



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

ANA CAROLINA PAIVA DA SILVA

**USO DE ADSORVENTE NATURAL PROVENIENTE DA SEMENTE DE ACEROLA COMO  
ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

CUITÉ - PB

2017

ANA CAROLINA PAIVA DA SILVA

**USO DE ADSORVENTE NATURAL PROVENIENTE DA SEMENTE DE ACEROLA COMO  
ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande para obtenção do grau de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Denise Domingos da Silva

Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Vilma Araújo da Costa

CUITÉ – PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE  
Responsabilidade Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

S586u Silva, Ana Carolina Paiva da.

Uso de adsorvente natural proveniente da semente de acerola como alternativa para tratamento de águas subterrâneas. / Ana Carolina Paiva da Silva. – Cuité: CES, 2017.

59 fl.

Monografia (Curso de Licenciatura em Química) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2017.

Orientadora: Denise Domingos da Silva.

Coorientadora: Vilma Araújo da Costa.

1. Semente de acerola. 2. Adsorção. 3. Análise de águas. I. Título.

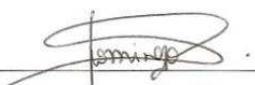
ANA CAROLINA PAIVA DA SILVA

**USO DE ADSORVENTE NATURAL PROVENIENTE DA SEMENTE DE ACEROLA COMO  
ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande para obtenção do grau de Licenciada em Química.

Aprovada no dia 30 de março de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Denise Domingos da Silva (Orientadora) UFCG/CES/UABQ

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vilma Araújo da Costa (Co-orientadora) – UFRN

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos – UFCG/CES/UABQ

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Batista da Silva – UFCG/CES/UAFM

Á Deus, que está sempre presente em todos os momentos de minha vida dando saúde, perseverança e força para alcançar meus objetivos;

Aos meus pais, Antônio e Rosilene que sempre me apoiaram nos meus estudos.

## AGRADECIMENTOS

Á Deus por mais uma etapa vencida, pela força e coragem que nunca me permitiram desistir.

Aos meus pais Antônio e Rosilene pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

Á minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Denise Domingos da Silva, pela orientação, pelo estímulo à pesquisa, pelo exemplo de dedicação e persistência por ter confiado no meu trabalho.

Á Co-Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Vilma Araújo da Costa pela colaboração nas análises e discussão sobre o trabalho.

Ao Laboratório de Biocombustíveis e Química Ambiental pelo suporte das realizações das análises.

A minha amiga Jéssica Renally pela contribuição no início da minha pesquisa.

Á todos os professores do CES que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Jéssica, Erinete, Janaina, Jaedson, Moisés, Júnior e demais colegas do curso por todos os momentos compartilhados.

Á todos que contribuíram de alguma maneira para minha formação.

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridade os sonhos não se tornam reais”.

Augusto Cury

## RESUMO

Ultimamente a água tem se tornado um recurso limitado, com seu consumo exagerado para os mais diversos usos aliado a sua contaminação provocada pelo lançamento de resíduos afetando não somente a sua disponibilidade como também sua potabilidade. Com a crescente contaminação da água por diversos poluentes, o que torna este recurso cada vez mais escasso e impróprio para o uso, surge à necessidade do desenvolvimento de novos métodos de tratamento que sejam acessíveis, eficientes, renováveis e que não produzam resíduos poluentes que degradem o meio ambiente. Devido a isto o uso de adsorventes naturais tem se tornado uma das alternativas mais investigadas para o tratamento de águas sejam para remoção de poluentes orgânicos ou inorgânicos. Este trabalho tem por objetivo estudar o potencial de adsorção de um adsorvente natural proveniente da semente de acerola por meio da cromatografia em coluna visando adequar o teor de dureza total de águas subterrâneas após a caracterização dos parâmetros físico-químicos tais como pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos dissolvidos totais, cloretos, alcalinidade e dureza total. Amostras do adsorvente antes e após ser utilizado para o tratamento foram caracterizadas por análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR), de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O uso do adsorvente natural obtido da semente de acerola mostrou-se bastante eficaz para o tratamento de dureza das amostras analisadas apresentando uma eficiência semelhante com o adsorvente sintético (Zeólita A) que foi utilizado para comparação.

**Palavras-chaves:** Semente de acerola, adsorção, análise de águas.

## ABSTRACT

Lately, water has become a limited resource, with its exaggerated consumption for the most diverse uses combined with its contamination caused by the release of waste affecting not only its availability but also its potability. With increasing contamination of water by various pollutants, which makes this resource increasingly scarce and unfit for use, there is a need to develop new treatment methods that are accessible, efficient, renewable and do not produce polluting waste that degrades the environment. Due to this the use of natural adsorbents has become one of the most investigated alternatives for the treatment of waters whether for the removal of organic or inorganic pollutants. This work aims to study the adsorption potential of a natural adsorbent from acerola seed by means of column chromatography to adjust the total hardness of groundwater after the characterization of physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity, Turbidity, total dissolved solids, chlorides, alkalinity and total hardness. The adsorbent samples before and after being used for the treatment were characterized by infrared absorption spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM). The use of the natural adsorbent obtained from the acerola seed was very effective for the treatment of hardness of the analyzed samples presenting a similar efficiency with the synthetic adsorbent (Zeolite A) that was used for comparison.

**Keywords:** Seed of acerola, adsorption, water analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Frutos da Aceroleira.....	24
<b>Figura 2.</b> Estrutura da Zeólita A.....	26
<b>Figura 3.</b> Localização dos poços e municípios de Bonito de Santa Fé –PB e Sossego- PB....	28
<b>Figura 4.</b> Potenciômetro utilizado nas análises de pH.....	29
<b>Figura 5.</b> Condutivímetro.....	29
<b>Figura 6.</b> Turbidímetro.....	30
<b>Figura 7.</b> (A) Frutos coletados (B) Frutos processados (C) Sementes depois de lavadas e secas. (D) Sementes trituradas.....	32
<b>Figura 8.</b> Coluna preparativa.....	33
<b>Figura 9.</b> Colunas preparativas com semente de acerola.....	34
<b>Figura 10.</b> Zeólita A utilizada nas análises.....	34
<b>Figura 11.</b> (A) Pesagem do material (B) Tratamento realizado por agitação magnética (C) Filtração.....	35
<b>Figura 12.</b> Espectro de Infravermelho da Semente de acerola antes e após a adsorção.....	49
<b>Figura 13.</b> Micrografia eletrônica de varredura do adsorvente natural obtido da semente de acerola antes da adsorção da amostra. (A) com ampliação de 500x(B)1000x(C)2000X e (D) 5000x.....	50
<b>Figura 14.</b> Micrografia eletrônica de varredura do adsorvente natural obtido da semente de acerola após da adsorção da amostra. (A) com ampliação de 500x (B) 1000x.....	51
<b>Gráfico 1.</b> Valores médios de pH de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	38
<b>Gráfico 2.</b> Valores médios de Alcalinidade de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	39
<b>Gráfico 3.</b> Valores médios de turbidez de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	40
<b>Gráfico 4.</b> Valores médios de Cloretos de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	41
<b>Gráfico 5.</b> Valores médios de Dureza Total de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	43
<b>Gráfico 6.</b> Valores médios de Condutividade elétrica de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	44
<b>Gráfico 7.</b> Valores médios de SDT de águas de dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.....	45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Localização e profundidade dos poços da zona rural dos municípios.....	27
<b>Tabela 2.</b> Relações para determinação dos TDS em função da condutividade.....	31
<b>Tabela 3.</b> Resultados das determinações físico-químicas das amostras de água de Bonito de Santa Fé.....	36
<b>Tabela 4.</b> Resultados das determinações físico-químicas das amostras de água de Sossego..	37
<b>Tabela 5.</b> Dados obtidos antes e após o tratamento com adsorvente natural.....	47
<b>Tabela 6.</b> Volume gasto do titulante ( EDTA) da análise feita em triplicata após o tratamento com o adsorvente.....	47
<b>Tabela 7.</b> Volume gasto do titulante ( EDTA) da análise feita em triplicata após o tratamento com o adsorvente.....	48
<b>Tabela 8.</b> Dados obtidos antes e após o tratamento com zeólita A.....	48

## LISTA DE EQUAÇÕES

**Equação 1.** Cálculo para determinação da dureza total.....30

$$\text{Dureza total em mg/L CaCO}_3 = \frac{M_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA}} \text{ ml} \cdot F_c \cdot 100 \cdot 1000}{V_{\text{ml da amostra}}}$$

**Equação 2.** Cálculo para determinação de Cloretos.....31

$$\text{Cloreto mg, L}^{-1} \text{ Cl} = \frac{V_{\text{ml de AgNO}_3} \cdot M_{\text{AgNO}_3} \cdot 35,45}{V_{\text{ml da amostra}}}$$

**Equação 3.** Cálculo para determinação da alcalinidade.....31

$$\text{Alcalinidade mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCO}_3 = V_{\text{ml de H}_2\text{SO}_4} \cdot 20$$

**Equação 4.** Cálculos para determinações de sólidos totais.....32

$$\text{SDT (mg/L)} = 0,68 \times \text{CE} \quad \mu\text{S cm}^{-1}$$

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
1.1.1. Objetivo Geral .....	15
1.1.2. Objetivos Específicos .....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Águas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Abastecimento de água .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Águas superficiais .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Águas subterrâneas.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. Aspectos químicos e físicos da água .....</b>	<b>18</b>
2.5.1. Turbidez.....	19
2.5.2. Condutividade elétrica .....	19
2.5.3. Sólidos dissolvidos totais .....	19
2.5.4. pH.....	20
2.5.5. Alcalinidade.....	20
2.5.6. Cloretos.....	20
2.5.7. Dureza total.....	21
<b>2.6. Contaminação química da água .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7. Adsorção .....</b>	<b>22</b>
<b>2.8. Adsorventes naturais .....</b>	<b>23</b>
<b>2.9. Acerola .....</b>	<b>23</b>
2.9.1. Características físico-químicas dos resíduos da acerola .....	24
2.10. Zeólita A .....	25
<b>2.11. Cromatografia em coluna .....</b>	<b>26</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Área de estudo.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Coleta das amostras .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Determinação dos parâmetros físico-químicos .....</b>	<b>28</b>
3.3.1. pH.....	29
3.3.2. Condutividade elétrica.....	29
3.3.3. Turbidez.....	30

3.3.4.	Dureza total.....	30
3.3.5.	Cloretos.....	30
3.3.6.	Alcalinidade.....	31
3.3.7.	Sólidos dissolvidos totais (SDT) .....	31
<b>3.4.</b>	<b>Preparação do adsorvente natural .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.</b>	<b>Tratamento com adsorventes.....</b>	<b>33</b>
3.5.1.	Adsorvente natural.....	33
3.5.2.	Adsorvente sintético .....	34
<b>3.6.</b>	<b>Caracterização do material.....</b>	<b>35</b>
3.6.1.	Espectroscopia de Infravermelho (ATR IV) .....	35
3.6.2.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	35
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.</b>	<b>Parâmetros físico - químicos .....</b>	<b>36</b>
5.1.1	pH.....	37
5.1.2.	Alcalinidade.....	38
5.1.3.	Turbidez.....	39
5.1.5.	Dureza Total .....	42
5.1.6.	Condutividade Elétrica .....	43
5.1.7.	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) .....	45
<b>4.2.</b>	<b>Caracterização das amostras de água após o tratamento com os adsorventes ..</b>	<b>46</b>
4.2.1.	Adsorvente Natural.....	46
4.2.2.	Adsorvente Sintético (Zeólita A).....	48
<b>4.3.</b>	<b>Espectros de absorção na região do infravermelho do adsorvente natural .....</b>	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é essencial á vida de todas as espécies que habitam na terra e está presente em todos os processos bioquímicos. Apresenta grande importância para as formações hídricas atmosféricas, uma vez que influencia o clima das regiões. Em torno de 71% da superfície terrestre encontra-se coberta por água em distintas formas e locais, desse total, 97% são águas salgadas que se localizam nos mares e oceanos, os outros 3% correspondem á água doce superficial e subterrânea, no entanto 2,5% encontra-se indisponível na forma sólida, por outro lado 0,497% estar poluída de maneira que apenas 0,003% de toda água da terra está acessível para uso (LIMA e FARIAS, 2011).

Um recurso natural, a água, está cada vez mais escassa e sua disponibilidade tem se tornado cada vez mais limitada, provocada pela escassez de chuvas, sua contaminação ou seu uso exagerado dentre outros fatores. Segundo Montenegro e Montenegro (2012), dentre as regiões submetidas à insuficiência de água as zonas semiáridas se destacam a condições de escassez, sucessíveis as chuvas de distribuição irregular, no tempo e no espaço, resultando períodos de estiagem aguda, e da mesma maneira, contribuindo para eventos de enchentes. Nas zonas semiáridas também ocorrem fluxos elevados de evapotranspiração, acentuando os déficits hídricos nos períodos sem chuvas. Como resultado, as incertezas referentes à disponibilidade de água para os mais variados usos tendem a ser elevadas, dificultando o planejamento voltado ao uso responsável dos recursos hídricos devido principalmente às irregularidades do escoamento superficial e do armazenamento nos pequenos açudes.

