



**Milena Busnello Becker**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA REMOÇÃO DO  
EXCESSO DE FERRO EM ÁGUA SUPERFICIAL**

Horizontina-RS

2021

**Milena Busnello Becker**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA REMOÇÃO DO  
EXCESSO DE FERRO EM ÁGUA SUPERFICIAL**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Janice Zulma Francesquett, Dra.

Horizontina-RS

2021

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Avaliação de diferentes metodologias para remoção do excesso de ferro em  
água superficial”**

**Elaborada por:  
Milena Busnello Becker**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Química

Aprovado em: 29/11/2021  
Pela Comissão Examinadora

---

Dra. Janice Zulma Francesquett  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Me. Darciane Eliete Kerkhoff  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Me. Laís Coelho Teixeira  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS  
2021**

## DEDICATÓRIA

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Marcelino José Hoss Becker, Ângela Cristina Busnello e Gabriel Busnello Becker, os quais amo acima de tudo.

## AGRADECIMENTO

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Uma pessoa só cresce quando é capaz de apanhar as dificuldades. Proteção é importante mas há certas coisas que deve-se aprender por esforço próprio”.

(KISHIMOTO, Masashi).

## RESUMO

A água é uma importante fonte de abastecimento para o consumo humano e para a garantia da saúde das populações. O excesso de ferro em águas naturais, pode ocorrer devido a interação da água com o solo, rochas e minerais, podendo surgir também, de efluentes indústrias e atividades agrícolas. Os teores elevados de ferro na água podem afetá-la esteticamente contribuindo para sabor e odor desagradável. Em pesquisas anteriores observou-se que, 4 Lajeados que compõem a microbacia de abastecimento da cidade de Horizontina/RS, apresentaram altas concentrações de ferro na água. Desta forma, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência da remoção de ferro através do tratamento de eletrofloculação e adsorção com carvão ativado, buscando atender a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 2017 e a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que estabelecem o teor máximo de 0,3 mg/L de ferro na água. Para a quantificação de ferro na água, utilizou-se um espectrofotômetro Quimis modelo Q898DRM5, as análises foram realizadas em triplicata, no comprimento de onda de 510 nm, os resultados das concentrações das amostras foram obtidos através da curva analítica. Os testes de eletrofloculação foram realizados com placas de alumínio, cobre e aço inox escovado 430, já os testes com carvão ativado, utilizou-se 1 g, 0,2 g e 0,1 g do mesmo. Verificou-se que a adsorção com carvão ativado 0,1 g removeu 88,9% do ferro da solução de concentração conhecida de 2,1 mg/L, em apenas 20 minutos, enquanto a eletrofloculação com as placas de alumínio removeu 86,9% de ferro, com as placas de cobre removeu 93,7%, atendendo as Portarias e a Resolução, com as concentrações de ferro finais sendo 0,2 mg/L, 0,3 mg/L e 0,1 mg/L respectivamente. Apesar do cobre apresentar maior eficiência em relação ao alumínio no período de tempo de 20 minutos, devem-se realizar estudos mais aprofundados sobre o mesmo, devido a isso e ao custo benefício entre eles, o mais indicado seria o tratamento de eletrofloculação com as placas de alumínio. No entanto, entre as metodologias de eletrofloculação com placas de alumínio e adsorção com carvão ativado 0,1 g, a metodologia mais indicada, seria a de adsorção com carvão ativado, devido ao custo e a porcentagem de remoção de ferro ser superior, de 88,9 % de remoção. A metodologia de tratamento de eletrofloculação com aço inox escovado 430, não foi eficiente e não atendeu as Portarias e a Resolução vigente.

**Palavras-chave:** Ferro. Eletrofloculação. Água.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reator de eletrocoagulação em escala de bancada com eletrodos monopolares conectados em paralelo.....	23
Figura 2 - Placas de alumínio, cobre e aço inox escovado 430 .....	28
Figura 3 - Curva analítica para determinação de ferro .....	31
Figura 4 - Solução de concentração conhecida de ferro .....	32
Figura 5 - Reator de eletrofloculação .....	32
Figura 6 - Reator de eletrofloculação com placas de alumínio.....	34
Figura 7 - Reação de eletrofloculação com placas de alumínio .....	35
Figura 8 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de alumínio .....	36
Figura 9 - Reator de eletrofloculação com placas de cobre .....	37
Figura 10 - Reação de eletrofloculação com placas de cobre.....	38
Figura 11 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de cobre.....	39
Figura 12 - Reator de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430.....	40
Figura 13 - Reação de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430 .....	41
Figura 14 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430.....	41
Figura 15 - Tratamento de adsorção utilizando 1 g de carvão ativado.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de aceitação para consumo humano .....	18
Tabela 2 - Testes de elefloculação com placas de alumínio .....	36
Tabela 3 - Testes de elefloculação com placas de cobre .....	39
Tabela 4 - Testes de elefloculação com placas de aço inox escovado 430 .....	42
Tabela 5 - Testes 01 com aproximadamente 1 g de carvão ativado .....	43
Tabela 6 - Testes 02 com aproximadamente 0,2 g de carvão ativado .....	43
Tabela 7 - Testes 03 com aproximadamente 0,1 g de carvão ativado .....	44
Tabela 8 - Melhores resultados dos testes realizados .....	45
Tabela 9 - Custos dos Materiais .....	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS**

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DDP – Diferença de Potencial

EC - Eletrocoagulação

EF - Eletrofloculação

EFL – Eletroflotação

ETA – Estação de Tratamento de Efluentes

Fe – Ferro

IDR - Ingestão Diária Recomendada

Mn – Manganês

OD – Oxigênio dissolvido

ONU - Organização das Nações Unidas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 TEMA .....	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.4 HIPÓTESES.....	13
1.5 JUSTIFICATIVA .....	14
1.6 OBJETIVOS .....	15
<b>1.6.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 ÁGUA .....	15
2.2 CARACTERÍSTICA DAS ÁGUAS NATURAIS .....	16
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA.....	18
2.4 METAIS EM ÁGUA .....	19
2.5 PRESENÇA DE ÍONS DE FERRO EM ÁGUA .....	20
2.6 ELETROFLOCULAÇÃO.....	22
<b>2.6.1 Reatores de eletrofloculação</b> .....	<b>22</b>
2.7 ADSORÇÃO .....	24
<b>2.7.1 Adsorvente</b> .....	<b>24</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	26
<b>3.1.1 Preparo da solução de concentração conhecida de ferro</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1.2 Análise de ferro na água</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1.3 Eletrofloculação</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.4 Adsorção com carvão ativado</b> .....	<b>28</b>
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	29
<b>3.2.1 Materiais</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.2 Reagentes</b> .....	<b>30</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
4.1 CURVA ANALÍTICA .....	31
<b>4.1.1 Tratamento por eletrofloculação</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1.2 Tratamento de adsorção com carvão ativado</b> .....	<b>42</b>
4.2 COMPARATIVO DAS METODOLOGIAS.....	44
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e essencial para a vida e as atividades humanas, o tratamento desta, dado às questões ambientais, vem evoluindo de forma gradual e requerendo maior eficiência, a partir da percepção de que o aumento do número de indústrias e a conseqüente carga poluidora gerada levam à saturação dos meios receptores. Esse fato requer estudos que apresentem soluções de melhoria contínua para a redução do uso e tratamento eficiente da água (SPERLING, 1996).

Segundo estudos da Organização das Nações Unidas – ONU (Agenda, 21, 1992) a saúde e bem estar da população está ligado diretamente com o consumo de boa qualidade de água. Estudos relacionados à qualidade da água, são importantes quanto a potabilidade para que assim possam ser direcionados à usos diversos, sejam eles industriais, agropecuários ou domésticos (VIRÍSSIMO, 2000).

Íons de ferro e manganês em águas que são destinadas para o abastecimento geram incrustações, depósitos e possibilitam que bactérias ferruginosas nocivas apareçam nas redes de abastecimento (MORUZZI e REALI, 2012). O corpo humano necessita de até 19 mg de ferro por dia e os padrões de potabilidade exigem que a água de abastecimento público, não ultrapasse 0,3 mg/L, conforme Ministério da saúde, Portaria N° 518. O excesso de ferro em água naturais, pode ocorrer devido a interação da água com o solo, rochas e minerais, podendo surgir também, de efluentes indústrias e atividades agrícolas. A presença de ferro na água, no sistema de tratamento, pode implicar na precipitação nos filtros, a assim, reduzindo a sua eficiência. Além disso, teores elevados de ferro na água podem afetá-la esteticamente contribuindo para sabor e odor desagradável. Por tais motivos, é importante que a água apresente baixos teores de ferro dissolvido (OLIVEIRA, SCHMIDT e FREITAS, 2003; BAUMGARTEN, PAIVA e RODRIGUES, 2014).

