	1,58	4,98	0,15	8,23	6,17	0,61	0,4	1,43	8,61	4
24	8,01	0,77	1,43	1,1	5,05	0,13	7,7	6,17	0,3	0,24	1,19	7,89	4,5
25	7,53	0,68	0,77	2,13	3,21	0,05	6,16	6,5	0,07	0	0,36	6,93	3,52
26	8,08	0,43	0,09	0,41	3,46	0,07	4,03	1	0,17	0,08	2,75	4	7,18
27	7,46	2,15	0,83	6,76	9,86	1,45	18,91	21	0	0	0,59	21,59	4,24
28	8,62	0,54	0,53	1,95	2,54	0,1	5,11	3,17	0,53	0	1,73	5,43	3,13
29	7,46	0,57	0,33	0,85	3,81	0,11	5,1	3,08	0	0	2,43	5,51	4,98
30	7,05	1,39	2,3	1,16	11,75	0,17	15,39	10,83	0,01	0	3,29	14,14	9,22
31	8,64	0,36	0,22	0,48	2,33	0,15	3,17	2	1,26	0,16	0,45	3,87	3,98
Poço profundo													
32	7,07	17,09	43,28	55,86	66,02	5,11	170,28	166,33	0	0	0,45	166,79	9,38
33	7,75	0,49	0,23	0,65	2,54	0,13	3,56	2,83	0,08	0	1,39	4,3	3,83
34	7,83	0,47	0,22	0,6	3,02	0,58	4,42	2,58	0,52	0	1,21	4,32	4,74
35	8,96	0,51	0,63	0,76	4,11	0,4	5,9	4	0,11	0,29	1,76	6,17	5,66
36	7,53	1,61	0,39	3,27	11,18	0,28	15,12	11,33	0,59	0,53	2,6	15,06	13,73
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
37	Seco												
38	Seco												
39	8,07	2,34	3,97	4,45	15,07	0,21	23,69	15,00	1,38	0,83	7,36	24,56	7,35
40	9,64	1,46	1,42	1,78	10,50	0,82	14,52	13,67	0,42	0,29	1,17	15,26	8,31
Poço profundo													
41	8,01	1,46	3,25	3,22	7,91	0,51	14,89	9,25	2,87	0,16	2,19	14,46	4,40
42	7,78	0,20	0,28	0,34	0,97	0,32	1,91	0,50	0,95	0,00	0,53	1,99	2,82
43	8,43	0,72	1,62	1,28	4,01	0,43	7,34	3,25	0,72	1,55	2,43	7,94	3,87
44	Seco												
45	8,17	3,38	2,28	7,27	21,90	1,03	32,48	30,17	2,07	0,08	0,89	33,21	11,62
46	8,24	0,74	0,41	1,15	4,79	0,87	7,23	2,00	0,39	0,16	4,44	6,99	5,43
47	7,53	0,84	2,57	1,98	3,91	0,06	8,52	6,75	0,42	0,00	1,20	8,37	2,59
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
48	7,23	28,13	59,40	25,05	199,22	2,53	286,20	278,25	0,82	0,00	2,60	281,67	30,66
49	Seco												
50	8,04	0,85	1,13	1,28	5,48	0,27	8,16	5,92	0,79	0,00	1,99	8,69	5,00
51	Seco												

52	7,25	3,06	3,74	5,92	20,00	0,41	30,07	26,50	2,53	0,00	1,75	30,78	9,31
53	8,05	1,42	1,69	8,17	4,28	0,23	14,37	12,33	0,56	0,08	1,01	13,99	3,76
54	7,60	0,83	0,79	2,54	4,77	0,23	8,33	3,00	0,10	0,00	4,77	7,88	3,82
55	7,47	16,48	72,52	23,19	73,72	1,26	170,69	155,83	4,22	0,00	2,80	162,85	10,66
Poço raso													
56	8,06	0,72	0,40	1,06	5,57	0,12	7,15	2,42	0,54	0,40	4,23	7,59	6,59
57	7,98	0,59	0,70	0,28	4,79	0,07	5,85	3,17	0,11	0,16	2,61	6,05	7,68
58	Inacessível												
59	7,93	0,51	0,17	0,80	3,89	0,15	5,02	3,25	0,42	0,00	1,49	5,16	5,60
60	Inacessível												
61	Inacessível												
62	7,21	1,26	0,70	0,14	10,58	0,12	11,53	7,75	2,86	0,08	1,65	12,35	16,92
63	7,25	3,63	16,12	2,12	17,46	0,24	35,94	20,42	13,97	0,00	0,79	35,17	5,79
64	7,23	0,35	0,09	0,92	2,33	0,12	3,46	1,67	1,22	0,00	0,81	3,70	3,28
65	Inacessível												
Poço profundo													
66	Seco												
67	7,84	0,36	0,13	0,84	2,42	0,18	3,57	2,25	0,06	0,00	1,67	3,98	3,47
68	Inacessível												
69	Inacessível												
70	7,92	0,74	0,64	1,29	4,71	0,34	6,97	5,00	0,97	0,00	1,63	7,60	4,80
71	7,32	0,11	0,04	0,50	0,49	0,13	1,16	0,50	0,93	0,00	0,19	1,61	1,97
72	Inacessível												
73	Inacessível												
74	8,04	0,41	0,14	0,51	3,31	0,22	4,19	2,00	0,00	0,00	2,01	4,01	8,11
75	7,16	5,52	3,24	14,82	37,07	0,57	55,70	49,58	3,71	0,00	0,83	54,12	12,52

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos dos pontos na 2ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