De acordo com Lima e Farias (2011), a qualidade da água está em contínua mudança com os impactos resultantes das ações humanas. O controle da qualidade da água de uma determinada região deve englobar uma verificação das principais práticas que venham a afetar na qualidade destas águas. Os principais causadores dos componentes que entram aos meios aquáticos e de alguma forma promovem a alteração de sua qualidade são as variações atmosféricas e a utilização do solo. Segundo König (2008), as principais fontes de poluição das águas são derivadas do alto grau de urbanização associado à falta de ações de saneamento básico, em especial, aquelas relativas com a coleta e tratamento de lixo e esgotos domésticos, do desenvolvimento da indústria e seus despejos compostos com os mais variados poluentes como, por exemplo, os resíduos resultantes de indústrias químicas, têxtil, papel, curtumes, alimentícia, bebidas entre outras. Além do aumento da produção agrícola que demanda uma

quantidade maior de fertilizantes inorgânicos e variados agrotóxicos que são transportados pelas águas por meio do escoamento superficial chegando aos corpos hídricos.

A busca por formas de redução de contaminantes da água tem fundamental importância para preservar este recurso cada vez mais escasso. Santos (2015) comenta que existe a necessidade em buscar materiais alternativos, como os materiais que possuem capacidade de adsorção, amplificando os estudos com foco principal no uso de biomassas, estas que fazem parte do resíduo da atividade agroindustrial do país. Conseqüentemente, seriam reparadas duas amplas questões, a disposição final inapropriada do resíduo, visto que este material retornaria para a indústria como matéria-prima para a fabricação de um produto de maior utilidade e a retirada eficaz de contaminantes da água. Daí a importância do presente estudo que visa melhorar as propriedades da água e investigar o potencial de adsorção de um material natural.

Diante disto, o presente estudo tem como objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas de águas de poços subterrâneos do município de Sossego-PB e Bonito de Santa Fé – PB e utilizar a cromatografia em coluna como método analítico por meio de um adsorvente natural obtido da semente da acerola, visando adequar o teor de dureza total da referida água além de utilizar um adsorvente sintético (Zeólita A) para comparação dos resultados.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Determinar propriedades físico-químicas de águas subterrâneas e utilizar adsorvente natural proveniente da semente de acerola para tratamento das amostras.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Realizar determinações de pH, turbidez, condutividade elétrica das amostras.
- Determinar o teor de cloretos, alcalinidade e dureza total e sólidos dissolvidos totais.
- Avaliar a eficiência do adsorvente natural na remoção da dureza total e comparar com adsorvente sintético.
- Caracterizar o adsorvente por Espectroscopia de Infravermelho (IV) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Águas

Apesar de o Brasil possuir 13% da água doce disponível do planeta, a sua distribuição é desproporcional, uma vez que 81% estão concentrados na Região Hidrográfica Amazônica, onde está o menor agrupamento populacional, em torno de 5% da população. Nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população do País, encontra-se disponíveis somente 2,7% dos recursos hídricos do Brasil (ANA, 2015).

Entretanto, no Brasil, o desperdício de água chega a 50%, um dos mais elevados índices do planeta, além disto, a grande maioria dos rios e mananciais se encontram contaminados e impróprios para uso. Em áreas muito povoadas uma parcela da água já perdeu a característica de recurso natural renovável em virtude de processos de urbanização, industrialização e produção agrícola, fazendo com que o grande volume de água que o país possui esteja reduzindo de forma acelerada (ANDREOLI et al., 2014).

De acordo com Pereira e Baraculy (2011), o clima é o principal recurso natural de uma determinada região e compreendê-lo tem fundamental importância para um melhor entendimento dos demais, visto que o solo, a vegetação, a fauna e a disponibilidade hídrica são intensamente dependentes do clima. O semiárido brasileiro é um dos maiores do mundo compreendendo o norte dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, os sertões da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e também uma parte do sudeste do Maranhão. A região do semiárido aparenta ser similar devido à ocorrência da seca, porém suas particularidades físicas, climáticas e ambientais evidencia uma realidade complexa, constatada nas regiões naturais que constituem esse espaço (Sertão, Seridó, Curimataú, Caatinga, Carrasco e Cariris Velhos).

A região Nordeste abrange 18,2% do território nacional com 1,56 milhão de km<sup>2</sup> compreende a maior parte do semiárido brasileiro, que é constituído por um conjunto de espaços que se particularizam pelo balanço hídrico negativo, decorrentes das precipitações médias anuais menores que 800 mm, insolação média de 2800 h ano<sup>-1</sup>, temperaturas médias anuais de 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50% (MOURA et al., 2007). Segundo Nobre (2012), as águas superficiais do Nordeste, de maneira oposta àquelas originárias de aquíferos profundos, são resultantes, principalmente, de chuvas que caem em bacias hidrográficas totalmente compreendidas na própria região. Possui

um regime de chuvas que é concentrado em quatro meses durante o ano com picos em novembro-dezembro na porção sul, março-abril na porção norte e junho-julho na parte leste do nordeste.

## **2.2. Abastecimento de água**

Os sistemas de abastecimento de água destinam-se a desenvolver a assistência às demandas de consumo, na qualidade e quantidade imprescindível a preservação da saúde e seus variados usos. O abastecimento de água pode ter cunho individual que se aplica à zona rural, porém são muito empregadas em cidades devido à ausência de sistema coletivos, o que resulta algumas vezes em problemas sanitários, uma vez que nem sempre a qualidade imprescindível ao consumo humano é garantida ou o caráter coletivo na forma de sistema de abastecimento público designado a satisfazer as demandas de áreas urbanizadas. O sistema de abastecimento é formado de diversas unidades a partir da captação da água no manancial que é a fonte na qual é feita a retirada da água podendo esta ser superficial ou subterrânea, até a sua distribuição (DIAS, 2008). Libânio (2010), diz que os mananciais superficiais são provenientes dos cursos d'água, represas e lagos, enquanto as captações subterrâneas de aquíferos confinados e não confinados, designados respectivamente artesianos e freáticos.

## **2.3. Águas superficiais**

São as águas livres que se transportam na superfície terrestre ou se localizam contidas em depressões e grandes mananciais e são utilizadas em maior parte para o consumo e podendo ser especificadas como correntes, que são as águas, que por efeito da ação da gravidade, são encaminhadas aos talwegues os quais são mantidos por outros que apresentam menor capacidade de volume, formando fortes correntes de águas e correntes pouco consideráveis e rios que formam os mares. São considerados como veículos transportadores de organismos patogênicos especialmente de resíduos industriais e sanitários uma vez que em seu curso pela superfície conduzem sedimentos, dissolvem e arrastam impurezas orgânicas, microrganismos e seres de dimensões maiores. E as águas dormentes, que se movimentam em depressões naturais da superfície proporcionando a formação de lagos, lagoas ou reservatórios artificiais. Formam também grandes bacias de decantação, e apresenta um índice de pureza

inferior comparado ao das águas correntes, dispendo de uma quantidade menor de materiais solúveis e microrganismos (LIMA e FARIAS, 2011).

#### **2.4. Águas subterrâneas**

As águas subterrâneas integram o ciclo hidrológico e se encontram profundamente associadas com processos atmosféricos e climáticos com regime de águas superficiais de rios e lagos, e com nascentes e as terras úmidas que são mantidas por ela. Grande parte da água subterrânea é proveniente de chuvas, provocada pela evaporação dos oceanos e mares e o vapor eliminado pelas erupções vulcânicas. Estas águas se infiltram e percorrem no subsolo, movimento este que é contribuído pela porosidade, infiltração e permeabilidade, ocupando todas as áreas vazias das rochas sedimentares, fraturas, fendas e fissuras das rochas compactas (LIMA e FARIAS, 2011).

Segundo Cardoso et al. (2008) no território nacional a capacidade de água subterrânea não é regular devido à ocorrência de regiões com baixa disponibilidade hídrica como aquelas de ocorrência das rochas cristalinas no semiárido brasileiro e outras com relativa abundância como aquelas alcançadas pelo Aquífero Guarani e outros aquíferos sedimentares. Ainda segundo o autor, as águas de poços subterrâneos e fontes estão sendo altamente empregadas para variadas finalidades, tais como abastecimento humano, irrigação e indústria.

#### **2.5. Aspectos químicos e físicos da água**

As características físicas, químicas, biológicas e radiológicas das águas naturais descreve uma sequência de processos que decorre no corpo hídrico e na bacia hidrográfica, como resultado das mencionadas capacidades de dissolução de ampla série de substâncias e de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Calgaro e Braga (2012) existe uma grande diversidade de elementos e substâncias químicas dissolvidas na água e a sua origem predominante é o intemperismo natural das rochas, decorrente do fluxo de água que dissolve os minerais e transporta os íons dissolvidos para os rios e oceanos e possivelmente são incorporados aos sedimentos. Além de íons e substâncias solúveis provenientes de atividades industriais, de mineração, despejos de esgotos e outros resíduos.

### 2.5.1. Turbidez

A turbidez da água é provocada pela presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência, podendo ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica além de várias outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, decorrentes do processo natural de erosão ou de resíduos domésticos e industriais. No processo de tratamento de água a turbidez tem sua relevância, quando a água apresenta turbidez elevada, e dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam de forma mais rápida do que água com baixa turbidez. Apresenta desvantagens como no caso da desinfecção que pode ser dificultada pela proteção que pode dar aos microrganismos no contato direto com os desinfetantes e, além disso, turbidez é um indicador sanitário e padrão organoléptico da água de consumo humano (FUNASA, 2013).

### 2.5.2. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica ou condutância específica representa a capacidade da água natural de condução elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que dissociam em ânions e cátions frequentemente são íons de ferro e manganês, além de  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , desta forma, conseqüentemente, é diretamente proporcional à concentração iônica. A condutividade elétrica da água relaciona a resistência elétrica ao comprimento e é expressa usualmente em  $\mu S/cm$  (microSiemens) (LIBÂNIO, 2010).

### 2.5.3. Sólidos dissolvidos totais

Sólidos dissolvidos totais (SDT) são representados pela soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água e são expressos em  $mg L^{-1}$  mede a concentração de substâncias iônicas. A determinação dos SDT indica a presença de produtos químicos contaminantes. As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) e em concentrações elevadas podem ser prejudiciais (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). De acordo com Macedo (2007) todas as impurezas da água, com restrição apenas dos gases dissolvidos, favorecem para a carga de sólidos existentes nos recursos hídricos.

#### 2.5.4. pH

O pH expressa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, esse fator é de extrema importância, sobretudo nos processos de tratamento. Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento ele é medido e ajustado constantemente sempre que é necessário para favorecer o processo de coagulação e/ou floculação da água e também o controle da desinfecção. O valor do pH varia em uma escala de 0 a 14. Quando a água apresenta pH abaixo de 7 a água é considerada ácida e acima de 7, alcalina caso apresente pH 7 é classificada como neutra (FUNASA, 2013).

#### 2.5.5. Alcalinidade

A alcalinidade das águas naturais representa a habilidade de neutralizar os íons  $H^+$  ou a eficiência de diminuir variações significativas de pH (tamponamento) sendo constituída principalmente de bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ), carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $OH^-$ ). Durante o processo de potabilização das águas para consumo humano, a alcalinidade apresenta função relevante para um resultado satisfatório do processo de coagulação minimizando a redução considerável do pH após a dispersão do coagulante (LIBÂNIO, 2010).

A alcalinidade total de uma água é determinada através do somatório das distintas formas de alcalinidade existentes, isto é, a concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, indicada em termos de carbonato de cálcio (FUNASA, 2013).

#### 2.5.6. Cloretos

Os cloretos estão presentes na água na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio e geralmente estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/L. A água do mar, por exemplo, possui concentração elevada de cloretos que está em torno de 26.000 mg/L. Elevadas concentrações de cloretos podem restringir o uso da água em virtude do sabor que eles proporcionam e pelo efeito laxativo que eles podem ocasionar (FUNASA, 2013). Segundo Macêdo (2001), o conhecimento do teor de cloretos das águas tem por objetivo obter o seu grau de mineralização ou traços de poluição, tais como, esgotos domésticos e resíduos industriais.

### 2.5.7. Dureza total

A dureza da água é provocada pela presença de cátions multivalentes principalmente de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Pode ser classificada como temporária ou permanente. A dureza temporária, chamada também de dureza de carbonatos, é provocada pela influência de bicarbonatos de cálcio e magnésio esse tipo de dureza persiste à ação dos sabões e ocasiona incrustações. É assim classificada porque os bicarbonatos se decompõem em gás carbônico, água e carbonatos insolúveis que se precipitam através da ação do calor. A dureza permanente (dureza de não carbonatos) é correspondente à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, que também resiste à ação dos sabões, porém não produz incrustações devido o seus sais serem muito solúveis na água e não se decompõe pela ação do calor (FUNASA, 2013).

## 2.6. Contaminação química da água

A água contaminada propaga numerosos agentes infecciosos que originam doenças como enterites e diarreias infantis que são um dos principais fatores do alto índice de mortalidade infantil no país. O Brasil possui uma disponibilidade de recursos hídricos muito comprometidas do ponto de vista sanitário, em regiões em que o desenvolvimento se procedeu de maneira desenfreada, ocasionando assim a poluição das águas através do lançamento indiscriminado de vários poluentes que são provenientes de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e entre outros. Conseqüentemente, os agentes propagados através da água e causadores de doenças podem ser de natureza biológica ou química. Desta forma, a qualidade da água para consumo humano deve ser considerada como fator imprescindível na elaboração das ações dos Serviços de Abastecimento de Água, sendo eles públicos ou privados, de modo que a água distribuída ao usuário apresente todas as características de qualidade estabelecidas pela legislação vigente (FUNASA, 2013).

