



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TARCIO DE AZEVEDO ALVES**

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO APLICANDO  
PROCESSO ELETROLÍTICO OPERADO POR ENERGIA SOLAR**

**FORTALEZA  
2020**

TARCIO DE AZEVEDO ALVES

DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO APLICANDO  
PROCESSO ELETROLÍTICO OPERADO POR ENERGIA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala  
Neto.

FORTALEZA  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A474d    Alves, Tarcio de Azevedo.  
          Desinfecção de águas para consumo humano aplicando  
          processo eletrolítico operado por energia solar / Tarcio de  
          Azevedo Alves. - 2020.  
          81 f. : il. color.

          Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro  
          Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,  
          Fortaleza, 2020.  
          Orientação: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto.

          1. Desinfecção. 2. Processo eletrolítico. 3. Energia solar  
          fotovoltaica. I. Título.

CDD 624

TARCIO DE AZEVEDO ALVES

DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO APLICANDO  
PROCESSO ELETROLÍTICO OPERADO POR ENERGIA SOLAR

TCC apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto.

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto (Orientador)  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. MSc. Wesley de Sousa Fernandes (Examinador)  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Alencar Firmo de Araújo  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus pela força e coragem me dada  
para concretizar essa conquista e a minha  
família e amigos pelo apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela força que me fez chegar até aqui.

A minha família pelo apoio e ajuda que foram fundamentais para essa conquista.

Ao meu orientador Eliezer Abdala por toda a contribuição ao meu trabalho de conclusão de curso. Por ser um excelente orientador, sempre muito prestativo, atencioso e bem-humorado. Que contribuiu muito com minha formação ao compartilhar seus conhecimentos. É um exemplo de educador e orientador. Meu muito obrigado.

Aos professores Juliana e Wescley, pela contribuição, em grande valia, em melhorar o meu trabalho de conclusão de curso.

Ao professor Enoque Rodrigues pelo apoio durante o curso, pela amizade e por ter colaborado com meu trabalho fornecendo a placa fotovoltaica da sua instituição de ensino. A você a minha eterna gratidão e carinho.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma célula eletrolítica operada por energia solar, aplicada à desinfecção de águas para consumo humano possibilitando o acesso à água potável com o uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais. O sistema eletrolítico foi composto por pares de eletrodos metálicos sendo 2 de alumínio e 2 de aço inox 304, um circuito elétrico que promove a pulsação da corrente elétrica, um multímetro digital, um reator eletrolítico em acrílico e uma placa fotovoltaica. Para a realização dos ensaios de desinfecção foi coletada água na margem da Lagoa da Parangaba em um total de 30 L. Os experimentos foram divididos em três etapas para verificar a configuração que apresentou a melhor eficiência. O experimento final foi realizado com eletrodo misto com o tempo de 30 minutos. A amostra de água tratada apresentou pH de 7,48, levemente superior ao da amostra de água bruta que obteve pH de 7,43. A condutividade apresentou o valor de 225,400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a amostra de água tratada, demonstrando que houve redução de 35% quando comparada com a água bruta que apresentou valor de 348,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A turbidez apresentou uma redução de 88% se comparada com a amostra de água bruta. A amostra de água tratada apresentou quantidade de bactérias heterotróficas menor quando comparada com a amostra da água bruta no valor de 870 UFC/mL. Para os parâmetros de coliformes totais e *Escherichia coli* não houve alteração significativa em relação a amostra de água bruta. Para os parâmetros físico-químicos analisados a célula eletrolítica operada por energia solar apresentou resultados satisfatórios, destacando a configuração com eletrodo misto com 30 minutos como a que apresentou os melhores resultados. Os parâmetros microbiológicos analisados não atingiram os resultados esperados, mas houve redução de 42% das bactérias heterotróficas na amostra tratada. Pode-se concluir que a célula eletrolítica operada por energia solar é uma alternativa de tratamento de água satisfatória e de baixo custo, cuja operação e manutenção pode ser gerenciada e sustentada com recursos locais.

**Palavras-chave:** Desinfecção. Processo Eletrolítico. Energia Solar Fotovoltaica.

## ABSTRACT

The present work aims to develop an electrolytic cell operated by solar energy, applied to the disinfection of water for human consumption, enabling access to drinking water with the use of appropriate and low cost technologies, whose operation and maintenance can be managed and sustained with local resources. The electrolytic system was composed of pairs of metallic electrodes, 2 of aluminum and 2 of stainless steel 304, an electrical circuit that promotes the pulsation of the electric current, a digital multimeter, an acrylic electrolytic reactor and a photovoltaic plate. To perform the disinfection tests, water was collected on the banks of the Lagoa da Parangaba in a total of 30 L. The experiments were divided into three stages to verify the configuration that showed the best efficiency. The final experiment was carried out with a mixed electrode with a time of 30 minutes. The treated water sample showed a pH of 7.48, slightly higher than that of the raw water sample, which obtained a pH of 7.43. Conductivity showed a value of 225,400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for the treated water sample, demonstrating that there was a 35% reduction when compared to raw water, which presented a value of 348,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The turbidity showed a reduction of 88% when compared to the raw water sample. The sample of treated water had a smaller amount of heterotrophic bacteria when compared to the sample of raw water in the amount of 870 UFC/mL. For the parameters of total coliforms and *Escherichia coli* there was no significant change in relation to the raw water sample. For the physical-chemical parameters analyzed, the electrolytic cell operated by solar energy showed satisfactory results, highlighting the configuration with mixed electrode with 30 minutes as the one that presented the best results. The microbiological parameters analyzed did not achieve the expected results, but there was a 42% reduction in heterotrophic bacteria in the treated sample. It can be concluded that the electrolytic cell operated by solar energy is an alternative of satisfactory and low cost water treatment, whose operation and maintenance can be managed and sustained with local resources.

**Keywords:** Disinfection. Electrolytic Process. Photovoltaic Solar Energy



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Distribuição da água no planeta.....	13
Figura 2 -	Percentual da população sem acesso à água tratada e sem acesso a coleta de esgoto.....	18
Figura 3 -	Principais tecnologias usadas no tratamento de água para consumo humano.....	29
Figura 4 -	Etapas do tratamento de água de ciclo completo.....	30
Figura 5 -	Tanque de decantação da ETA Gavião em Pacajus – CE.....	33
Figura 6 -	Configuração do sistema eletrolítico.....	36
Figura 7 -	Diagrama de uma célula de eletrocoagulação-flotação.....	37
Figura 8 -	Potencial anual médio de energia solar por região.....	40
Figura 9 -	Matriz Elétrica Brasileira – BEN 2019.....	41
Figura 10 -	Painéis solares fotovoltaicos.....	42
Figura 11 -	Sistemas fotovoltaicos <i>off-grid</i> e <i>on-grid</i> .....	43
Figura 12 -	Esboço da <i>set-up</i> utilizada na pesquisa.....	44
Figura 13 -	Reator eletrolítico operado em batelada.....	45
Figura 14 -	Conjuntos de eletrodos utilizados nos ensaios.....	46
Figura 15 -	Montagem do sistema fotovoltaico.....	48
Figura 16 -	Lagoa da Parangaba.....	49
Figura 17 -	Fluxograma descritivo do experimento.....	50
Figura 18 -	Amostras armazenadas em tubos de falcon.....	51
Figura 19 -	Aparelhos de análise físico- químicas.....	52
Figura 20 -	Multímetros.....	53
Figura 21 -	Célula eletrolítica em sistema em batelada conectada a placa fotovoltaica.....	55
Figura 22 -	Reator eletrolítico em formato cilíndrico.....	56
Figura 23 -	Conjunto de eletrodos utilizados no experimento.....	57
Figura 24 -	Ferro coagulado e decantado na amostra de água tratada.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação de dureza da água.....	23
Tabela 2 -	Padrão microbiológico da água para consumo humano.....	27
Tabela 3 -	Potencial padrão de oxidação ( $E^0$ ) de espécies químicas.....	38
Tabela 4 -	Análise físico-química da amostra da água bruta.....	57
Tabela 5 -	Exame microbiológico da amostra da água bruta.....	59
Tabela 6 -	Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de alumínio.....	60
Tabela 7 -	Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de aço inox.....	62
Tabela 8 -	Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de misto.....	63
Tabela 9 -	Parâmetros físico-químicos – Experimento com melhor condição encontrada.....	65
Tabela 10 -	Parâmetros microbiológicos – Experimento com melhor condição encontrada.....	68
Tabela 11 -	Preços dos materiais da célula eletrolítica operada por energia solar.....	69

## SUMÁRIO

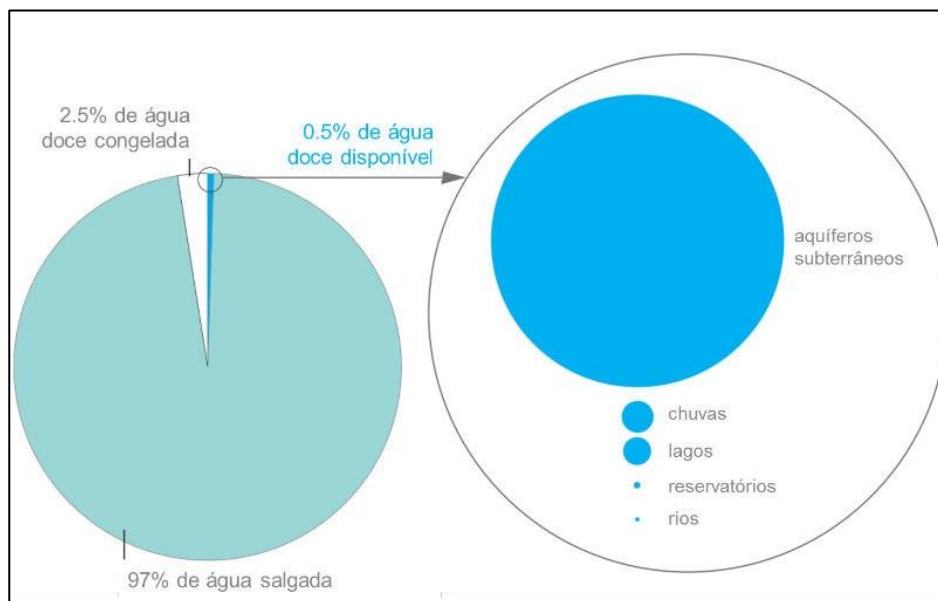
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivo geral.....	15
1.2	Objetivos específicos.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1	Panorama do saneamento no Brasil.....	17
2.2	Propriedades da água.....	18
2.3	Parâmetros de qualidade da água.....	19
2.3.1	<i>Parâmetros físicos.....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Parâmetros químicos.....</i>	<i>22</i>
2.3.3	<i>Parâmetros microbiológicos.....</i>	<i>25</i>
2.4	Tecnologias de tratamento da água.....	28
2.4.1	<i>Estação de tratamento de água por ciclo completo.....</i>	<i>29</i>
2.4.2	<i>Tratamento de tratamento de água por filtração direta....</i>	<i>30</i>
2.4.3	<i>Etapas do tratamento de água.....</i>	<i>31</i>
2.5	Processo eletrolítico.....	35
2.6	Energia solar.....	39
2.6.1	<i>Energia solar fotovoltaica.....</i>	<i>41</i>
2.6.2	<i>Painéis fotovoltaicos.....</i>	<i>41</i>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
3.1	Sistema experimental.....	44
3.2	Montagem do sistema fotovoltaico ao processo eletrolítico.....	47
3.3	Procedimento experimental.....	48
3.3.1	<i>Coleta e preservação das amostras.....</i>	<i>48</i>
3.3.2	<i>Descrição dos experimentos.....</i>	<i>49</i>
3.3.3	<i>Caracterização físico-química e microbiológica da água estudada.....</i>	<i>51</i>
3.4	Avaliação econômica da célula eletrolítica operada por energia solar.....	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>

<b>4.1</b>	<b>Parâmetros construtivos e operacionais da célula eletrolítica.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização da água de estudo.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3</b>	<b>Desempenho da célula eletrolítica operado por energia solar.....</b>	<b>59</b>
4.3.1	<i>Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo de alumínio.....</i>	60
4.3.2	<i>Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo de aço inox.....</i>	61
4.3.3	<i>Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo Misto.....</i>	63
<b>4.4</b>	<b>Desempenho da célula eletrolítica – Experimento final.</b>	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>Avaliação econômica da célula eletrolítica operada por energia solar.....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural abundante no planeta Terra que ocupa 70% da superfície terrestre, porém 97% desta água é salgada e, portanto, imprópria para o consumo. Dos 3% da água doce do planeta, apenas 0,04 % está disponível na superfície, em rios e lagos. A maior parte da água doce está congelada nas geleiras ou nos aquíferos subterrâneos de difícil acesso ao ser humano correspondendo a 2,5% do total conforme apresentado na Figura 1 (SAVEH, 2016).

**Figura 1** - Distribuição da água no planeta



**Fonte:** SAVEH (2016).

O Brasil possui boa quantidade de água disponível referente a 12% da água doce do planeta. O país é abundante em água, mas a distribuição natural desse recurso não é igualitária. A região Norte concentra cerca de 80% dos recursos hídricos disponíveis no país, mas representa apenas 5% da população. Já as regiões próximas ao oceano representam 45% da população, porém representam menos de 3% da água disponível (ANA, 2019).

Segundo a ONU (2019), o acesso a água potável e saneamento são direitos básicos indispensáveis para sustentar uma vida saudável e fundamental para manter a dignidade humana. O Estado é obrigado a trabalhar para fornecer o acesso universal à água e ao saneamento básico sem discriminação e priorizando os que mais necessitam.

No Brasil, o acesso a água tratada e ao esgotamento sanitário são deficientes, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde as taxas de domicílios sem acesso à água potável e ao saneamento básico são elevadas, o que reflete na saúde, economia e desenvolvimento das cidades.

É crescente a preocupação de pesquisadores, que buscam incansavelmente por tecnologias mais adequadas e aplicáveis para dirimir as lacunas do nosso saneamento precário. Desse modo, se tem buscado alternativas de tratamento de água que sejam promissoras em relação aos métodos tradicionais e que se descentralizem das grandes estações de tratamento de água.

Segundo Richter & Azevedo Neto (2003), no tratamento de água convencional a água recebe vários produtos químicos (cloro, ozônio, permanganato de potássio e entre outros) para eliminar as impurezas e garantir a qualidade da água. Na Estação de Tratamento de Água (ETA), a água recebe cloro, policloreto de alumínio e polímero catiônico durante as etapas de coagulação, pré-oxidação ou decantação e filtração. Após essas etapas, a água está livre da sujeira, porém pode conter microrganismos perigosos a saúde. Então, antes de seguir para distribuição, ocorre a cloração que tem como função desinfetar a água.

Uma alternativa de tratamento de água que vem demonstrando interesse dos grupos de pesquisadores nacionais e internacionais é o processo eletrolítico que consiste em um conjunto de reações químicas geradas pela passagem de energia elétrica, entre dois terminais, induzida por uma fonte externa de potência elétrica. Essas reações permitem a geração de compostos desinfetantes *in situ*, evitando a necessidade de incluir no processo compostos químicos perigosos que iriam agregar custos e problemas com manuseio, transporte e estocagem (CLARO *et al.*, 2010).

A energia solar pode ser combinada ao processo eletrolítico, como a fonte externa de potência elétrica, por se tratar de uma fonte de energia renovável e está disponível em áreas onde a eletricidade convencional não é acessível, desde que pra isso, seja acoplado à célula eletrolítica um sistema fotovoltaico gerador de energia. Neste caso, serão unidos dois paradigmas da ciência e tecnologia atual de grande importância para diversos setores da sociedade: o tratamento de água e energia renovável (COMBATT, 2018).

A região Nordeste por ser uma área de sazonalidade predefinido com maior parte do ano sem precipitação e possuir os maiores índices de radiação solar do país, tem um futuro promissor na geração de energia elétrica a partir da luz do sol.

A monografia foi dividida em cinco tópicos: no primeiro tópico foi apresentada a introdução, a problemática, a justificativa para se realizar o trabalho e os objetivos geral e específicos. No segundo tópico foi apresentado o referencial teórico sobre os assuntos relativos ao tema do trabalho. Em seguida, no terceiro tópico foi descrita a realização do experimento em Material e Métodos. No quarto tópico foi discutido os resultados obtidos em Resultados e Discussão. E por fim, foram apresentadas as considerações finais do trabalho no quinto tópico.