Ponto / Fonte	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Soma de cátions	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Soma de ânions	RAS
		dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹			mmolc L ⁻¹							
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
1	8,16	0,83	1,38	1,12	4,51	0,96	7,97	4,67	0,2	0,29	3,54	8,7	4,03
2	8,2	0,93	1,36	3,55	3,82	0,33	9,07	5,5	1,37	0,24	2,84	9,95	2,44
3	9,39	1,25	0,86	6,3	4,86	0,16	12,19	5,83	0,9	0,27	4,27	11,26	2,68
Poço raso													
4	8,25	0,84	1,46	3,46	3,5	0,2	8,62	5,08	0,85	0,24	2,89	9,07	2,23
5	7,72	0,33	1,09	2,58	0,12	0,08	3,86	0,33	0,27	0,27	2,55	3,42	0,09
Poço profundo													
6	8,33	1,84	3,17	1,91	10,93	1,07	17,08	14,75	1,36	0	1,67	17,77	6,85
7	8,45	0,59	0,75	1,91	2,37	0,17	5,21	1,75	0,06	0,4	3,43	5,64	2,06
8	8,41	0,54	0,75	0,17	4,4	0,09	5,41	0,67	1,05	0,51	3,81	6,04	6,56
9	8,42	0,35	0,08	1,17	2,01	0,06	3,32	1,58	0,4	0,08	1,61	3,67	2,54
10	6,97	1,91	3,26	5,74	8,55	0,5	18,04	13,83	2,82	0,16	2,35	19,16	4,03
11	8,53	0,52	0,65	0,3	3,5	0,23	4,69	2,08	0,26	0,53	2,08	4,95	5,06
12	8,33	1,1	6,15	3,52	1,9	0,09	11,66	6,5	1,32	0,11	3,51	11,43	0,86
13	8,22	4,02	8,87	16,05	13,71	0,6	39,22	19,92	16,56	0,08	3,43	39,98	3,88
14	8,56	1,92	2,34	4,58	12,04	0,36	19,32	8,75	6,91	0,45	4	20,11	6,48
15	8,34	0,65	0,74	2,55	3,49	0,2	6,98	2,33	1,07	0,61	3,64	7,65	2,72
16	7,41	1,04	1,98	0,35	7,62	1	10,96	7,92	0,45	0	2,03	10,39	7,1
17	7,56	0,84	3,75	2,25	1,99	0,03	8,02	4,75	1,06	0,27	3,51	9,59	1,15
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
18	8,29	0,36	0,63	1,29	1,38	0,14	3,44	0,92	0	0,08	3	4	1,41
19	8,21	0,41	0,22	0,45	3,24	0,08	3,99	1,58	0,65	0,08	1,77	4,08	5,62
20	7,6	0,23	0,09	0,5	1,77	0,08	2,43	0,83	0,56	0	1,47	2,86	3,28
21	7,2	0,32	0,04	1,25	1,52	0,1	2,92	1,58	0,65	0	0,89	3,12	1,89
Poço raso													
22	8,23	0,83	2,14	2,11	3,24	0,09	7,58	2,5	0,73	0,13	3,51	6,87	2,22

23	8,21	0,78	2,33	1,84	3,5	0,07	7,73	2,5	0,72	0,24	3,23	6,69	2,42
24	7,34	0,97	1,41	3,05	3,96	0,15	8,57	6,25	0,68	0,21	2,73	9,88	2,65
25	8,26	0,87	0,59	3,95	3,51	0,05	8,1	4,83	0,47	0	3,27	8,57	2,33
26	8,27	0,82	0,59	1,49	5,61	0,37	8,06	5,17	1,76	0	0,84	7,77	5,49
27	6,74	0,42	0,09	2,57	1,29	0,3	4,25	3,33	0,29	0	1,13	4,76	1,12
28	7,35	0,4	0,04	0,8	2,76	0,06	3,65	1,5	1	0,08	1,73	4,31	4,29
29	7,8	0,39	0,39	1,48	1,8	0,1	3,77	3,42	0,11	0	0,61	4,14	1,86
30	7,39	1,02	1,47	3,12	5,12	0,13	9,83	7,83	1,35	0	1,57	10,76	3,38
31	7,04	0,41	0,23	2,52	1,34	0,11	4,21	1,58	1,5	0	1,17	4,26	1,15
Poço profundo													
32	6,71	16,7	47,87	67,3	42,21	3,93	161,31	164,25	0,15	0	0,69	165,09	5,6
33	7,15	0,31	0,51	0,99	1,49	0,21	3,2	1,83	0,61	0,16	0,93	3,54	1,72
34	7,41	0,42	0,25	1	2,59	0,87	4,71	2	0,99	0,19	1,12	4,3	3,3
34	7,24	0,68	0,38	1,95	4,01	0,2	6,55	3,83	0,15	0,11	2,33	6,42	3,72
36	6,47	0,9	0,18	5,65	2,73	0,12	8,68	5,42	2,1	0,08	1,08	8,68	1,59
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
37	8,28	0,90	1,98	1,77	5,04	0,94	9,73	5,00	2,15	0,08	1,95	9,18	3,68
38	7,63	1,01	1,24	0,34	8,65	0,31	10,54	7,00	1,29	0,11	0,73	9,13	9,72
39	8,25	0,72	0,88	2,53	2,47	0,38	6,27	2,33	1,30	0,32	3,01	6,97	1,89
40	9,39	0,97	0,86	5,72	4,86	0,16	10,60	4,83	0,90	0,24	4,29	10,26	2,68
Poço profundo													
41	8,46	2,41	3,91	2,09	14,62	3,70	24,32	18,83	1,91	0,27	2,64	23,65	8,44
42	8,27	0,21	0,08	1,30	0,54	0,15	2,07	0,92	0,16	0,08	1,15	2,30	0,65
43	8,01	0,61	1,17	1,45	2,67	0,54	5,84	3,08	0,72	0,00	2,31	6,11	2,33
44	7,92	0,85	1,23	3,98	3,49	0,20	8,90	3,42	4,16	0,08	1,52	9,18	2,17
45	Inacessível												
46	Inacessível												
47	9,26	0,24	0,61	0,60	0,72	0,10	2,03	0,83	0,20	0,24	1,65	2,93	0,93
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
48	8,18	0,21	0,27	1,02	0,75	0,10	2,14	0,67	0,84	0,00	0,88	2,38	0,93
49	7,48	0,24	0,07	1,81	0,68	0,12	2,67	1,00	1,38	0,00	0,47	2,84	0,70
50	7,59	0,23	0,60	0,81	0,72	0,07	2,20	1,42	0,20	0,00	0,83	2,44	0,86
51	8,50	2,86	6,51	3,61	16,62	1,58	28,33	21,08	4,84	0,93	2,96	29,82	7,38

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos dos pontos na 3ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