Nascimento et al. (2014) discutem a contaminação química da água como uma forma provocada por grande variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos, assim como metais tóxicos, BTEX (Benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno) HPA's (Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), ânions, entre outros, despontou a necessidade de criar novas tecnologias com o objetivo de remover esses poluentes encontrados tanto em resíduos

líquidos como em gasosos. Geralmente essas substâncias são encontradas em quantidades traço e normalmente apresentam resistência a métodos de degradação biológica ou não são removidos de fato por métodos de tratamento físico-químicos

Lima et al. (2008 apud Nunes, 2014), argumenta que os tratamentos disponibilizados apresentam algumas desvantagens e inapropriações, por este motivo têm-se buscado por tecnologias alternativas e mais eficientes. Como exemplos de alguns desses métodos que vêm sendo investigados temos a eletrodialise, osmose reversa, ultrafiltração e a adsorção. Dentre estes métodos a adsorção apresenta grande vantagem que é a baixa geração de resíduos, a fácil recuperação das espécies adsorvidas e a viabilidade da reutilização dos adsorventes sem provocar impactos.

## **2.7. Adsorção**

De acordo com Gomide (1988), trata-se de uma operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido em que se explora a capacidade de alguns sólidos em concentrar na sua superfície certas substâncias que estejam presentes tanto em soluções líquidas como gasosas, o que possibilita separá-las dos demais componentes dessas soluções. O autor comenta que a quantidade total adsorvida geralmente varia entre 5 e 30 % do peso do sólido adsorvente, podendo chegar á 50% . Visto que os componentes adsorvidos se concentram acima da superfície externa do sólido, quanto maior for à superfície externa por unidade de peso de sólido, mais propícia será a adsorção. Em consequência disto, os adsorventes são normalmente sólidos com partículas porosas.

Conforme a natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química. No caso de adsorção física, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente compreende uma interação parcialmente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waalls, que são semelhantes às forças de coesão molecular. Ao contrário, a quimissorção, envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, que resulta em uma nova reação química bem mais forte que no caso da fisissorção (NASCIMENTO et al., 2014).

## 2.8. Adsorventes naturais

A utilização de materiais naturais torna-se ainda mais significativa desde que os mesmos sejam provenientes de resíduos agroindustriais que em grande parte consistem em um problema ambiental conforme o volume produzido (MOREIRA, 2010). Godinho (2011) afirma que os resíduos agrícolas de materiais lignocelulósicos produzidos por variados processos são as matérias-primas que estão sendo mais empregadas para processos adsorptivos, devido a grande disponibilidade e serem renováveis. Ainda de acordo com o autor, o Brasil dispõe de um grande potencial agrícola o que provoca a geração de uma grande quantidade de resíduos agroindustriais que na maioria das vezes são descartados. Segundo Calgaro e Braga (2012) a atividade frutícola no Brasil, ocupa uma posição de relevância em 14 polos de irrigação do Nordeste que estão em alto desenvolvimento, em razão das condições locais que possibilita a produção de frutas ao longo de quase todo o ano.

## 2.9. Acerola

A acerola (*Malpighia emarginata*), é um fruto conhecido popularmente como cereja-das antilhas ou cereja-de-bárbaros, tem sua origem nas Antilhas, América Central e norte da América do Sul e pertence a família das *Malpighiaceae*. A aceroleira é um arbusto de até três metros de altura, possui tronco que se ramifica desde a base, e sua copa é bastante densa que apresenta folhas pequenas e verde-escuras. Suas flores possuem coloração rósea-esbranquiçada apresentando floração durante todo o ano, e depois de três ou quatro semanas se dá sua frutificação. A aceroleira é uma planta muito rústica e resistente, logo se espalhou facilmente por várias áreas tropicais, subtropicais e até semiáridas (NEVES, 2007).

No Brasil, no estado de Pernambuco a acerola foi introduzida pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em 1955, oriunda de Porto Rico. Nos últimos anos, na região do tropico-árido do Nordeste o cultivo de fruteiras tem-se tornado uma atividade atrativa devido às condições de solo e clima e à adaptabilidade de várias espécies, favorecendo inserção de pomares comerciais (CALGARO e BRAGA, 2012). Sousa (2010) afirma que o Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de acerola (Figura 1) no mundo apresentando plantios comerciais em quase todos os estados brasileiros. Entretanto é a

região nordestina que se evidencia como a área de maior produção de acerola (*Malpighia emarginata* DC.).

**Figura 1.** Frutos da Aceroleira.



**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

Dados apresentados por Braga e Calgaro (2012) nos mostram que o território plantado com acerola no Brasil é em torno de 7.200 ha, sobressaindo-se a região Nordeste com área cultivada em torno de 3.100 ha sendo a maior produtora. Avalia-se na atualidade, um rendimento médio de 150 mil toneladas de frutas por ano. O Nordeste participa com cerca de 64% desse total, sendo os principais estados produtores de acerola do Brasil; Pernambuco que representa 23,11% seguido pelo Ceará, com 14,32%; São Paulo, com 11,39%; e Bahia, com 10,48%. Sendo produzida também nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Piauí.

### 2.9.1. Características físico-químicas dos resíduos da acerola

A acerola apresenta compostos bioativos que possuem importantes atividades biológicas principalmente como agentes oxidantes e preservantes. Os principais são o ácido ascórbico (vitamina C), o ácido cítrico e os compostos fenólicos, com destaque para os flavonóides (BORTOLOTTI, 2012). Em resultados obtidos para a caracterização da acerola *in natura* por Silva (2015) foram obtidos valores para o ácido cítrico de  $2564,00 \pm 72,12$  mg/100g para o ácido ascórbico  $21,47 \pm 1,41$  mg/100mg para fenólicos totais  $1352,42 \pm 57,23$  mg/100g e para flavonoides totais  $1,65 \pm 0,15$  mg/100g. Os parâmetros físico-químicos do resíduo agroindustrial de acerola também foram avaliados por Melo et al., (2014) obtendo

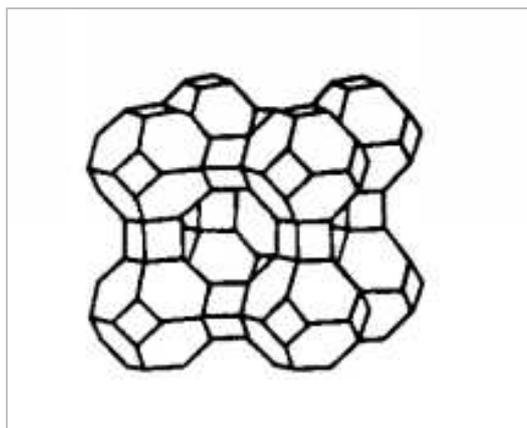
resultados referentes ao pH no qual foi encontrado o valor 3,54 classificando o resíduo como ácido, a concentração de açúcares redutores foi de 9,40 %, a concentração de celulose (holocelulose) foi de 44,30 %%, Lignina 28,03%, Hemicelulose 0,48 %, Sólidos Solúveis 29,97 %.

## 2.10. Zeólita A

As zeólitas são um dos materiais acessíveis que vêm recebendo bastante atenção para a remoção de contaminantes de efluentes industriais e no tratamento de água. As zeólitas são sólidos que tem a capacidade de reter em sua superfície, certos componentes de uma fase fluida, e podem ser naturais ou sintéticas e apresentam como principais características, ser peneiras moleculares, trocadoras iônicas e catalisadores (MOUSSAVI et al., 2011 apud NETTO, 2011).

De acordo com Payra e Dutta (2003 apud BIESEKI, 2016) as zeólitas podem ser definidas como materiais porosos, que apresentam cavidades e canais que podem ter tamanho igual ou inferior a 2 nm, o que as classifica como peneiras moleculares microporosas. Esta porosidade resulta de uma estrutura tridimensional organizada, isto é, uma estrutura cristalina. Estas estruturas cristalinas possuem sistemas de canais diferentes que podem ser classificados em: unidimensionais, bi-dimensionais e tri-dimensionais. O tamanho permitido de molécula que pode entrar nos poros é controlado pela abertura dos anéis, que podem ser pequenos ( $3 < \theta < 5 \text{ \AA}$ ), médios ( $5 < \theta < 6 \text{ \AA}$ ), grandes ( $6 < \theta < 9 \text{ \AA}$ ) e extragrandes ( $\theta > 9 \text{ \AA}$ ).

Segundo Petkowicz (2009), as zeólitas estruturalmente são compostas por tetraedros  $\text{TO}_4$  (T = Si, Al) ligados entre si pelo átomo de oxigênio, isto é, cada átomo de oxigênio é compartilhado por dois tetraedros, resultando nos tetraedros de alumina  $(\text{AlO}_4)^{-5}$  e sílica  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ . A zeólita A é sintetizada geralmente na forma sódica e apresenta uma relação Si/Al igual a 1. Estruturalmente, a zeólita A faz parte do grupo C4-C4, sua estrutura cristalina pode ser descrita pelo meio da ligação de dois tipos de poliedros: um cubo simples (4-4) formado pela união de dois anéis de quatro tetraedros (Figura 2). (GIANNETTO et al., 2000 apud RIGO et al., 2009).

**Figura 2.** Estrutura Zeólita A.

**Fonte:** Corrêa et al., 1996.

### **2.11. Cromatografia em coluna**

Collins (2006) define a cromatografia como um método físico-químico de separação dos constituintes de uma mistura, efetuada por meio da distribuição desses componentes em duas fases, que se encontram em contato. Uma das fases permanece estacionária enquanto a outra se move através dela. No decorrer da passagem da fase móvel sobre a fase estacionária os constituintes da mistura são separados pelas duas fases de maneira que cada um deles é seletivamente retido pela fase estacionária o que provoca migrações diferenciais desses componentes. De modo geral, a coluna cromatográfica é composta por um tubo de vidro em posição vertical contendo a extremidade superior aberta e a inferior é estreita terminando com uma torneira que permite o controle da vazão da fase móvel (VICHENEWSKI, 2006).

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Área de estudo**

Foram analisadas amostras de águas subterrâneas de duas localidades uma no município de Sossego- PB que segundo dados do IBGE (2014) fica localizado no Curimataú Paraibano, a 240 km da Capital do Estado, o município dispõe de uma área de 300 km<sup>2</sup>, apresenta um clima tropical semiárido e uma hidrografia constituída por rios temporários com cheias apenas no período do inverno, sendo assim castigado constantemente por secas prolongadas e abastecido por carros-pipa.

A outra área localiza-se no município de Bonito de Santa Fé -PB que segundo Mascarenhas et al. (2005) está localizado na região Oeste do Estado da Paraíba. Em termos climatológicos o município acha-se inserido no denominado “Polígono das Secas”, constituindo um tipo semiárido quente e seco o polígono das secas apresenta um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas, no tempo e no espaço. Nesse cenário, a escassez de água constitui um forte entrave ao desenvolvimento socioeconômico e, até mesmo, à subsistência da população.

### 3.2. Coleta das amostras

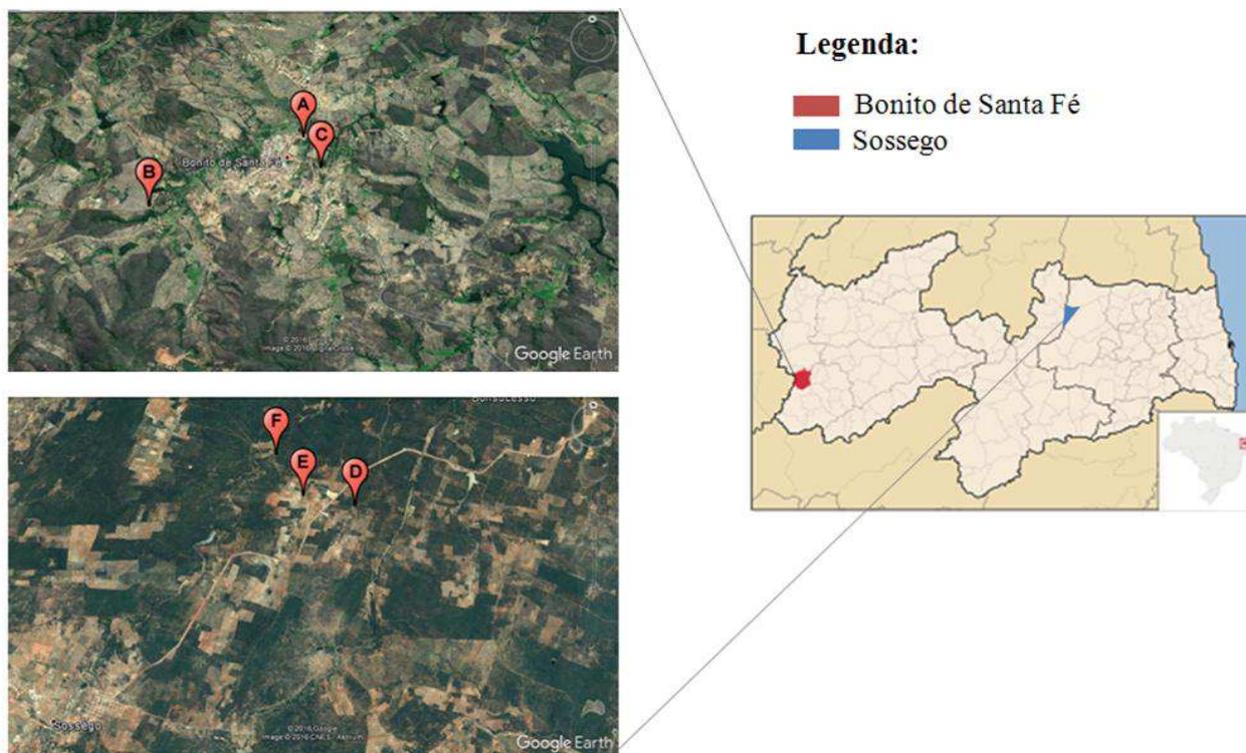
As amostras das águas em estudo foram coletadas em poços localizados na zona rural dos dois municípios (Tabela 1). Foram realizadas coletas de amostras de 3 poços subterrâneos de cada município (Figura 3). Os poços A, B, C, encontram-se nas seguintes coordenadas geográficas, Latitude 7°18'39.43” S e Longitude 38° 30'42.09” O, Latitude 7°19'6.48”S e Longitude 38°31'46.76” O, Latitude 7°18'54.45”S e Longitude 38°30'35.66”O, respectivamente e o poços D, E e F Latitude 6°44'8.51”S e Longitude 36°12'15.24”O, Latitude 6° 44'0.92”S e Longitude 36°12'46.59 ”O, Latitude 6°43'30.96”S e Longitude 36°13'2.96”O respectivamente. Cada coleta foi realizada em triplicata e as amostras de cada ponto identificadas e armazenadas em garrafas de politereftalato de etileno (PET) com capacidade de 1,5 mL previamente higienizadas, preenchidas e mantidas em refrigeração durante todo período das análises.