A ideia do tratamento de água para remoção do alto índice de ferro, surgiu devido aos elevados teores de ferro encontrados na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Horizontina. De acordo com BAÚ et al. (2021) quatro dos seis Lajeados que compõem a microbacia de abastecimento da cidade de Horizontina/RS, apresentam concentrações de ferro acima do limite permitido (0,3 mg/L) em alguns pontos de coleta, sendo estes o 1º, 2º e 3º ponto de coleta do Lajeado Pratos, no 1º e 3º ponto de coleta do Lajeado Bugre, no 1º, 2º e 3º ponto de

coleta do Lajeado Toldo e 1º ponto de coleta do Lajeado Tamanduá identificados nos resultados das análises que foram realizadas durante os meses de fevereiro e março de 2021. As concentrações de ferro elevadas podem acarretar problemas ao meio ambiente, ao consumo humano, portanto, justifica-se a importância da investigação de metodologias para remoção de ferro.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a remoção do excesso de ferro através de sistemas de tratamento por eletrofloculação e adsorção com carvão ativado, buscando atender a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 2017 e a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que estabelecem o teor máximo de 0,3 mg/L de ferro na água.

### 1.1 TEMA

Proposta desenvolvida e estruturada com base na remoção do excesso de ferro na água superficial, através de sistemas de tratamento por eletrofloculação e adsorção com carvão ativado.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este projeto delimita-se na avaliação da eficiência dos processos de tratamento por eletrofloculação e adsorção com carvão ativado, para a remoção do excesso de ferro na água superficial.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema encontrado é a presença do excesso de ferro em água naturais, devido a interação da mesma com o solo, rochas e minerais, podendo surgir também, de efluentes indústrias e atividades agrícolas. É um assunto de extrema importância, uma vez que, conforme mencionado, estudos anteriores relataram altas concentrações de ferro nos quatro Lajeados que compõem a microbacia de abastecimento da cidade de Horizontina/RS.

As concentrações de ferro encontradas nos pontos de coleta 1, 2 e 3 do Lajeado Pratos foram 0,6 mg/L, 0,4 mg/L, 0,4 mg/L, já, nos pontos 1 e 3 do Lajeado Bugre obteve-se 0,9 mg/L e 0,6 mg/L, nos pontos 1, 2 e 3 do Lajeado Toldo 1,7 mg/L, 0,6 mg/L e 0,8 mg/L, no ponto 1 de coleta do Lajeado Tamanduá encontrou-se

0,5 mg/L (BAÚ et al., 2021). Contudo, existem processos e técnicas de tratamento para remoção do excesso de ferro na água, que minimizam assim, os impactos negativos ao meio ambiente.

A ingestão moderada de ferro tem um efeito positivo à saúde humana, pois é um nutriente essencial para o metabolismo normal das células. Em humanos, a sua carência pode causar anemia ferropriva e outras disfunções. Já, em quantidades elevadas, o ferro pode ser tóxico, pois quando metabolizado excessivamente, afeta quase todos os órgãos humanos, em função de sua toxicidade intracelular sistêmica, podendo aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes (BAUMGARTEN, PAIVA e RODRIGUES, 2014).

Quando não tratada a água, o excesso de ferro, deixa a privada e pias amareladas, provoca mancha nos tecidos, mau cheiro, sabor metálico nas comidas e bebidas, propicia a proliferação de bactérias nocivas, prejudica processos industriais, além de favorecer incrustações nos canos, máquinas de lavar roupa e chuveiros. No entanto, estes não são os únicos prejuízos causados pela água com excesso de metais, a saúde de quem consome este líquido também é lesada (OLIVEIRA, SCHMIDT e FREITAS, 2003).

Com base no exposto, o problema de pesquisa caracteriza-se com a seguinte pergunta: Entre os tratamentos de eletrofloculação e adsorção com carvão ativado, qual das propostas seria mais adequada e eficiente, apresentando maior remoção do excesso de ferro na água, no qual atenda o parâmetro estabelecido nas Portarias e Resolução vigentes?

#### 1.4 HIPÓTESES

Em consequência do elevado índice de ferro encontrado na água dos Lajeados, realizou-se estudos para a remoção deste excesso.

Posto isto, tem-se como hipóteses para a realização deste trabalho:

- a) Metodologia de tratamento aceitável, que atendem a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.
- b) Metodologia de tratamento não aceitável, devido ao tratamento não ser eficiente para atender a Portaria.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O acúmulo de metais no corpo humano, devido a ingestão de água com níveis excessivos podem causar graves problemas a saúde, visto que prejudica o sistema nervoso central e o fígado, provocando sintomas como tremores das mãos, rigidez muscular e fraqueza. A abundância de ferro é armazenada em órgãos como pâncreas, coração e fígado, onde passa longo tempo despercebido até ocasionar doenças, como hepáticas graves. Grandes quantidades de ferro no organismo também podem piorar os efeitos do mau colesterol e aumentar os riscos de doenças cardíacas (ZAMBETTA, 2006).

O percurso da água na natureza pode condicionar as impurezas que elas adquirem. Muitas vezes, além dos compostos de ferro, são encontradas impurezas de manganês. De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), altos teores de ferro são encontrados com maior frequência nos seguintes casos: águas subterrâneas (poços, fontes e galerias de infiltração), agressivas (pH baixo, ricas em gás carbônico e sem oxigênio dissolvido), sob a forma de bicarbonato ferroso dissolvido águas superficiais, com matéria orgânica, nas quais o ferro se apresenta ligado ou combinado com a matéria orgânica e, frequentemente, em estado coloidal; águas poluídas por certos resíduos industriais ou algumas atividades de mineração.

Segundo Quinágua (2012), o ferro pode ser encontrado em alimentos como: carnes, leite, gema de ovo, verduras, melado, fígado, entre outros, e é um mineral essencial para a vida animal e vegetal.

O ferro em excesso no organismo pode atuar no desenvolvimento de várias doenças, como infarto no miocárdio, câncer e infecção de repetição, há pesquisas que relacionam o aumento da ocorrência AVC (acidente vascular cerebral), de artrites e doenças neonatais aos altos níveis de reservas de ferro no organismo (JUNIOR, 2011).

O tratamento de eletrofloculação é muito procurado para tratar efluentes, devido a sua boa eficiência no processo com residual de alta carga orgânica, já o tratamento de adsorção com carvão ativo é bastante utilizado para tratamento de água apresentando bons resultados, buscou-se essas ideias para realizar testes com intuito de comparar a eficiência das metodologias.

Tendo em vista os assuntos apontados, o presente trabalho, propõe-se em avaliar metodologias de tratamento de água, para que o mesmo depois possa ser

utilizado na remoção do excesso de ferro dos Lajeados, quanto para qualquer outra afinidade, sendo ela no tratamento de efluentes de alguma indústria que tenha altas concentrações de ferro, ou em uma estação de tratamento de água para obtenção de água potável.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

Avaliação de duas técnicas distintas para a remoção de excesso de ferro na água superficial.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a eficiência da remoção de ferro através do tratamento de eletrofloculação com placas de alumínio, cobre e aço inox escovado 430;
- b) Avaliar a eficiência da remoção de ferro através do tratamento de adsorção com carvão ativado 1 g, 0,2 g e 0,1 g;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ÀGUA

A água é um elemento vital presente na natureza e constitui grande parte do ambiente natural. Cerca de dois terços do planeta Terra são cobertos por água, porém, de todo este volume, aproximadamente 2,5% encontra-se na forma de água doce (BRITO, SILVA e PORTO, 2007).

Algumas regiões necessitam de uma intensa demanda de água, como por exemplo, grandes centros, polos industriais e zonas de irrigação. Quando a demanda é muito grande, ela pode superar a oferta de água, seja em termos quantitativos ou porque a qualidade da água na localidade está prejudicada pela poluição. Essa degradação na qualidade da água pode afetar a oferta e gerar problemas graves de desequilíbrio ambiental (BRAGA et al., 2005).

O Brasil possui cerca de 12% da água doce disponível no mundo, e por isso é considerado um país privilegiado em relação a disponibilidade de recursos hídricos.

A água era considerada um bem inesgotável, porém, essa concepção mudou, tornou-se equivocada devido às mudanças climáticas e alterações decorrentes das atividades humanas, como por exemplo, desmatamento, assoreamento de rios, impermeabilização do solo, entre outros (FREIRE e PEREIRA, 2005).

Conforme Di Bernardo (1993), as fontes de água de abastecimento devem ser consideradas como ecossistemas, pois além de suas características físico-químicas e biológicas, estas, se alteram durante o período de utilização. Por isso, a escolha do manancial de abastecimento deve seguir critérios de acordo com o uso ao qual a água é destinada. Apesar dos avanços da tecnologia, devem-se levar em consideração os custos para o tratamento de qualquer água de captação. Os estudos detalhados de pesquisas com projetos pilotos auxiliam na definição da tecnologia empregada para a potabilidade da água.