Ponto / Fonte	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Soma de cátions	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Soma de ânions	RAS
		dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹			mmolc L ⁻¹							
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
1	8,54	3,02	0,73	8,81	18,65	0,81	29	26,75	0,88	0	3,29	30,92	8,54
2	7,43	4,03	8,58	9,75	21,04	0,31	39,69	29,92	9,16	0	2,32	41,4	6,95
3	7,78	1,3	4,53	3,72	2,86	0,09	11,21	6,08	1,15	0	4,87	12,1	1,41
Poço raso													
4	7,98	0,9	1,22	2,86	3,88	0,27	8,23	4,25	0,77	0	3,96	8,98	2,72
5	8,1	0,49	1,29	2,13	0,39	0,24	4,04	1,17	0	0,24	3,16	4,57	0,3
Poço profundo													
6	7,84	3,28	7,91	7,13	16,11	0,46	31,61	21,83	7,96	0	2,39	32,18	5,88
7	8,05	0,79	0,99	2,43	3,48	0,27	7,17	3,25	0	0,53	3,56	7,34	2,66
8	8,5	0,74	1,28	1,14	6,07	0,14	8,62	3,5	1,14	0,19	2,53	7,36	5,54
9	8,53	0,68	1,07	1,02	3,96	0,27	6,31	3,08	1,01	0,16	2,53	6,79	3,91
10	8,43	1,97	6,11	5,9	8,27	0,11	20,38	14,92	4,03	0	0,99	19,93	3,38
11	8,45	0,42	0,09	0,5	3,4	0,2	4,19	0,5	0,27	0,19	3,04	4	6,32
12	7,92	1,34	4,97	4,95	3,02	0,15	13,08	7,5	2,43	0	2,32	12,25	1,35
13	7,91	3,4	11,47	13,37	8,86	1,37	35,07	15,58	17,91	0,43	2,53	36,45	2,51
14	8,18	1,99	2,76	4,83	11,44	0,93	19,96	6,92	7,99	0,29	5,84	21,04	5,88
15	8,46	0,83	0,81	1,15	5,85	0,22	8,03	3,42	0,89	0,37	3,47	8,15	5,92
16	7,72	1,08	3,56	4,48	2,74	0,04	10,82	6,5	1,02	0	3,15	10,67	1,36
17	7,71	1,11	3,98	3,94	2,68	0,04	10,63	6,5	1,04	0,11	2,51	10,15	1,35
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
18	7,61	2,09	2,26	6,12	11,88	0,64	20,9	14,08	2,8	0,27	2,31	19,46	5,81
19	7,63	0,94	0,94	1,89	6,81	0,18	9,82	7,33	0,34	0	2,29	9,97	5,72
20	8,27	1,1	1,05	1,99	7,96	0,21	11,21	7,58	0,83	0,16	2,27	10,84	6,45
21	7,6	1,57	2,08	1,46	9,07	1,73	14,34	11,08	0,99	0	3,49	15,57	6,82
Poço raso													
22	7,6	1,68	3,25	4,71	8,44	0,16	16,56	12,33	2,53	0,19	2,2	17,25	4,23

23	7,1	1,76	3,42	4,83	8,47	0,15	16,88	11,17	2,55	0,16	2,43	16,3	4,17
24	7,57	1,58	0,62	12,46	2,82	0,04	15,94	10,08	1,81	0,64	3,55	16,08	1,1
25	7,18	0,88	1,12	3,47	3,74	0,07	8,4	5,42	0,33	0	2,69	8,44	2,47
26	7,45	0,75	0,49	0,76	5,85	0,21	7,31	3,75	0,42	0,32	2,48	6,97	7,44
27	7	0,62	0,22	2,99	2,21	0,38	5,8	4,08	0,27	0	1,36	5,71	1,74
28	7,87	0,53	0,17	0,95	3,62	0,46	5,21	2,5	1,21	0	1,83	5,54	4,85
29	7,25	0,89	0,85	1,32	6,49	0,14	8,79	6,58	0,24	0	2,21	9,04	6,24
30	6,83	0,92	0,75	4,54	4,17	0,12	9,58	6,08	2,16	0	0,92	9,16	2,57
31	8,01	0,43	0,1	3,03	2,09	0,2	5,41	1,67	3,21	0	1,13	6,01	1,77
Poço profundo													
32	7,12	16,82	36,24	65,18	54,48	4,23	164,12	161,33	0,11	0	0,49	161,94	8,21
33	6,96	0,59	0,11	2,43	2,98	0,11	5,63	2,83	1,78	0	1,35	5,96	2,64
34	7,06	0,6	0,37	1,67	3,24	0,48	5,76	2,25	2,54	0	1,41	6,2	3,21
35	7,13	0,42	0,14	1,15	2,65	0,09	4,02	2,08	0,12	0,24	2	4,44	3,29
36	7,36	0,77	1,15	1,36	4,62	0,24	7,36	3,17	2,73	0,08	1,52	7,5	4,12
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
37	Seco												
38	8,02	2,54	2,68	3,69	18,98	0,42	25,77	22,17	0,91	0,40	3,20	26,68	10,63
39	8,66	2,36	0,52	15,23	8,25	0,11	24,11	11,33	5,89	0,43	6,01	23,66	2,55
40	7,78	1,30	4,53	3,72	2,86	0,09	11,21	6,08	1,15	0,00	4,87	12,10	1,41
Poço profundo													
41	8,11	3,54	6,40	10,14	17,10	0,34	33,99	23,17	8,29	0,24	3,39	35,08	5,95
42	8,42	0,46	0,11	1,97	1,75	0,25	4,09	2,08	0,25	0,00	2,35	4,68	1,72
43	Inacessível												
44	8,24	1,30	3,94	4,01	4,54	0,15	12,64	8,83	0,00	0,51	2,72	12,06	2,27
45	Inacessível												
46	Inacessível												
47	8,05	1,11	3,85	4,40	2,66	0,04	10,95	6,58	1,11	0,08	2,87	10,64	1,31
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
48	Seco												
49	Seco												
50	Seco												
51	7,72	4,58	5,62	8,13	32,48	1,33	47,57	42,50	1,59	0,00	5,67	49,76	12,39