**Tabela 1.** Localização e profundidade dos poços da zona rural dos municípios.

Poços	Localização	Profundidade
<b>Bonito de Santa Fé - PB</b>		
<b>A</b>	Sítio Noé	52 metros
<b>B</b>	Sítio 3 irmãos	30 metros
<b>C</b>	Sítio Bonito Velho	52 metros
<b>Sossego - PB</b>		
<b>D</b>	Sítio Bom Sucesso	40 metros
<b>E</b>	Sítio Bom Sucesso	40 metros
<b>F</b>	Sítio Sombrio	40 metros

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

**Figura 3.** Localização dos poços e dos municípios de Bonito de Santa Fé - PB e Sossego-PB.



Fonte: Google Earth e Wikipédia, 2016 (adaptado).

### 3.3. Determinação dos parâmetros físico-químicos

As análises foram realizadas nos laboratórios de Biocombustíveis e Química Ambiental e Química Analítica, e na Farmácia Escola do Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande e seguiram metodologias recomendadas pelo manual prático de análise de água da Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2013) e pelo livro Águas e Águas métodos laboratoriais de análises físico químicas e microbiológica (MACÊDO, 2001). Todas as determinações foram realizadas em triplicata para um melhor tratamento de dados.

### 3.3.1. pH

A determinação de pH das amostras foram realizadas em um peagâmetro pH 21 – Hanna, sendo o mesmo previamente calibrado com soluções tampão ácido de  $7,00 \pm 0,01$  e básico de  $4,00 \pm 0,01$ .

**Figura 4.** Potenciômetro utilizado nas análises de pH.

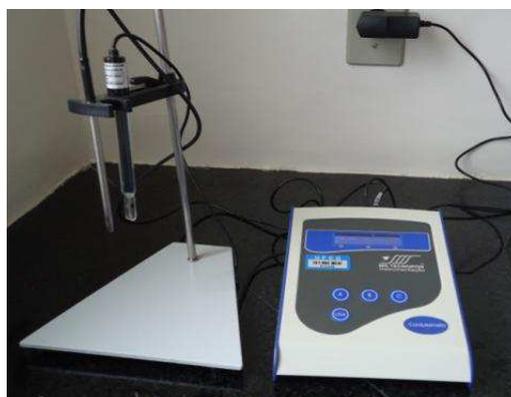


**Fonte:** Dados da pesquisa, 2017.

### 3.3.2. Condutividade elétrica

A condutividade foi determinada utilizando um condutivímetro mCA-150/Mca-150P sendo previamente calibrado com solução padrão de cloreto de potássio (KCl)  $146,9 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 0,5\%$ , com uma temperatura padronizada de  $25^\circ\text{C}$ .

**Figura 5.** Condutivímetro



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2017.

### 3.3.3. Turbidez

A turbidez foi determinada por um turbidímetro modelo TB1000, previamente calibrado com soluções padrões de 0,1 NTU, 0,8 NTU, 8 NTU, 80 NTU e 1000 NTU.

**Figura 6.** Turbidímetro.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2017.

### 3.3.4. Dureza total

Para determinação da dureza foi utilizado o método clássico de volumetria de complexação utilizando o agente titulante EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) e utilizando como indicador negro de eriocromo - T. O volume utilizado na titulação foi utilizado na Equação (1.0) (MACEDO, 2001) para determinação dos resultados.

$$\text{Dureza total em mg/L CaCO}_3 = \frac{M_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA}} \text{ ml} \cdot F_c \cdot 100 \cdot 1000}{V_{\text{ml da amostra}}} \quad (1.0)$$

### 3.3.5. Cloretos

Na determinação do teor de cloreto foi utilizado a volumetria de precipitação com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) pelo método de Mohr. Os cálculos da concentração de cloreto foram obtidos por meio da Equação (2.0) (FUNASA, 2013).

$$\text{Cloreto mg. L}^{-1} \text{ Cl} = \frac{V_{\text{ml de AgNO}_3} \cdot M_{\text{AgNO}_3} \cdot 35,45}{V_{\text{ml da amostra}}} \quad 2.0$$

### 3.3.6. Alcalinidade

As medidas de alcalinidade foram realizadas pelo método de volumetria de neutralização com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) como agente titulante e solução indicadora alaranjado de metila. A Equação 3.0 (FUNASA, 2013) foi utilizada para determinação dos resultados.

$$\text{Alcalinidade mg. L}^{-1} \text{ CaCO}_3 = V_{\text{ml de H}_2\text{SO}_4} \cdot 20 \quad (3.0)$$

### 3.3.7. Sólidos dissolvidos totais (SDT)

A condutividade elétrica da água decorre da quantidade de sais dissolvidos, sendo aproximadamente proporcional a sua quantidade. Por esta razão a determinação da condutividade elétrica possibilita estimar de modo rápido da quantidade de sólidos totais dissolvidos (SDT) presentes na água. (HELLER e PÁDUA, 2006). Na Tabela 2 apresenta-se a relação entre condutividade e SDT.

**Tabela 2.** Relações para determinação dos SDT em função da condutividade.

Condutividade ( $\mu/\text{cm}$ )	STD (mg/L)
<b>Menor que 1000</b>	0,68 x condutividade
<b>De 1000 a 4000</b>	0,75 x condutividade
<b>De 4000 a 10000</b>	0,82 x condutividade

Fonte: Bezerra, 2004.

Deste modo as determinações de sólidos dissolvidos totais foram realizadas pela seguinte Equação (4.0) de acordo com valor de cada condutividade elétrica.

$$\text{SDT mg/L} = 0,68 \times \text{CE } \mu\text{S cm}^{-1} \quad (4.0)$$

### 3.4. Preparação do adsorvente natural

Os frutos foram coletados em uma área particular na zona rural do município de Cuité-PB no mês de Junho de 2016. Para a obtenção do adsorvente as sementes foram separadas da casca e polpa do fruto por meio de um processador de alimentos, posteriormente as sementes foram lavadas para retirar os resíduos e colocadas para secar ao sol. Após a secagem, as sementes foram trituradas e peneiradas para a obtenção da forma de farelo. (Figura 7).

**Figura 7.** (A) Frutos coletados. (B) Frutos processados. (C) Sementes depois de lavadas e secas. (D) sementes trituradas.

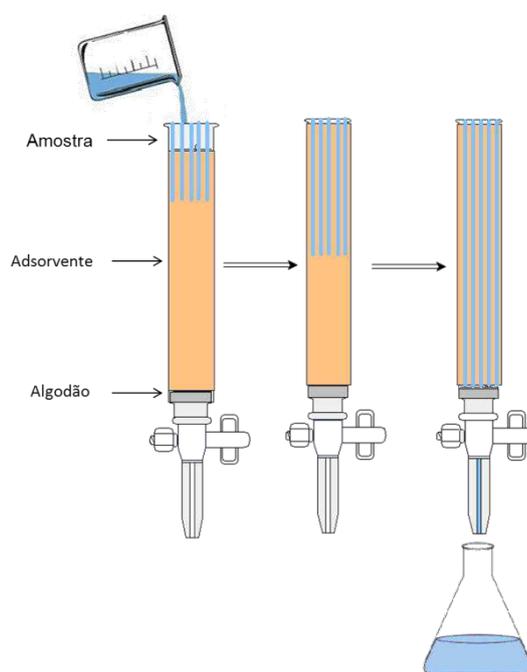


**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

### 3.5. Tratamento com adsorventes

Após a determinação dos parâmetros físico-químicos foram realizados testes de adsorção, onde as amostras foram tratadas por meio de uma coluna preparativa para o adsorvente natural (Figura 8) e por agitação magnética para o adsorvente sintético. As medidas analisadas de pH e dureza total foram realizadas antes e após o tratamento com os adsorventes para comparação dos resultados.

**Figura 8.** Coluna preparativa.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2017.

#### 3.5.1. Adsorvente natural

Para o tratamento das amostras com o adsorvente natural foi utilizado o método de cromatografia em coluna com uma bureta de 50 ml, onde foi umedecida uma pequena porção de algodão e colocado na parte inferior, próximo à torneira, tomando o cuidado para não pressionar e bloquear a passagem da amostra. Em seguida a coluna foi preenchida com aproximadamente 6g do adsorvente natural (fase estacionária) que foi previamente lavado com água destilada até que a água residual da lavagem estivesse límpida, por onde foram

percolados 50 ml das amostras das águas dos poços analisados (fase móvel), numa vazão de aproximadamente 1 ml/min. (Figura 9).

**Figura 9.** Colunas com semente de acerola.

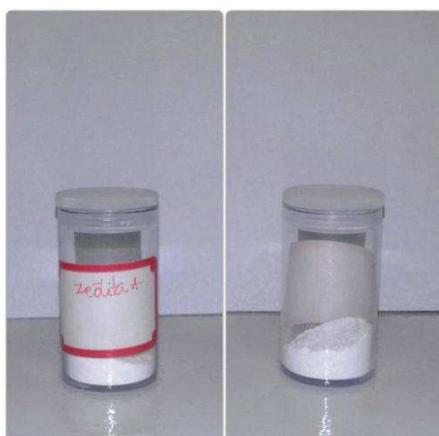


**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

### 3.5.2. Adsorvente sintético

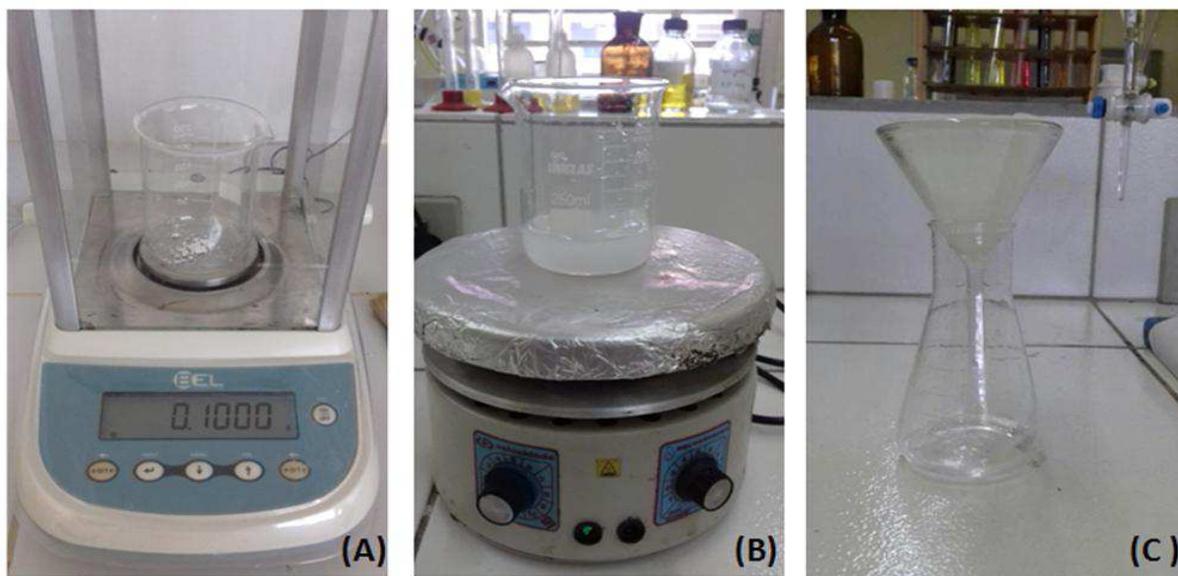
O tratamento empregado com a Zeólita A (Figura 10) foi realizado por agitação magnética empregando 50 ml da amostra em contato com uma massa de 100 mg do adsorvente durante o período de 50 min, após o tratamento a amostra foi filtrada em um erlenmeyer (Figura 11) e foram determinadas o valores de pH e dureza total.

**Figura 10.** Zeólita A utilizada nas análises



**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

**Figura 11.** (A) Pesagem do material (B) Tratamento realizado por agitação magnética (C) Filtração.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

### 3.6. Caracterização do material

#### 3.6.1. Espectroscopia de Infravermelho (ATR IV)

As amostras foram caracterizadas através do método de refletância total atenuada (ATR da sigla em inglês), onde um cristal com um índice de refração elevado e baixa absorção na região do infravermelho entra em contato com a amostra produzindo um espectro. A análise foi realizada utilizando-se de um feixe infravermelho médio, com comprimento de onda variando entre 2,5 e 50  $\mu\text{m}$ , fornecendo assim uma faixa de número de ondas de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ . O equipamento utilizado foi Spectrum 65 FT-IR spectrometer Perkin Elmer com um ATR acoplado.