A presença de contaminantes biológicos e químicos em águas naturais tem se tornado um problema mundial e há poucas áreas povoadas, tanto em países desenvolvidos ou não, que não sofrem de alguma forma com a poluição das águas (BAIRD e CANN, 2011). A preocupação com a contaminação de ambientes aquáticos é maior quando a água é destinada ao consumo humano (RODRIGUES, LOPES e PARDAL, 2013).

## 2.2 CARACTERÍSTICA DAS ÁGUAS NATURAIS

A água pode ser caracterizada em fatores físicos, químicos e biológicos. Os fatores físicos como turbidez, cor, odor, sabor, temperatura e condutividade elétrica são fundamentais na escolha da tecnologia para o tratamento dos processos e operações nas estações existentes (MACIEL, 1999; SANTOS, 2007).

Segundo Maciel (1999), cor e turbidez são características derivadas da presença de partículas dissolvidas na água. A remoção desses fatores antigamente era considerada apenas de forma estética, porém, com descobertas de substâncias nocivas, isso passou a ser um fator importante. A condutividade elétrica está ligada a presença de sais dissolvidos na água, quando em excesso, favorece a corrosão das tubulações de distribuição da água.

O odor e sabor são causados por impurezas dissolvidas de natureza orgânica, gases dissolvidos, resíduos industriais entre outros. Já, a temperatura influencia outras propriedades da água, como a redução da solubilidade de gases, a

dissolução de sais metálicos, elevando a turbidez, a cor e também interfere nos processos de decantação, filtração e floculação (SANTOS, 2007).

As características químicas da água, como acidez, dureza, pH, alcalinidade, a concentração de sais de cloretos, fosfatos, ferro, manganês, sulfatos, também são importantes para decidir a tecnologia que deve ser empregada no tratamento de águas de abastecimento. Os padrões de qualidade da água apresentam a máxima concentração de elementos e compostos que podem estar presentes na água, ou seja, condições e padrões necessários ao atendimento dos usos preponderantes atuais ou futuros, de acordo com as legislações vigentes de uso de água subterrânea e superficial, esses padrões podem ser encontrados na Portaria de Consolidação vigente (BENETTI e BIDONE, 2012).

Segundo Maciel (1999), a acidez indica a capacidade da água reagir com uma base forte em um determinado pH. Promove a corrosão de materiais metálicos e influência nos processos biológicos e nas taxas das reações químicas.

A dureza é determinada pela presença de sais de cátions polivalentes alcalino-terrosos e outros metais em menor grau, tais como os bicarbonatos, sulfatos e cloretos de cálcio. Altos valores de dureza produzem incrustações nos sistemas de distribuição e armazenamento de água. Uma das características de uma água dura é a impossibilidade de formar espumas como sabão (LIBÂNIO, 2010).

O pH varia entre uma faixa de 0 e 14, sendo que valores de pH menores que 7 indicam características ácidas, valores próximos a 7 conferem propriedades de neutralidade e valores superiores a 7 demonstram condições alcalinas (BENETTI e BIDONE, 2012).

De acordo com Libânio (2010), quando a água é alcalina, significa que tem capacidade de neutralizar ácidos. Alcalinidade influencia no processo de coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão das canalizações das redes de distribuição de água.

Conforme Santos (2007), o ferro e o manganês são dois elementos que dão à água um sabor amargo adstringente e coloração turva, decorrente da oxidação dos mesmos, formando um precipitado. O ferro e o manganês provocam manchas em sanitários e roupas, e favorecem o crescimento de bactérias.

A concentração de oxigênio dissolvido contido na água depende da quantidade e tipo de matéria orgânica presente na mesma, bem como da

temperatura. O oxigênio pode oxidar compostos responsáveis pela deterioração de canalizações e caldeiras (MACIEL, 1999).

O fator biológico é uma característica fundamental da água, pois essa é responsável na transmissão de doenças. As impurezas presentes na água incluem os microrganismos como bactérias, vírus, protozoários e as algas, que provocam sabor e odor desagradáveis, além de interferir em etapas do tratamento, como na obstrução de filtros. Esses parâmetros são determinados através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos (RICHTER e NETTO, 1998).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA) nº 357 de março de 2005, o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces é 0,3 mg/L.

### 2.3 QUALIDADE DA ÁGUA

A Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde que apresenta os limites máximos de contaminantes em água destinada ao consumo humano estabelece o limite máximo de 0,3 mg/L de ferro na água (BRASIL, 2017). Por mais que o organismo humano necessite de 9 mg/dia de ferro, esse controle é ocasionado por motivos estéticos para controlar a coloração e o sabor da água (PARRON et al, 2011).

A Portaria MS nº 518/2004 (2005), estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e de outras providencias. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na Tabela 1 e nos demais itens descritos na Portaria.

Tabela 1 - Padrão de aceitação para consumo humano

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>VMP</b>
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH (Unidade Hazen)	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1

Continuação

		Conclusão
Parâmetro	Unidade	VMP
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável
Gosto	-	Não objetável
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT (Unidade de Turbidez)	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Fonte: Adaptado de Portaria MS nº 518/2004 (2005).

De acordo com a Portaria. MS nº 518/2004 (2005), é recomendado que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. O teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L. Devem-se realizar testes para detecção de odor e gosto em amostras de água coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez descritos na Portaria.

#### 2.4 METAIS EM ÁGUA

Os metais podem ser naturalmente inseridos nos ecossistemas aquáticos através de chuvas ou por meio do solo e da rocha matriz, que podem liberar metais para a água (CARVALHO, 2005). Os sais que se dissolvem na água são essenciais aos organismos vivos. Alguns desses, são necessários em quantidades moderadas, como por exemplo o magnésio, potássio, cálcio e ferro. Porém, outros devem ser consumidos em quantidades menores, como o manganês, cobre, zinco e cobalto (ZAMBETTA, 2006).

De acordo com Madeira (2003), os metais pesados surgem nas águas naturais devido aos lançamentos de efluentes industriais tais como os gerados em indústrias extrativistas de metais, metalúrgicas que desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada, ferrugem das peças antes de seu uso, processo conhecido por

decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido.

## 2.5 PRESENÇA DE ÍONS DE FERRO EM ÁGUA

Segundo Madeira (2003), a presença do ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. O carbonato ferroso é solúvel e é encontrado frequentemente em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. A concentração de ferro aumenta em estações chuvosas, nas águas superficiais, devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. Nas águas tratadas para abastecimento público, a aplicação de coagulantes à base de ferro provoca elevação em seu teor.

De acordo com Sodré (2005), os efeitos dos metais sobre a biota, dependem da forma física e química desses metais no sistema, ou seja, da sua especifica o. A especia o do Ferro (Fe) na água, isto  , a maneira como esse elemento se encontra pode ser livre ou complexada, como  n divalente (+2) ou trivalente (+3), em estado coloidal ou disperso. Os  ns ferrosos ( $Fe^{+2}$ ) em condi es de aerobiose, são solúveis e convertidos a  ns férricos ( $Fe^{+3}$ ), formando hidróxidos de ferro insolúveis.

O Fe(II) está presente no corpo humano junto   hemoglobina que tem a fun o de transportar oxigênio. O ferro catalisa algumas rea es a nível celular e assim, resulta na gera o de radicais livres de oxigênio e pode causar dano oxidativo celular (BURY e GROSELL, 2003).

A presença excessiva de Fe e Manganês (Mn) em águas de abastecimento pode causar problemas operacionais, incrusta es nas redes de distribui o e manchas em utensílios de cozinha e roupas, deixando uma colora o marrom-amarelada na água e um sabor indesejável na mesma (CERRATO et al., 2006; TEKERLEKOPOULOU, VASILIADOU e VAYENAS, 2006; MENDIETA, RIOS e OLGUÍN, 2009).

O ferro está presente nos solos e nas rochas em forma de hematita vermelha ( xido férrico –  $Fe_2O_3$ ), hematita marrom ( xido hidratado -  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ), magnetita ( $Fe_3O_4$ ), carbonato de ferro ( $FeCO_3$ ), sulfeto ou piritita de ferro (FeS) (CARVALHO, 2005). Outra maneira de inser o em ambientes aquáticos pode ser de origem antropog nica. Entre fontes artificiais de ferro, destacam-se as indústrias de aço,

transformadores elétricos, soldagem, ligas em geral e resíduos sólidos sobre a superfície (PAULA, 2006; QUINÁGLIA, 2012).

O ferro encontrado em águas superficiais geralmente está relacionado a matéria orgânica no estado coloidal. De acordo com Carvalho (2005), em águas subterrâneas, o ferro é encontrado em maior quantidade na forma de bicarbonato ferroso  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , ocasionado por um baixo potencial hidrogeniônico (pH), baixa quantidade de oxigênio dissolvido (OD) e alta concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (PARRON et al, 2011). A principal técnica de análise para quantificação de ferro em água é o método espectrofotométrico (PIVELI, 2000; BAIRD, EATON e RICE, 2017).