52	Seco												
53	7,84	0,52	0,14	0,81	3,54	0,05	4,54	0,83	0,41	0,45	3,28	4,98	5,12
54	8,06	0,89	0,99	0,59	6,42	0,20	8,20	4,67	0,91	0,16	3,31	9,04	7,22
55	7,24	4,31	1,06	28,52	10,49	0,12	40,19	19,58	20,93	0,00	1,33	41,85	2,73
Poço raso													
56	7,52	1,57	2,06	4,23	8,71	0,09	15,09	8,50	3,46	0,00	3,95	15,91	4,91
57	Seco												
58	Seco												
59	Inacessível												
60	3,95	0,82	0,79	3,42	3,11	0,34	7,65	2,58	5,49	0,00	0,00	8,07	2,14
61	8,02	0,68	0,21	2,25	3,67	0,13	6,26	2,08	2,90	0,19	1,61	6,78	3,31
62	8,12	0,74	1,15	0,35	6,09	0,15	7,74	2,50	3,29	0,40	1,96	8,15	7,03
63	Inacessível												
64	Inacessível												
65	7,03	1,05	0,67	1,41	8,05	0,24	10,37	7,58	0,56	0,08	2,55	10,77	7,88
Poço profundo													
66	7,30	1,78	2,52	3,60	12,81	0,15	19,08	15,33	1,61	0,00	2,00	18,94	7,35
67	Inacessível												
68	7,87	0,71	0,78	2,72	3,02	0,04	6,57	3,42	0,18	0,27	3,15	7,01	2,28
69	Inacessível												
70	7,47	0,72	0,40	1,48	4,76	0,09	6,73	3,33	2,55	0,00	1,67	7,55	4,93
71	Seco												
72	7,84	0,52	0,14	0,81	3,54	0,05	4,54	0,83	0,41	0,45	3,28	4,98	5,12
73	7,53	3,84	5,98	15,31	15,03	2,14	38,46	35,75	0,01	0,00	1,43	37,19	4,61
74	Seco												
75	7,16	5,84	4,79	15,76	33,24	0,62	54,41	40,33	14,60	0,00	1,48	56,41	10,37

Tabela 7. Parâmetros físico-químicos dos pontos na 4ª coleta para avaliação da variação temporal e espacial da qualidade de fontes hídricas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

Ponto / Fonte	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Soma de cátions	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Soma de ânions	RAS
		dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹			mmolc L ⁻¹							
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
1	7,23	0,75	0,76	2,08	4,77	0,19	7,79	5,33	0,91	0	1,95	8,19	4,01
2	7,77	1,06	1,71	3,79	4,26	0,21	9,97	7,25	0,89	0,16	2,15	10,45	2,57
3	7,66	2,55	3,54	6,55	12,66	0,34	23,08	20,92	1,72	0,16	2,08	24,88	5,64
Poço raso													
4	7,63	0,59	0,9	1,94	2,86	0,26	5,95	2,58	0,75	0,15	2,92	6,4	2,4
5	7,91	0,21	0,44	1,06	0,13	0,12	1,75	0,25	0,1	0	1,61	1,96	0,15
Poço profundo													
6	7,79	2,02	3,45	5,56	11,1	0,34	20,44	14,67	1,96	0,35	2,33	19,31	5,24
7	8,34	0,59	0,84	1,74	3,2	0,24	6,02	3,33	0,32	0,35	2,63	6,62	2,82
8	8,05	0,33	0,04	0,71	2,29	0,05	3,1	1,33	0,97	0,11	1,37	3,78	3,75
9	8,25	0,54	0,07	0,93	4,16	0,08	5,24	2,5	0,84	0,19	2,05	5,58	5,88
10	7,01	2,09	4,86	7,06	7,09	0,14	19,14	13,33	2,4	0,59	2,67	18,99	2,9
11	8,25	0,48	0,07	0,93	2,93	0,22	4,15	1,17	0,24	0,4	2,71	4,52	4,14
12	7,78	1,06	3,89	4,78	2,03	0,13	10,83	5	1,14	0,25	3,68	10,08	0,98
13	7,64	2,57	4,73	18,85	3,8	0,58	27,97	21,5	2,52	0,2	2,38	26,6	1,11
14	8,14	2,15	1,39	3,78	13,29	0,61	19,07	13,5	3,34	0,45	2,95	20,24	8,28
15	8,37	0,59	0,46	2,54	2,47	0,22	5,69	3	0,75	0,35	2,11	6,2	2,01
16	7,47	1,33	4,26	5,49	2,86	0,04	12,65	8,08	0,86	0	2,95	11,89	1,3
17	7,54	1,15	3,25	4,92	2,17	0,04	10,37	5,83	0,73	0,32	2,75	9,63	1,07
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
18	7,94	1,42	1,27	4,4	7,28	0,64	13,59	10,5	1,19	0	2,24	13,93	4,33
19	7,3	0,33	0,03	1,22	1,68	0,16	3,08	0,92	1,77	0	1,2	3,89	2,12
20	7,71	0,34	0,03	0,72	1,7	0,17	2,62	0,75	0,75	0	1,69	3,18	2,77
21	7,66	0,97	0,18	2,66	6,04	0,28	9,16	6,5	0,51	0,08	2,81	9,9	5,07
Poço raso													
22	7,37	2,36	4,12	7,47	8,47	0,11	20,17	16,5	2,54	0,32	1,72	21,08	3,52