#### 3.6.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens das sementes de acerola foram obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) Hitachi Modelo TM-3000, equipado com um sistema de microanálise

química por dispersão de energia (EDS) Bruker, variando as ampliações entre 20, 30, 100 e 200xx.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Parâmetros físico - químicos

Nas Tabelas 3 e 4 respectivamente podem ser observados a média seguida do desvio-padrão dos resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos analisados, sendo estes: medidas de pH, alcalinidade, turbidez, cloretos, dureza total, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais, obtidos para as amostras de águas subterrâneas dos municípios de Bonito de Santa Fé – PB e Sossego – PB.

É importante ressaltar que medidas como pH, condutividade elétrica e teor de sólidos dissolvidos não têm suas características mantidas com a preservação e suas medidas teriam que ser realizadas no local de coleta utilizando materiais portáteis, no entanto, as amostras foram analisadas o mais rápido possível após a chegada ao laboratório para minimizar alterações entre a amostragem e as análises.

**Tabela 3.** Resultados das determinações físico-químicas das amostras de água de Bonito de Santa Fé.

Parâmetros Físico-químicos	Poços do município de Bonito de Santa Fé		
	A	B	C
<b>pH</b>	8,12 ± 0,08	7,28 ± 0,04	7,65 ± 0,01
<b>Alcalinidade (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	495,4 ± 0,40	422,6 ± 0,15	428,6 ± 0,11
<b>Turbidez (NTU)</b>	0,78 ± 0,02	0,34 ± 0,01	0,40 ± 0,13
<b>Cloretos (mg/L)</b>	0,238 ± 0,00	0,170 ± 0,15	0,119 ± 0,11
<b>Dureza Total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	286,26 ± 0,35	454,41 ± 0,2	436,39 ± 1,50
<b>Condutividade elétrica (mS.cm<sup>-1</sup>)</b>	1,347 ± 0,04	1,073 ± 0,01	0,9728 ± 0,01
<b>Sólidos dissolvidos totais (mg/L)</b>	1010,25 ± 0,03	804,75 ± 0,06	661,504 ± 0,03

Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

**Tabela 4.** Resultados das determinações físico-químicas das amostras de água de Sossego.

Parâmetros Físico-químicos	Poços do município de Sossego		
	D	E	F
<b>pH</b>	7,50 ± 0,01	7,27 ± 0,06	7,16 ± 0,02
<b>Alcalinidade (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	467,3 ± 0,11	391,3 ± 0,06	355,3 ± 0,06
<b>Turbidez (NTU)</b>	4,2 ± 0,90	12,6 ± 0,08	0,11 ± 0,14
<b>Cloretos (mg/L)</b>	4,11 ± 2,75	1,73 ± 0,44	2,07 ± 0,42
<b>Dureza Total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	2714,44 ± 0,09	2221,99 ± 0,40	1653,49 ± 0,70
<b>Condutividade elétrica (mS. cm<sup>-1</sup>)</b>	9,47 ± 0,03	4,53 ± (0,02)	5,39 ± 0,10
<b>Sólidos dissolvidos totais (mg/L)</b>	7765,4 ± 0,03	3714,6 ± 0,02	4419,8 ± 0,10

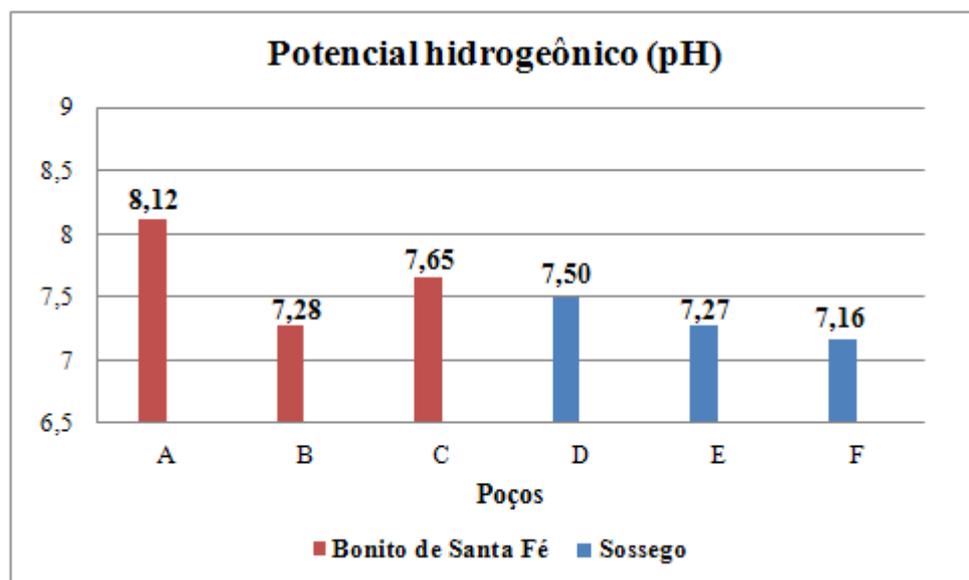
Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

### 5.1.1 pH

Os valores de pH representam a concentração de íons hidrogênio em uma solução (FUNASA, 2013). O valor do pH influencia na organização das formas livre e ionizada de vários compostos químicos, além de auxiliar para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de determinar o potencial de toxicidade de diversos elementos. As variações de pH podem ter origem natural através da dissolução de rochas e fotossíntese ou antropogênica através dos despejos domésticos e industriais. Baixos valores de pH podem favorecer em águas de abastecimento a sua corrosividade e agressividade, ao passo que valores elevados favorecem a possibilidade de incrustações (FUNASA, 2014).

Conforme o Gráfico 1 as amostras analisadas dos poços A, B, C, D, E e F apresentaram valores de pH iguais a 8,12 ; 7,28; 7,65; 7,50; 7,27 e 7,16 respectivamente caracterizando as amostras como básicas e portanto dentro dos padrões estabelecidos pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde para água de consumo humano que estabelece como valor mínimo e máximo permitido de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2011). Segundo Feitosa e Filho (2000) a maioria das águas subterrâneas apresentam pH entre 5,5 e 8,5 e em casos excepcionais podendo variar entre 3 e 11 .

**Gráfico 1.** Valores médios de pH de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Costa et al. (2016) encontrou valores parecidos de pH iguais a 8,16 e 7,8 para poços na cidade de Pombal – PB, Vieira et al. (2012) encontrou 6,3; 6,6; e 7,7 para poços na cidade de Teresina-PI. Santos e Mohr (2013) encontraram valores iguais a 5,65; 6,98; 6,15 em poços nas regiões do Rio Grande do Sul, Castro et al. (2014) encontrou valores iguais a e 3,75 e 5,42 em poços na cidade de Barcarena – Pará, valores bem abaixo do valores encontrado neste estudo.

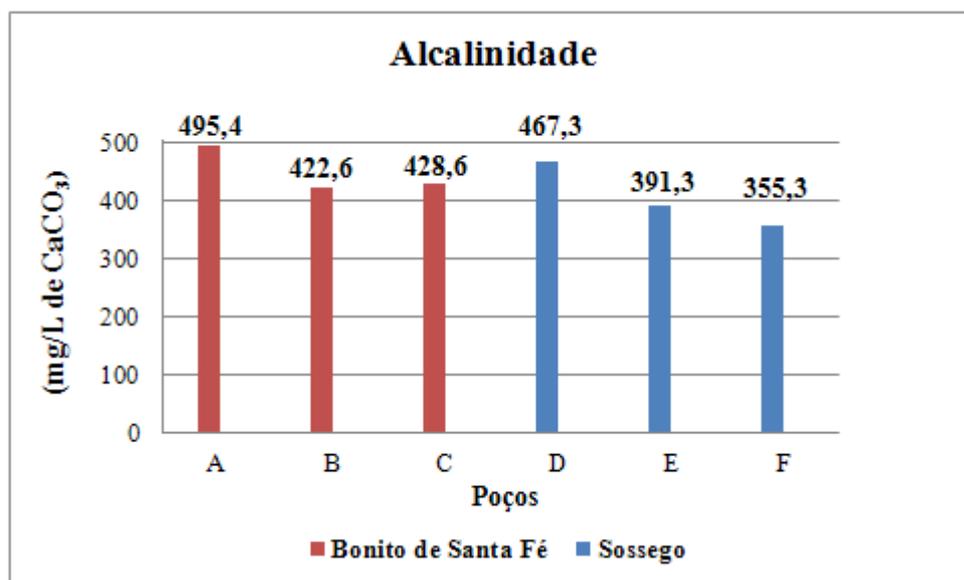
### 5.1.2. Alcalinidade

Segundo Libânio (2010) na potabilização das águas para consumo a alcalinidade apresenta função essencial para o bom resultado do processo de coagulação minimizando a redução considerável do pH depois da dispersão do coagulante. As três formas da alcalinidade na água é dada em função do seu pH, em águas com pH > 9,4 a alcalinidade ocorre em virtude de hidróxidos e carbonatos para pH entre 8,3 e 9,4 carbonatos e bicarbonatos e pH entre 4,4 e 8,3 apenas bicarbonatos (FUNASA, 2014).

Os resultados médios de alcalinidade dos poços A, B e C apresentaram-se concentrações de 495,4; 422,6 e 428,6 mg/L de CaCO<sub>3</sub> respectivamente e para os poços D, E

e F os valores encontrados foram 467,3; 391,3 e 355,3 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  respectivamente, conforme o Gráfico 2. E de acordo com o pH de todas as amostras a alcalinidade apresentada é devido apenas à presença de bicarbonatos. O Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permitido para o parâmetro alcalinidade para água de consumo humano.

**Gráfico 2.** Valores médios de alcalinidade de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

A alcalinidade encontrada por Vieira et al. (2012) apresentou concentrações de 52,77; 66,49 e 39,29 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  em dados apresentados por Santos e Mohr (2013) foram obtidos valores de 17,875; 13,875 e 3,375 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  concentrações bem menores do que as encontradas no presente estudo. Lima et al. (2015) encontraram valores iguais a 87; 158 e 138 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  em poços localizados na zona urbana de Mossoró – RN e Veiga (2005) valores que variaram ente 4,0 á 32,0 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  em poços localizados na cidade de Florianópolis- SC.

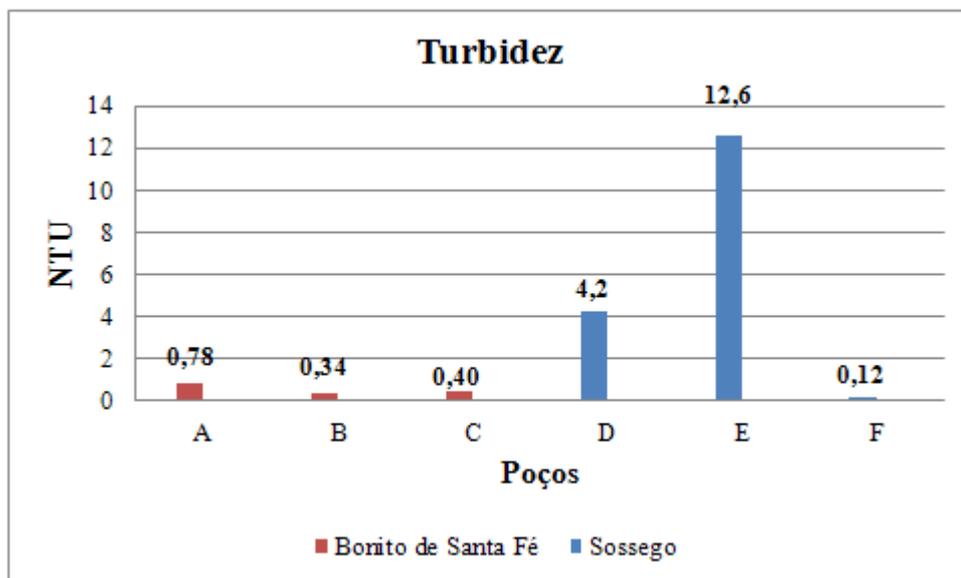
### 5.1.3. Turbidez

A turbidez da água é provocada pela presença de materiais sólidos em suspensão tais como: algas, plâncton, matéria orgânica e entre outras substâncias como o zinco, ferro,

manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais em suspensão, que reduzem a sua transparência (FUNASA, 2013). Segundo Libânio (2010) a turbidez de águas subterrâneas geralmente apresenta-se inferior 1 NTU, normalmente decorrente da presença de ferro e manganês.

Para a turbidez os valores encontrados para os poços A, B e C apresentaram valores entre 0,78; 0,34 e 0,40 NTU respectivamente e para os poços D, E e F os valores foram de 4,2; 12,6 e 0,12 NTU conforme o Gráfico 3 . Apenas o poço D apresentou valor acima de 5 NTU o valor estabelecido como máximo pelo Ministério da Saúde para água de consumo humano ( BRASIL, 2011).