Conforme Quinágua (2012) o ferro é um mineral essencial para a vida animal e vegetal e é encontrado em alimentos como, carne, gema de ovo, verduras, leite, fígado e melado. O excesso de ferro no organismo pode atuar o desenvolvimento de doenças como câncer, infarto e infecções. Pesquisas relacionam o aumento de artrites, AVC e doenças neonatais aos altos níveis de reservas de ferro no organismo (JUNIOR, 2011).

Quando a ingestão de Fe for de 5 a 10 vezes maior que o necessário, pode causar lesões no pâncreas com aparecimento de diabetes, pigmentação na pele e incidência de carcinoma hepático pele (LIMA e PEDROZO, 2001). A Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) determina os valores da Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Fe para uma pessoa adulta cerca de 14 mg (BRASIL, 2005).

De acordo com Flores et al. (2006), uma porcentagem da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul possui solos latossolos, são solos bem drenados e com boas propriedades físicas, apresentam boa capacidade de armazenamento de água (100mm) porém esta varia em função da textura do perfil. A região onde BAÚ (2021) realizou as análises de água dos 6 Lageados que compõem a Micro Bacia de Abastecimento da cidade de Horizontina é uma região no qual possui solo argiloso, considerado latossolo, rico em óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso, podendo influenciar os parâmetros de ferro em água em contato com o corpo hídrico.

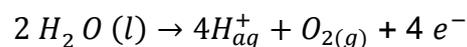
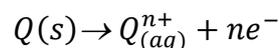
## 2.6 ELETROFLOCULAÇÃO

Algumas plantas piloto de eletrofloculação (EF), começaram a ser estudadas durante o século XX, mas logo foram abandonadas em decorrência da complexidade das etapas que envolvem processos hidrodinâmicos acoplados a sistemas eletroquímicos. Recentemente, vários fenômenos relacionados a processos de coagulação por meio eletroquímico, podem ser aplicados a modelos hidrodinâmicos. Processos de tratamento utilizando reatores eletroquímicos estão sendo desenvolvidos por pesquisadores para a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. Estes processos ocorrem no interior de um reator eletroquímico na vizinhança dos eletrodos, onde ocorrem as reações de coagulação. A EF é também conhecida como eletrocoagulação (EC) e eletroflotação (EFL) (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

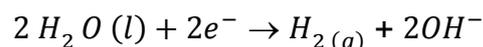
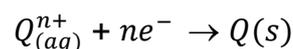
### 2.6.1 Reatores de eletrofloculação

Os reatores de EF são compostos por um ânodo e um cátodo. Quando uma diferença de potencial ( $ddp$ ) de corrente elétrica é aplicada por uma fonte externa, o material do ânodo é oxidado e o cátodo estará sujeito à uma redução do elemento metálico. São apresentadas as principais reações com o metal (Q) nas seguintes equações (MOLLAH et al., 2004):

No ânodo



No cátodo:



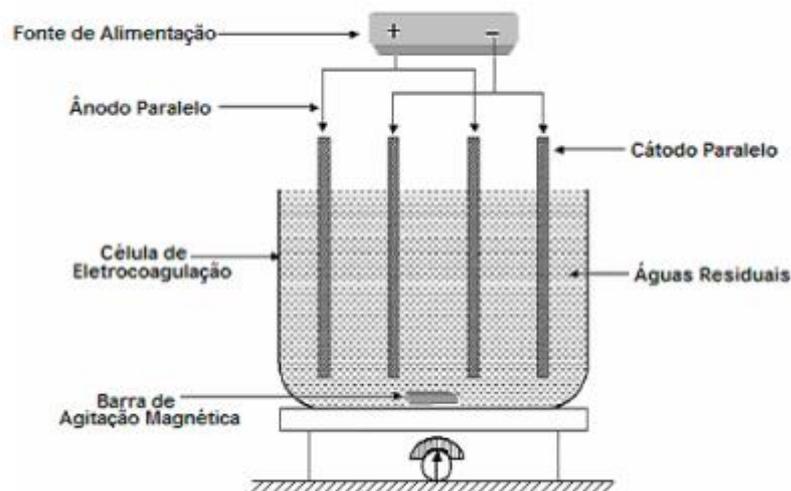
Os eletrodos mais comuns no processo de eletrofloculação são os constituídos de alumínio e ferro, devido ao baixo custo. Além do custo, os fatores que também podem influenciar no processo de eletrofloculação são: a disposição dos eletrodos, a condutividade do meio, o pH e a temperatura (CHEN, 2004). A

seleção apropriada dos materiais de eletrodos é muito importante, o alumínio e o ferro são eficazes e prontamente disponíveis (CRESPILHO & REZENDE, 2004).

Pode ocorrer a formação de microbolhas de hidrogênio no cátodo, por consequência da diferença de potencial da corrente elétrica no processo eletroquímico. As partículas geradas no interior do reator são carregadas pelas microbolhas até alcançar a superfície do reator, podendo com isso serem removidas por processos físicos convencionais (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático de um reator de EC em escala de bancada com eletrodos monopolares conectados em paralelo e com agitação magnética constante. De acordo com Mollah et al. (2001), os eletrodos bipolares apresentam em um dos lados da placa, carga positiva e de outro negativa, enquanto os eletrodos monopolares apresentam somente carga positiva ou negativa.

Figura 1 - Reator de eletrocoagulação em escala de bancada com eletrodos monopolares conectados em paralelo



Fonte: MOLLAH et al. (2004).

Segundo Mollah et al. (2004), pode-se aumentar a eficiência do processo utilizando células de eletrofloculação com eletrodos monopolares tanto em ligações em série quanto em paralelo. Um arranjo destas células em paralelo consiste em pares de placas de metais condutoras localizados entre dois eletrodos em paralelos e uma fonte de alimentação de corrente elétrica. Em um arranjo monopolar, cada par de eletrodos está conectado internamente um ao outro e sem interconexão com os eletrodos externos.

Sem nenhum tipo de interconexão entre os eletrodos de sacrifício, apenas dois eletrodos monopolares são conectados à uma fonte de energia elétrica. Os

lados neutros da placa adquirem carga oposta à do eletrodo monopolar quando a corrente atravessa os dois eletrodos (CRESPILO e REZENDE, 2004).

O arranjo de eletrodos monopolares conectados em série é eletricamente semelhante a uma única célula com muitos eletrodos e interconexões. Para um reator bipolar, os eletrodos de sacrifício são colocados entre dois eletrodos em paralelo, chamados também de placas condutoras, sem qualquer conexão (MOLLAH et al. 2004).

Conforme CRESPILO e REZENDE (2004), as principais etapas e reações envolvidas na eletrofloculação são: a geração eletroquímica do agente coagulante, eletrocoagulação, eletrofloculação e flotação das impurezas ou eletro-flotação.

## 2.7 ADSORÇÃO

O mecanismo de adsorção consiste na distribuição do adsorvato entre solução e adsorvente, o qual pode ser descrito pela cinética e pelo estado de equilíbrio no processo. Pode ocorrer de forma física, um fenômeno reversível onde ocorre a formação de multicamadas e até uma adsorção química, pois ocorrem interações iônicas entre o material adsorvente e o adsorvato, formando monocamadas (VITALI, 2008).

O processo de adsorção, depende dos fatores da natureza do adsorvente, adsorvato e das condições operacionais. O adsorvente possui característica que incluem a área superficial, densidade, tamanho do poro, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Já, a natureza do adsorvato depende do tamanho da molécula, solubilidade, polaridade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem a natureza do solvente, pH e temperatura (COONEY, 1999).

### 2.7.1 Adsorvente

Os sólidos adsorventes devem ter boas características químicas, físicas e superficiais, resistência mecânica e oferecer pequenas perdas de carga quando utilizados em colunas de leito fixo. Os adsorventes são seletivos quanto à capacidade de adsorverem solutos específicos (FOUST, 1982), e também, deve-se considerar o tipo de concentração do contaminante, destino final da água tratada entre outros fatores técnicos, econômicos e ambientais (BARROS, 2001).

Entre os fatores que influenciam na escolha dos adsorventes, está o ponto de carga zero, porosidade, área específica, presença de grupos superficiais, quantidade de macro, meso e microporos que definem a capacidade adsorptiva do sólido para determinado contaminante (NASCIMENTO et al., 2014). O fator determinante do adsorvente é sua natureza físico-química, pois a taxa de adsorção e a capacidade dependem da área superficial específica, porosidade, distribuição do tamanho de poros, volume específico de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (DOMINGUES, 2005)

Há uma grande necessidade de utilizar materiais de baixo custo nos processos de remoção dos contaminantes das águas e neste sentido, a busca de materiais alternativos para serem utilizados como adsorventes motiva diversos pesquisadores que tem como objetivo melhorar as condições ambientais com menor custo (NASCIMENTO et al., 2014).