23	7,63	2,11	4,15	6,94	8,52	0,12	19,72	16,75	2,37	0,32	1,53	20,97	3,62
24	7,68	4,38	1,66	12	27,78	1,51	42,96	40,33	2,08	0,16	1,51	44,08	10,63
25	6,84	0,59	0,09	2,5	2,46	0,06	5,1	3,83	0,29	0,13	1,64	5,9	2,16
26	7,41	0,75	0,08	1,59	5,42	0,05	7,14	4,08	0,92	0,17	2,36	7,54	5,94
27	7,15	0,85	0,44	4,98	2,37	0,41	8,2	6,17	0,35	0,27	1,46	8,24	1,44
28	6,96	0,32	0,03	0,89	1,73	0,14	2,8	1,33	0,25	0	1,61	3,2	2,57
29	8,17	0,79	0,62	2,96	4,02	0,17	7,77	4,5	0,26	0,32	3,17	8,25	3,01
30	7,96	1,5	1,29	4,71	7,76	0,09	13,86	10,33	2,8	0	1,43	14,56	4,48
31	7,76	0,44	0,06	2,69	1,96	0,18	4,88	2,83	0,98	0	1,1	4,92	1,67
Poço profundo													
32	7,3	17,93	45,15	71,1	59,01	5,29	180,55	182,83	0,11	0,24	0,3	183,48	7,74
33	6,92	0,54	0,08	2,92	2,79	0,1	5,89	4	0,82	0	1,55	6,37	2,28
34	7,09	0,54	0,05	3,2	1,55	0,4	5,2	2,33	1,35	0	1,47	5,15	1,22
35	8,11	0,59	0,05	1,78	3,37	0,1	5,3	4,33	0,07	0,16	1,53	6,1	3,52
36	7,12	0,94	0,59	3,66	4,5	0,16	8,91	5,17	2,58	0	1,61	9,36	3,09
MARGEM DIREITA													
Água superficial													
37	Seco												
38	8,15	0,24	0,05	1,20	1,37	0,14	2,76	1,00	1,46	0,00	0,59	3,05	1,73
39	Inacessível												
40	7,66	2,55	3,54	6,55	12,66	0,34	23,08	20,92	1,72	0,16	2,08	24,88	5,64
Poço profundo													
41	Inacessível												
42	7,35	0,25	0,03	1,22	1,05	0,19	2,49	1,00	0,06	0,03	1,77	2,86	1,33
43	8,74	0,58	0,28	2,47	2,37	0,35	5,47	2,33	1,23	0,19	2,21	5,96	2,02
44	Inacessível												
45	8,12	3,42	3,88	13,79	18,96	0,62	37,24	30,83	5,81	0,00	0,00	36,64	6,37
46	Inacessível												
47	Inacessível												
MARGEM ESQUERDA													
Água superficial													
48	7,95	0,23	0,03	0,55	1,33	0,14	2,05	0,83	1,17	0,00	0,41	2,42	2,51
49	6,45	0,21	0,03	1,30	0,36	0,19	1,88	0,67	0,75	0,00	0,61	2,03	0,44
50	Inacessível												
51	7,92	1,69	0,87	5,05	10,46	0,75	17,13	13,50	1,72	0,00	2,60	17,82	6,08

Tabela 10. Teores de boro e metais pesados verificados nas águas das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (27/12/2016).

Ponto	Metais													
	Al	B	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti	Zn	Zr
Ppm														
Água superficial														
1	0,0047	0,0548	0,0003	0*	0,01	0,1065	0,0006	0	0	0,001	0,0066	0,0047	0,0027	0
2	0,231	0,131	0,0002	0,0008	0,0559	1,22	0,0007	2,999	0,0008	0,0036	0,0017	0,0103	0,0787	0
3	0,1316	0,1111	0,0001	0,0009	0,0294	0,3678	0,0005	0,0813	0,001	0,0027	0,0032	0,0043	0,0325	0
Poço raso														
4	0,2973	0,0386	0,0002	0,0026	0,0165	3,633	0,0007	5,126	0,0036	0,0028	0,0033	0,0056	0,0863	0
5	0	0,0609	0	0	0,0559	0,0763	0,0013	0,0558	0	0	0	0	0,0539	0,0705
Poço profundo														
6	0,1763	0,0873	0,0003	0	0,0853	0,5621	0	0,0604	0,0019	0,0077	0,0106	0	0,0913	0
7	0,0299	0,0216	0,0003	0	0,0647	0,2652	0,0003	0,0531	0,0011	0,0023	0,0043	0	0,0521	0
8	0	0,0492	0,0003	0	0,1158	0,3493	0	0,0179	0,0012	0,0035	0,0066	0	0,06	0
9	0	0,0001	0,0003	0	0,0548	0,0431	0,0005	0,0186	0,0001	0	0,0009	0	0	0
10	0,233	0,1445	0,0004	0	0,1309	1,553	0,0015	0,096	0,0009	0,0008	0,0048	0	0,4749	0
11	0	0,0502	0,0003	0	0,065	0,1127	0	0,0106	0,0005	0	0,003	0	0	0
12	4,715	0,066	0,0004	0	0,1138	0,629	0,001	0,0315	0,0027	0,0042	0	0	0,1076	0
13	0	0,0435	0,0002	0	0,0936	0,2821	0,0006	0,0299	0,0002	0	0	0	0,0283	0
14	0	0,2205	0,0003	0	0,1003	0,3622	0,0004	0,1395	0,0008	0,0015	0	0	0,0017	0
15	0	0,0374	0,0002	0	0,069	0,2623	0,001	0,0209	0,0013	0	0	0	0,0105	0
16	0,2554	0,097	0	0,0006	0,1535	2,092	0,0008	0,8998	0	0,0086	0,0031	0	0,1148	0,041
17	0	0,1333	0,0001	0	0,1043	0,3285	0	0,0246	0,002	0,0008	0	0	0,0101	0
Água superficial														
18	0,2253	0,0766	0,0001	0,0003	0,0585	0,9876	0,0003	1,969	0,0007	0,0035	0,0023	0,0046	0,0316	0
19	1,086	0,0004	0,0002	0,0019	0,0576	4,029	0,0005	0,1855	0,0002	0,0085	0,0073	0,0097	0,0183	0