### **1.1 Objetivo geral**

Desenvolver célula eletrolítica operando por energia solar, aplicada à desinfecção de águas para consumo humano possibilitando o acesso à água potável com o uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Conceber, montar e aperfeiçoar parâmetros construtivos e operacionais da célula eletrolítica operando por energia solar, aplicada à desinfecção de águas para consumo humano;
- Analisar as variáveis intervenientes na eficiência da célula eletrolítica operando por energia solar, monitorando e avaliando indicadores de contaminação microbiológica, seguindo as diretrizes dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil;
- Investigar o desempenho da célula eletrolítica operando por energia solar no uso de eletrodos de aço inox, alumínio e misto para fins de abastecimento humano, monitorando e avaliando parâmetros físico-químicos de sólidos dissolvidos, turbidez e pH, bem como exames microbiológicos, seguindo as diretrizes dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Anexo XX Portaria de Consolidação N° 5/2017 do Ministério da Saúde do Brasil;

- Avaliar economicamente os custos envolvidos na construção da célula eletrolítica, operando por energia solar.



## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

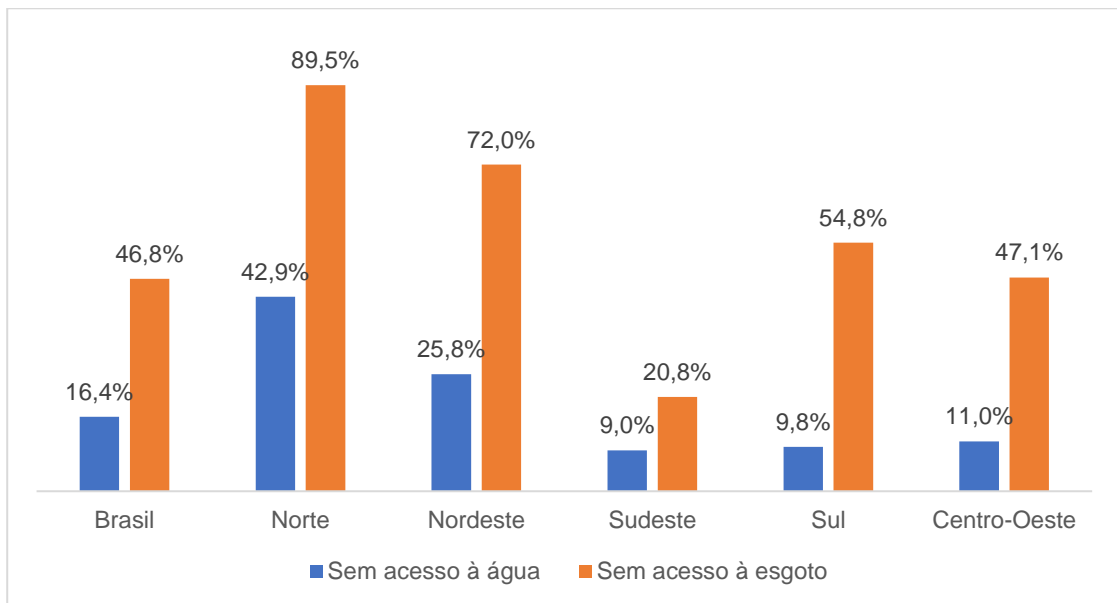
### **2.1 Panorama do saneamento no Brasil**

O Saneamento tem como objetivo executar um conjunto de medidas com o propósito de preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica. No Brasil, o direito ao saneamento básico é assegurado pela lei nº 11.445/2007 da Constituição Brasileira. O mais comum no Brasil, é que o saneamento seja visto como sendo os serviços de acesso à água potável, à coleta e ao tratamento dos esgotos. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

De acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional – SNIS Brasil (2018), o Brasil possui 16,40% da população total que não tem acesso à água tratada em seus domicílios, sendo a região Norte é onde se concentra a maior taxa com 42,90% da população e a região Sudeste a menor taxa com 9,0%.

Em relação ao acesso ao esgoto, os municípios brasileiros possuem uma taxa de 46,8% da população sem acesso ao esgoto. Novamente a região Norte é a mais carente de esgotamento sanitário, onde grande parte da população (89,5%) não possuem acesso ao esgoto e a região sudeste a mais bem saneada com 20,8% da população sem esgoto em suas residências conforme a Figura 2 (BRASIL, 2018).

**Figura 2** - Percentual da população sem acesso à água tratada e sem acesso a coleta de esgoto.



**Fonte:** Elaboração própria do autor a partir das informações do SNIS (2018).

## 2.2 Propriedades da água

A água no seu estado natural é insípida, inodora e incolor, constituída de dois átomos de hidrogênio (H) e um átomo de oxigênio (O) formando a molécula  $H_2O$ . Substância fundamental para os seres vivos, pois toda sua estrutura e funções estão relacionadas as propriedades físicas e químicas da água (CARMONA *et al.*, 2016).

A água é considerada o solvente universal, pois ela possui propriedades de dissolução. Como a água é uma substância polar, ela dissolve substâncias polares, também denominadas hidrofílicas. Já substâncias apolares, como os óleos, são hidrofóbicas e não se misturam com água. A água raramente será encontrada de forma pura, devido a facilidade se misturar a outras substâncias (SIQUEIRA, 2011).

Conforme Brasil (2014), a massa específica indica a relação entre a massa e o volume de uma substância, a água com o aumento da temperatura se torna cada vez menos densa. Em relação a viscosidade, resistência ao escoamento e com relação inversamente proporcional a temperatura, a água fria é mais viscosa que a água quente. A água possui elevado calor específico o que significa que é necessária grande quantidade de energia para provocar lhe alterações de temperatura. Na camada superficial da água há uma forte coesão das moléculas que é chamada de tensão superficial. Essa tensão pode ser afetada pela temperatura ou pela presença

de substâncias dissolvidas na água, como por exemplo, a presença de esgoto na água aumenta a concentração de substâncias (metais, micropoluentes, matéria orgânica e entre outros) e diminui a tensão superficial da água.

### **2.3 Parâmetros de qualidade da água**

Os parâmetros e indicadores que analisam a qualidade da água são classificados em físicos, químicos e microbiológicos. Os indicadores físicos são divididos em cor, condutividade elétrica, sabor e odor, sólidos totais, temperatura e turbidez. Já os parâmetros químicos analisados para água são dureza, pH, matéria orgânica natural (MON), micropoluentes, nutrientes, sais e metais (nitrogênio, ferro, cloretos, cloro, fósforo, potássio etc.). O exame microbiológico é realizado determinando a presença de algas e micro-organismos patogênicos na água. Abordam-se nos itens subsequentes os parâmetros mais prevalentes na caracterização da qualidade da água (NOGUEIRA *et al.*, 2015).

#### *2.3.1 Parâmetros físicos*

São parâmetros de fácil medição que fazem uma análise preliminar das características da água. Os parâmetros físicos mais comuns são apresentados na sequência.

##### Cor

A coloração da água pode ser classificada de duas formas, a coloração aparente e a coloração verdadeira. A coloração aparente é resultado da suspensão de materiais dissolvidos na água, como por exemplo a matéria orgânica natural e pela presença de ferro e manganês. É a coloração que é apresentada a visão do ser humano a partir da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão ocasionando outro parâmetro chamado de turbidez (MACEDO, 2007).

A coloração verdadeira é a cor apresentada após uma amostra de água ser submetida aos processos de filtração e centrifugação que removem as partículas em suspensão, restando apenas as partículas coloidais (RICHTER, 2009).

Segundo Libânio (2017), a cor da água pode ter origem na forma natural, quando está relacionada a decomposição da matéria orgânica de predominância vegetal e do metabolismo dos microrganismos presentes no solo, além da presença de ferro e manganês. Outra origem da cor da água está relacionada a ação do homem, como a descarga de efluentes domésticos e industriais, lixiviação de vias urbanas e atividades em solos com agricultura.

### Condutividade elétrica

O parâmetro de condutividade elétrica indica a capacidade que uma amostra de água possui de transmitir eletricidade elétrica na sua forma natural decorrente da presença de ânions e cátions dissociados. A condutividade elétrica não é considerada parâmetro de potabilidade do sistema brasileiro, mas é de importância relevante devido estar associada a presença de efluentes na água na forma de sólidos totais dissolvidos (LIBÂNIO, 2017).

Ainda segundo Libânio (2017), a condutividade elétrica está associada proporcionalmente a quantidade de sais dissolvidos na água, ou seja, quanto maior a quantidade de sais na água maior é a condutividade elétrica. A água na sua forma natural apresenta uma condutividade elétrica baixa em torno de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , já a água que recebe efluentes domésticos e industriais pode alcançar valores acima de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Sólidos totais

Os sólidos são todas as substâncias orgânicas e inorgânicas que resultam de um líquido após a evaporação e secagem a 103 °C sob a forma de moleculares ionizadas ou microgranulares (ARAÚJO *et al.*, 2013). A origem dos sólidos na água pode ser natural, a partir de processos erosivos, organismos e detritos orgânicos ou a partir das atividades humanas como o descarte de lixo e esgoto (BRASIL, 2014).

Os sólidos totais podem ser divididos em Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Sólidos Totais em Suspensão (STS) e conforme Brasil (2006), o primeiro pode afetar o padrão de qualidade potável da água quando ultrapassa o limite de 1000mg/L devido estar associado a presença de esgoto e interferir no parâmetro de sabor e odor.

Analisar o parâmetro de STD é importante, pois consiste no fato de que elevados teores de sais minerais como, por exemplo, o cloreto e sulfato podem conferir alterações nas características organolépticas da água e proporcionar a corrosão nos sistemas de distribuição (VITÓ *et al.*, 2016).

### Temperatura

A temperatura indica a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais como, por exemplo, a radiação gerada pela luz do sol ou por fontes antropogênicas como os despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas (BRASIL, 2014).

Brasil (2014) ainda afirma que os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em sua maioria, temperaturas na faixa de 20°C a 30°C. Entretanto, em regiões mais frias, como no sul do país, a temperatura da água pode baixar a valores entre 5°C e 15°C, atingindo, em alguns casos, até o ponto de congelamento em períodos de inverno.

A temperatura de águas superficiais é afetada pela latitude, altitude, estação do ano, circulação do ar, cobertura de nuvens, vazão e profundidade do corpo hídrico (PERCEBON *et al.*, 2005).

De acordo com Vinatea-Arana (2004), a temperatura é um parâmetro físico importante por estar ligada a reprodução e distribuição de microrganismos no planeta. Além de exercer influência sobre outros parâmetros como a densidade da água, dissolução de gases, comportamento dos organismos presentes na água, velocidade das reações químicas, solubilidade das substâncias entre outros parâmetros.

### Turbidez

A turbidez refere-se ao grau de interferência da passagem de luz através do líquido. A interferência resulta num espalhamento devido as partículas em suspensão (areia, silte, argila, algas e detritos). Sua determinação é simples e expressa em unidades de turbidez (uT) (SIQUEIRA, 2016).

Segundo Brasil (2014), a turbidez da água é alta em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas do solo. Grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes inadequadas.

A turbidez pode indicar risco indireto à saúde, pois as partículas podem atuar dificultando o contato eficaz dos microrganismos com os desinfetantes, também uma água com alta turbidez pode dificultar a vida aquática de lagos (BRASIL, 2014).

Libânio (2017) relata que a turbidez está se tornando um excelente parâmetro da presença de cistos e oocistos de protozoários e sua remoção é uma forma de avaliar os sistemas de tratamento de água. A turbidez de águas considerada potável para consumo humano é o valor máximo de 5 uT, conforme a legislação brasileira.

A remoção de turbidez é feita pelos processos de coagulação e filtração e seu insucesso influencia o desempenho das etapas seguintes do tratamento, podendo causar sobrecarga nos filtros e prejudicar o processo de desinfecção (RICHTER, 2009).

### *2.3.2 Parâmetros químicos*

Os parâmetros químicos podem indicar a presença de elementos e compostos que influenciam nas etapas de tratamento de água e reações químicas. Seguem os parâmetros mais analisados em amostras de água.

#### Dureza

A dureza da água expressa a concentração de cátions em solução. Esses cátions podem ser de zinco, ferro, alumínio, manganês, sendo que o magnésio ( $Mg^{+2}$ ) e o cálcio ( $Ca^{+2}$ ) são os maiores responsáveis pela dureza (SPERLING, 2017).

A água pode ser classificada quanto a sua dureza conforme apresentado na Tabela 1. A unidade é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ).

**Tabela 1** – Classificação de dureza da água

<b>Classificação</b>	<b>(mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>
Mole	< 50
Moderada	50-150
Dura	150-300
Muito Dura	> 300

**Fonte:** Elaboração própria do autor a partir das informações de Brasil (2006).

Em águas de reduzida dureza, a biota é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao teor de dureza da água. Já águas de elevada dureza reduzem a formação de espuma, além de provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas (BRASIL, 2014).

De acordo com a Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX (BRASIL, 2017), o Ministério da Saúde estabelece como padrão de potabilidade para esse parâmetro o valor máximo de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para fins de abastecimento, entretanto a população pode vir a rejeitar águas com dureza superior a 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

#### Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH indica o grau de acidez ou alcalinidade de determinada substância. A classificação ocorre pelo nível do potencial hidrogeniônico (equilíbrio entre íons H<sub>3</sub>O e OH<sup>-</sup>) medido através de um pHmetro. Quando o pH medido está abaixo de 7 (indicando concentração de H<sub>3</sub>O maior que a concentração de OH<sup>-</sup>) refere-se nestes casos a meio ácido, quando acima de 7 (indicando concentração de H<sub>3</sub>O menor que a concentração de OH<sup>-</sup>) é considerado um meio básico e igual a 7 (indicando concentração de H<sub>3</sub>O igual à concentração de OH<sup>-</sup>), meio neutro (BRASIL, 2014).

A Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), estabelece que a faixa padrão de potabilidade e qualidade da água para consumo humano seja mantido o pH entre 6,0 a 9,5.

O pH é um parâmetro de grande importância devido está relacionado com a eficiência dos processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção. Além

de seu monitoramento ser fundamental durante as etapas de tratamento numa Estação de Tratamento de Água (ETA), garante-se, na tubulação de distribuição, que não haverá corrosão ocasionada pelo pH baixo e formação de incrustações possibilitadas pelo pH elevado nas tubulações (SPERLING, 2017).

Segundo Oliveira & Cunha (2014), a desinfecção é uma das etapas de tratamento de água que é utilizado o cloro e a eficiência desse processo depende do pH. Ocorre que em meio ácido, a dissociação do ácido hipocloroso formando íons hipoclorito é menor, sendo o processo mais eficiente.

### Compostos nitrogenados, fósforo, potássio, sais e metais

O nitrogênio pode ser encontrado na natureza em diversas formas moleculares, como nitrogênio ( $N_2$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), amônia ( $NH_3$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), sendo uma substância química fundamental para o metabolismo e desenvolvimento celular. É importante determinar as quantidades dos elementos nitrito e nitrato devido o nitrato está associado à doença chamada metahemoglobinemia. Esses dois elementos também podem reagir com animais primários e secundários gerando substâncias cancerígenas (nitrosaminas e nitrosamidas) (MILANEZ et al., 2015; LIBÂNIO, 2017). Diante ao exposto, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), determina o valor máximo permitido (VMP) para nitrato de 10 mg/L (não desenvolve a metahemoglobinemia) e nitrito de 1 mg/L.

O ferro pode ser encontrado na água nos estados ferroso ( $Fe^{2+}$ ) e férrico ( $Fe^{3+}$ ). A presença de ferro na água bruta é originada da dissolução de compostos de rochas e solos (LIBÂNIO, 2017). Guauto e Rosa (2013) afirma que o ferro associado ao manganês, confere um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva, decorrente da precipitação quando oxidado na água. O ferro não apresenta risco à saúde nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, mas podem provocar manchas em roupas e vasos sanitários ou prejudicar determinados usos industriais da água. Desta forma, o padrão de potabilidade das águas para consumo humano estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017), determina valores máximos de 0,3 mg/L para o ferro.



A água pode conter cloretos na forma de cloretos de sódio, magnésio e cálcio. A presença de cloretos na água ocorre da entrada da água do mar no manancial ou de despejos irregulares de esgotos domésticos ou industriais. Em altas concentrações, produzem sabor salgado à água ou propriedades laxativas (SPERLING, 2017). A Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), estabelece como padrão de água potável o valor máximo permitido de 250 mg/L, acima desse valor o tratamento de água convencional não é eficaz para a remoção do cloreto.

O fósforo está presente na água de forma natural devido a dissolução do solo e pela decomposição da matéria orgânica. Porém sua presença também pode ser decorrente da ação do homem, como o descarte incorreto de fertilizantes agrícolas, despejo de esgoto doméstico e industrial (VON SPERLING, 2014). É um elemento essencial para o desenvolvimento de plantas aquáticas e quando presente em excesso pode ocasionar a eutrofização. Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo encontram-se entre 0,01 mg/L a 0,05 mg/L (BRASIL, 2014).

Assim como o fósforo, a presença em excesso de potássio na água está relacionada com dejetos industriais e fertilizantes agrícolas que são lixiviados. E que também em excesso causam eutrofização. Naturalmente é encontrado em baixas concentrações na água em forma de sais altamente solúveis (COIMBRA, 2011).