#### 2.7.1.1 Carvão ativado

O carvão ativado é muito utilizado em processos de adsorção, pois possui grande capacidade de remoção de íons metálicos, devido a elevada área superficial específica decorrente da alta porosidade de material, além de ter grande afinidade por compostos poluentes, como por exemplo, corantes orgânicos, pesticidas, agrotóxicos e matéria orgânica natural (YARDIM et al., 2003; DA ROCHA et al., 2006). O carvão ativado tem propriedade de reduzir o sabor e odor da água, uma vez que o carbono é um material extremamente poroso que atrai e retém uma grande variedade de contaminantes prejudiciais à saúde (STRELKO e MALIK, 2002; FRANCISCHETTI, 2004; OKONIEWSKA et al., 2007).

A preparação do carvão ativado pode ser feita por minerais carbonáceos naturais como a madeira, casca de nozes, cocos e carvão mineral através de processos térmicos que envolvem a desidratação, carbonização e aplicação de vapor quente (CLAUDINO, 2003). Geralmente, os carvões ativados são preparados por tratamento com gases oxidantes ou por carbonizações de materiais carbonosos misturados com produtos químicos desidratantes em condições adequadas para desenvolver porosidade (RODRIGUES, 2004). Tal processo eleva o custo do material, já que é necessária à sua reativação após a saturação (MADEIRA, 2003).

Carvões ativados são materiais carbonáceos porosos e apresentam uma forma microcristalina que sofreram processamento para aumentar a porosidade

interna. Assim que ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de tuneis que se bifurcam em canais menores. Todos os carvões ativados contém micro, meso e macroporos, porém, a proporção varia de acordo com o processo de fabricação utilizado (CLAUDINO, 2003). Estes materiais são adsorventes únicos e versáteis devido à alta porosidade desenvolvida e área superficial elevada (CASTILLA, 2004).

Carvões ativados na forma de pó ou granulares, são utilizados como adsorventes em plantas de tratamento de água para remover sabor e odor. O carvão ativado granular é considerado como o melhor adsorvente para a eliminação de compostos, como por exemplo, subprodutos derivados da desinfecção, geralmente clorados, compostos aromáticos e poliaromaticos, herbicidas, pesticidas, matéria orgânica natural que causa odor e sabor em muitas águas naturais (CASTILLA, 2004).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS**

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Química Geral da FAHOR-Faculdade Horizontina. O estudo objetivou avaliar a eficiência da remoção de ferro através de metodologias de tratamento por eletrofloculação e adsorção com carvão ativado.

##### **3.1.1 Preparo da solução de concentração conhecida de ferro**

Para avaliação dos testes preparou-se uma solução de concentração conhecida de ferro. Utilizou-se três garrafas de 2 L de água da torneira, para cada 2 L adicionou-se 20 mL da solução estoque de ferro.

A solução foi mantida sob refrigeração até o momento da análise, que ocorreu dentro de um período máximo de sete dias.

##### **3.1.2 Análise de ferro na água**

Para a avaliação da concentração de ferro antes e após a realização dos testes, adicionou-se 50 mL da solução em Erlenmeyer, 2 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado, 1 mL da solução de cloridrato de hidroxilamina a 10% (m/v) e

algumas pedras de ebulição. A mistura foi submetida à fervura utilizando uma chapa de aquecimento até o volume ser reduzido a uma faixa entre 15 a 20 mL. Posteriormente, a solução foi resfriada até temperatura ambiente e transferida para um balão volumétrico de 50 mL. Neste balão foram adicionados 10 mL de solução tampão de acetato de amônio, 4 mL de solução de 1,10 fenantrolina a 0,1% (m/v) e em seguida completou-se o volume do balão volumétrico com água deionizada. Após, a amostra foi agitada e deixada em repouso por 10 minutos até completa reação e obtenção da coloração específica.

As soluções padrões para desenvolvimento da curva analítica foram preparadas nas concentrações de 0,06 – 0,16 – 0,3 – 0,5 – 1 – 2 – 3 mg/L, a partir de diluições de uma solução estoque de ferro, o branco foi preparado utilizando água deionizada. Todas as soluções padrões e o branco foram posteriormente submetidos ao mesmo preparo que as amostras.

A quantificação de ferro utilizada no espectrofotômetro Quimis modelo Q898DRM5 em triplicata, no comprimento de onda de 510 nm. Os resultados de concentração das amostras foram obtidos através da curva analítica utilizando o software Excel®.

Após, os tratamentos de eletrofloculação e adsorção com carvão ativado os resultados foram obtidos através do cálculo da equação da reta:

$$Y = ax + b$$

Onde:

*Y*: resposta medida (absorbância);

*a*: inclinação da curva analítica = sensibilidade;

*x*: concentração;

*b*: interseção com o eixo y, quando  $x = 0$ .

### 3.1.3 Eletrofloculação

No tratamento por eletrofloculação, utilizou-se um reator em batelada de bancada (Becker de 600 ml). Nele foi colocada a solução de concentração 2,1 mg/L de ferro, onde inseriu-se eletrodos de sacrifício conectados a uma fonte de corrente contínua (bateria), juntamente com agitador magnético de modo a viabilizar a eletrofloculação.

Os eletrodos de sacrifício utilizados foram as placas de alumínio, cobre e aço inox escovado 430, que serviram de catodos e ânodos, conforme mostra a Figura 2, com 10 cm de comprimento x 5 cm de largura e 0,5 mm de espessura.

Figura 2 - Placas de alumínio, cobre e aço inox escovado 430



Separou-se os mesmos por um material não condutor de energia (borracha). Adicionou-se um eletrólito, sal de cozinha (NaCl), 0,1 g para 500 mL de solução, com intuito de acelerar e facilitar o tratamento de eletrofloculação.

Após 60 minutos de eletrofloculação, as amostras ficaram em repouso por 10 minutos, para flotação e decantação do residual. Filtrou-se o residual presente no Becker.

Para comparação, efetuou-se novamente o mesmo tratamento mas em um período de tempo de 20 e 40 minutos. Em seguida, realizou-se quantificação de ferro no espectrofotômetro.

#### **3.1.4 Adsorção com carvão ativado**

No tratamento de adsorção com carvão ativado, utilizou-se um becker de 600 mL, nele, adicionou-se a solução de concentração de ferro 2,1 mg/L, um peixinho (agitador) e 1 g de carvão ativado.

Foi realizado testes de diferentes intervalos de tempo entre, 20 – 40 – 60 – 80 minutos, com a intenção de monitorar a eficiência na remoção do excesso de ferro.

Ainda, realizou-se novamente o tratamento, utilizando 0,2 g e 0,1 g de carvão ativado, em intervalos de tempo de 20 – 40 – 60 – 80 minutos.

Após, realizou-se a filtração do residual, para assim, efetuar a quantificação de ferro no espectrofotômetro.

## 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

### 3.2.1 Materiais

Durante os procedimentos, foram utilizados alguns tipos de vidrarias, instrumentos e equipamentos como:

- 1 Cronômetro;
- 4 Agitadores magnéticos com aquecimento;
- 1 Pinça;
- 1 Espátula;
- 1 Pisseta;
- 5 Beckeres 600 mL;
- 2 Beckeres de 50 mL;
- 1 Vidro relógio;
- 4 Peixinhos;
- 20 Pedras de ebulição;
- 6 Erlenmeyers de 125 mL;
- 6 Balões volumétricos de 50 mL;
- 1 Balão volumétrico de 1000 mL;
- 1 Bastão de vidro;
- 4 Funis de vidro;
- 4 Pipetas de Pasteur;
- 4 Pipetadores;
- 2 Pipetas graduadas de 1 mL;
- 2 Pipetas graduadas de 2 mL;
- 1 Pipeta graduada de 10 mL;
- 8 Papeis filtro;
- 1 Balança analítica ASTRAL Científica;
- 1 Espectrofotômetro Quimis modelo Q898DRM5;
- 1 Cronometro;
- 1 Bateria de 60 amperes 12 V marca Autobat modelo FC60D;
- 2 Fios de cobre encapsado;
- 2 Placas de alumínio;

- 2 Placas de cobre;
- 2 Placas de aço inox escovado 430.