20	1,334	0	0,0002	0,0019	0,0513	4,009	0	0,1367	0	0,0059	0,006	0,0149	0,0339	0
21	0,7747	0,0568	0,0002	0,0011	0,0098	2,299	0	0,2973	0,0015	0,0039	0,0035	0,0114	0,0888	0
Poço raso														
22	0,2077	0,0301	0,0002	0,0008	0,0816	0,9312	0,0013	1,846	0,0001	0,0067	0,0056	0,0078	0,1067	0,0186
23	0	0,024	0	0	0,1175	0,4502	0,0015	0,1776	0	0,0026	0	0	0,0304	0,0561
24	0,0912	0,0395	0,0002	0,0003	0	0,4917	0	0,3657	0	0,0011	0,0019	0	0,0107	0,0013
25	0,0428	0,0295	0,0001	0,0064	0,0577	0,937	0,0004	1,835	0	0,0109	0,0029	0,0034	0,0304	0
26	0,0507	0,0566	0,0002	0,0004	0	2,637	0	0,4533	0,002	0,0018	0,0036	0	0,0613	0
27	0,1403	0,058	0,0001	0,0012	0,0017	0,16	0	0,5479	0,0004	0,0013	0,0031	0	0,0175	0
28	0,2021	0,0217	0,0002	0,0002	0,014	7,493	0,0009	0,2931	0,0009	0,002	0	0,0061	0,107	0,009
29	0,3124	0,0285	0,0004	0	0,0212	14,83	0,0012	0,7375	0,0013	0,0008	0,0068	0,0054	0,0127	0
30	0,1209	0,0399	0,0002	0,0011	0,0422	12,8	0,0001	1,08	0,001	0,0045	0,0028	0	0,0274	0
31	0	0,0085	0	0,0004	0	0,671	0	0,1225	0	0	0	0	0,0004	0
Poço profundo														
32	0,0902	0,0875	0,0012	0,0135	0,0192	0,3786	0,0001	1,887	0,0013	0,0444	0,0049	0	0,0268	0
33	0,4802	0,0513	0,0005	0	0,0842	40,38	0	0,8483	0,0005	0,0053	0,0097	0	0,0268	0
34	0	0,0529	0,0002	0	0,0157	8,132	0	0,3805	0,0006	0	0,0064	0	0,0161	0,0099
35	0	0,0357	0,0001	0,0006	0,0152	3,58	0	0,1083	0,0033	0,0035	0,0058	0	0,0544	0,0005
36	0,1268	0,0668	0,0002	0,0002	0,0087	3,245	0,0007	0,1183	0,0007	0,002	0,0006	0,0038	0,0314	0,0171

*O valor 0 é menor que 0,1 ppb (Limite de tensão do equipamento).

Tabela 11. Teores de boro e metais pesados verificados nas águas das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 2ª coleta (10/04/2017).

Ponto	Metais													
	Al	B	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti	Zn	Zr
Ppm														
Água superficial														
1	0,901	0,0741	0,0002	0,0022	0,0088	2,674	0,0003	0,6275	0*	0,0054	0,0049	0,0302	0,0018	0
2	1,778	0,152	0,0003	0,0007	0,0208	3,423	0,0003	3,195	0,0047	0,0072	0,0028	0,0174	0,0795	0
3	0,3574	0,1101	0,0002	0,0005	0,0109	0,2508	0,0004	0,1236	0,0019	0,0026	0	0,0028	0,0184	0
Poço raso														
4	0,2283	0,0423	0,0005	0,0026	0,0514	21,8	0,0006	4,44	0,0029	0,0021	0,0031	0	0,0506	0
5	0,1374	0,0178	0	0	0,0326	0,9372	0	1,343	0	0	0,0092	0	0	0,0642
Poço profundo														
6	0,0374	0,2156	0,0003	0	0	0,0792	0	0,0108	0,0004	0,0028	0,0044	0	0,029	0
7	0,1975	0,0414	0,0003	0	0,0233	0,4106	0,0005	0,0718	0,0002	0	0,0039	0	0,0094	0,0353
8	0	0,0723	0,0003	0	0,0564	0	0	0,0083	0,0006	0	0,0026	0	0	0
9	0	0,1265	0,0004	0	0,0577	0,1384	0,0002	0,47	0,0008	0	0,0075	0	0	0
10	0	0,1579	0,0004	0	0,0653	0,2085	0,0006	0,0215	0	0	0,0003	0	0,1679	0,0027
11	0	0,0452	0,0003	0	0,046	0,0257	0	0,0059	0,0004	0	0	0	0	0
12	0,0044	0,1508	0,0004	0	0,0693	0,1222	0	0,0312	0,0051	0	0,0001	0	0,0264	0
13	0	0,233	0,0001	0	0,0724	0,1341	0,0008	0,0242	0,0001	0	0	0	0,0158	0
14	0	0,2007	0,0002	0	0,0542	0,0016	0	0,0929	0,0008	0	0	0	0,0038	0
15	0	0,1009	0,0002	0	0,0734	1,442	0,0005	0,0681	0,0014	0	0	0	0,1312	0
16	0	0,2004	0	0	0,0569	0,1768	0,0024	0,0366	0	0	0	0	0,023	0,0406
17	0	0,213	0,0003	0	0,0545	0,0748	0,0026	0,0128	0,0006	0	0,0014	0	0	0,0259
Água superficial														
18	1,49	0,0774	0,0001	0,0015	0,0123	2,403	0,0003	0,5201	0,0019	0,0065	0,0023	0,0251	0,0738	0
19	2,187	0,0085	0,0003	0,004	0,0234	10,98	0	0,6246	0	0,0073	0,0124	0,0192	0,0315	0

20	2,405	0,0108	0,0002	0,0028	0,0086	8,686	0	0,2604	0	0,0062	0,0065	0,0186	0,0204	0
21	1,529	0,0179	0,0001	0,0035	0,0487	6,714	0	0,7318	0,0006	0,0052	0,0085	0,0127	0,0223	0,0068
Poço raso														
22	0,0771	0,0432	0,0001	0,0002	0,0068	0,1312	0,0004	0,0152	0,0001	0,0013	0,0007	0,0073	0,0047	0
23	0	0,0441	0	0	0,0511	0	0,0022	0,0338	0	0	0	0	0	0,061
24	0,4352	0,311	0	0,0005	0	2,632	0	1,663	0,0036	0,0031	0,0019	0	0,0619	0,0005
25	0,1076	0,0224	0,0002	0,0007	0,0636	0,4521	0,0004	0,3336	0,0004	0,0064	0,0054	0	0,0215	0
26	0,1244	0,1085	0,0002	0,0004	0,0258	1,159	0	0,5763	0	0,0002	0,0048	0	0,2325	0
27	0,3455	0,0902	0,0004	0,0006	0,0179	1,471	0	1,245	0,0003	0,0037	0,0055	0	0,0636	0,0049
28	0,2122	0,0688	0,0006	0,0001	0	31,64	0,0009	1,164	0,0009	0,0012	0,0023	0,0042	0,0258	0
29	0,4261	0,0784	0,0001	0	0,0324	2,542	0	1,114	0,002	0,0037	0,0068	0	0,0224	0,0029
30	0,0531	0,076	0,0003	0,0005	0,0036	0,0045	0	1,32	0	0,0021	0,0026	0	0,0067	0,0016
31	0,0387	0,0094	0,0001	0	0	0,6527	0	0,1188	0	0,0004	0	0	0,0005	0
Poço profundo														
32	0,4066	0,7325	0,0088	0,1265	0,0358	0,3218	0	5,721	0,0002	0,407	0,0088	0	0,5007	0
33	0,1645	0,0588	0,0002	0	0,0319	12,37	0	1,314	0,0008	0,0004	0,0084	0	0	0,0083
34	0	0,0366	0,0003	0	0,0435	0,1795	0,0007	0,046	0	0,0005	0,0083	0	0,0101	0
35	0,0413	0,0109	0,0002	0,0007	0	1,141	0	0,1637	0,0006	0,0017	0,0028	0	0,0163	0
36	0,1821	0,0561	0,0007	0,0009	0	34,89	0,0007	1,228	0	0,0013	0,002	0,0003	0,01	0