### 2.3.3 Parâmetros microbiológicos

A água é um ambiente propício aos microrganismos e dependendo de parâmetros como pH, turbidez e temperatura o meio pode ser tornar favorável ao crescimento dos mesmos. Os microrganismos são importantes para o controle da qualidade da água e em sua maioria não causam prejuízos a saúde humana, porém existem algumas espécies que são responsáveis por doenças, sabor e odor na água, além de provocar danos corrosivos em estruturas de concreto e metal (RICHTER, 2009; ARAÚJO, 2017).

Os parâmetros microbiológicos estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), são de coliformes totais, coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*.

## Coliformes totais

Segundo Brasil (2013) e Libânio (2017), os coliformes totais são bactérias gram-negativas, aeróbicas ou anaeróbicas facultativas que não formam esporos, capazes de fermentar a lactose produzindo ácido, gás e aldeído na temperatura de 35° C entre 24 e 28 horas e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  - galactosidase. Grande parte das bactérias do grupo coliforme fazem parte dos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*.

São um grupo de bactérias isoladas presentes na água, no solo e em fezes de humanos e animais de sangue quente. Os coliformes totais são bactérias encontradas no trato intestinal dos humanos e animais, porém também pode ter sua origem no ambiente (solos e águas não poluídas). Por esse motivo, não podem ser utilizadas como indicadores de contaminação microbiológica quando se confirma a presença de microrganismo na água (SPERLING, 2017).

A presença de coliformes nem sempre indica que a água está contaminada ao ponto de transmitir doenças por via hídrica e também sugere que o tratamento foi ineficiente ou que a contaminação aconteceu após o tratamento. Os coliformes totais indicam a eficiência do tratamento, bem como se a rede de distribuição está íntegra (BRASIL, 2006; SPERLING, 2017).

Apesar dos coliformes totais na água não significar a presença de coliformes fecais de origem humana, segundo a Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), em uma amostra de 100 mL de água tratada destinada a consumo humano não pode existir presença de coliformes totais.

### *Escherichia coli*

Os coliformes termotolerantes são um subgrupo de bactérias do grupo coliformes que fermentam a lactose e manitol a  $44,5 \pm 0,2$  °C em 24 horas produzindo ácido e gás. Possuem como principal representante a *Escherichia coli* ao qual sua origem é de exclusiva das fezes humanas. Essa bactéria é utilizada especificamente como indicador para outros patógenos que possam existir nas águas (BRASIL, 2013; LIMA 2019).

Por estar presente no intestino dos humanos e animais, esses microrganismos quando encontrados em uma amostra de água indicam, diretamente, contaminação fecal recente, o que pode supor a presença de patógenos entéricos (BRASIL,2013).

Assim como para os coliformes totais a Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) não permite a presença de coliformes termotolerantes em água tratada para consumo humano conforme exposto na Tabela 2.

**Tabela 2** – Padrão microbiológico da água para consumo humano

Tipo de Água		Parâmetro	Valor Máximo Permitido (VPM)	
Água para consumo humano		<i>Escherichia coli</i> (1)	Ausência em 100 mL	
Água Tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais (2)	Ausência em 100 mL	
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL
		Coliformes Totais (3)	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes.	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes.	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: Elaboração própria do autor a partir das informações de Brasil (2017).

Notas:

(1) Indicador de contaminação fecal

(2) Indicador de eficiência de tratamento.

(3) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

As amostras de água que apresentem resultado positivo para coliformes totais devem ser também analisadas para coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli* para que seja confirmada a presença de contaminação fecal na água analisada (BRASIL, 2004).

### Bactérias heterotróficas

Bactérias heterotróficas são microrganismos que necessitam de matéria orgânica ou compostos orgânicos para utilizar o carbono orgânico como fonte de nutriente para seu crescimento e para a síntese de material celular. São capazes de indicar se o tratamento da água está sendo ineficaz, ou existe uma fonte de contaminação após o tratamento, ou ainda pode indicar corrosão nas tubulações (WHO, 2004; DOMINGUES *et al.*, 2007; TORTORA *et al.*, 2012).

A maioria dessas bactérias não são consideradas patogênicas, mas sua densidade deve ser mantida sob controle, pois densidades muito elevadas de microrganismos na água podem dar origem ao aparecimento de odores e sabores desagradáveis na água. A determinação da quantidade de bactérias heterotróficas na água é também um importante instrumento auxiliar no controle bacteriológico de diversas etapas de operação de estações de tratamento de água (ARAÚJO, 2016).

De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), para qualidade de água para consumo humano, recomendando-se que as bactérias heterotróficas não ultrapassem o limite de 500 UFC/ml, pois alguns desses microrganismos podem ser patógenos oportunistas (aproveitam da fragilidade de defesa do organismo para causar danos).

## 2.4 Tecnologias de tratamento da água

De acordo com a NBR 12216 (1992), o tratamento de água é realizado em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e é definido como conjunto de unidades destinado a adequar as características das águas aos padrões de potabilidade, porém é necessário ter conhecimento das características físicas, químicas e biológicas que identificam a qualidade da água para se elaborar um projeto de uma ETA.

A escolha da tecnologia utilizada para realizar o tratamento de água depende de alguns fatores como a qualidade da água bruta, os custos envolvidos, o manuseio e a confiabilidade dos equipamentos e a localização geográfica. Conforme a Figura 3 as principais tecnologias usadas no tratamento de água para consumo humano são: Filtração Lenta, Dupla Filtração, Filtração Direta, Floto-Filtração e Convencional Ciclo Completo. As tecnologias de tratamento de água para consumo humano podem ser resumidas em dois grupos, sem coagulação química e com coagulação química (DI BERNARDO & DANTAS, 2005; LIBÂNIO, 2017).

**Figura 3** - Principais tecnologias usadas no tratamento de água para consumo humano.



**Fonte:** Elaboração própria do autor a partir das informações de Di Bernardo & Dantas (2005).

#### 2.4.1 Estação de tratamento de água por ciclo completo

Diante das diversas tecnologias de tratamento de água, a principal tecnologia utilizada no Brasil é o de ciclo completo também chamado de tratamento convencional. É o mais usado por ser um processo mais completo, capaz de adequar as etapas do tratamento a características da água bruta e suas variações pelo seu estado sazonal (RICHTER, 2009; BRAGA, 2014; MELO, 2014).

As ETA de ciclo completo são utilizadas para águas com valores médios e altos de turbidez (entre 50 a 1000 uT), pois valores maiores de turbidez necessitaria de uma etapa de pré-sedimentação e valores menores poderiam não formar flocos sedimentáveis. De acordo com a Figura 4, as etapas que fazem parte do tratamento de ciclo completo são coagulação, floculação, decantação, filtração e ajustes finais, como a desinfecção, fluoretação e correção de pH (RICHTER, 2009; BRAGA, 2014; MELO, 2014).

**Figura 4** - Etapas do tratamento de água de ciclo completo



**Fonte:** Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas - SANEP (2019).

No tratamento de água de ciclo completo os flocos são formados nas etapas de coagulação e floculação e removidos na decantação e os flocos sedimentáveis que remanescerem ficaram retidos na filtração. A ETA de ciclo completo necessita de grande área de instalação e conseqüentemente possuem elevado custo de manutenção, operação e com reagentes químicos utilizados quando comparados a outros tratamentos (DI BERNARDO, 2003).

#### 2.4.2 Tratamento de tratamento de água por filtração direta

Outro tipo de estação de tratamento é a filtração direta que suporta cargas de cor de até 30 uH e turbidez de 60uT. Nesse método de tratamento o objetivo é formar flocos para serem eliminados na unidade de filtração. O método é composto pelas etapas de coagulação, filtração e desinfecção. A presença de excessiva de algas e bactérias por se tornar uma restrição para aplicação do método, prejudicando as fases de filtração e desinfecção (RICHTER, 2009).

Di Bernardo (2011) comenta que de acordo com o tipo de filtração adotada, o tratamento de filtração direta pode ser classificado em filtração ascendente, descendente ou dupla filtração e que a filtração descendente pode ser aplicada sem pré-floculação sendo chamada de filtração direta em linha.

Di Bernardo (2011) ainda afirma que o método de filtração direta elimina as etapas de floculação e decantação se tornando uma opção de menor custo de tratamento e que necessita de menos espaço, além de apresentar menor custo operacional e de manutenção. Porém devido suas limitações deve ser aplicada em casos de águas moderadamente contaminadas.

### *2.4.3 Etapas do tratamento de água*

As etapas utilizadas em uma ETA, tipo convencional, engloba todas as fases necessárias para um tratamento completo. Os processos exigidos devem ser determinados com base nos resultados de análises físicas, químicas e bacteriológicas representativas do manancial a ser utilizado como fonte de abastecimento (CAESB, 2019).

#### Coagulação

A etapa de coagulação promove a desestabilização das partículas suspensas e coloidais presentes na água através da adição de coagulantes (geralmente um sal de alumínio ou de ferro como por exemplo: Cloreto de Polialumínio – PAC e Cloreto férrico) proporcionando o aumento das partículas para facilitar o processo de floculação. A dispersão do coagulante na água é realizada através da mistura rápida levando em consideração parâmetros de tempo de detenção e gradiente de velocidade. Caso ocorra falha nesses parâmetros pode afetar negativamente o processo (HÉLLER & PÁDUA, 2010; LIBÂNIO, 2017).

A mistura do coagulante promove, através da hidrólise e polimerização, a formação de hidróxidos chamados de gel, produzindo íons positivos. Esses íons positivos desestabilizam as cargas negativas dos coloides e sólidos em suspensão, permitindo a formação de coágulos (NUNES, 2012).

De acordo com Libânio (2017), a coagulação está presente em quase todas as tecnologias de tratamento de água e é considerada uma etapa importante, pois sua eficiência influencia as etapas posteriores do tratamento.

### Floculação

A floculação é a etapa onde ocorre a formação dos flocos por agitação lenta das partículas já coaguladas. Os coágulos formados na coagulação se unem, formando os flocos que são mais densos e que serão decantados posteriormente. As etapas da floculação e sedimentação propiciam a remoção de cor e turbidez do efluente a ser tratado (DUALIBI, 2010).

A eficiência do processo de floculação depende diretamente do bom desempenho da etapa de coagulação acrescida de alguns parâmetros referentes a esta fase: gradiente de velocidade médio e tempo de floculação e o tipo e geometria do equipamento utilizado (SANTOS *et al.*, 2004).

Santos *et al.* (2004) ainda relata que a dinâmica da floculação baseia-se em dois mecanismos complementares: adesão e transporte. O primeiro está relacionado às cargas superficiais das partículas, que são alteradas durante a coagulação para que os choques sejam efetivos. O segundo mecanismo refere-se à agitação introduzida ao meio e pode ser dividido em outros três: floculação ortocinética (movimento do fluido), floculação pericinética (movimento Browniano) e sedimentação diferencial.

O processo de floculação gera subprodutos que causam problemas ambientais, devido a formação de um lodo não biodegradável que deve ser tratado ou disposto em local apropriado posteriormente. Os subprodutos também causam problemas de saúde pública, pois a concentração residual dos sais de Alumínio e Ferro podem causar doenças como mal de Parkinson e Alzheimer em pessoas que consumirem água do corpo receptor do efluente (VAZ, 2009).

### Decantação

A decantação que também é chamada de sedimentação é um fenômeno físico que consiste na remoção das partículas em suspensão com densidade superior à da água de forma natural pela força gravidade. Os flocos vão decantar e se depositar



no fundo do tanque formando uma camada de lodo. Nessa fase não é utilizado nenhum produto químico (DUALIBI, 2010; LIBÂNIO, 2017).

Existem diferentes tipos de decantadores, de várias dimensões e vazões, conforme a qual será a sua função. O decantador leva em consideração a qualidade da água, a quantidade de decantáveis, a densidade dos produtos e a necessidade de estocagem dos sedimentos. Geralmente, o decantador é um tanque retangular com fundo inclinado de acordo com a Figura 5 (BRASIL, 2014).

Atualmente o tanque de decantação da ETA Gavião é utilizado para armazenagem de água de reuso das lavagens dos filtros, pois devido a modificação no processo de tratamento da água a fase da decantação não foi mais necessária.

**Figura 5** - Tanque de decantação da ETA Gavião em Pacajus – CE.



**Fonte:** Autor (2019).

## Filtração

Após a etapa de decantação ocorre a retenção das partículas suspensas, partículas coloidais e parte dos microrganismos remanescentes na água através da filtração. O processo consiste na passagem da água por um meio poroso que pode ser formado por areia quartzolíticas ou antracito (HÉLLER & PÁDUA, 2010).

A filtração é considerada uma fase importante do tratamento de água, pois mesmo que a decantação tenha sido eficiente, não é capaz de remover 100% das partículas presentes na água. Desse modo, a filtração é responsável por reter as partículas que influenciam na cor e turbidez da água e que podem comprometer a inativação dos microrganismos patogênicos na desinfecção. Ou seja, caso haja falhas nas etapas anteriores, a filtração pode corrigir essa falha e garantir a qualidade da água tratada. Porém se a filtração também falhar, poderá comprometer as características estéticas da água e a eficiência da desinfecção (FERREIRA FILHO, 2017; LIBÂNIO, 2017).

### Desinfecção

O processo de desinfecção tem como finalidade a destruição ou inativação de organismos patogênicos que podem causar doenças e outros organismos indesejáveis. Os microrganismos presentes na água podem sobreviver por várias semanas em temperaturas próximas a 21°C e em baixas temperaturas por vários meses (CUBILLOS, 1981).

Durante as etapas de decantação e a filtração, pode ocorrer a diminuição de microrganismo por meio da remoção de partículas suspensas e coloidais. Porém a desinfecção é o processo que está diretamente relacionado com a eliminação e inativação de microrganismos patogênicos e que também previne o crescimento microbiológico no sistema de distribuição (LIBÂNIO, 2017).

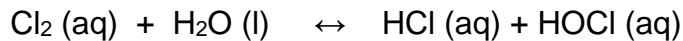
No processo de desinfecção pode ser utilizado hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, ozônio, cloro gasoso e radiação ultravioleta. Porém o cloro é o agente desinfetante mais utilizado, devido sua ação residual e seu preço mais baixo em relação aos outros (RECESA, 2008).

O mecanismo do desinfetante é semelhante à de um agente oxidante, ou seja, o composto desinfetante busca elétrons no microrganismo, provocando a sua oxidação, o resultado dessa oxidação representa a eliminação ou a morte do microrganismo (LENZI *et al.*, 2009).

No Brasil, quase todas as ETA usam o cloro molecular como desinfetante. O uso de cloro tem como objetivo a desinfecção e a oxidação ou ambas as ações ao mesmo tempo. O cloro é um gás amarelo esverdeado, venenoso e corrosivo, de odor irritante, bastante solúvel em água, por isso quando mistura a água produz uma

substância fortemente clorada. Em geral, a reatividade do cloro diminui com o aumento do pH e sua velocidade de reação aumenta com a elevação da temperatura. (SILVA, 2017).

Quando o cloro é adicionado na água ocorre a seguinte reação (DEGREMONT, 1979):



O Cloro Residual Livre (CRL) é resultado do produto químico utilizado para desinfetar a água durante o tratamento de água. O Cloro ( $\text{Cl}_2$ ) na água hidrolisa formando o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ). Essas substâncias são importantes devido serem responsáveis pela oxidação da matéria orgânica e pela eliminação dos microrganismos patogênicos presentes na água. O Cloro em altas concentrações pode ocasionar odor e sabor não agradáveis e possível formação de subprodutos que estimulam o aparecimento de câncer no organismo. A legislação que rege o padrão da qualidade, permite que a água contenha de 0,2 mg/L a 2 mg/L de cloreto residual livre em qualquer ponto do sistema de distribuição (NETO *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2017, BRASIL, 2017).