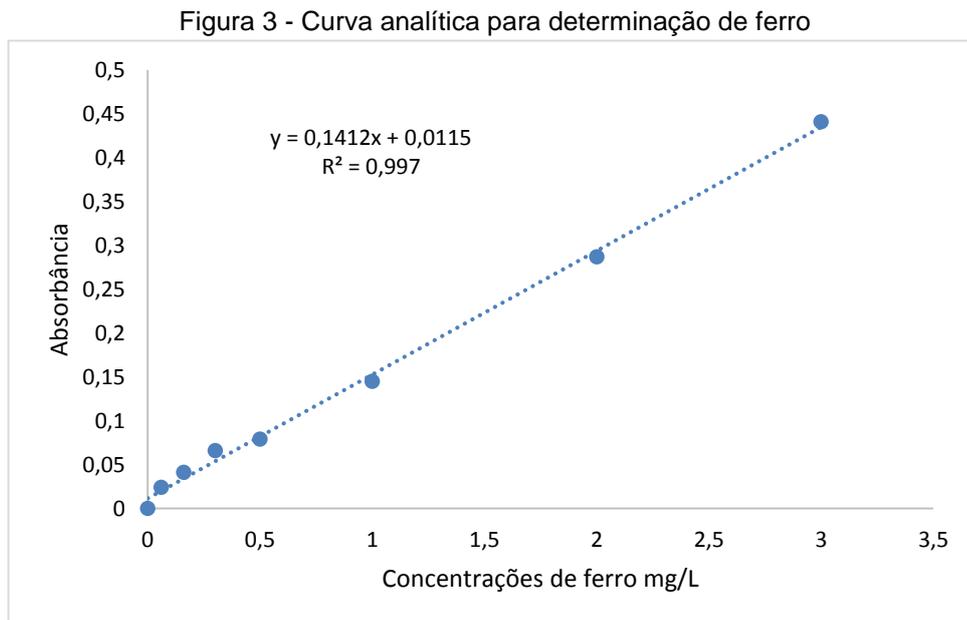
### 3.2.2 Reagentes

- Água deionizada;
- Água da torneira;
- Solução de ácido clorídrico (HCl) 1 mol L<sup>-1</sup>;
- Solução tampão de acetato de amônio (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>) a 25%;
- Solução de cloridrato de hidroxolamina (NH<sub>2</sub>OH) a 10%;
- Solução de acetato de sódio (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>) a 20%;
- Solução de fenantrolina a 0,1% (C<sub>12</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>);
- Solução estoque de ferro 1,0 mL = 200 ug/Fe;
- Carvão ativado em pó 97%, CAS 7440-44-0;
- Sal de cozinha (NaCl);
- Solução de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1 mol L<sup>-1</sup>;
- Sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>).7H<sub>2</sub>O);
- Permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) 0,02 mol L<sup>-1</sup>.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 CURVA ANALÍTICA

A partir dos resultados de absorvância obtidos para as soluções padrões de concentração conhecida, elaborou-se uma curva analítica conforme a Figura 3, no qual, pode-se observar boa linearidade dos dados e coeficiente de determinação igual a 0,997.



Utilizando-se a equação da reta, determinou-se a concentração de ferro igual a 2,1 mg/L na amostra preparada, ou seja, valor aproximado da concentração de ferro da água do Lajeado Toldo no 1º ponto de coleta 1,7 mg/L.

De acordo com De Araújo et al. (2016), devido à estrutura geológica do país, altas concentrações de ferro são comuns nas águas superficiais brasileiras por conter magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. A origem desse elemento pode estar relacionada a sedimentos orgânicos, restos de plantas, e também a coloides ou húmus, que tornam a água amarela. Na Figura 4 pode-se observar a coloração amarelada da concentração de ferro 2,1 mg/L.

Figura 4 - Solução de concentração conhecida de ferro

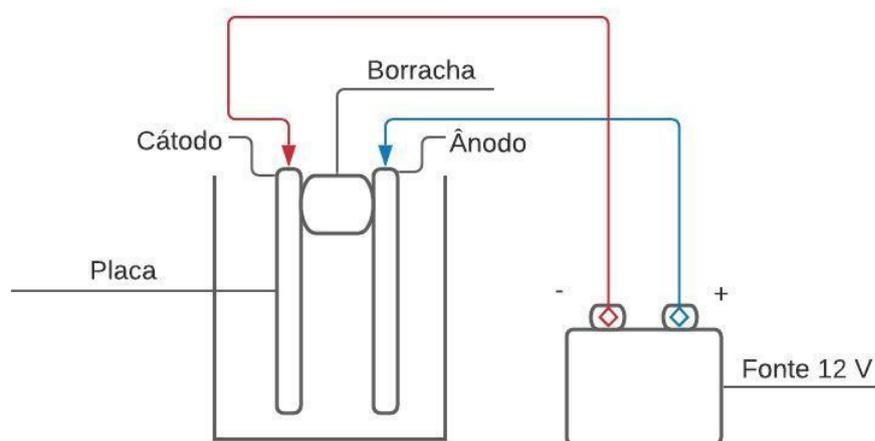


Cabe ressaltar que, o excesso de ferro também pode surgir nas águas naturais devido aos lançamentos de efluentes industriais tais como os gerados em indústrias extrativistas de metais, metalúrgicas, pois elas desenvolvem atividades nas quais ocorrem a remoção da camada oxidada, ferrugem das peças, entre outros processos (MADEIRA, 2003).

#### 4.1.1 Tratamento por eletrofloculação

Um reator de eletrofloculação é composto por uma célula eletrolítica, que é um dispositivo no qual ocorre a eletrólise, decomposição de corpos ionizados a partir de uma corrente elétrica, transmitidas para um cátodo e um ânodo. Conforme a Figura 5, pode-se observar um esquema do reator de eletrofloculação utilizado nos processos de tratamento descritos no item 3.1.3.

Figura 5 - Reator de eletrofloculação



No entanto, há estudos empenhados no desenvolvimento de modelos de reatores eletrolíticos, tendo como foco a geometria do reator, operabilidade, características e processos, buscando a máxima eficiência de corrente para a reação desejada (TRINIDAD, WALSH e GILROY, 1998). O desempenho do reator é determinado pelas características do residual, qualidade e concentração dos reagentes, intensidades de contato no meio reacional, tempo de residência, todos esses aspectos influenciam no reator (DE PAULA, 2007). Diante do exposto, os reatores utilizados apresentaram bom desenvolvimento em seus tratamentos, devido a, não conter alta carga orgânica, sem residual grosso e pesado na solução de concentração conhecida de ferro 2,1 mg/L, facilitando assim o processo de tratamento. Por exemplo, se coletássemos uma amostra de água de um dos Lajeados com excesso de ferro proporcional a concentração conhecida, os resultados também seriam próximos e eficientes, pois não é um efluente de uma indústria que contém alta carga orgânica, e sim uma água de um corpo hídrico, não possui tanto residual grosso.

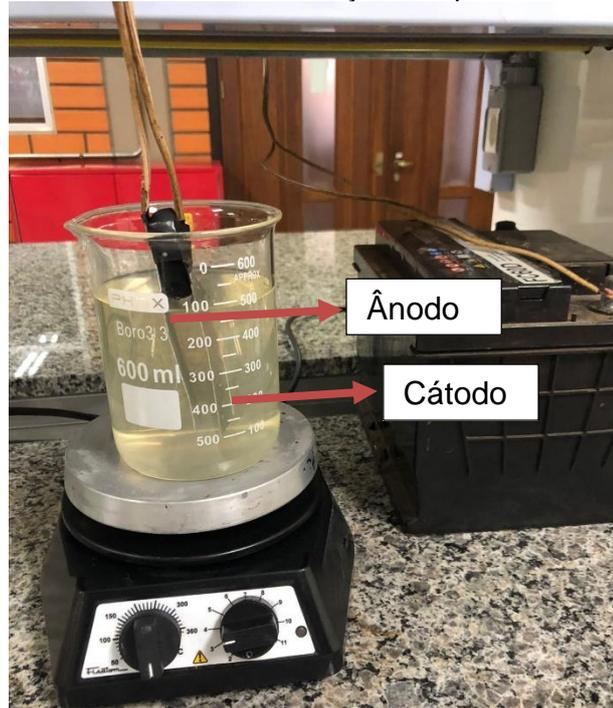
No interior do reator, os eletrodos estavam localizados verticalmente na parte central do reator, cuja fiação elétrica passava por cima do Becker, esses fios se conectavam com à fonte de corrente contínua. Cada reator era composto por 1 par de eletrodos de placas de alumínio, cobre ou aço inox escovado 430. Essas placas apresentavam como dimensões 10 cm x 5 cm x 0,5 mm, as quais foram arranjadas em distâncias fixas, presas em um material não condutor de energia, uma borracha.

O espaçamento entre as placas para compor os eletrodos foram 1,5 cm. Os eletrodos foram ligados no modo monopolar em paralelo a uma fonte de alimentação Bateria marca Autobat modelo FC60D, que fornece corrente e tensão na faixa de 12 V, 60 amperes.

#### 4.1.1.1 Eletrofloculação com placas de alumínio

O reator contendo duas placas de alumínio, no qual uma era o ânodo e a outra o cátodo do experimento, pode ser representado pela Figura 6.