**Gráfico 3.** Valores médios de turbidez de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2017.

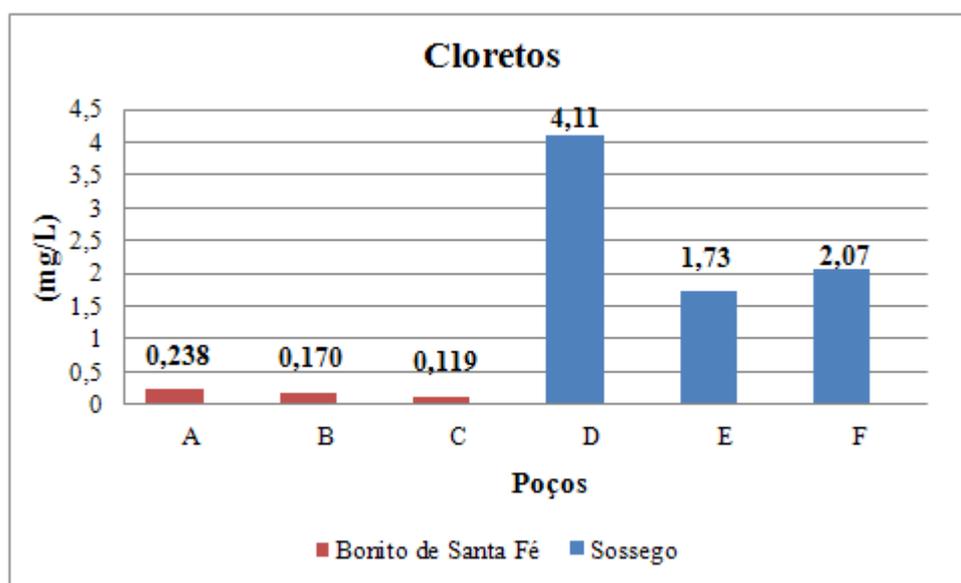
Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira et al. (2012) que foram iguais a 0,43; 0,72 e 0,33 NTU e por Santos e Mohr (2013) de 1,360; 0,256 e 0,104 NTU enquanto Castro et al (2014) obteve valores entre 0,02 e 26,4 NTU e Veiga (2015) valores entre 0,87 a 34,64 NTU. Em dados apresentados por Oliveira et al. (2016) os valores variaram entre 0,71 a 33,34 NTU em poços analisados em comunidades rurais de São Luís – MA.

#### 5.1.4. Cloretos

De modo geral os cloretos estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até mesmo centenas de mg/L. Se encontram presentes na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio. Altas concentrações de cloretos podem restringir o uso da água em consequência do sabor que eles proporcionam e pelo efeito laxativo que eles podem causar (FUNASA, 2013). Segundo a Funasa (2014) os cloretos normalmente são provenientes da dissolução de minerais ou da introdução de águas no mar.

Para a determinação de cloretos os valores encontrados para os poços A, B e C foram 0,238; 0,170 e 0,119 mg/L respectivamente e para os poços D, E e F valores 4,11; 1,73 e 2,07 mg/L conforme o Gráfico 4 evidenciando o baixo teor de cloretos nas amostras analisadas que se encontram dentro do valor máximo permitido para cloretos de 250 mg/L. Segundo Feitosa e Filho (2000) o cloreto é resultante do processo de lixiviação de minerais ferromagnesianos das rochas ígneas que são pobres em cloretos e de rochas elvaporíticas como a sal-gema. E em águas subterrâneas apresentam valores inferiores a 100 mg/L.

**Gráfico 4.** Valores médios de Cloretos de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Valores encontrados para cloretos por Vieira et al. (2012) foram de 4,15; 5,0 e 1,09 mg/L enquanto Lima et al. (2015) obteve concentrações de 84; 266 e 126 mg/L valores muito acima dos resultados encontrados no presente estudo que podem ser provenientes de efluentes domésticos ou industriais por se tratar de uma área urbana. Veiga (2005) e Costa et al. (2012) encontraram resultados que variaram de 14,2 á 213 mg/L e 0 a 350,6 mg/L respectivamente, de poços localizados em regiões centrais de Florianópolis e do Ceará.

#### 5.1.5. Dureza Total

A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e pode ser classificada em mole ou branda quando  $< 50$  mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dureza moderada entre 50 mg/L e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; e muito dura quando apresentar dureza  $> 300$  mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (FUNASA, 2014). Segundo Silva (2015) a dureza não consiste em um contaminante, porém uma característica da água que apresenta uma grande variação em diferentes regiões e que apresenta impactos a saúde humana quando utilizada para fins potáveis.

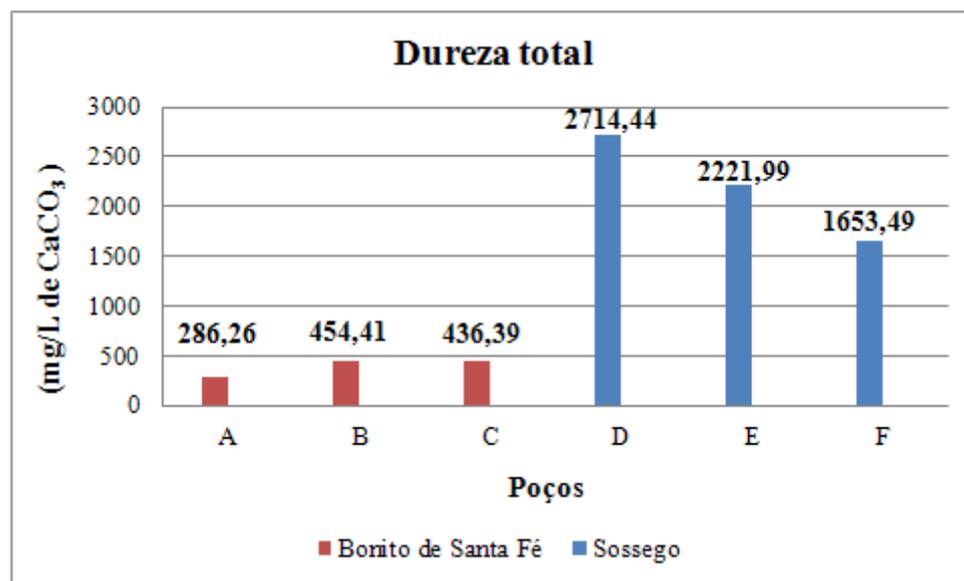
As águas subterrâneas devido ao processo de lixiviação da água no solo são em geral mais duras do que as águas superficiais. Águas que apresentam uma alta dureza reduzem a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, além de ocasionar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas (FUNASA, 2014).

Os valores encontrados para a dureza total que é representada pela soma das concentrações de íons cálcio e magnésio na água, expressos como carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) das amostras analisadas dos poços A, B e C apresentam os valores 286,26; 454,41 e 436,39 mg/L  $\text{CaCO}_3$  respectivamente sendo classificada como água dura para o poço A e muito dura para os poços B e C. No entanto dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, que estabelece para dureza total o teor de 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  como valor máximo permitido para água potável (BRASIL, 2011).

As amostras dos poços D, E e F apresentaram valores 2714,44; 2221,99 e 1653,49 e mg/L de  $\text{CaCO}_3$  respectivamente, concentrações bem mais elevadas do que as amostras dos outros poços analisados, sendo assim classificadas também como muito duras e fora dos

padrões estabelecidos pela portaria do Ministério da Saúde para água de consumo humano, conforme os dados apresentados no Gráfico 5.

**Gráfico 5.** Valores médios de dureza total de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Em dados apresentados por Vieira et al (2012) e Santos e Mohr (2013) encontrou-se valores para dureza total de águas de poços 54,29; 60,48 e 22,68 mg/L de CaCO<sub>3</sub> e 56,7; 53,4 e 60,7 mg/L de CaCO<sub>3</sub> respectivamente. Lima et al. (2015) obteve os seguintes valores 171,972; 273,132 e 384,4 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Abdalla et al. (2010) encontrou teores de dureza que variaram de 27,54 a 117,6 mg/L de CaCO<sub>3</sub> em poços no município de Rosário - MA, Veiga (2015) obteve valores entre 10 e 204 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. No entanto Farias, Farias e Neto (2016) obtiveram valores semelhantes ao deste estudo em amostras de poços coletados em períodos distintos no município de Boa Vista – PB com valores que variaram de 237,5 a 3850 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

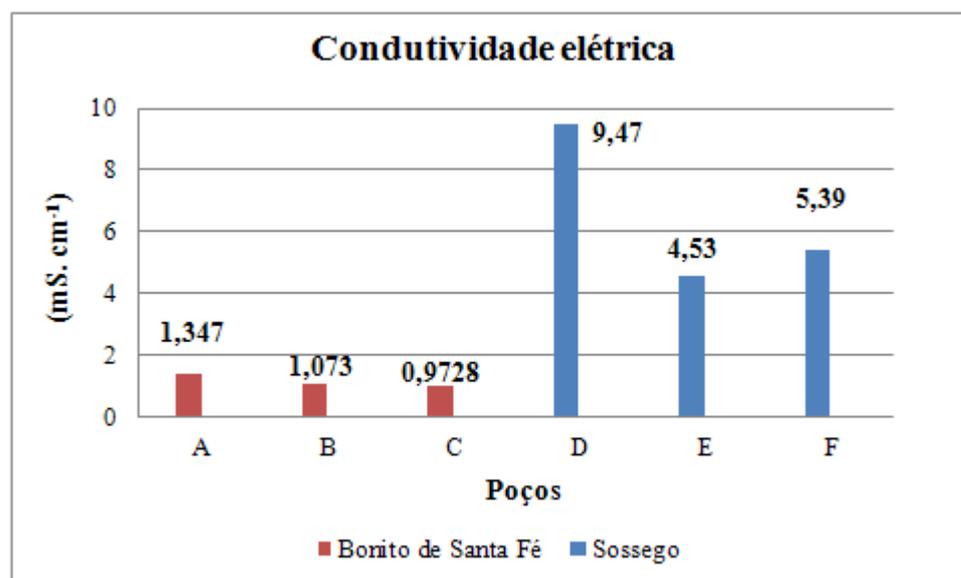
#### 5.1.6. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água representa a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e

cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para ação eletrolítica consequentemente maior a capacidade em conduzir corrente elétrica (FUNASA, 2014). A condutividade elétrica é influenciada pelas características pedológicas do solo, ou seja, a região de maior concentração iônica corresponde com a área em que a textura do solo é mais fina, reduzindo a lavagem de sais. (MONTENEGRO et al., 2001 apud ANDRADE et al., 2012).

Para a condutividade elétrica foram encontrados valores para os poços A, B e C entre 1,347; 1,073 e 0,9728  $\text{mS.cm}^{-1}$  respectivamente e para os poços D, E e F os valores foram 9,47; 4,53 e 5,39  $\text{mS.cm}^{-1}$  respectivamente evidenciando ser uma área onde ocorre uma maior concentração de sais, tanto no solo quanto na água subterrânea conforme os dados apresentado no Gráfico 6. No entanto, o Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permitido para condutividade elétrica.

**Gráfico 6.** Valores médios de Condutividade elétrica de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Vieira et al. (2012) , Santos e Mohr (2013) obtiveram valores um pouco menores para a condutividade, iguais a 0,395; 0,444; 0,506  $\text{mS.cm}^{-1}$  e 0,1725; 0,1637; 0,633  $\text{mS.cm}^{-1}$ , respectivamente. Oliveira et al. (2016) obteve resultados semelhantes com valores iguais a 0,0321 e 0,376  $\text{mS.cm}^{-1}$  . Enquanto Farias, Farias e Dantas (2016) encontraram valores que

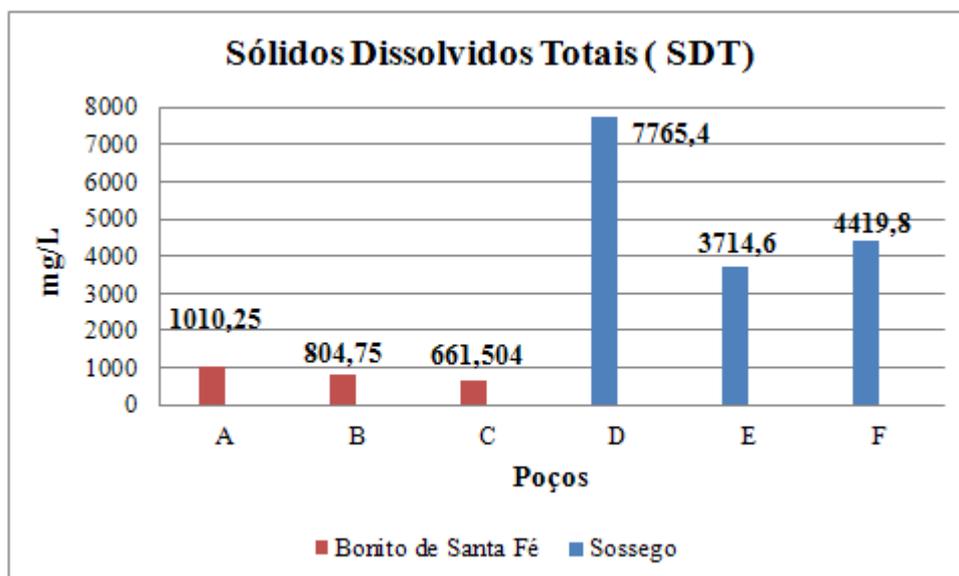
variaram de 140 a 1522  $\text{mS.cm}^{-1}$ . Em dados apresentados por Santos et al. (2015) em águas de poços do município de Cuité-PB a condutividade apresentou valores iguais a 3,68; 3,42; 3,50; 3,53  $\text{mS.cm}^{-1}$ .

#### 5.1.7. Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Sólidos dissolvidos totais (SDT) representam a soma de todos os constituintes químicos que estão dissolvidos na água. A determinação dos SDT tem função de indicar a qualidade da aparência da água potável e também de apontar a presença de produtos químicos contaminantes. Os fatores relevantes de SDT em águas receptoras são de origens agrícolas e residenciais, de lixiviados de contaminação do solo de descarga de poluição das águas industriais ou também daquelas decorrentes de estações de tratamento de esgoto. As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em altas concentrações podem ser prejudiciais à vida aquática (PARRON; MUNIZ, PEREIRA, 2011).