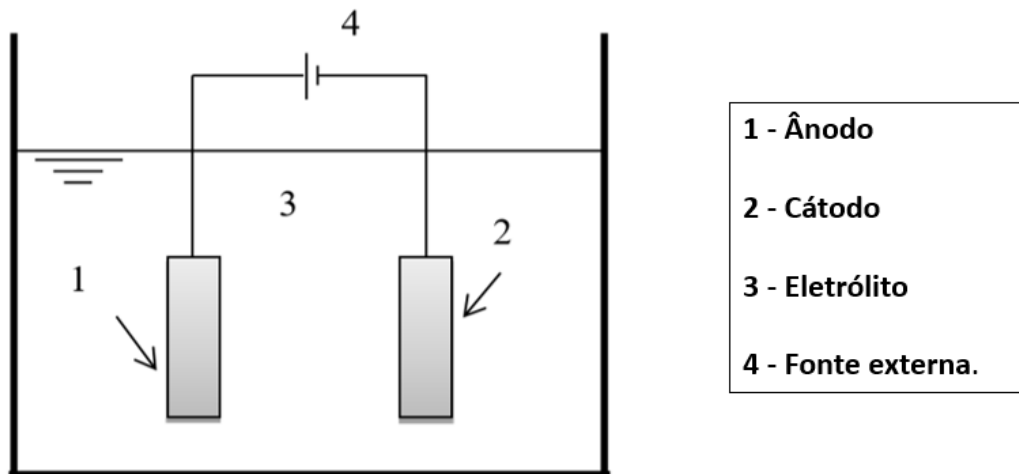
## 2.5 Processo eletrolítico

A primeira vez que o processo eletrolítico foi utilizado na prática foi em 1889 por Webster, logo após ser concebido por Leeds no ano de 1888, esse foi aplicado no tratamento de esgotos em Crossness, na Inglaterra e fazia uso de eletrodos de ferro e da adição de água do mar ao efluente a tratar. Nos Estados Unidos, na primeira década do século XX foram desenvolvidos estudos realizados por Harris, em 1909, sobre o tratamento eletrolítico aplicado a esgotos, usando-se eletrodos de ferro e de alumínio operando com o sistema a uma tensão de 10 volts (ABES, 2012).

Também segundo Abes (2012), no Brasil, só em 1985, foi implantada a primeira estação de tratamento usando o processo eletrolítico em Iracemápolis – SP, nos anos seguintes outras estações de tratamento utilizando o processo eletrolítico também foram instaladas nos municípios do Estado de São Paulo, no entanto, essas instalações foram gradativamente desativadas devido o processo demonstrar inviabilidade financeira em 1989.

O tratamento eletrolítico é um processo no qual dois ou mais eletrodos são introduzidos numa solução e conectados a uma corrente elétrica, que age provocando, dentre outras reações, a decomposição química deste eletrólito. O eletrodo positivo é chamado de ânodo, no qual os elétrons são retirados e onde ocorrem as reações de oxidação. O cátodo é o eletrodo negativo, onde os elétrons são fornecidos e ocorrem as reações de redução. A configuração do sistema eletrolítico é constituída basicamente por quatro componentes, como mostra a Figura 6 (TICIANELLI & GONZALEZ, 2013).

**Figura 6** - Configuração do sistema eletrolítico



**Fonte:** Adaptado de Ticianelli e Gonzalez (2013).

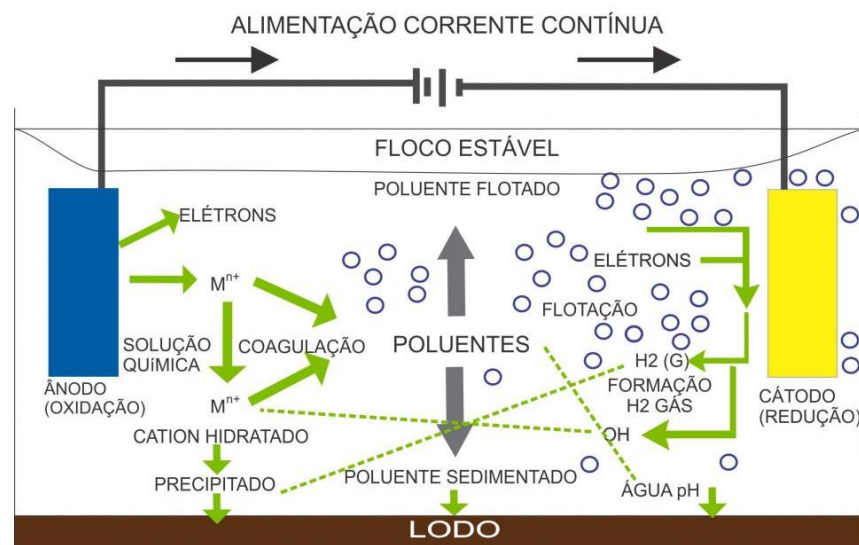
Na eletrólise da água, acontecem as seguintes reações conforme equações químicas (1) e (2): a água é reduzida ao hidrogênio no cátodo e oxidada ao oxigênio no ânodo esses gases tornam possível o mecanismo da flotação (WIMMER, 2007).



Conforme apresentado na Figura 7, as diferentes reações que ocorrem no processo eletrolítico resultam na formação de gases, como o hidrogênio e o oxigênio, propiciando a ocorrência da eletroflotação. A eletrocoagulação também ocorre

simultaneamente, onde os íons liberados, como alumínio e o ferro, atuam sobre os colóides de forma semelhante aos coagulantes químicos convencionais. Estes mecanismos precipitam o material de maior densidade sedimentando os poluentes no fundo da câmara ocasionando a formação do lodo. Na eletroflotação, a reação eletroquímica permite gerar microbolhas que unidas as partículas suspensas, os contaminantes de menor densidade são removidos através de arraste para a superfície, gerando a formação da espuma. A eletrofloculação ocorre simultaneamente com a eletrocoagulação, não havendo necessidade da utilização de mecanismos extras para a promoção destes encontros, visto que os mesmos são realizados através da turbulência produzida pelas bolhas de gás formadas pelo processo (ATKINS, 1990).

**Figura 7 -** Diagrama de uma célula de eletrocoagulação-flotação.



**Fonte:** Kemia Tratamento de Efluentes (2019).

Durante muito tempo o processo eletroquímico ficou à margem dos tratamentos utilizados para melhoria de efluentes. Atualmente, este processo tem sido reavaliado para aplicação no tratamento de efluentes líquidos e apresentando algumas vantagens como a facilidade de operação e possibilidade de automação, além de requerer apenas uma pequena área da estação de tratamento, podendo ter um baixo custo. Trata-se de uma opção promissora e que consiste em um processo especialmente limpo em relação aos métodos tradicionais, uma vez que a produção de compostos desinfetantes ocorre *in situ*, evitando assim agregar custos aos

processos, além de não requerer a adição de produtos químicos potencialmente tóxicos e conseqüentemente, problemas de estocagem e transporte de produtos químicos perigosos (GUSMÃO *et al.*, 2010; OTENIO *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2013).

Os processos eletrolíticos, dependendo da composição do eletrodo aplicado, podem favorecer a formação do radical hidroxilas e assim ser enquadrado como um Processo Oxidativo Avançado (POA). Segundo Martins (2011), o mecanismo dos POA é baseado na formação de radicais hidroxilas ( $\bullet\text{OH}$ ), que são agentes altamente oxidantes, não seletivos, reagindo de maneira rápida com quase todos os compostos orgânicos ricos em elétrons. A Tabela 3 apresenta um comparativo dos potenciais oxidativos de alguns agentes oxidante, vale destacar que o radical  $\bullet\text{OH}$  possui um alto potencial de oxidação  $E^\circ = 2,80 \text{ V}$ .

**Tabela 3** - Potencial padrão de oxidação ( $E^\circ$ ) de espécies químicas.

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação ( $E^\circ \text{ V}$ )
Flúor $\text{F}_2$	3,00
Radical Hidroxila $\bullet\text{OH}$	2,80
Oxigênio Atômico $\text{O}(^1\text{D})$	2,42
Ozônio $\text{O}_3$	2,07
Peróxido de Hidrogênio $\text{H}_2\text{O}_2$	1,78
Íon permanganato	1,67
Dióxido de Cloro $\text{ClO}_2$	1,50
Cloro $\text{Cl}_2$	1,36
Oxigênio Molecular $\text{O}_2$	1,23

**Fonte:** Elaboração própria do autor a partir das informações de Dantas (2005); Shin *et al.* (2008).

O processo eletrolítico apresenta como vantagens a capacidade de adotar variações de vazão, por seu sistema operar de forma contínua, alta eficiência na remoção de coliformes, que é superior a outros processos e alta qualidade organoléptica: reduzida cor e ausência de odor e baixa turbidez (GARCIA, 2002).

Também podem ser destacadas como vantagem o controle exato de cada reação, menores temperaturas, menor quantidade de subprodutos como resíduos. Com relação ao custo de implantação e operação, destaca-se o consumo de energia,

que terá maior influencia quanto maior for à concentração do poluente que terá que remover (HEMKEMEIER, 2001).

De acordo com Crespilho & Rezende (2004), outras vantagens podem ser apresentadas na utilização dessa técnica, como a utilização de equipamentos de operação simples, que podem ser automatizadas os controles das variáveis do sistema como a corrente e potencial aplicado no processo, maior controle do agente coagulante quando comparado com os métodos convencionais. O processo eletrolítico consegue formar flocos maiores e mais consistentes que favorece o processo de filtração. É possível remover partículas menores (coloides) devido ao campo elétrico que se forma durante o processo, que torna a coagulação mais fácil. A formação de microbolhas durante o processo contribui para que as impurezas concentrem na superfície dos reatores favorecendo a remoção e o processo eletrolítico requer pouca manutenção dos equipamentos.

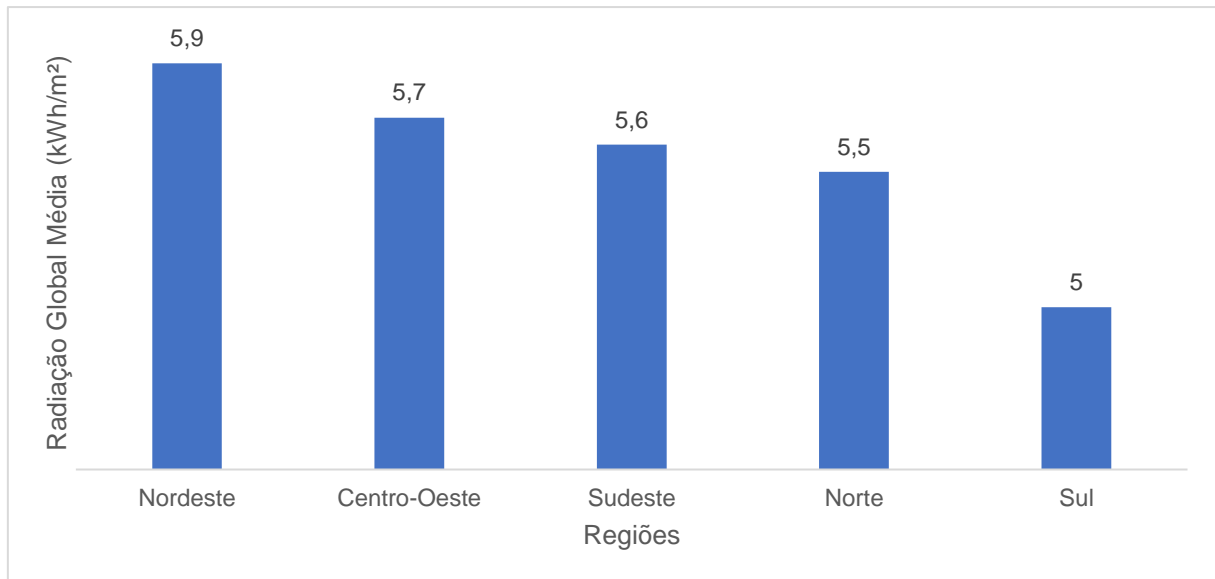
Porém o processo eletrolítico também apresenta desvantagens tais como: a necessidade de suporte para manutenção eletromecânica; maior produção de lodos (comparação com processos biológicos); os eletrodos precisam ser substituídos regularmente, caso sofram passivação; o uso de eletricidade pode ser caro em alguns lugares (WIMMER, 2007).

## **2.6 Energia Solar**

A energia solar consiste na energia oriunda a partir do Sol, seja na sua forma de calor (energia térmica) ou de luz (energia luminosa). Ela corresponde a maior fonte de energia presente no nosso planeta, podendo ser considerada uma fonte de energia renovável e sustentável que apresenta um grande potencial de utilização em sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como a energia elétrica através de painéis fotovoltaicos ou a energia térmica através de coletores planos e concentradores solares (CRESESB, 2006).

O Brasil possui uma enorme irradiação solar anual com pouca variação durante o ano devido sua localização em uma região próxima ao equador (DO SACRAMENTO *et al.*, 2015). De acordo com a Figura 8, o Nordeste é a região brasileira com maior potencial anual médio para geração de energia solar em relação as outras regiões.

**Figura 8** - Potencial anual médio de energia solar por região.



**Fonte:** Elaboração própria do autor a partir das informações de (ABSOLAR, 2017).

A energia solar vem demonstrando ser um recurso energético adequado, a exigência de pesquisas inovadoras vem aumentando e converte-se um fator crucial para alcançar a geração de energia elétrica sustentável (RAM *et al.*, 2018).

Sistemas de energia solar utilizam energia limpa e pura do sol. A instalação de painéis solares ajuda a combater as emissões de gases do efeito estufa e reduz a nossa dependência dos combustíveis fósseis (MUNIZ, 2017).

Mesmo recebendo muito mais luz solar do que a maioria dos outros países, o Brasil ainda tem uma baixa produção a partir de sistemas solares fotovoltaicos: apenas 0,02% da nossa energia é gerada através de painéis solares (ABSOLAR, 2017).

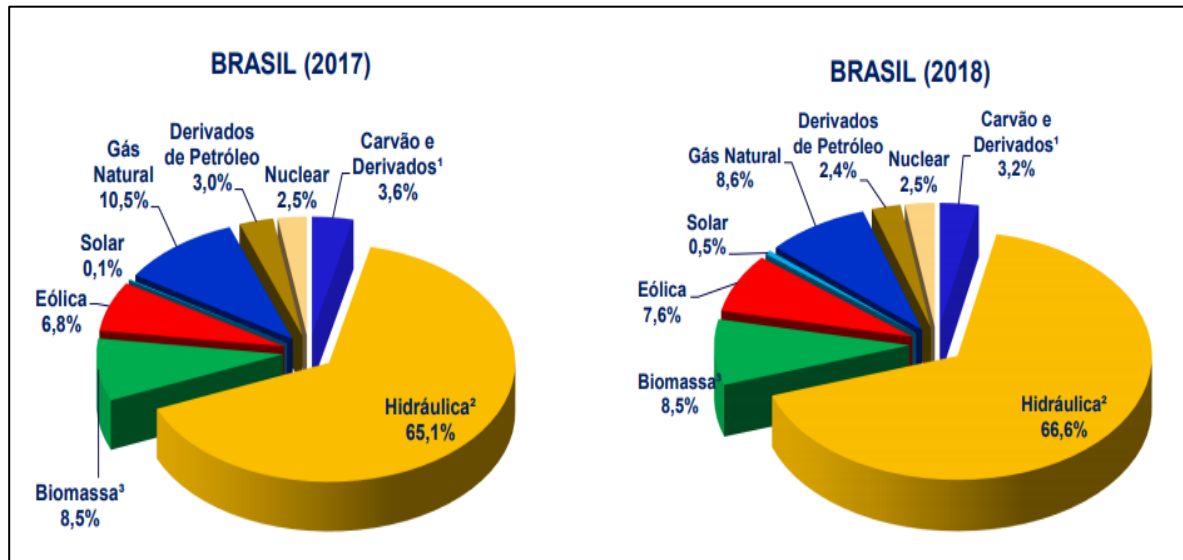
Para o máximo uso da irradiação solar, a posição do coletor ou do módulo solar pode ser adequado de acordo com a latitude local e a época do ano em que é necessária uma maior utilização da energia (FERREIRA *et al.*, 2018).

Segundo Brasil (2019), o relatório consolidado do Balanço Energético Nacional - BEN 2019, que possui como base o ano de 2018, mostra que houve um aumento de 316,1% na geração elétrica oriunda de placas fotovoltaicas quando comparada com o ano anterior. Esse aumento foi muito maior que outras fontes de energia renovável, como a fonte eólica (14,4%) e biomassa (2,4%). Com esse aumento expressivo na geração elétrica, a energia solar aumentou sua participação na matriz elétrica brasileira, passando de 0,1% para 0,5% conforme apresentado na



Figura 9. A matriz elétrica também mostra que outras fontes de energia renovável reduziram ou mantiveram sua participação na matriz elétrica.

**Figura 9** – Matriz Elétrica Brasileira – BEN 2019



Fonte: Brasil (2019)

### 2.6.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica se define em transformar a energia proveniente da radiação solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico com o auxílio de materiais semicondutores que, após purificado e tratado, formam as células fotovoltaicas que são dispostas em série para formar os painéis fotovoltaicos. No processo de geração fotovoltaica entre os materiais semicondutores, que possuem condutividade elétrica intermediária entre os condutores e os isolantes, o comercialmente mais usado é o silício. Esses materiais geram uma corrente elétrica quando incide um feixe de luz. (DI LASCIO & BARRETO, 2009; DO SACRAMENTO, 2015).