*O valor 0 é menor que 0,1 ppb (Limite de tensão do equipamento).

Tabela 12. Teores de boro e metais pesados verificados nas águas das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 3ª coleta (21/10/2017).

Ponto	Metais													
	Al	B	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti	Zn	Zr
Ppm														
Água superficial														
1	0,973	0,0712	0*	0,001	0,0075	2,366	0,0001	0,2219	0,0012	0,0062	0,0072	0,022	0,0221	0
2	7,466	0,127	0,0003	0,0003	0,022	13,19	0,0007	1,792	0,0029	0,0024	0,0094	0,0927	0,0512	0,0108
3	0,1732	0,145	0,0003	0,0003	0,0119	0,1449	0,0014	0,0041	0	0,0029	0,009	0,004	0,0217	0
Poço raso														
4	0,2699	0,0257	0,0001	0,0037	0,0299	5,187	0	4,1221	0,0007	0,0051	0,0081	0,0101	0,0458	0,0201
5	0	0,0912	0	0	0,0422	0,0818	0,0019	0,1537	0	0	0	0	0,0055	0,047
Poço profundo														
6	0,3108	0,0821	0,0003	0	0,0221	0,333	0	0,0275	0,0021	0,002	0,0235	0	0,0361	0
7	0	0,0868	0,0003	0	0,0517	0,4166	0	0,1427	0	0	0,0082	0	0,0414	0,0125
8	0,084	0,0631	0,0002	0	0,034	0,0461	0,0004	0,0423	0,002	0	0,0073	0	0	0
9	0	0,198	0,0003	0	0,0692	0,1371	0,0003	0,0322	0,0014	0	0,0112	0	0	0
10	0,6908	0,1732	0,0004	0	0,0884	1,098	0	0,0435	0,0026	0,0002	0,0132	0	0,2893	0
11	0	0,0781	0,0003	0	0,0688	0,0627	0,0009	0,0189	0,0011	0	0,0014	0	0,0032	0
12	0,0641	0,1529	0,0001	0	0,0631	0,3324	0	0,557	0,0009	0	0,0081	0	0,0264	0
13	0	0,1608	0,0002	0	0,0814	0,2448	0	0,0354	0	0	0	0	0,0141	0
14	0	0,1257	0,0001	0	0,0484	0,1223	0,0007	0,0721	0,0005	0	0	0	0	0
15	0	0,0651	0,0002	0	0,0546	0,2512	0,0007	0,0214	0,0002	0	0	0	0,0102	0
16	0	0,126	0	0	0,0259	0,0153	0,0006	0,0163	0	0	0	0	0	0,0741
17	0,1465	0,2016	0	0	0	0	0,0023	0,0204	0,0001	0	0,0124	0,0448	0,0105	0,3555
Água superficial														
18	16,61	0,0452	0,0004	0,011	0,049	31,78	0,0008	0,6723	0,0023	0,0021	0,0241	0,3394	0,1334	0

19	5,503	0,0932	0,0004	0,0063	0,0102	15,94	0	0,421	0,0004	0,011	0,0102	0,1748	0,0974	0
20	5,542	0,0221	0,0001	0,0042	0,0041	4,104	0	0,1713	0,0017	0,0021	0,005	0,0021	0,03162	0
21	4,952	0,0131	0,0002	0,0036	0,0297	14,9	0	0,8273	0,002	0,0052	0,0096	0,2281	0,0533	0
Poço raso														
22	0,7096	0,0909	0,0002	0,0009	0,0045	1,444	0,0006	0,5379	0,0007	0,0031	0,005	0,0292	0,0483	0,0422
23	0	0,0566	0	0	0,0536	0,8432	0,0012	0,4592	0	0,0006	0	0	0,0049	0,0239
24	0,235	0,1795	0	0	0,0108	0,8562	0	0,6468	0,0018	0,0008	0,0034	0	0,0738	0,0003
25	0,3478	0,0235	0,0003	0,0037	0,0019	0,3053	0,0008	0,9379	0	0,003	0,0015	0,0067	0,0625	0
26	0,4947	0,1053	0,0002	0,0006	0	2,346	0	0,3927	0,0186	0,00041	0,0077	0	0,1238	0
27	0,0754	0,0512	0,0003	0,0013	0	1,201	0	1,54	0,0005	0,0068	0,0035	0	0,0551	0,0054
28	0,0952	0,0242	0,0004	0,0005	0,001	12,03	0,0004	0,4232	0,0001	0,0022	0,0049	0,0047	0,0126	0
29	5,074	0,0883	0,0002	0,0034	0,0223	12,08	0	1,006	0,0032	0,0089	0,0128	0,2207	0,0393	0
30	0,1712	0,1112	0,0002	0,0231	0,0168	16,69	0	0,8098	0	0,001	0,0038	0	0,0557	0,0046
31	0	0,0103	0	0	0,0018	0,657	0	0,1261	0	0	0	0	0,0006	0
Poço profundo														
32	0,4961	0,453	0,0051	0,1014	0,0293	0,7893	0	2,054	0	0,401	0,0096	0	0,5958	0
33	0,1007	0,0432	0,0004	0	0	23,17	0,0001	1,314	0,0002	0,0022	0,0149	0	0,0027	0
34	0	0,041	0,0004	0	0,0447	10,11	0	0,4681	0,0002	0	0,0127	0	0,0203	0
35	0,0611	0,0122	0,0001	0,0004	0	0,7475	0,0001	0,1313	0	0	0	0	0,0009	0,003
36	0,7048	0,0674	0,0004	0,0017	0,001	20,34	0,0015	0,812	0	0,001	0,0056	0,0316	0,0486	0

*O valor 0 é menor que 0,1 ppb (Limite de tensão do equipamento).