Figura 6 - Reator de eletrofloculação com placas de alumínio



O princípio de funcionamento do processo eletrolítico consiste na aplicação de um potencial elétrico a uma solução aquosa, através de eletrodos metálicos de sacrifício identificados como cátodo e ânodo, que promove a dissolução (corrosão) deste metal com a geração de íons e gases oxigênio e hidrogênio (CRESPILO e REZENDE, 2004). A partir do início do experimento, foi possível a observação da formação de bolhas ao redor do eletrodo de cátodo, sendo elas bolhas de oxigênio e hidrogênio.

Após 10 minutos, houve uma separação visível e formação dos flocos dentro da solução através de decantação no fundo do recipiente. Percebeu-se também, a alteração da cor da solução abaixo dos flocos, onde apresentou-se ligeiramente mais límpida, enquanto os flocos formados acumulavam toda a coloração presente na solução de ferro, criou-se uma camada aparentemente gordurosa acima da solução, conforme Figura 7.

Figura 7 - Reação de eletrofloculação com placas de alumínio



Devido a corrente elétrica que é aplicada por uma fonte externa, o cátodo estará sujeito à uma redução do elemento metálico e o material do ânodo é oxidado (MOLLAH et al., 2004). Quando os eletrodos da célula são conectados a uma fonte de corrente elétrica polarizada externa, no ânodo ocorrem reações de oxidação, enquanto no cátodo as reações de redução (FERNANDES e SILVA, 2012). Ao final do experimento, a placa que atuou como ânodo apresentou-se desgastada, enquanto o cátodo sofreu uma mudança de coloração. Isto significa que a geração de alumínio na solução está relacionada à carga, podendo ser controlado pela corrente gerada (FERNANDES e SILVA, 2012).

Após a filtração, os flocos ficaram retidos no filtro enquanto a solução apresentou-se límpida de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de alumínio



Utilizando-se a equação da reta foram determinadas as concentrações de ferro nas amostras e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Testes de eletrofloculação com placas de alumínio

Solução c/ conc. de ferro 2,1 mg/L (mL)	Tempo (min.)	Conc. de ferro final (mg/L)	Remoção (%)
500	20	0,3	86,9
500	40	0,1	94,2
500	60	*	100

(\*) Abaixo do limite de quantificação.

O valor inicial da concentração de ferro da solução conhecida era de 2,1 mg/L, de acordo com Tabela 2, pode-se observar que a partir de 60 minutos a solução de concentração de ferro ficou abaixo do limite de quantificação 0,997, removeu praticamente 100% da concentração de ferro presente na solução. Nos períodos 20 e 40 minutos as concentrações de ferro 0,3 mg/L e 0,1 mg/L das soluções atendem os parâmetros atuais, sendo eles o padrão de aceitação de consumo expresso na Portaria MS nº 518/2004 (2005), Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (2017) e o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces da Resolução CONAMA nº 357 (2005) que são 0,3 mg/L de concentração de ferro.

Diante do exposto, pode-se verificar que o tempo de 20 minutos seria o suficiente para atender as Portarias e a Resolução, sendo assim, não seria

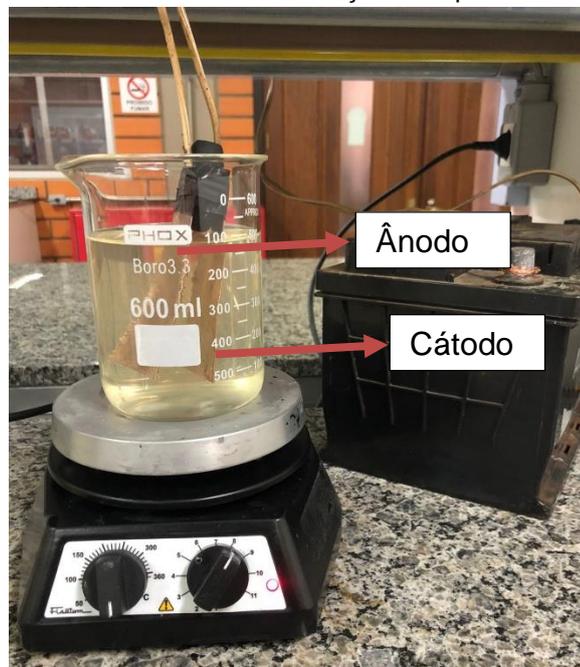
necessário ocupar mais tempo para a remoção de ferro. Porém, quanto maior o tempo de eletrofloculação, maior a remoção do ferro.

Em processos de tratamento de efluentes, levaria mais tempo para conseguir retirar o excesso de ferro com a eletrofloculação, utilizando eletrodos de alumínio e ferro, de acordo com o Fornari (2007), no processo de tratamento de efluente de uma empresa de curtume, mesmo com 120 minutos de tratamento, a concentração final do ferro ficou em 0,4 mg/L. Tudo influencia referente a remoção do ferro, o tempo, a carga orgânica e o residual grosso, mesmo utilizando mais tempo que o tratamento utilizado neste presente trabalho, o tratamento com eletrodos de alumínio e ferro não atende as Portarias e Resolução vigentes que presam por 0,3 mg/L de concentração de ferro.

#### 4.1.1.2 Eletrofloculação com placas de cobre

De acordo com a Figura 9, pode-se observar o experimento contendo duas placas de cobre no reator. Após o início do teste, também foi possível verificar a formação de bolhas sendo liberadas ao redor do eletrodo de cátodo.

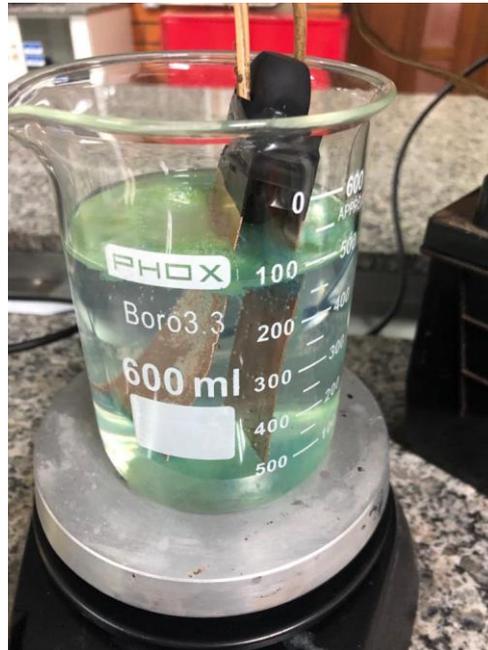
Figura 9 - Reator de eletrofloculação com placas de cobre



O cobre no processo de oxidação perde lentamente os elétrons e cria uma superfície de cor verde escura, como consequência dessa oxidação é formada uma película tóxica em sua superfície (LEE, 2000). No entanto, com o passar do tempo,

houve uma separação visível e formação dos flocos dentro da solução, mas observou-se que a coloração da solução mudou, ficou mais esverdeada conforme a Figura 10.

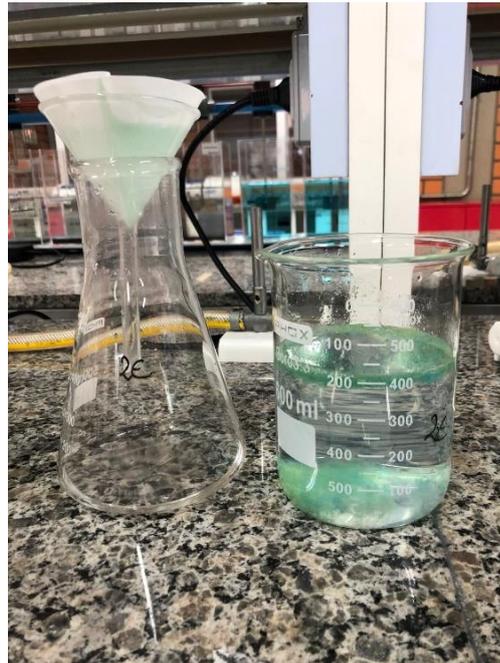
Figura 10 - Reação de eletrofloculação com placas de cobre



Percebeu-se também, que a solução abaixo do residual apresentou-se mais límpida, enquanto que os flocos formados acumulavam toda a coloração presente na solução, criou-se uma película gordurosa acima da solução podendo a mesma ser tóxica.

No final do experimento, a placa que atuou como ânodo apresentou-se um pouco desgastada, e o cátodo não sofreu uma mudança de coloração. Após, realizou-se a filtração, os flocos ficaram retidos no filtro e a solução apresentou-se límpida de acordo com a Figura 11.

Figura 11 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de cobre



A partir da equação da reta foram determinadas as concentrações de ferro nas amostras e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Testes de eletrofloculação com placas de cobre

Solução c/ conc. de ferro 2,1 mg/L (mL)	Tempo (min.)	Conc. de ferro final (mg/L)	Remoção (%)
500	20	0,1	93,7
500	40	0,1	97,1
500	60	*	100

(\*) Abaixo do limite de quantificação.