### 2.6.2 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são definidos como sendo a utilização de dispositivos para converter a energia originada da luz solar em energia elétrica. A corrente elétrica é produzida pelas camadas de material semicondutor, as quais compõem as células fotovoltaicas. A partir dos processos que se desenvolvem ao

nível atômico dos materiais pelos quais são constituídos, as células convertem radiação solar em eletricidade. Os painéis fotovoltaicos são formados pelo conjunto de células solares dispostas em série capazes de gerar tensão e corrente elétrica contínua conforme apresentado na Figura 10. A ligação em série faz com que ocorra a soma da diferença de potencial de cada célula a fim de se obter uma tensão maior na saída do painel (RIOS, 2017).

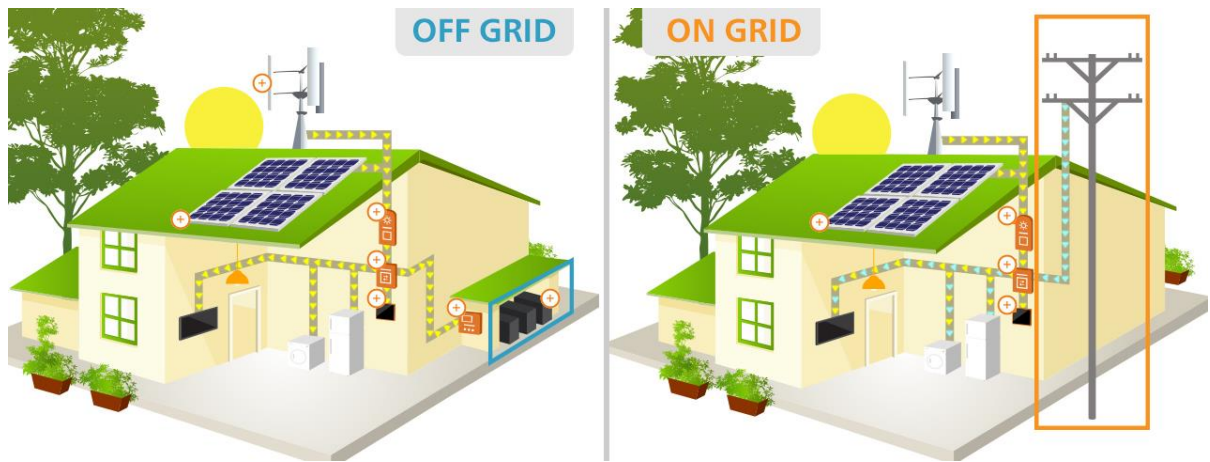
**Figura 10** - Painéis solares fotovoltaicos.



**Fonte:** Adaptado de (LENZ ELÉTRICA, 2019).

Segundo Maciel (2019), os sistemas fotovoltaicos quando são conectados à rede são chamados de *on-grid*, enquanto os não conectados são conhecidos como *off-grid* conforme demonstrado na Figura 11. Nos sistemas *off-grid* são usadas baterias para armazenar a energia produzida pelo sistema. Os principais elementos de um sistema fotovoltaico são os painéis fotovoltaicos, inversores de frequência, medidor bidirecional, equipamentos de proteção e, em casos de sistemas *off-grid*, é necessária a presença de baterias e controladores de carga.

Figura 11 - Sistemas fotovoltaicos *off-grid* e *on-grid*.



Fonte: Adaptado de (STROM BRASIL, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

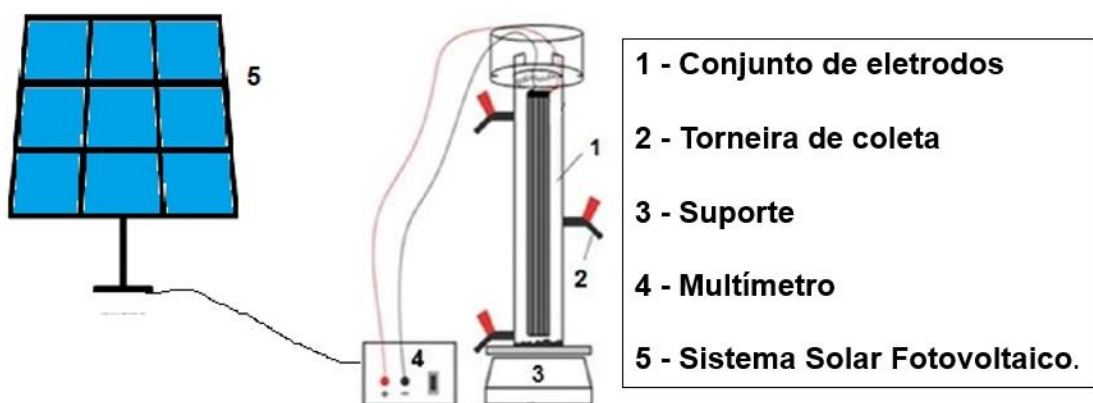
Este estudo se caracteriza como uma pesquisa experimental com abordagem quantitativa e qualitativa. A Metodologia descreve os procedimentos de coleta, análise dos dados e os materiais que levam à obtenção dos resultados.

#### 3.1 Sistema experimental

O sistema eletrolítico foi composto por pares de eletrodos metálicos sendo 2 de alumínio e 2 de aço inox 304, um circuito elétrico que promove a pulsação da corrente elétrica, um multímetro digital, um reator eletrolítico em acrílico e uma placa fotovoltaica.

O reator eletrolítico, conforme detalhado na Figura 12, foi construído em formato cilíndrico, de acrílico, com dimensões de 60,0 cm de altura e 10,0 cm de diâmetro, resultando em um volume total de 4.710 cm<sup>3</sup>. Circundando a sua parte superior (topo) foi instalado um compartimento, também em formato cilíndrico, o qual tem como função coletar o material flotado (escuma) formado, impedindo-o de transbordar.

**Figura 12** - Esboço da *set-up* utilizada na pesquisa.



**Fonte:** Adaptado de Maia (2014).

O material acrílico foi escolhido por possibilitar um melhor acompanhamento dos processos eletrolíticos envolvidos através da sua transparência. Quanto ao formato cilíndrico, foi utilizado a fim de proporcionar uma

excelente área de contato do efluente com os eletrodos, como também evitar cantos “mortos” dentro do reator, como acontece em reatores de formato tipo tanque (cúbico).

O reator foi operado em batelada (não opera de forma contínua), conforme demonstrado na Figura 13, e montado no Edifício Residencial Boulevard Silvana.

**Figura 13** - Reator eletrolítico operado em batelada.



Fonte: Autor (2020).

A coleta das alíquotas de água tratada foi realizada na torneira localizada na parte mediana do reator. Os conjuntos de eletrodos utilizados foram compostos por 2 placas de aço inoxidável do tipo 304 e duas placas de alumínio (Figura 14), conectadas por um arranjo bipolar em série, cada uma medindo 5 x 40 x 0,3 cm, resultando numa área superficial total de 800 cm<sup>2</sup>.

**Figura 14** - Conjuntos de eletrodos utilizados nos ensaios.



**Fonte:** Autor (2019).

A placa solar foi conectada a um circuito elétrico capaz de gerar pulsos de corrente, caracterizando-se como uma forma de aplicação de corrente contínua pulsada (CCP).

Este circuito elétrico foi configurado para emitir elétrons, em uma faixa de frequência regulável de 0 a 2200 Hz, aos eletrodos submersos na água bruta. Por outro lado, as moléculas presentes possuem também sua faixa de frequência vibratória natural, pois qualquer objeto formado por um material elástico, quando perturbado, vibrará com seu próprio conjunto de frequências particulares, que juntas formam seu padrão de emissão. A isto se denomina de frequência natural da matéria, portanto desde planetas a átomos possuem elasticidade própria e vibram em uma ou mais frequência natural (ABDALA NETO, 2012).

Desta forma, buscou-se alcançar o princípio da superposição, quando duas ou mais ondas ocupam determinado espaço ao mesmo tempo, os deslocamentos causados por cada uma delas se adicionam em cada ponto. Assim, quando a crista de uma onda se superpõe à crista de outra, seus efeitos individuais se somam e produzem uma onda resultante com amplitude maior (HEWITT, 2002; SERWAY & JEWETT, 2011; TIPLER & MOSCA, 2009).

Segundo Abdala Neto (2012) isto se caracteriza como um fenômeno de ressonância e ocorre quando a frequência de vibração forçada de uma determinada



matéria se iguala à frequência natural desta. Este efeito só é alcançado quando é empregada uma força capaz de trazer a matéria a sua posição original e energia suficiente para mantê-lo vibrando.

Abdala Neto (2012) explicou que o processo eletrolítico baseado nestes princípios físicos pode apresentar muitas vantagens em comparação com a eletrólise por corrente contínua, pois, além de seguir os aspectos inerentes do campo uniforme, o mesmo poderá ser favorecido de acordo com a frequência dos pulsos aplicada, através do fenômeno de ressonância, avaliando a possibilidade de romper ligações moleculares mais facilmente e em um tempo menor e ainda, diminuir o consumo de energia elétrica.

O campo elétrico é uma propriedade física estabelecida em todos os pontos do espaço que estão sob a influência de uma carga elétrica (TIPLER & MOSCA 2009; BISCUOLA *et al.*, 2007).

No reator eletrolítico, o campo elétrico foi provocado entre placas metálicas submersas na água bruta, de modo a exercer um torque nas moléculas polares que tendem a girar o dipolo para alinhá-lo com a direção do campo externo. Por meio da aproximação dos eletrodos planos e paralelos, eletricamente eletrizados, obtém-se, em todos os pontos de cada semi-espaço, um campo elétrico, tendo, em todos os pontos, a mesma intensidade, direção e o mesmo sentido (ABDALA NETO, 2012).

### **3.2 Montagem do sistema fotovoltaico ao processo eletrolítico**

Para alimentar o circuito elétrico que mantém os eletrodos energizados foi utilizado um painel solar fotovoltaico modelo LA321K45S da marca Kyocera Corporation® com 88 cm de comprimento, 45 cm de largura, 4 cm de espessura e peso aproximado de 3 kg.

O painel é feito de silício policristalino, possui módulo com 36 células com potência máxima de 45,3 W, corrente de máxima potência de 3,25 A e tensão máxima de potência de 18,9 V.

Na instalação do painel foram utilizados todos os EPIs necessários conforme solicitado pelas normas NR 10 e NR 35. A Figura 15 mostra que o painel foi apoiado sobre uma mesa de plástico ao ar livre na direção norte ou leste, de acordo o horário do dia, para evitar as perdas na geração de energia pelo efeito do sombreamento das edificações vizinhas.

Não foi necessário a inclinação do painel, pois o mesmo obteve eficiência no sentido horizontal.

Após estabelecida a localização do painel, foi realizada a sua conexão ao circuito elétrico por meio de um conector com 4,57m de comprimento.

**Figura 15** - Montagem do sistema fotovoltaico



Fonte: Autor (2020).

### **3.3 Procedimento Experimental**

#### *3.3.1 Coleta e preservação das amostras*

Para a realização dos ensaios de desinfecção utilizando o processo eletrolítico operado por energia solar, foi coletada água na margem da Lagoa da Parangaba através do acesso pela Rua Jandaia, no Município de Fortaleza – Ceará conforme a Figura 16.



**Figura 16** - Lagoa da Parangaba



Fonte: Autor (2020).

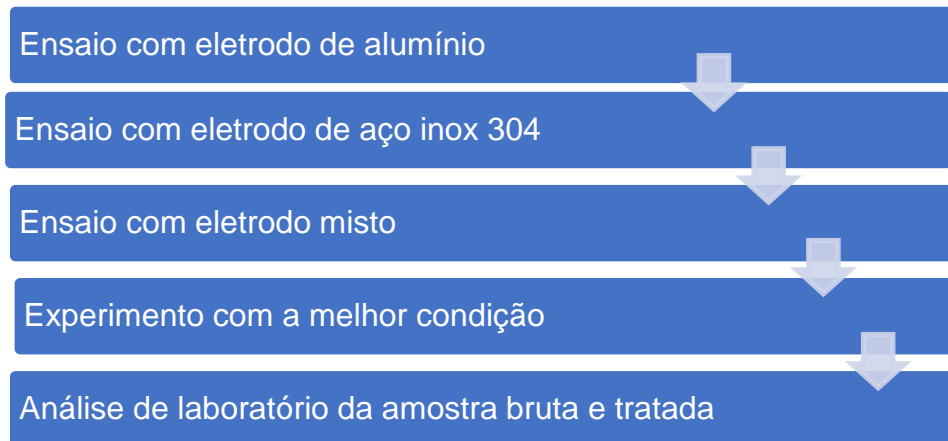
Foram realizadas amostragens, de maneira simples, em diversos pontos da margem da lagoa totalizando um volume total de 30 L de água em em uma bambaona com capacidade para 50 L. O volume da amostra foi condicionado para a realização de todos os experimentos que fizeram parte da etapa de otimização do processo, a fim de não comprometer a confiabilidade e representatividade dos dados gerados e também para a utilização em todos os experimentos da etapa de desinfecção utilizando um conjunto adicional de dados experimentais.

A amostra de água foi preservada de acordo com a Agência Nacional das Águas e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo através do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA & CETESB, 2011).

### *3.3.2 Descrição dos experimentos*

Os experimentos foram divididos em cinco etapas, quais sejam: 1) Ensaios com eletrodos de alumínio; 2) Ensaios com eletrodos de aço inox; 3) Ensaio com eletrodo mistro; 4) Ensaio com a configuração que apresentou a melhor eficiência de desinfecção; E 5) Análise de laboratório das amostras bruta e tratada conforme fluxograma apresentado na Figura 17. Nestes ensaios foram utilizadas a mesma água bruta, coletada em um volume de 30 L.

**Figura 17** – Fluxograma descritivo do experimento



**Fonte:** Autor (2020).

No reator para execução dos experimentos em batelada, eram adicionados 2,5 L de água bruta e em seguida os eletrodos eram inseridos de maneira que ficassem submersos na água bruta.

Posteriormente, o sistema fotovoltaico foi conectado ao circuito elétrico e este aos eletrodos. Em seguida, eram checadadas as ligações e acionado o cronômetro e o interruptor que fechava o circuito dando início a experimentação.

Os experimentos foram realizados por 30 minutos e, a cada 3 minutos foram retiradas alíquotas de 120 mL de água submetida ao tratamento eletrolítico, as quais eram armazenadas em tubos de falcon para a realização das análises físico-químicas e exames microbiológicos conforme a Figura 18. Além desses parâmetros, também foi realizado o monitoramento da potência e da temperatura, nos mesmos intervalos de tempo. A lavagem dos eletrodos foi feita com esponja e sabão ao final de cada experimento para extração de possíveis materiais aderidos durante o tratamento, como realizado por Sinoti e Souza (2005).

**Figura 18** - Amostras armazenadas em tubos de falcon.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3.3 Caracterização físico-química e microbiológica da água estudada

As análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água bruta e tratada pelo processo eletrolítico operado por energia solar visando a desinfecção, foram realizadas no Laboratório da H<sub>2</sub>O Analysis localizado na Rua Chico Lemos, 1250 no bairro Cidade dos Funcionários pertencente ao município de Fortaleza - CE. Estas foram realizadas com a água bruta e com a água tratada resultante dos experimentos.

As análises foram realizadas em duplicata e os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram determinados segundo metodologias recomendadas pela American Public Health Association (APHA, 2017).

Após a coleta nos tempos previamente estabelecidos e já aventados, as alíquotas ficavam em repouso e os flocos contidos sofriam o processo de sedimentação, até alcançar uma visível separação em duas fases. O período de 1 hora de repouso foi considerado como padrão para a leitura da turbidez do sobrenadante das alíquotas, a qual foi realizada a partir do método nefelométrico em um turbidímetro portátil da Hach® 2100P™.

Os parâmetros físico-químicos e os exames microbiológicos avaliados, que serviram de base para aferir a efetividade do processo na desinfecção da água de

estudo, seguiram as diretrizes dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Anexo XX Portaria de Consolidação N° 5/2017 do Ministério da Saúde do Brasil.

Foram monitorados parâmetros diretamente nos instrumentos de medida, conforme listados, e os exames microbiológicos descritos seguiram seus respectivos métodos analíticos e referências.

### Análises físico-químicas

- Turbidez - valores medidos com turbidímetro de bancada, fabricado pela Hach® Company, modelo 2100P. 87;
- Teor de Sólidos Dissolvidos (TDS) e Condutividade - valores medidos com equipamento portátil, fabricado pela NEW TDS/EC meter, modelo A;
- Potencial Hidrogeniônico (pH) – valores medidos através de potenciômetro fabricado pela Analion, modelo PM 608 e eletrodo combinado fabricado pela Analyser, modelo 2A13-FL;

Os aparelhos acima citados estão demonstrados na Figura 19 da direita para esquerda, respectivamente.

**Figura 19** - Aparelhos de análise físico- químicas.



Fonte: Autor (2020).