O Ministério da Saúde estabelece o valor máximo de 1000  $\text{mg/L}$  de SDT para água de consumo humano (BRASIL, 2011). Os valores encontrados para SDT nas amostras dos poços A, B e C apresentaram os resultados 1010,25; 804,75 e 661,504  $\text{mg/L}$  respectivamente e apenas o poço A apresentou valor fora do estabelecido com 1010,25  $\text{mg/L}$ , no entanto, os poços D, E e F apresentaram altos valores de SDT com os valores 7765,4; 3714,6 e 4419,8  $\text{mg/L}$  respectivamente e fora dos padrões estabelecidos, conforme os dados apresentados no Gráfico 7.

**Gráfico 7.** Valores médios de SDT de águas dos poços localizados na cidade de Bonito de Santa Fé e Sossego.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Segundo Casali (2008) águas com excesso de SDT se tornam desagradáveis ao paladar em razão da alteração no gosto, e o seu consumo pode provocar o acúmulo de sais na corrente sanguínea e ocasionar a formação de cálculos renais. O seu excesso também pode acarretar problemas de corrosão em tubulações. Com base nos valores estimados de SDT, as águas podem ser classificadas como doces quando o valor de SDT estiver entre 0-500 mg/L, salobras quando > 500 -1500 mg/L ou salgadas quando > 1500 mg/L (ANA, 2010).

Lima et al. (2015) obteve valores para os sólidos dissolvidos totais iguais a 416; 924 e 716 mg/L, em poços analisados por Veiga (2005) e Oliveira et al. (2016) os resultados variaram de 10 a 150 mg/L e 20,865 a 244 mg/L respectivamente, sendo todos esses valores abaixo do encontrado neste estudo. Farias, Farias e Dantas (2016) analisaram em períodos distintos os teores de SDT em poços e obtiveram resultados que variam de 500 a 1500 mg/L.

## **4.2. Caracterização das amostras de água após o tratamento com os adsorventes**

### **4.2.1. Adsorvente Natural**

O adsorvente natural (semente de acerola) foi testado em colunas adaptadas, para avaliar sua eficiência na adsorção de substâncias das amostras de águas de poços subterrâneos. As amostras de águas que apresentaram maior teor de dureza total foram as do poço B com o teor de 454,41 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  e o poço D com 2714,44 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  por isso utilizou-se as mesmas para testar a eficácia dos adsorventes. Após o tratamento foi verificado que houve uma redução considerável do teor de dureza total das amostras analisadas de 2714,44  $\text{mg.L}^{-1}$  para 900,81 mg/L para o poço D e uma redução de 454,41 mg/L para 52,05 mg/L para o poço B. Foi constatado também que houve uma diminuição do pH da amostra que ficou mais ácida após o tratamento, o que pode estar relacionado à liberação de íons  $\text{H}^+$  devido ao processo de troca iônica durante a interação da amostra com o adsorvente. Os resultados dos valores médios das análises físico-químicas para dureza total e pH após tratamento com o adsorvente proveniente da semente de acerola estão indicados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Dados obtidos dos valores médios de dureza e pH antes e após o tratamento com adsorvente natural para duas amostras.

Poços	B	D	B	D
<b>Parâmetros Analisados</b>	Dureza total mg/L CaCO <sub>3</sub>		pH	
<b>Antes do tratamento</b>	454,41 ± 0,2	2714,44 ± 0,09	7,28 ± 0,04	7,50 ± 0,01
<b>Após o tratamento</b>	52,05 ± 0,06	900,81 ± 0,06	5,63 ± 0,04	5,85 ± 0,02

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

Foi verificado que ocorreu uma saturação do adsorvente após o tratamento da primeira amostra sendo necessário um maior volume do titulante (EDTA) para finalizar a reação, conforme os dados indicados nas tabelas 6 e 7, sendo necessário para esta metodologia o uso de novas colunas intercaladas para novas amostras, aumentando assim a repetibilidade do método. O valores médios obtidos nos cálculos para a dureza total que foram apresentados na anteriormente na Tabela 5 foram realizados com os primeiros volumes obtidos após o tratamento em cada coluna, como segue nas tabelas.

**Tabela 6.** Volume gasto do titulante ( EDTA) da análise feita em triplicata após o tratamento com o adsorvente.

Amostra	Volume Gasto do titulante (ml)			Média e Desvio Padrão
	1° Coluna	2° Coluna	3° Coluna	
poço B	2,6	2,6	2,7	2,6 ± 0,06
	7,2	7,1	7,4	7,2 ± 0,15
	15,5	15,2	15,4	15,5 ± 0,15

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

**Tabela 7.** Volume gasto do titulante ( EDTA) da análise feita em triplicata após o tratamento com o adsorvente.

Amostra	Volume gasto do titulante (ml)			Média e Desvio Padrão
	1° Coluna	2° Coluna	3° Coluna	
poço D	4,5	4,6	4,5	4,5 ±0,06
	11,0	11,1	10,9	11,0 ±0,1
	11,5	11,6	11,2	12,7 ±0,21

Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

#### 4.2.2. Adsorvente Sintético (Zeólita A)

A zeólita A é empregada industrialmente para a remoção de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em águas (BEZERRA et al., 2016). Segundo Payra e Dutta (2003 apud BIESEKI, 2016) quando se tem uma Zeólita composta por Si e Al, a rede apresenta deficiência de carga o que faz com que os poros sejam ocupados por moléculas de água e cátions compensadores de carga que podem ser metais alcalinos, quando a sínteses são realizadas empregando bases alcalinas ou cátions orgânicos.

No presente estudo apenas a amostra do poço B foi tratada com a zeólita para comparação dos resultados apresentados com o adsorvente natural. Os resultados obtidos para dureza total e pH antes e após o tratamento estão apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Dados obtidos antes e após o tratamento com zeólita A.

Amostra Poço B		
Parâmetro Analisado	Dureza total mg/L de $\text{CaCO}_3$	pH
Antes do Tratamento	454,41 ± 0,2	7,28 ± 0,04
Após o Tratamento	172,15 ± 0,06	8,40 ± 0,01

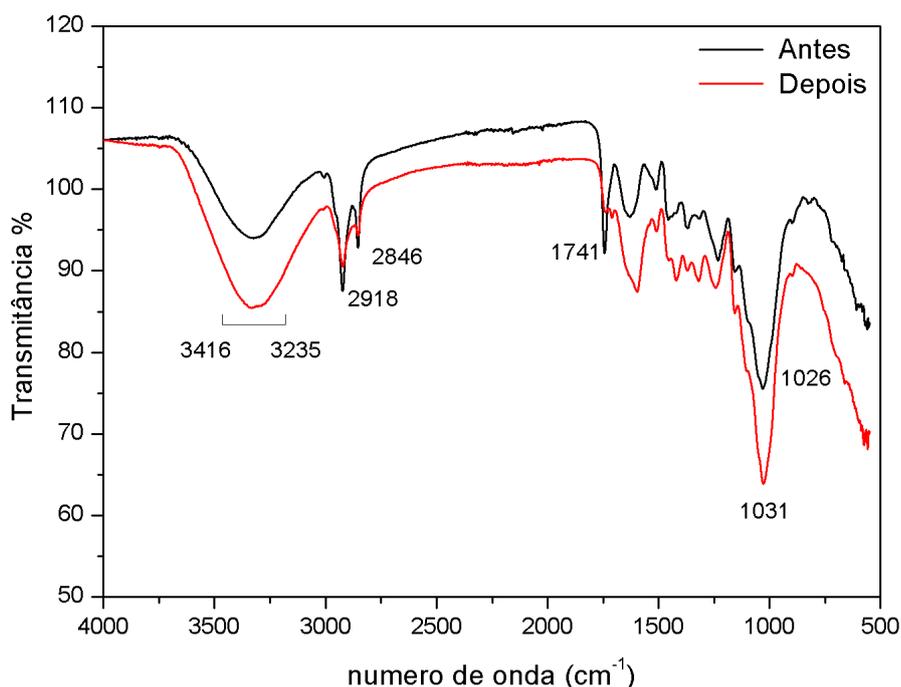
Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

### 4.3. Espectros de absorção na região do infravermelho do adsorvente natural

Os espectros de infravermelho para a semente de acerola antes e após a adsorção podem ser observados na Figura 12, onde apresentou banda larga e forte em  $3416\text{ cm}^{-1}$  á  $3235\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento axial da ligação  $\text{-OH}$  possivelmente de ácidos carboxílicos, os picos  $2918\text{ cm}^{-1}$  e  $2846\text{ cm}^{-1}$  indica o estiramento axial de ligações  $\text{C-H}$  de alcanos ou grupo alquila, segundo Barbosa (2008 apud REZENDE et al., 2014). A banda em  $1741\text{ cm}^{-1}$  é referente ao estiramento axial referente à ligação  $\text{C=O}$  dos grupos carboxilas que possuem grande capacidade de adsorção uma vez que possuem elétrons livres (MEDRADO, 2011). A deformação angular em  $1026\text{ cm}^{-1}$  é referente à ligação  $\text{O-H}$  que é característico de álcoois primários (MONTEIRO e YAMAURA, 2007).

Analisando os espectros da semente antes e após a adsorção constatamos que a banda  $3416\text{ cm}^{-1}$  á  $3235\text{ cm}^{-1}$  e a deformação angular em  $1026\text{ cm}^{-1}$  referentes à ligação - OH foram intensificadas, podendo ser atribuída à adsorção de água, acarretando como consequência a diminuição das bandas em  $2918\text{ cm}^{-1}$  e  $2846\text{ cm}^{-1}$ . Após o tratamento podemos constatar que as amostras de águas analisadas obtiveram uma redução de dureza total de  $2714,44\text{ mg.L}^{-1}$  para  $900,81\text{ mg/L}$  (Poço D) e de  $454,41\text{ mg/L}$  para  $52,05\text{ mg/L}$  (Poço B) que pode ser justificado pelo desaparecimento da banda de estiramento axial da carbonila em  $1741\text{ cm}^{-1}$  indicando uma possível reação de redução da função química.

**Figura 12.** Espectro de Infravermelho da Semente de acerola antes e após a adsorção.

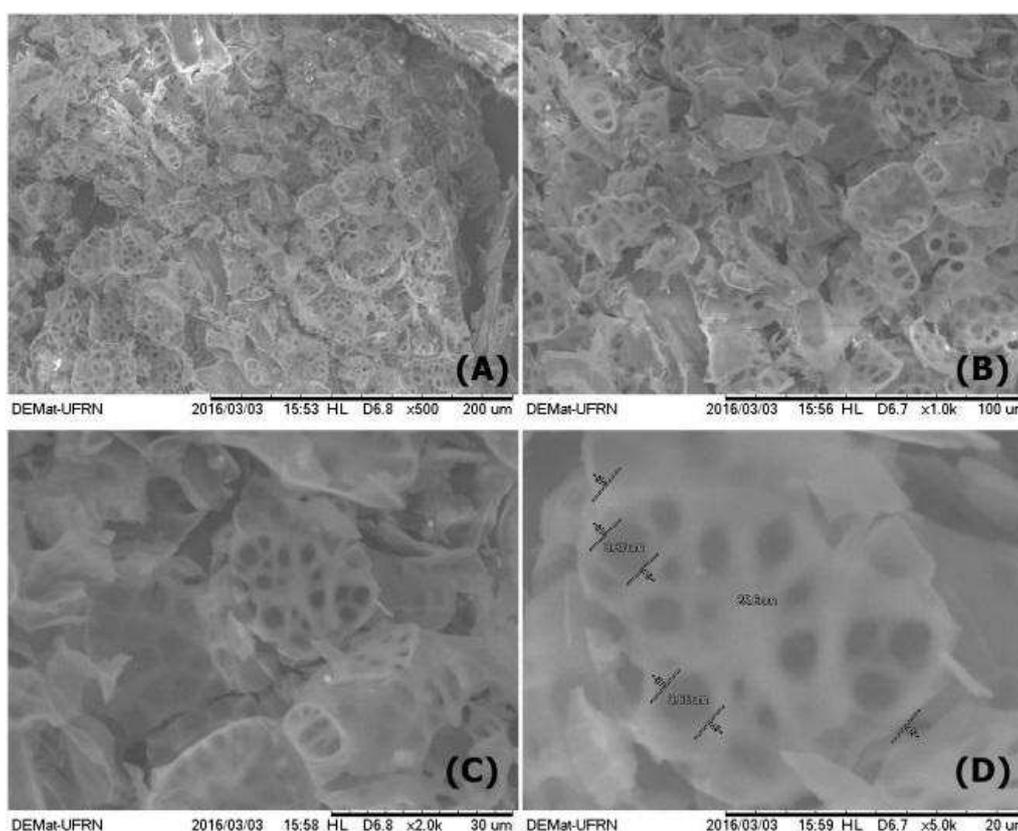


Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

#### 5.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias obtidas das sementes de acerola antes do processo de adsorção podem ser observadas na Figura 13 com diferentes ampliações de 500, 1000, 2000 e 5000 vezes respectivamente, que indicaram uma morfologia de cavidades semelhantes a canais interligados conferindo uma maior área de adsorção, o que pode estar relacionado com a retenção dos sais na superfície dos adsorventes naturais promovendo a redução da dureza total das amostras analisadas.