Tabela 13. Teores de boro e metais pesados verificados nas águas das fontes hídricas da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe na 1ª coleta (02/03/2018)

Ponto	Metais													
	Al	B	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti	Zn	Zr
ppm														
Água superficial														
1	2,404	0,1984	0,0002	0,0092	0,0126	2,128	0	0,715	0,0027	0,0071	0,0102	0,0186	0,1029	0
2	0,3146	0,1032	0,0001	0,0003	0,008	0,5283	0,0003	0,6669	0,0032	0,0024	0,0032	0,0099	0,0271	0
3	0,3267	0,194	0,0003	0,0015	0,0182	0,4542	0,0008	0,6317	0,0019	0,0033	0,0006	0,0082	0,0907	0
Poço raso														
4	0,1279	0,088	0	0,0004	0,0112	1,278	0,0007	1,511	0,0007	0,0017	0,0043	0,0031	0,0452	0
5	0,1293	0,022	0	0,0015	0,0433	0,7414	0,0009	0,7734	0	0	0	0	0,0718	0,0672
Poço profundo														
6	0	0,2877	0,0004	0	0,0207	0,0533	0,001	0,0199	0,0014	0	0,0194	0	0,0155	0,0222
7	0	0,0925	0,0003	0	0,055	0,2559	0,0003	0,1573	0,0002	0	0,0113	0	0,0564	0
8	0	0,143	0,0002	0	0,0646	0,0169	0,0004	0,9428	0,0041	0	0,0067	0	0,0207	0
9	0	0,1358	0,0003	0	0,0604	0,0157	0,0005	0,0198	0,0017	0	0,0078	0	0,0684	0
10	0,4117	0,301	0,0004	0	0,0714	0,8679	0,0002	0,0247	0,0006	0	0,0105	0	0,2594	0
11	0	0,051	0,0004	0	0,0614	0,06	0,0001	0,0139	0,0001	0	0,0066	0	0,0126	0
12	1,389	0,124	0,0003	0	0,062	2,071	0,0004	0,2594	0,001	0	0,0091	0	0,0279	0
13	0	0,1848	0	0	0,0545	0,0801	0,001	0,2259	0,0008	0	0	0	0,0485	0
14	0	0,4824	0,0002	0	0,0726	0,1142	0,0008	0,1463	0,0018	0	0,0096	0	0,1309	0
15	0	0,1897	0,0002	0	0,0585	0,2652	0,0001	0,093	0,0007	0	0,0046	0	0,1242	0
16	0	0,2848	0	0	0,0369	0,0866	0,0012	0,0367	0	0	0,0033	0	0,0571	0,0723
17	0	0,1699	0	0	0,0277	0	0,0022	0,0193	0	0	0,0064	0	0,0076	0,0553
Água superficial														
18	0,4881	0,1412	0,0001	0,0013	0,0083	1,267	0,0007	0,923	0,0035	0,0021	0,0051	0,0214	0,0162	0
19	10,14	0,0503	0,0002	0,0086	0,0234	33,46	0	0,8152	0,0006	0,0178	0,0259	0,0968	0,2155	0

20	7,754	0,0571	0,0002	0,0058	0,0069	25,69	0	0,5414	0,0006	0,0135	0,0205	0,0623	0,0752	0
21	2,22	0,0154	0,0002	0,0033	0,0066	7,569	0,0002	0,618	0,0012	0,0066	0,0049	0,1299	0,0885	0,0006
Poço raso														
22	0,1777	0,1015	0	0,0004	0,0107	0,2181	0,0009	0,6416	0	0,001	0,006	0,0109	0,0185	0
23	0	0,0904	0	0	0,0526	0	0,0014	0,7663	0	0	0,0027	0	0,0096	0,0614
24	0,0004	0,0529	0,0004	0,0015	0,0313	16,1	0	1,223	0	0,0022	0,0031	0	0,0537	0,0038
25	0,2019	0,0512	0,0002	0,0028	0,018	0,4683	0,0009	1,008	0,0005	0,0032	0,0084	0,0076	0,0279	0
26	0,1593	0,1652	0,0003	0	0,0527	1,747	0	0,4989	0,0006	0,0002	0,0041	0	0,0495	0
27	0,2051	0,0609	0,0002	0,0025	0	11,58	0	0,7699	0	0,005	0,0076	0	0,0365	0
28	0,0573	0,0471	0,0004	0	0,0031	15,64	0	0,7165	0,0006	0,0001	0,0111	0,0017	0,0273	0
29	1,762	0,1239	0,0003	0,0001	0,0145	4,145	0	1,003	0,0052	0,0048	0,0148	0,0541	0,0298	0,0094
30	0,0001	0,0291	0,0001	0,0011	0	2,369	0	2,292	0,0002	0,0013	0,0019	0	0,0481	0,0008
31	0,2326	0,0678	0,0005	0,0017	0	27,08	0,0032	2,029	0,0004	0,0001	0,0059	0,0146	0,0858	0
Poço profundo														
32	0,1138	0,3517	0,0028	0,0026	0	0,0112	0	0,172	0	0,242	0,0013	0	0,0699	0
33	0,2984	0,0729	0,0006	0,0005	0,0058	38,99	0	2,014	0,0004	0,0018	0,0219	0	0,0119	0,0013
34	0,2446	0,0632	0,0004	0	0,0253	16,31	0	0,776	0,0027	0	0,0222	0,0014	0,1063	0
35	0	0,0643	0	0	0,0296	9,944	0,0008	2,062	0	0	0,0103	0	0,0221	0,0588
36	0,1897	0,0819	0,001	0,0003	0	61,31	0,0005	2,113	0	0,0005	0,0045	0,0085	0,0796	0

*O valor 0 é menor que 0,1 ppb (Limite de tensão do equipamento).