## Atributos elétricos

- Corrente e tensão elétrica – valores medidos por instrumento digital portátil, fabricado por Minipa modelo ET-1100 com a categoria II 600 V de segurança. Realizaram-se medidas de tensão DC e AC e corrente DC conforme a Figura 20.

**Figura 20 - Multímetros**



Fonte: Autor (2020).

## Exames microbiológicos

- Coliformes totais (NMP/100mL), método: 9221 D Presence-Absence (P-A) Coliform test (APHA, 2017).
- *Escherichia coli* (NMP/100mL), método: 9221 F *Escherichia coli* Procedure (proposed) (APHA, 2017).

### 3.4 Avaliação econômica da célula eletrolítica operada por energia solar

A avaliação econômica foi realizada calculando o valor de cada componente da célula eletrolítica: peça em acrílico, torneira, eletrodo de alumínio, eletrodo de aço inox e placa fotovoltaica.

Para a peça em acrílico foi calculada a área cilíndrica do reator e multiplicado pelo preço do  $m^2$  do material na espessura de 3 mm. Já os eletrodos foram calculadas os seus volumes (comprimento x largura x espessura) e para obter o peso de cada eletrodo foi multiplicado pelo peso específico de cada metal. Através do peso foi calculado o preço de cada eletrodo. Para a torneira e a placa fotovoltaica foram verificados os preços de uma unidade. Todos os preços dos materiais utilizados na célula eletrolítica foram adquiridos por consulta do valor de mercado.

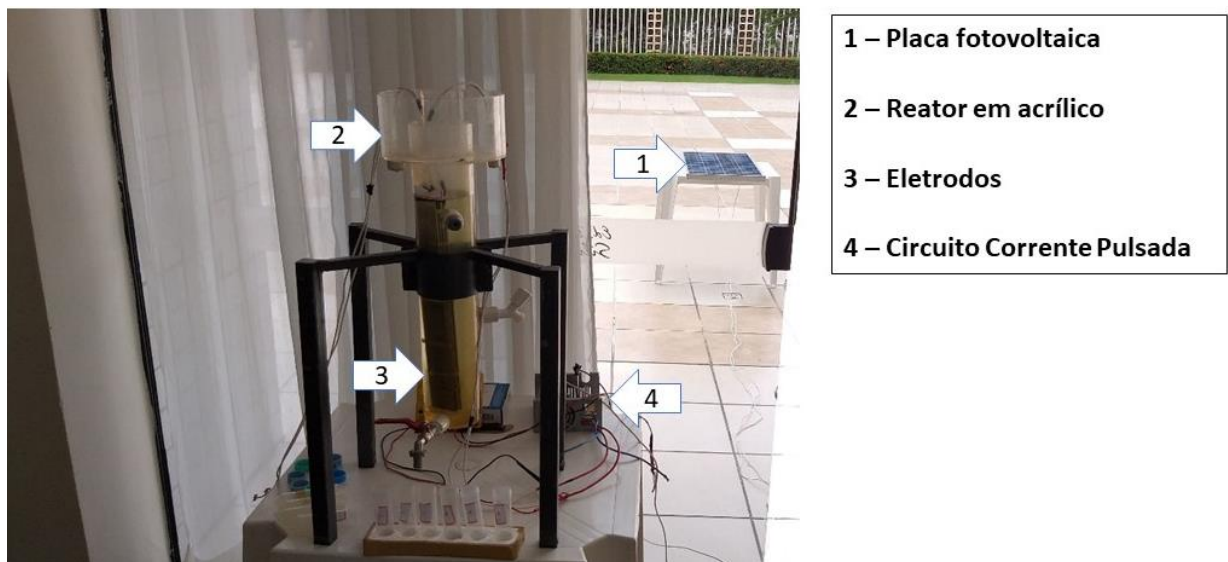


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros construtivos e operacionais da célula eletrolítica

A concepção da célula eletrolítica foi aplicada utilizando-se um sistema em batelada conectado a placa fotovoltaica de acordo com a Figura 21. Este sistema eletrolítico foi composto por: pares de eletrodos metálicos, um circuito elétrico que promove a pulsação da corrente elétrica, um multímetro digital, um reator eletrolítico em acrílico e uma placa fotovoltaica.

**Figura 21** - Célula eletrolítica em sistema em batelada conectada a placa fotovoltaica



Fonte: Autor (2020).

A placa fotovoltaica foi instalada sobre uma mesa de plástico ao ar livre próximo ao reator para diminuir a perda de tensão pelo fio, porém apesar do comprimento de 4,57 m do fio, não houve perda significativa. A tensão variou de 5,4 V a 17,1V, durante a realização dos experimentos. Essa variação de tensão aconteceu devido a condição do clima e a localização da placa fotovoltaica. Conforme apresentado na Figura 22, o reator eletrolítico foi construído em formato cilíndrico, de acrílico, com dimensões de 60,0 cm de altura e 10,0 cm de diâmetro, resultando em um volume total de 4.710 cm<sup>3</sup>. Circundando a sua parte superior (topo) foi instalado um compartimento, também em formato cilíndrico, o qual tem como função coletar o material flutuado (escuma) formado, impedindo-o de transbordar. O material acrílico foi preferido por possibilitar um melhor acompanhamento dos processos eletrolíticos

envolvidos através da sua transparência. Quanto ao formato cilíndrico, foi utilizado a fim de proporcionar uma excelente área de contato do efluente com os eletrodos, como também evitar cantos “mortos” dentro do reator, como acontece em reatores de formato tipo tanque (cúbico).

**Figura 22** - Reator eletrolítico em formato cilíndrico

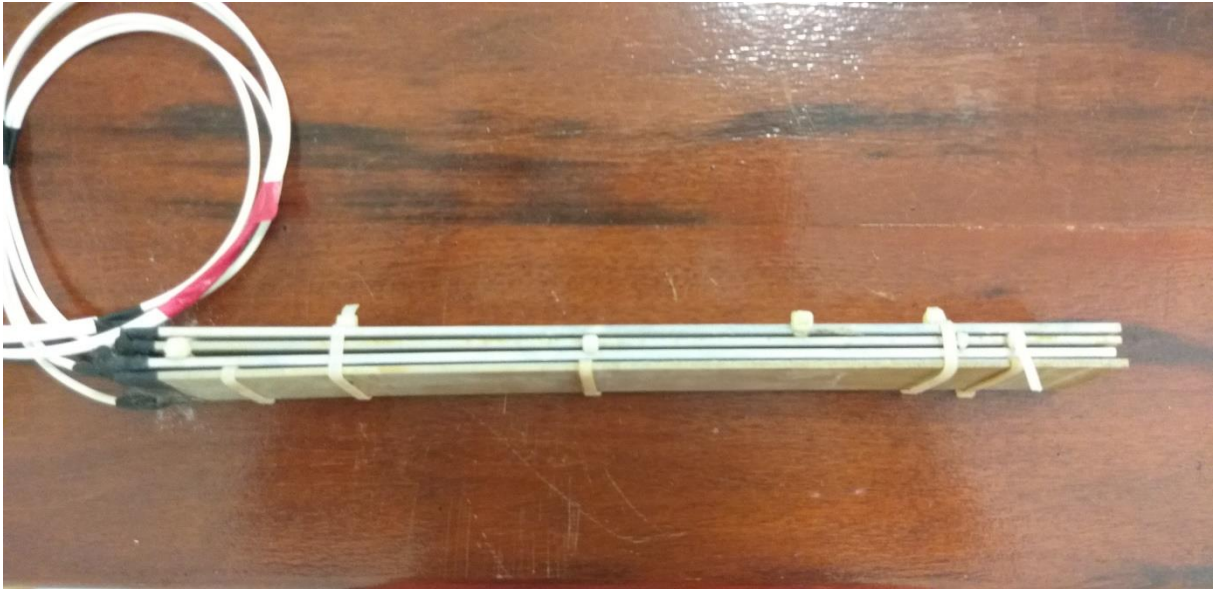


Fonte: Autor (2020).

A coleta das alíquotas de efluente tratado foi realizada na torneira localizada na parte mediana do reator.

Foi montado um conjunto de eletrodos, como condutores eletrônicos, os quais foram compostos por 4 placas, sendo duas de aço inoxidável do tipo 304 e sendo duas de alumínio, conforme apresentado na Figura 23, conectadas por um arranjo bipolar paralelo, cada uma medindo 5 x 40 x 0,3 cm com espaçamento de 0,5 cm entre as placas. As 4 placas apresentaram uma área superficial total de 800 cm<sup>2</sup>.



**Figura 23** - Conjunto de eletrodos utilizados no experimento

Fonte: Autor (2019).

#### 4.2 Caracterização da água de estudo

A amostra da água bruta coletada no dia 04/05/2020 foi monitorada com equipamentos de bancada, assim possibilitou agilidade para possíveis alterações no decorrer dos experimentos. Embora, realizada uma análise preliminar, para quatro parâmetros, também foi solicitado uma análise físico-química mais completo de um laboratório externo. Os resultados são apresentados na Tabela 4 com os valores máximos permitidos pela Portaria.

**Tabela 4** – Análise físico-química da amostra da água bruta.

(continua)

Parâmetro	Resultado	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade
pH à 25°C	7,43	6,0 a 9,5	U pH
Alcalinidade Parcial	<2,00	N.A	mg/L
Alcalinidade Total	77,31	N.A	mg/L
Amônia (NH <sub>3</sub> )	<0,10	até 1,50	mg/L
Bicarbonatos	77,31	N.A	mg/L
Cálcio	21,35	N.A	mg/L
Carbonatos	<2,00	N.A	mg/L
Condutividade	348,20	N.A	µS/cm
Cor Aparente	<10,00	até 15,00	uH
Determinação de Aspecto	COLORADO	N.A	*

**Tabela 4 – Análise físico-química da amostra da água bruta.**

(continuação)

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>VMP - PRC Nº5 Anexo XX</b>	<b>Unidade</b>
<b>Dureza Total</b>	94,70	até 500,00	mg/L
<b>Estimativa de TDS</b>	236,78	até 1.000,00	mg/L
<b>Ferro</b>	0,45	até 0,30	mg/L
<b>Hidróxido</b>	<2,00	N.A	mg/L
<b>Magnésio</b>	10,06	N.A	mg/L
<b>Nitratos</b>	<1,000	até 10,00	mg/L NO <sub>3</sub> -N
<b>Nitritos</b>	<0,05	até 1,00	mg/L NO <sub>2</sub> -N
<b>Potássio</b>	4,3	N.A	mg/L
<b>Sódio</b>	34,7	até 200,00	mg/L
<b>Sulfato</b>	23,57	até 250,00	mg/L
<b>Turbidez</b>	10,96	até 5,00	uT
<b>Temperatura</b>	29	N.A	°C

Fonte: Autor (2020)

Os resultados demonstram que o pH 7,43 da amostra bruta possui valor recomendado pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que é entre 6,0 e 9,5. Já o valor da turbidez da amostra foi de 10,96 uT resultando em um valor duas vezes acima do valor máximo permitido para potabilidade que é de 5 uT.

A condutividade da amostra da água bruta (348,20 µS/cm) apresentou valor compatível com águas contaminadas por esgotos ao qual a condutividade pode variar de 100 a 10.000 µS/cm (GASPAROTTO, 2011). O baixo valor da condutividade indica que, provavelmente, a amostra da água bruta coletada possui poucos sais em decorrência das precipitações pluviométricas ocorridas nos dias anteriores a coleta, fazendo com que a água da chuva, que comprovadamente tem baixa concentração de sais, prevalecesse nos pontos escolhidos de amostragem.

A amostra obteve dureza total da água no valor de 94,70 mg/L o que indica a presença de cátions em solução. Esses cátions podem ser de zinco, ferro, alumínio, manganês, sendo que o magnésio (Mg<sup>+2</sup>) e o cálcio (Ca<sup>+2</sup>) são os maiores responsáveis pela dureza (SPERLING, 2017). A água de estudo apresentou dureza total dentro do permitido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) e de acordo com a classificação da dureza, a amostra é considerada uma água moderada.

O parâmetro ferro apresentou desconformidade com a Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017). A amostra de água obteve valor de 0,45 mg/L, sendo que o valor máximo permitido é de 0,30 mg/L.

Segundo Brasil (2014), a temperatura da água bruta coletada está em acordo com os ambientes aquáticos brasileiros que apresentam, em sua maioria, temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C.

Os demais parâmetros apresentaram resultados conforme estabelece a Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) ou não se aplicam a mesma.

A amostra de água bruta também foi submetida à exame microbiológico, cujo resultados são expressos na Tabela 5.

**Tabela 5** – Exame microbiológico da amostra da água bruta.

Parâmetro	Resultado	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade
<b>Bactérias Heterotróficas</b>	1.500	até 500	UFC/mL
<b>Quantificação de Coliformes Totais</b>	>8,0	Ausência	NMP/100mL
<b>Quantificação de <i>Escherichia coli</i></b>	>8,0	Ausência	NMP/100mL

Fonte: Autor (2020)

A amostra apresentou quantidade de bactérias heterotróficas no valor de 1.500 UFC/mL, resultado três vezes superior ao valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que é de até 500 UFC/mL.

A água bruta de estudo não resultou na ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*, o que indica a presença de esgoto doméstico na água examinada. Segundo a PRC N°5 Anexo XX (BRASIL, 2017), a amostra de água bruta não possui parâmetros microbiológicos compatíveis ao padrão de potabilidade.

### 4.3 Desempenho da célula eletrolítica operado por energia solar

Foi realizado experimento teste para investigar o desempenho da célula eletrolítica operando por energia solar no uso de eletrodos de alumínio, aço inox e misto para fins de abastecimento humano, monitorando e avaliando parâmetros físico-

químicos de condutividade, turbidez, temperatura e pH. Após a avaliação dos resultados físico-químicos preliminares foi escolhido o eletrodo com melhor desempenho para o experimento final.

#### 4.3.1 Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo de alumínio

O desempenho da célula eletrolítica foi analisado primeiramente com o eletrodo de alumínio ao qual obteve resultados de acordo com a Tabela 6.

**Tabela 6 – Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de alumínio**

Tempo (min)	pH	Turbidez (uT)	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
3	6,38	8,29	334,88	28
6	6,36	8,86	323,46	28
9	6,35	8,30	234,99	28
12	6,25	6,50	239,74	28
15	6,12	6,09	245,45	29
18	6,02	5,14	245,45	29
21	5,97	5,35	284,46	29
24	5,91	5,35	279,70	29
27	5,86	4,62	212,16	29
30	5,77	4,83	220,72	28
<b>Média</b>	6,10	6,33	262,10	28,5

Fonte: Autor (2020)

A variação da tensão durante os 30 minutos de teste com o eletrodo de alumínio foi de 14,4 V a 15,7 V. Foi observado que houve um decréscimo dos valores de pH, turbidez e condutividade com o aumento do tempo do processo eletrolítico na água de estudo, com exceção da temperatura que permaneceu praticamente constante durante todo o processo.

O valor médio do pH foi de 6,10, sendo o maior valor de 6,38 aos 3 minutos do início do processo e o menor valor de 5,77 aos 30 minutos. A redução do pH, provavelmente, decorreu do aumento da presença de  $\text{H}^+$  que pode ser resultante da do consumo de  $\text{OH}^-$  para formar o hidróxido de alumínio (composto coagulante), desta forma o  $\text{H}^+$  seguirá prevalecendo.

De acordo com a Tabela 6 pode-se observar ainda que o pH das amostras analisadas, entre os tempos de 3 minutos a 18 minutos, apresentaram variação dentro da amplitude recomendada pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do

Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que é pH entre 6,0 e 9,5 para água potável.

A amplitude de variação da turbidez foi 8,29 uT a 4,62 uT com média de 6,33 uT. O decréscimo dos valores não foi linear, provavelmente, devido as variações da tensão elétrica que tem relação direta com a corrente elétrica, em decorrência da variação da incidência solar na placa fotovoltaica ou pode ter ocorrido a entrada de espuma ou precipitado no momento da coleta fazendo com que os valores não seguissem a linearidade esperada. O menor valor obtido entre as amostras apresentou redução de 58% da turbidez se comparada com a amostra de água bruta. O processo eletrolítico com os tempos de 27 e 30 minutos foram os apresentaram os valores para potabilidade da água abaixo do valor máximo permitido (VMP) de 5 uT, estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

A condutividade das amostras coletadas durante o processo eletrolítico com eletrodos de alumínio apresentou o maior valor aos 3 minutos (334,88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e o menor aos 27 minutos (212,16  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) com média geral de 262,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . É importante destacar a diminuição dos valores de condutividade, que traduzem a possibilidade do processo eletrolítico estar consumindo íons (exemplo: cloreto, cátions metálicos, dentre outros).