**Figura 13.** Micrografia eletrônica de varredura do adsorvente natural obtido da semente de acerola antes da adsorção da amostra. (A) com ampliação de 500x (B) 1000x (C) 2000x e (D) 5000x

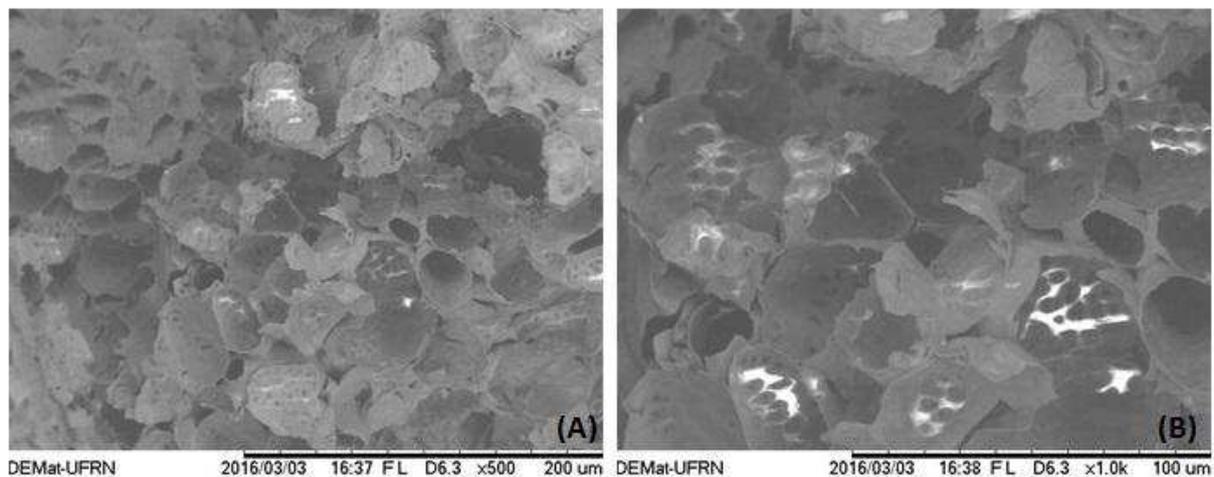


**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

A Figura 14 mostra as micrografias da semente após o processo de adsorção onde a Figura 14 (A) com aumento de 500 vezes revela uma ruptura na estrutura do material após o

tratamento aumentando as cavidades existentes. Na Figura 14 (B), com aumento de 1000 vezes, esse efeito pode ser visto com mais clareza.

**Figura 14.** Micrografia eletrônica de varredura do adsorvente natural obtido da semente de acerola após a adsorção da amostra. (A) com ampliação de 500x (B) 1000x.



**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2017.

## 5. CONCLUSÃO

As amostras de águas de poços subterrâneos do município de Bonito de Santa Fé-PB apresentaram valores de parâmetros físico-químicos analisados dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde de acordo com a Portaria n.º 2.914/2011, com exceção de um único ponto (A) que apresentou um valor para sólidos dissolvidos totais um pouco acima do valor estabelecido.

Para o município de Sossego – PB, os poços analisados apresentaram, em sua maioria, valores de parâmetros físico-químicos referentes aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde para água potável, com exceção de alguns parâmetros, como o elevado valor encontrado para dureza total para os sólidos dissolvidos totais de todas as amostras, sendo impróprias para o consumo humano, além da turbidez de algumas amostras analisadas.

A Zeólita A apresentou eficiência na remoção da dureza da água como já era esperado, no entanto o uso do adsorvente natural obtido a partir da semente de acerola aplicado à cromatografia em coluna (adsorção) apresentou um resultado mais significativo devido a considerável redução do teor de dureza total das amostras de águas analisadas, apresentando-se também como um importante adsorvente para este tipo de metodologia. Sendo um resíduo agroindustrial abundante torna-se, uma alternativa de baixo custo, eficiente e viável para tratamento de águas que apresentem alto teor de dureza. Portanto, esta metodologia pode ser utilizada para águas para usos industriais ou para o reuso de efluentes industriais que precisam passar por um processo de abrandamento.

## 6. REFERÊNCIAS

ABDALLA, K. V. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; COSTA NETO, J. P.; BARBIERI, R.; MESQUITA NETO, M. C. **Avaliação da dureza e das Concentrações de Cálcio e Magnésio em Águas Subterrâneas da Zona Urbana e Rural do Município de Rosário-MA.** In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Luís, 2010.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **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.** Hidrogeoquímica, Vulnerabilidade dos Aquíferos e Riscos de Contaminação. Brasília: ANA, SIP, 2010.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Balço das águas:** Publicação anual da agencia nacional das águas. 2015.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço- temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande – PB, v.16, n.5, p.496-504, 2012.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F.N.; DONHA, A.G.; KOTINDA, A. C. P. A relação da qualidade e quantidade da água no ambiente urbano e rural. In: ANDREOLI, C. V.; LUPION, T.P. (Org.). **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável.** Curitiba: SENAR, 2014. p 488.

BEZERRA, B. G. P.; OLIVEIRA, I. K.S; COSTA, V. A.; SILVA, D. R. S., PERGHER, S. B. C. Remoção de Metais tóxicos de água produzida empregando zeólita A. **Revista Perspectiva**, v.40, n.151, p.65-71, 2006.

BEZERRA, M. A.S. **Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2004.

BIESEKI, L. **Síntese de Silicogermanatos Zeolíticos empregando compostos amônio quaternários como direcionadores de estrutura**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

BORTOLOTTI, C.T. **Estudo Experimental da fluidodinâmica de uma mistura de resíduo de acerola e soja em leito de jorro**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914/2011, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário oficial da união 12 dez 2011.

CALGARO, M.; BRAGA, M.B. (Ed.). **A Cultura da Acerola**. 3.ed.Brasília: EMBRAPA, 2012.

CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F. S.; NETO, P. L. V.; FLORES, P. M. **Poços tubulares construídos no Brasil**. In: Anais do XV CONGRESSO BRASILEIROS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Natal, 2008.

CASALI, A.C. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

CASTRO, J. S. O. ; RESQUE JÚNIOR, B. T. B.; PONTES, A. N.; MORALES, G. P. Potabilidade das Águas Subterrâneas para o Consumo Humano na área do Polo Industrial de Barcarena-Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19; p. 2931, 2014.

COLLINS, C.H. Princípios básicos de Cromatografia. In: COLLINS, C.H.; BRAGA, G. I.; BONATO, P. S. **Fundamentos de Cromatografia**. São Paulo: Unicamp, 2006.

CORRÊA, M.L.S.; WALLAU, M.; SCHUCHARDT, U. Síntese, caracterização e propriedades catalíticas. **Química Nova**, v.19, n.1,1996.

COSTA, C. L.; LIMA R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da qualidade das Águas Subterrâneas em Poços do Estado do Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33, n. 2, p. 171-180, 2012.

COSTA, M. D. S.; FERNANDES, E. A.; SANTOS, T. T. A.; MARQUES, M. T. B.; FERREIRA, A. C. **Caracterização das águas subterrâneas usadas na irrigação de hortaliças numa comunidade do sertão paraibano.** In: Anais do I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Campina Grande, 2016.

DIAS, M. C. O. (Coord.). **Manual de impactos ambientais.** 2.ed. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2008.

FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J. Avaliação de água de poços tubulares para consumo humano no Município de Boa Vista, Paraíba, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n. 5, p. 08-14, 2016.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. (Coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS.** Brasília: FUNASA, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água.** Brasília: FUNASA, 2013.

GODINHO, A.L.P. **Aproveitamento de rejeito agroindustrial como adsorventes de compostos orgânicos.** Dissertação de Mestrado em Agroquímica – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2011.

GOMIDE, R. **Operações unitárias.** São Paulo: Edição do autor; 1988.p 311.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (Orgs). **Abastecimento para água de consume humano.** Belo Horizonte: UFMG, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Cidades@. 2014 Sossego-PB Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/2516151>> Acesso em: 16 de outubro de 2016.

KONIG, A. Usos da água In: FURTADO, D. A; KONIG, A. **Gestão integrada de recursos hídricos.** Campina Grande: Agenda, 2008.p.46.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Átomo, 2010.

LIMA, R. B.; OLIVEIRA, D. S.; BATISTA, R. O; ALVES, S. M. C.; SILVA, F. U.; SOUZA, L. Análise físico-química da água de três poços subterrâneos no município de Mossoró-RN. **Blucher Proceedings**, São Paulo, v.3, n.1. p.505-514. 2015.

LIMA, V.L. A.; FARIAS, M.S.S. Recursos hídricos. In: ROCHA, A. P.T; et al. (Org.). **Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: EPGRAF, 2011.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3.ed. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2007.

MACEDO, J. A. B. Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas. **Águas e águas**. Jorge Macedo. Juiz de Fora, 2001.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C.; MORAIS, F.; MENDES, V. A.; MIRANDA, J.L. F (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico, Bonito de Santa Fé**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

MEDRADO, L. C. L. **Adsorção de íons Cromo (VI) proveniente de efluentes de curtumes em bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) modificada com Ácido cítrico**. (Trabalho de conclusão de Curso) Graduação em Química Industrial – Universidade Estadual do Goiás. Anápolis, 2011.

MELO, B. C. A. ; SILVA, R. A . ; KUBO, G. T. M. ; CONRADO, L. S. ; SCHIMDELL, W. Avaliação do resíduo agroindustrial de acerola para produção de celulases por fermentação em estado sólido. In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, n.2, 2014. Florianópolis. Anais. São Paulo: Blucher, 2015.

MONTEIRO, R. A.; YAMAURA, M. Fibras de coco verde para adsorção de íons Uranilo. In: **Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H, R. et al. (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: UFRB, 2012.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

MOURA, M. S. B.; GALVANCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B. ; Sá, I. I. S.; SILVA, T. G.F. Clima e água de chuva no Semi-Árido In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap.2. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/159649>> Acesso em: 20 de outubro de 2016.

NASCIMENTO R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S.C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NETTO, D. **Utilização de zeólitas como adsorvente no tratamento terciário de efluentes líquidos provenientes de indústrias de processamento de leite**. Monografia – (Química Industrial)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

NEVES, I.P. **Cultivo da Acerola**. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia da Bahia, RETEC/BA. 2007.

NOBRE, P. As origens das águas no Nordeste. In: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. **A questão da água no nordeste**. Brasília: CGEE, 2012.

NUNES, A. S. **Produção de adsorventes a partir da casca de amendoim visando a aplicação na remoção de corantes orgânicos**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, 2014.

OLIVEIRA, J. M.B.; CASTRO, A. C. L.; PEREIRA, E. D.; AZEVEDO, J. W.J. Qualidade da água subterrânea em comunidades rurais de São Luís – MA, **Revista Espacios**, vol. 37, n.31,p 11. 2016.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1.ed. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011, 69 p.

PEREIRA, F.C.; BARAUCALY, J.G.V. Contextualização do Semiárido. In: ROCHA, A. P.T; et al. (Org.). **Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: EPGRAF, 2011.

PETKOWICZ, D. I. **Zeólitas sintetizadas com fontes alternativas de silício e alumínio aplicação em fotocálise**. Dissertação de Mestrado em Ciências dos Materiais – Programa de Pós- Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2009.

REZENDE, J.C. T. NUNES, D. D. A.; REIS, E. N.; JESUS. E. ; FERRAZ, C.; PAGANO, R. L.; SILVA, A. S.; PACIFICO, J. A.; SILVA, D. C. Cinética de adsorção de Cr (VI) de soluções aquosas usando sementes de acerola. **Scientia Plena**, v.10, n.10, 2014.

RIGO, R.T.; PERGHER, S. B. C; PETKOWICZ, D. I. ; SANTOS, J. H. Z. Um novo procedimento de síntese da zeólita A empregando argilas naturais. **Revista Química Nova**, v.32, n.1, p.21-25, 2009.

SANTOS, C.M. **Uso de cascas de laranja como adsorvente de contaminantes no tratamento de água**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, 2015.

SANTOS, J.R.M.; SILVA, A.C.P.; SILVA, J.F.R.; SILVA, D.D. **Aplicação da Cromatografia em Coluna para Adequar Propriedades Físico-químicas de Águas de Poços Subterrâneos**. In: Anais do 1º Simpósio Nordeste de Química, Natal, 2015.

SANTOS, R. S.; MOHR, T.; SAÚDE E QUALIDADE DA ÁGUA: Análises Microbiológicas e Físico-Químicas em Águas Subterrâneas. **Revista Contexto e Saúde**, v. 13 n. 24/25, p. 46-53, 2013

SILVA, D.I.S. **Estudo da transferência de calor de massa na secagem de leite fixo visando o aproveitamento de resíduo da acerola (Malpighia emarginata DC.)**. Tese

(Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2015.

SILVA, L. P. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SOUSA, T. P. A. **Caracterização parcial da peroxidase dos frutos de aceroleira (Malpighia emarginata DC), clones Okinawa e Emepa em três estágios de Maturação**. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

VEIGA, G. **Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços de diferentes cidades da região sul de Santa Catarina e efluentes líquidos Industriais de algumas empresas da grande Florianópolis**. Relatório para obtenção como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Química – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VICHENEWSKI, W. Cromatografia por Adsorção. In: COLLINS, C.H.; BRAGA, G. I.; BONATO, P. S. **Fundamentos de Cromatografia**. São Paulo: Unicamp, 2006.

VIEIRA, K. P. G.; FERREIRA, L. L. G.; CRONEMBERGER, M. G. O. **Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada em hortas comunitárias**. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Bonito, 2012.