As amostras obtiveram temperatura média de 28,5 °C e conforme a Tabela 6, todas as amostras analisadas apresentaram temperatura equivalente ao encontrado em ambientes aquáticos brasileiros que apresentam temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C (BRASIL,2014) apresentando pouca ou nenhuma influência na tecnologia utilizada para degradação de poluentes.

#### *4.3.2 Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo de aço inox*

A Tabela 7 apresenta o desempenho da célula eletrolítica quando operada com o eletrodo de aço inox a cada 3 minutos pelo período de 30 minutos.

**Tabela 7 – Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de aço inox**

Tempo (min)	pH	Turbidez (uT)	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
3	7,71	8,39	306,34	28
6	8,57	8,87	249,26	27
9	8,78	8,32	216,91	28
12	8,79	5,00	283,51	28
15	8,72	3,65	219,77	28
18	9,20	3,17	215,01	28
21	9,56	3,11	260,67	29
24	9,78	3,31	255,92	28
27	9,78	2,03	223,57	29
30	9,79	2,25	249,26	28
<b>Média</b>	9,07	4,81	248,02	28,1

Fonte: Autor (2020).

Os resultados apresentados na Tabela 7 mostram que a temperatura se manteve no intervalo de 27  $^{\circ}\text{C}$  a 29  $^{\circ}\text{C}$  entre as amostras com média de 28,1  $^{\circ}\text{C}$ . A temperatura obteve resultado conforme os ambientes aquáticos brasileiros que apresentam temperaturas na faixa de 20  $^{\circ}\text{C}$  a 30  $^{\circ}\text{C}$  (BRASIL, 2014) demonstrando pouca ou nenhuma influência na tecnologia empregada para eliminação de poluentes.

Houve o crescimento dos valores de pH das amostras analisadas com o decorrer do tempo da eletrólise, pois o processo eletrolítico utilizando-se eletrodos de aço inox, apresenta adição à solução de  $\text{OH}^-$  deixando a mistura levemente alcalina. O pH apresentou valor médio de 9,07 com o tempo de 3 minutos com menor valor (7,71) e o tempo de 30 minutos com o maior valor (9,79).

A turbidez obteve média de 4,81 uT e apresentou redução com aumento do tempo de eletrólise. A amplitude de variação da turbidez foi de 8,89 uT a 2,25 uT, esse crescimento atesta que provavelmente o processo eletrolítico aplicado tenha oxidado espécies que antes estavam dissolvidos e agora, após a oxidação, vieram a precipitar na solução aumentando os valores de turbidez.

A redução da turbidez foi verificada, após as amostras coletadas ao longo das experimentações terem sido deixadas em repouso, justificando que um pós tratamento de decantação deve ser incluído à jusante do processo eletrolítico. Se comparada a turbidez da amostra da água bruta com a menor turbidez obtida entre as amostras do teste com o eletrodo de aço inox, houve uma redução de aproximadamente 81%. Na Tabela 7 observou-se que a partir dos 12 minutos as

amostras obtiveram turbidez abaixo do valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

As amostras de água não apresentaram redução linear para condutividade, onde a máxima foi 306,34  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aos 3 minutos e mínima de 223,57  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aos 27 minutos. A condutividade aumentou aos 12, 21 e 30 minutos contrariando a redução contínua dos valores. A média da condutividade (248,02  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) apresentou redução em relação a amostra de água bruta (348,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

A amplitude de variação da tensão elétrica durante o experimento teste do desempenho do eletrodo de aço inox foi de 11,4 V a 15,7 V. Antes da conexão do eletrodo a tensão apresentou valor de 16,9 V.

#### 4.3.3 Célula eletrolítica operando por energia solar – Eletrodo misto

O último eletrodo testado foi composto por dois eletrodos de alumínio e dois de aço inox juntos pelo período de 30 minutos com retirada das amostras a cada 3 minutos. Na Tabela 8 são apresentados os resultados.

**Tabela 8** – Desempenho da célula eletrolítica - Eletrodo de misto

Tempo (min)	pH	Turbidez (uT)	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
3	6,59	10,85	788,68	28
6	6,75	6,19	300,63	28
9	6,86	3,77	230,23	28
12	6,77	4,76	259,72	28
15	6,73	3,84	257,82	29
18	6,96	3,83	190,27	29
21	6,71	3,25	230,23	28
24	7,65	2,92	220,72	29
27	7,77	2,81	207,39	28
30	7,79	1,30	188,37	29
<b>Média</b>	7,06	4,35	287,41	28,4

Fonte: Autor (2020).

Durante o experimento com os eletrodos de aço e de alumínio (misto), observou-se uma maior amplitude de variação da tensão elétrica. Antes da conexão da placa com os eletrodos a tensão elétrica mediu 9,9 V e após a conexão variou de 5,4 V a 13,5 V. A variação se explica, provavelmente, pelo consumo de tensão elétrica

pelos eletrodos e pela variação de radiação solar incidente a placa fotovoltaica devido a mudanças climáticas.

A condutividade apresentou a maior amplitude entre os três eletrodos testados diminuindo de 788,68  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 188,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  com média geral de 287,41  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A condutividade apresentou uma redução de 66% quando comparado o melhor resultado encontrado no experimento com o eletrodo misto (188,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) com a amostra de água bruta (348,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A redução da condutividade é observada quando a tecnologia empregada está consumindo os íons, o que é benéfico.

De acordo com a Tabela 8, o pH das mostras ficaram próxima da neutralidade (pH 7,0), apresentando média de 7,06 e variação entre 6,59 e 7,79 com aumento de valores não contínuo. O aumento do pH pode estar relacionado com a maior presença de  $\text{H}^+$  na amostra, provavelmente, devido a associação do  $\text{OH}^-$  ao alumínio originado da oxidação do alumínio das placas de eletrodo misto. A Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017), estabelece para água potável o pH entre 6,0 e 9,5, no que conferem conformidade as amostras coletadas representação dentro dos valores permitidos.

A temperatura apresentou pouca variação entre as amostras no decorrer dos 30 minutos do experimento com a maior temperatura com valor de 29 °C, menor com 28 °C e média de 28,4 °C. Todas as amostras obtiveram valores conforme os ambientes aquáticos brasileiros que apresentam temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C (BRASIL, 2014) apresentando pouca ou nenhuma influência na tecnologia utilizada para degradação de poluentes.

O desempenho da célula eletrolítica com eletrodos mistos apresentou os melhores resultados referentes ao parâmetro da turbidez. A melhor turbidez entre as amostras foi obtida aos 30 minutos do tempo, registrando o valor de 1,30 uT. A média geral foi de 4,35 uT, sendo a menor média entre os eletrodos testados. Conforme a tabela 8, aos 9 minutos do tempo de experimento as amostras já resultaram em valores de turbidez abaixo do valor máximo permitido recomendado pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

#### **4.4 Desempenho da Célula Eletrolítica – Experimento com melhor condição encontrada.**



Os melhores resultados dos testes de desempenho foram apresentados pela configuração composta pela célula eletrolítica, operada com energia solar com eletrodos misto pelo período de 30 minutos. Desse modo, foi realizada uma duplicata deste experimento com as melhores condições.

O experimento foi realizado até 30 minutos e, só então se fez a coleta das amostras para realização das análises físico-químicas e exames microbiológicos em laboratório para oferecer um maior número de parâmetros de qualidade da água. Na Tabela 9, temos os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos e os valores máximos permitidos pela Portaria.

**Tabela 9** – Parâmetros físico-químicos – Experimento com melhor condição encontrada.

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>VMP - PRC Nº5 Anexo XX</b>	<b>Unidade</b>
<b>pH à 25°C</b>	7,48	6,0 a 9,5	U pH
<b>Alcalinidade Parcial</b>	<2,00	N.A	mg/L
<b>Alcalinidade Total</b>	26,58	N.A	mg/L
<b>Amônia (NH<sub>3</sub>)</b>	<0,100	até 1,50	mg/L
<b>Bicarbonatos</b>	26,58	N.A	mg/L
<b>Cálcio</b>	13,25	N.A	mg/L
<b>Carbonatos</b>	<2,000	N.A	mg/L
<b>Cloro Residual Livre</b>	<0,01	de 0,20 a 2,00	mg/L
<b>Condutividade</b>	225,40	N.A	µS/cm
<b>Cor Aparente</b>	<10,00	até 15,00	uH
<b>Determinação de Aspecto</b>	COLORADO	N.A	*
<b>Dureza Total</b>	38,37	até 500,00	mg/L
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>VMP - PRC Nº5 Anexo XX</b>	<b>Unidade</b>
<b>Estimativa de TDS</b>	153,27	até 1.000,00	mg/L
<b>Ferro</b>	6,30	até 0,30	mg/L
<b>Hidróxido</b>	<2,00	N.A	mg/L
<b>Magnésio</b>	<2,00	N.A	mg/L
<b>Nitratos</b>	1,23	até 10,00	mg/L NO <sub>3</sub> -N
<b>Nitritos</b>	<0,05	até 1,00	mg/L NO <sub>2</sub> -N
<b>Potássio</b>	2,7	N.A	mg/L
<b>Sódio</b>	23,2	até 200,00	mg/L
<b>Sulfato</b>	17,74	até 250,00	mg/L
<b>Temperatura</b>	29	N.A	°C
<b>Turbidez</b>	1,30	até 5,00	uT

Fonte: Autor (2020).

Observou-se que a amostra de água tratada apresentou pH de 7,48, levemente superior ao da amostra de água bruta que obteve pH de 7,43. O pH pode ser considerado como um dos parâmetros mais importante, porém é também um dos mais difíceis de se interpretar em função do grande número de fatores que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998). De acordo com o resultado da Tabela 9, possível afirmar que não houve alteração no pH da amostra de água bruta para a água tratada.

A condutividade apresentou o valor de 225,40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a amostra de água tratada, demonstrando que houve redução de 35% quando comparada com a água bruta que apresentou valor de 348,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Essa diminuição é em decorrência da consumo dos sais dissolvidos na água pelo processo eletrolítico.

A Tabela 9 apresentou uma dureza total de 38,37 mg/L dentro dos limites aceitáveis pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que é de até 500 mg/L. O processo eletrolítico reduziu a quantidade de cátions, principalmente o magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) e o cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) que são os maiores responsáveis pela dureza, presentes na água bruta com exceção do ferro que aumentou (SPERLING, 2017).

Com a redução da dureza total a amostra de água tratada obteve uma nova classificação quando comparada com a água bruta, passou de uma água moderada (50-150 mg/L) para uma água mole (<50 mg/L) (BRASIL, 2006).

As amostras de água bruta (0,45 mg/L) e de água tratada (6,30 mg/L) apresentaram para o parâmetro ferro, valores superiores ao permitido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que é 0,300 mg/L.

O aumento do ferro na amostra tratada explica-se pela ação do próprio processo eletrolítico ter oxidado este metal que antes estava dissolvido (fato justificado pela concentração inicial do ferro na água bruta de 0,45 mg/L) e agora, após a oxidação, veio a precipitar na solução aumentando os valores de concentração do Fe. Acrescenta-se a esta observação, a obtenção da turbidez logo após a finalização dos experimentos apresentar valor bem acima do valor da água bruta mas que, após um tempo de 30 minutos seu valor marcar 1,3 uT. A redução da turbidez foi verificada, após as amostras coletadas ao longo das experimentações terem sido deixadas em repouso (em média 30 minutos), justificando que um pós tratamento de decantação deve ser incluído à jusante do processo eletrolítico.

A turbidez foi o parâmetro que apresentou melhor resultado quando comparada com a amostra de água bruta. Ocorreu uma redução de 88% da turbidez se comparada com a amostra de água bruta. Segundo Brasil (2014), a turbidez pode indicar risco indireto à saúde, pois as partículas podem atuar dificultando o contato eficaz dos micro-organismos com os desinfetantes. Desse modo, a redução da turbidez obtida pela eletrólise na pode ajudar no processo de desinfecção da água.

A Figura 24 apresenta a amostra em repouso onde é possível constatar a decantação dos coágulos contendo as maiores concentrações de ferro da amostra

**Figura 24** - Ferro coagulado e decantado na amostra de água tratada.



Fonte: Autor (2020).

A temperatura apresentou pouca ou nenhuma influência na tecnologia utilizada para degradação de poluentes. A água tratada obteve temperatura conforme os ambientes aquáticos brasileiros que apresentam temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C (BRASIL, 2014)

O cloro residual livre presente na amostra de água tratada obteve valor menor que 0,01 mg/L e se deu pela oxidação do cloreto a gás cloro, porém ficou muito abaixo do valor máximo permitido que varia de 0,20 a 2,00 mg/L.

A amostra de água tratada foi examinada microbiologicamente e apresentou resultados conforme a Tabela 10.

**Tabela 10** – Parâmetros microbiológicos – Experimento com melhor condição encontrada.

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>VMP - PRC Nº5 Anexo XX</b>	<b>Unidade</b>
<b>Bactérias Heterotróficas</b>	870	até 500	UFC/mL
<b>Quantificação de Coliformes Totais</b>	>8,0	Ausência	NMP/100mL
<b>Quantificação de <i>Escherichia coli</i></b>	>8,0	Ausência	NMP/100mL

Fonte: Autor (2020).

A amostra de água tratada apresentou quantidade de bactérias heterotróficas no valor de 870 UFC/mL, resultado 42% menor quando comparada com a amostra da água bruta (1.500 UFC/mL). Porém continuou acima do valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

Para os parâmetros de coliformes totais e *Escherichia coli* não houve alteração sigficativa em relação a amostra de água bruta (>8,0 NMP/100mL). A amostra de água tratada apresentou desconformidade com a Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017) que exige ausência nesses parâmetros para ser considerada água potável.

#### **4.5. Avaliação econômica da célula eletrolítica operada por energia solar**

Os custos dos materiais utilizados para composição da célula eletrolítica operada por energia solar foram obtidos de acordo com pesquisas de preço de mercado. A Tabela 11 mostram os preços dos materiais.

**Tabela 11** – Preços dos materiais da célula eletrolítica operada por energia solar.

<b>Material</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Final</b>
<b>Placa Acrílica 3mm m<sup>2</sup></b>	R\$ 180,64	R\$ 39,74
<b>Torneira 1/2 Jardim</b>	R\$ 15,97	R\$ 15,97
<b>Placa Fotovoltaica 45W</b>	R\$ 304,45	R\$ 304,45
<b>Alumínio Kg</b>	R\$ 5,00	R\$ 1,56
<b>Aço Inox 304 Kg</b>	R\$ 3,00	R\$ 2,81
<b>Total</b>		R\$ 364,53

Fonte: Autor (2020).

Para compor o custo total da célula eletrolítica foram considerados os materiais apresentados na Tabela 11, que somam o valor de R\$ 364,53. Sendo que os valores dos eletrodos poderiam ser desconsiderados, pois os mesmos foram adquiridos a partir de material reciclado.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo suportam as conclusões obtidas no desenvolvimento de uma célula eletrolítica operando por energia solar, aplicada à desinfecção de águas para consumo humano possibilitando o acesso à água potável com o uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Com o uso do eletrodo de alumínio o processo eletrolítico operando por energia solar por 30 minutos, obteve-se como resultados de parâmetros físico-químicos, remoção de turbidez (56%) e redução de condutividade (37%). Apresentando pH (5,77) conferindo um caráter ácido e fora do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017). Resultados melhores para a remoção de turbidez e o pH, podem ser conseguidos mediante correção do pH e o uso de uma etapa à jusante de decantação, seguida de filtração rápida.

Com o uso do eletrodo de aço inox 304 o processo eletrolítico operando por energia solar por 30 minutos, foi obtido na amostra de água tratada, em relação aos parâmetros físico-químicos, remoção de 79% de turbidez e redução de 28% da condutividade. O pH apresentou caráter alcalino (9,79) e fora do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

Com o uso do eletrodo misto o processo eletrolítico operando por energia solar por 30 minutos, obteve-se como resultados de parâmetros físico-químicos mais satisfatório para as condições estudadas, remoção de turbidez (88%), redução de dureza total (59%), redução de condutividade (35%). Apresentando pH (7,48) com caráter alcalino sem necessidade de correção. Portanto, todas as remoções verificadas de natureza físico-química apresentam-se dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

Com o uso do eletrodo misto o processo eletrolítico operando por energia solar por 30 minutos, obteve-se como resultados de exames microbiológicos mais satisfatório para as condições estudadas, obteve-se redução apenas das bactérias heterotróficas (42%). Para a quantificação de *Escherichia coli* e Coliformes Totais, os resultados se mantiveram em >8,0 células NMP/100mL. Estes resultados obtidos não

estão de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017). Resultados melhores, podem ser conseguidos mediante o uso de uma etapa de desinfecção à jusante.

Com o uso do eletrodo misto que apresentou os melhores resultados de remoção de parâmetros de qualidade da água de estudo, o processo eletrolítico operando por energia solar por 30 minutos, apresentou viabilidade econômica favorável pela simplicidade de instalação e operação, bem como baixo custo de construção no valor de R\$364,53.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se experimentar as condições estudadas para maiores tempo de detenção hidráulica e agregar as etapas, à jusante da célula eletrolítica, de decantação, filtração rápida e desinfecção com cloro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA NETO, E.F. **Pré e Pós-Tratamento por eletro-oxidação associada à fotocatalise heterogênea em uma ETA por filtração direta visando a redução dos Precursores dos compostos organoclorados**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012

ABES, **Trabalhos Técnicos. Tratamento Eletrolítico de Efluentes de Reatores Anaeróbicos**. Brasília. Disponível em :<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-087.pdf>. Acesso em: 3 mar, 2012

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2017. Disponível em: [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf). Acesso em: 11 nov 2019.

AÇÕES EXTENSIONISTAS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Campus do Pici**. Disponível em: <https://acoesextensionistas.ufc.br/campus-do-pici/>. Acesso em: 16 Dez 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Quantidade de Água**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso: 30 Ago 2019

ALCANTARA, L. M.; OLIVEIRA, A. G. de; ABDALA NETO, E. F.; RIBEIRO, J. P.; MAIA, L. G. C.; NASCIMENTO, R. F. do. **Degradação de Matéria Orgânica Natural por Eletrólise de Corrente Pulsada na Presença de Anions Cloreto**. Encontros Universitários da UFC, Fortaleza, v. 1, p.1077, 2016.

ALMEIDA, A. R. G. de. **Remoção De Matéria Orgânica e Calibração de um Modelo de Remoção de Amônia em uma Série de Lagoas de Estabilização em Escala Real**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com concentração em Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 19. WASHINGTON: APHA, AWWA, WPCF, 2017.

AN, C. et al. Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 579, p. 537–556, fev. 2017.

ARAÚJO, M. C. de; SANTOS, F. M. da S.; OLIVEIRA, M. B. M. de. **Análise da qualidade da água do riacho Cavouco**. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife, PE. 2013.



ARAÚJO, F. R. de. **Controle de Qualidade Microbiológico: Águas e Alimentos (Gelados Comestíveis)**. 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

ARAÚJO, J. S. de. **Qualidade das Águas de Poços e Rede Utilizadas em Alguns Restaurantes de Fortaleza**. 2017. Monografia (Bacharelado em Química) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro. 1992.

ATKINS, P. W. *Physical Chemistry*, 4<sup>a</sup> ed. Editora Oxford, p 995. 1990.

BISCUOLA, J. G.; BÔAS N. V.; DOCA, R. H. **Tópicos de física 3: eletricidade, física moderna e análise dimensional**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2007

BOREAL SOLAR. **Potencial de Energia Solar**. Disponível em: <http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>. Acesso 09 set 2019.

BRAGA, F.P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento da água do município Juiz de Fora - MG**. 2014. Trabalho de conclusão de Curso (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004. **Procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, Março de 2004.

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

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, DF, 150 p. 2013

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF, 112 p. 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Painel de Informações Sobre Saneamento – 2018**. Disponível em:

<http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 24 jun 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional – 2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em: 26 jun 2020.

BULL, R. J.; KOPFLER, F. C. **Formation and occurrence of disinfectant by-products. In: HEALTH effects of disinfectants and disinfection by products.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation, 1991.

CAGECE. **Estrutura tarifária**. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/produtos-e-servicos/precos-e-prazos/estrutura-tarifaria/>. Acesso em: 20 mai 2020.

CARMONA E. C.; TERRONE C. C.; NASCIMENTO J. M de F.; ANGELIS. D. F. de. **Importância da Água e suas Propriedades para a Vida**. Boletim das Águas. 2016. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/boletim-das-aguas/artigoscientificos/importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade>. Acesso: 05 set 2019

CARVALHO, A.P.M.; SILVA, J.N.; DOS SANTOS, V.S.; FERRAZ, R.R. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água de abastecimento alternativo no distrito de Jamacaru em Missão Velha-CE. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 7, n.1, p. 35-51, 2017.

CETESB. Norma Técnica (L5.220). **Pseudomonas aeruginosa: determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos: método de ensaio**. Companhia Ambiental de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 33p., 2001.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia Solar – Princípios e Aplicações**, 2006. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf). Acesso em: 11 nov 2019.

CRESPILHO, F. N. REZENDE, M. O. **Eletroflotação: Princípios e Aplicações**. São Carlos. Ed. Rima, 2004, p.85.

CLARO, E. M. T. et al. **Avaliação (em escala laboratorial) da aplicação do processo eletrolítico em efluente de lagoa de estabilização de esgoto urbano**. Quím. Nova, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 557-561, 2010.

COIMBRA, A. L. **Água para Consumo Humano em Escolas e Comunidades Rurais dos Assentamentos de Reforma Agrária da Região Sul do Rio Grande**

**do Sul.** 2011. Monografia (Especialização Em Agricultura Familiar Camponesa e Educação de Campo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

COMBATT, M. P. M. **Clarificação de águas por eletrocoagulação alimentada por sistema fotovoltaico.** 2018. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CESTEB; AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** São Paulo, 2011

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL - CAESB. **Como a Água é tratada.** Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/como-a-agua-e-tratada.html>. Acesso em: 22 out 2019.

CUBILLOS, A. **Calidad y control de la polucion del agua.** Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981. (Mimeo.) (Série Ambiente y Recursos Naturales Renovables, AR 14).

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente Fenton modificado.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DEGRÉMONT. **Water treatment handbook.** New York: John Wiley & Sons, 1979.

DI BERNARDO, L. (coord.). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** 1ª edição. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 784 p.

DI BERNARDO, L; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** Editora LDIBE Ltda. São Carlos, 2008.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2011.

DI LASCIO, M. A.; BARRETO, E. J. F. **Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Eletrificação de Comunidades Isoladas.** Ministério de Minas e Energia. [s.l.]: [s.n.], 2009. 192 p. ISBN: 9788562491009. Disponível em: [https://agritrop.cirad.fr/567794/1/solucoes\\_energeticas\\_para\\_a\\_amazonia.pdf](https://agritrop.cirad.fr/567794/1/solucoes_energeticas_para_a_amazonia.pdf). Acesso em: 12 nov 2019.

DO SACRAMENTO, E. M. **Modelo elétrico-térmico para representar o comportamento de módulos fotovoltaicos flutuantes em água a partir das condições climáticas do semiárido brasileiro.** Tese (Doutorado em Engenharia

Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

DO SACRAMENTO, E. M.; CARVALHO, P. C. M.; DE ARAÚJO, J. C.; RIFFEL, D. B.; DA CRUZ CORRÊA, R. M.; & PINHEIRO NETO, J. S. Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. **IET Renewable Power Generation**, v. 9, p. 1019-1024, 2015.

DOMINGUES, V. O.; TAVARES G. D.; STUKER, F.; MICHELO, T. M.; REETEZ, L. G. B.; BERTONCHELIN, C de. M.; HORNER; R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Saúde (Santa Maria)**, v. 33, n. 1, p. 15-19, 2007.

DUALIBI, A.N. **Estudo comparativo da influência do sulfato de alumínio líquido e sulfato de alumínio granulado na remoção de turbidez, cor da água bruta e sua relação no volume de resíduo gerado no tratamento de águas**. Monografia (Bacharelado em Química). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2010.

ESTEVES, F. D. A. Fundamentos de Limnologia. **Interciência**, Rio de Janeiro, n. 2ª, 1998.

FERREIRA FILHO, S.S. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; DE SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; DOS SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, Part 1, p. 181-191, ISSN 1364-0321, 2018.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GARCIA, T. V. **Remoção de algas através da eletroflotação: Tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no Tratamento de água de abastecimento**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GUAUTO, M; ROSA, G. **Química Industrial: Série Tekne**. Editora Bookman. Porto Alegre, 2013. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Qu%C3%A9mica\\_Industrial.html?hl=pt-BR&id=NUgOkQvt6FAC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Qu%C3%A9mica_Industrial.html?hl=pt-BR&id=NUgOkQvt6FAC&redir_esc=y). Acesso em: 13 set 2019.

GUILHERME, E. F. M.; SILVA, J. A. M. da.; OTTO, S. S. Pseudomonas aeruginosa, como indicador de contaminação hídrica. **Hig. Alim.**, v.14, n.76, p.43-47, 2000.

GUSMÃO, I. C. C. P.; MORAES, P. B.; BIDOIA, E. D. Studies on the Electrochemical Disinfection of Water Containing Escherichia coli using a Dimensionally Stable

Anode. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, S.l., v. 53, n. 5, p. 1235-1244, 2010.

HÉLLER, L.; PÁDUA, V.L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2º ed. Belo Horizonte. Editora: UFMG, 2010

HEMKEMEIER, M., **Estudo do Tratamento Eletrolítico Aplicado à Efluente Líquido de Abatedouro Avícola**. 2001. Tese (doutorado em Engenharia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **O que é Saneamento?**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>. Acesso em: 06 set 2019.

KEMIA TRATAMENTO DE EFLUENTES. **Eletrocoagulação e eletrofloculação**. Disponível em: <http://www.kemia.com.br/tecnologias-pt/eletrocoagulacao-e-eletrofloculacao>. Acesso em: 16 Dez 2019.

KOBYA M.; HIZ H., SENTURK E.; AYDINER C.; DEMIRBAS E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, v.190, p. 201–211, 2006

LAGANARO, R. A.; ARNESEN, A. S.; MACEDO, A. **Técnicas de avaliação de gosto e odor utilizadas em águas para abastecimento público pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP**. 2017. Trabalho apresentado ao Congresso ABES/Fenasan, São Paulo, 2017.

LENZI, E; FAVERO, L. O. Bi; LUCHESE, E. B. Introdução à Química da Água: **Ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

LENZ ELÉTRICA. **Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico**. 18 de Julho de 2018. Disponível em: <https://www.lenzeletrica.com.br/blog-headlines/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-placas-fotovoltaicas>. Acesso em: 12 nov 2019.

LIBÂNIO. M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas, SP. Editora Átomo, 4ª Ed, 2017.

LIMA, G. R. R. **Indicadores de Qualidade de Água nos Reservatórios Acarápe do Meio e Gavião**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MAIA, L. G. C. **Estudo do processo de eletrocoagulação/floculação aplicado ao polimento de efluente doméstico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração: Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas & Águas**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1048 p.

MACIEL, I. A. **Avaliação do Uso de Energia Solar Fotovoltaica para a Eletrificação Rural Brasileira**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MARTINS, L.M. **Estudo da Aplicação de Processos Oxidativos Avançados no Tratamento de Efluentes Têxteis Visando o seu Reuso**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Teresina 2011.

MELO, L.D.V. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2014.

MILANEZ, T.V.; DE SOUZA, A.; BERNARDO, P.E.M. Nitrato e nitrito em água mineral envasada comercializada na cidade de São Paulo. **Boletim do Instituto Adolfo Lutz**, v. 25, n.1, p. 12-14, 2015.

MUNIZ, T. D. J. **Estudo de Caso: Uso de Rastreadores Solares como Otimizadores de Sistemas Fotovoltaicos de Grande Porte para o Estado do Ceará**. Monografia (Bacharelado em Engenharia De Energias Renováveis). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MURRAY, P. R.; ROSENTHAL, K. S.; KOBAYASHI, G. S.; PFALLER, M. A. **Microbiologia Médica**. 8. ed. Rio de Janeiro:Elsevier, 2017.

NETO, R.M.R.; BEZERRA, H.P.; CAMPOS, V.B.; SIQUEIRA, K.F.; ALMEIDA, W.L. Avaliação do sistema de tratamento e da qualidade das águas de abastecimento público em Laranjal do Jari, AP. **Scientia plena**, Amapá, v. 9, n.11, 2013.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2015.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

OLIVEIRA, B. S. S. de; Cunha, A. C. da. **Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá**. Rev. Ambiente & Água, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 261-275. Junho, 2014.

ONU. Assembleia Geral das Nações. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Não deixar ninguém para trás**.

2019. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>. Acesso em: 09 set 2019.

OTENIO, Marcelo Henrique et al. Avaliação (em escala laboratorial) da aplicação do processo eletrolítico em efluente de lagoa de estabilização de esgoto urbano.

**Química Nova**, Vol. 33, No. 3, 557-561, 2010.

Painel Saneamento Brasil. **Trata Brasil**. São Paulo. 01 Dez 2017. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2017&SE%5Bo%5D=a>. Acesso em: 06 set 2019.

PERCEBON, C. M. et al. **Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC**. Boletim Paranaense de Geociências. Editora UFPR. n. 56, p. 7-19, 2005.

RAM J. P.; MANGHANI, H.; PILLAI, D. S.; BABU, T. S.; MIYATAKE, M.; RAJASEKAR, N. Analysis on solar PV emulators: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, Part 1, p. 149-160, ISSN 1364-0321, 2018.

REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL (RECESA). **Abastecimento de água: operação e manutenção de estações de tratamento de água**. Belo Horizonte, 92 p. 2008.

RIBEIRO, Francisco Wirley Paulino et al. Eletrodegradação de ponceau 2R utilizando ânodos dimensionalmente estáveis e Ti/Pt. **Química Nova**, S.l., v. 36, n. 1, p.85-90, 2013.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. A. **Tratamento de água - tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2003.

RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2009.

RIOS, I.; RIOS, E. Microgeração Fotovoltaica Conectada À Rede Elétrica: O Que Mudou Com a Resolução Normativa No 687 Da Agência Nacional De Energia Elétrica – Aneel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [s. l.], v. VIII, p. 119– 122, 2017. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/190/173>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ROCHA, D. H. N. da. **Avaliação da Demanda Química de Oxigênio (Dqo) Em Corpos Hídricos Cearenses**. 2015. Monografia (Bacharelado em Química Industrial) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SANTOS, H. R.; PRADO, G. S. do; VIDAL, C. M. de S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, J. R. Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 291-300, 2004

SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS - SANEP. **Tratamento de Água**. Disponível em: <https://portal.sanep.com.br/agua/tratamento-agua>. Acesso em: 22 out 2019.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. R. **Princípios de Física: Eletromagnetismo** 3ª.ed. São Paulo: Thomson., v.3, 2011.

SHIN, S.; YOON, H.; JANG, J. Polymer-encapsulated iron oxide nanoparticles as highly efficient Fenton catalysts. **Catalysis Communications**, v. 10, p. 178-182, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catcom.2008.08.027>

SILVA, L. B da. **Avaliação dos Parâmetros da Qualidade de Água Produzida na Estação de Tratamento de Água Oeste**. Monografia (Bacharelado em Química com Habilitação Industrial) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SINOTI, A.L.L.; de SOUZA, M.A.A.; Processo Eletrolítico no Tratamento de Esgotos Sanitários: Estudo da sua Aplicabilidade e Mecanismos Associados. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SISTEMA DE AUTOAVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA HÍDRICA – SAVEH. **A Disponibilidade da Água no mundo e no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>. Acesso em: 10 set 2019.

SIQUEIRA, L. A. **Água Fonte da Vida**. 2011. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2011.

SIQUEIRA, L. **Análise da Qualidade Da Água Para Fins de Abastecimento Público no Rio Pardo, Município de Ourinhos-SP**. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Estadual Paulista. Ourinhos, 2016.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

STROM BRASIL. **Sistemas On-grid e Off-Grid**. Disponível em: <http://www.strombrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid/>. Acesso: 12 nov 2019.

THURMAN, E. M. "Aquatic humic substances", in *Organic Geochemistry of Natural Waters*, Springer, Netherlands, pp. 273–361.1985

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica - Princípios e Aplicações**. 2a Edition ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para engenheiros e cientistas**. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2009.



TORTORA, G. J. et al. **Microbiologia**. 10.ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 827p. Disponível em: [https://www.academia.edu/38593260/Tortora\\_microbiologia](https://www.academia.edu/38593260/Tortora_microbiologia). Acesso: 27 Set 2019

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. (Ed). **Microbiologia**. 6. ed. São Paulo: Atheneu, 2015. 718p.

VASCONCELOS, U. **Investigação do Antagonismo Entre Pseudomonas Aeruginosa e Bactéria do Grupo Coliforme**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Federal do Pernambuco, Recife. CCB. Biotecnologia, 2005.

VAZ, Luiz G. de Lima. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 2009.

VINATEA-ARANA, L. **Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2004, 231p.

VITÓ, C.V.G.; DA SILVA, L.J.B.F.; OLIVEIRA, K. de M.L.; GOMES, A.T.; NUNES, C.R. de O. Avaliação da qualidade da água: Determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região Noroeste Fluminense. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 7, n. 2, p. 59-75, 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: E. UFMG, 2014. 472 p.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

WHO, 2004. Safe Piped Water. Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems. **World Health Organization**, Geneva, IWAPublishing.