Conforme a Tabela 3 observa-se que a partir de 60 minutos a solução de concentração de ferro ficou abaixo do limite de quantificação 0,997, já, nos períodos de menor tempo de 20 e 40 minutos as concentrações de ferro 0,1 mg/L e 0,1 mg/L das soluções atendem o parâmetro atual, sendo ele o padrão de aceitação de consumo expresso na Portaria MS nº 518/2004 (2005), Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (2017) e o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces da Resolução CONAMA nº 357 (2005) que são 0,3 mg/L de concentração de ferro.

Através dos resultados obtidos pode-se identificar que 20 minutos é tempo o suficiente para ocorrer a eletrofloculação, não será necessário mais tempo para a remoção do excesso de ferro. Entretanto, apesar do tratamento com as placas de

cobre apresentarem um resultado excelente, o tratamento pode ocasionar a liberação de cobre na solução, o mesmo em excesso pode causar intoxicação e vários danos à saúde. Devem-se realizar estudos para saber se essa solução final é prejudicial à saúde, se sim, tratar de forma adequada a mesma e não utilizar este tratamento.

#### 4.1.1.3 Eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430

O reator contendo as placas de aço inox escovado 430 do experimento pode ser representado pela Figura 12. No início deste experimento foi possível verificar a formação de bolhas ao redor do eletrodo de cátodo, entretanto, em quantidade muito inferior aos eletrodos de alumínio e cobre.

Figura 12 - Reator de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430



Com o passar do tempo, observou-se que não houve uma separação visível, formação dos flocos dentro da solução ou alteração na coloração. Percebeu-se também que não criou uma camada aparentemente gordurosa acima da solução, conforme Figura 13.

Figura 13 - Reação de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430



O aço inox é um dos materiais mais conhecidos e eficazes para evitar a corrosão, possui grande durabilidade, principalmente quando é utilizado em aplicações mais agressivas, mesmo assim, existem limitações de uso, quando cloro e salinidade fazem parte do ambiente. O sal quando em contato prolongado com o aço inoxidável, prejudica a camada de cromo, altas temperaturas devem ser evitadas em equipamentos de aço inox (MANTEL, 2000). No final do experimento, a placa que atuou como ânodo apresentou-se um pouco desgastada, pois a adição de sal de cozinha (NaCl) na solução pode ter influenciado na oxidação, o cátodo sofreu uma pequena mudança de coloração. Em seguida, realizou-se a filtração de acordo com a Figura 14.

Figura 14 - Filtração do residual de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430



Após, aplicou-se a equação da reta e determinou-se as concentrações de ferro nas amostras e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Testes de eletrofloculação com placas de aço inox escovado 430

Solução c/ conc. de ferro 2,07 mg/L (mL)	Tempo (min.)	Conc. de ferro final (mg/L)	Remoção (%)
500	20	1,6	21,2
500	40	1,6	22,7
500	60	1,5	26,6

Segundo a Tabela 4 pode-se observar que as soluções de concentração de ferro 1,6 mg/L, 1,6 mg/L e 1,5 mg/L respectivamente nos três períodos de tempo, não atendem os parâmetros atuais, sendo eles o padrão de aceitação de consumo expresso na Portaria MS nº 518/2004 (2005), Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (2017) e o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces da Resolução CONAMA nº 357 (2005) que são 0,3 mg/L de concentração de ferro.

#### 4.1.2 Tratamento de adsorção com carvão ativado

Sabe-se que o tratamento com carvão ativado é muito utilizado nos sistemas de tratamento da atualidade, inclusive em filtros de água. O experimento realizado em escala laboratorial teve como principal foco encontrar a quantidade ideal de carvão a ser utilizado e o tempo para melhor eficiência no processo de tratamento. A Figura 15 apresenta o tratamento de adsorção com carvão ativado nos períodos de tempo de 20, 40, 60 e 80 minutos, utilizado nos processos de tratamento descritos no item 3.1.4.

Figura 15 - Tratamento de adsorção utilizando 1 g de carvão ativado



Segundo Sontheimer (1980), o carvão ativado pode remover compostos orgânicos, substâncias fenólicas e substâncias que reduzem a qualidade da água, como pesticidas, micropoluentes, podendo atuar como uma barreira a bactérias e vírus. Também pode ser usado para o pré-tratamento de água nas indústrias de alimentos, bebidas, farmacêutica e de osmose reversa. Sendo assim, o mesmo possui um papel essencial na purificação de águas, seja para fins potáveis ou industriais, eliminando a cor, mau gosto, odor e remove substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção.

Utilizando-se a equação da reta foram determinadas as concentrações de ferro nas amostras e os resultados obtidos podem ser observados nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Testes 01 com aproximadamente 1 g de carvão ativado

<b>Solução c/ conc. de ferro 2,07 mg/L (mL)</b>	<b>Quant. de carvão ativado (g)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Conc. de ferro final (mg/L)</b>	<b>Remoção (%)</b>
500	1	20	*	100
500	1	40	*	100
500	1	60	*	100
500	1	80	*	100

(\*) Abaixo do limite de quantificação.

De acordo com a Tabela 5, pode-se observar que não é necessário 1 g de carvão ativado para realizar o tratamento, uma quantidade inferior seria o suficiente, pois os resultados ficaram abaixo do limite de quantificação.

Tabela 6 - Testes 02 com aproximadamente 0,2 g de carvão ativado

<b>Solução c/ conc. de ferro 2,07 mg/L (mL)</b>	<b>Quant. de carvão ativado (g)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Conc. de ferro final (mg/L)</b>	<b>Remoção (%)</b>
500	0,2	20	0,1	95,2
500	0,2	40	0,1	96,6
500	0,2	60	*	97,6
500	0,2	80	*	99

(\*) Abaixo do limite de quantificação.

Conforme a Tabela 6, observa-se que quanto maior o tempo de tratamento, maior é a porcentagem de remoção do ferro, com 20 e 40 minutos, a concentração final de ferro ficou 0,1 mg/L e 0,1 mg/L, nos demais períodos de tempo os resultados ficaram abaixo do limite de quantificação. Porém, percebe-se que pode ser utilizado

uma quantidade menor de carvão ativado para realizar o tratamento e ainda assim será eficiente, pois o limite permitido pelas Portarias e Resolução é 0,3 mg/L.

Tabela 7 - Testes 03 com aproximadamente 0,1 g de carvão ativado

<b>Solução c/ conc. de ferro 2,07 mg/L (mL)</b>	<b>Quant. de carvão ativado (g)</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Conc. de ferro final (mg/L)</b>	<b>Remoção (%)</b>
500	0,1	20	0,2	88,9
500	0,1	40	0,2	90,8
500	0,1	60	0,2	91,8
500	0,1	80	0,1	93,2

Segundo a Tabela 7, percebe-se que, 0,1 g de carvão ativado é o suficiente para remoção do ferro presente na amostra e o tempo de 20 minutos seria o suficiente para ocorrer a remoção.

De acordo com as Tabelas descritas acima, observa-se que na Tabela 5, os testes foram efetuados com alta quantidade de carvão ativado igual a 1 g, devido a isso os resultados de absorvância ficaram abaixo do limite de quantificação, removendo cerca de 100% do ferro. Os demais resultados das Tabelas 6 e 7, estão atendendo os parâmetros atuais, sendo eles o padrão de aceitação de consumo expresso na Portaria MS nº 518/2004 (2005), Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (2017) e o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces da Resolução CONAMA nº 357 (2005) que são 0,3 mg/L de concentração de ferro.

Então, a proposta mais adequada nesse caso, seria utilizar 0,1 g de carvão ativado no período de tempo de 20 minutos, pois a quantidade e tempo são suficientes para atender as Portarias e a Resolução, assim evitando gastos desnecessários com reagente. Mas, percebe-se que quanto mais tempo de reação e maior quantidade de carvão ativado, maior a remoção de ferro.

#### 4.2 COMPARATIVO DAS METODOLOGIAS

O tratamento com carvão ativado é muito utilizado nos dias atuais, tanto em Estação de Tratamento de Água (ETA), quanto em filtros d'água, devido ao custo e benefício. Já, o tratamento com eletrofloculação está em crescimento no mercado, mas a maior procura do mesmo, é para o tratamento de efluentes, devido a sua eficiência no processo.

De acordo com a Tabela 8 é possível observar os melhores resultados dos tratamentos realizados.

Tabela 8 - Melhores resultados dos testes realizados

<b>Solução c/ conc. de ferro 2,07 mg/L (mL)</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Tempo (min.)</b>	<b>Conc. de ferro final (mg/L)</b>	<b>Remoção (%)</b>
500	0,1 g de carvão ativado	20	0,2	88,9
500	Placas de alumínio	20	0,3	86,9
500	Placas de cobre	20	0,1	93,7

A Tabela 8 demonstra os melhores resultados obtidos nos testes realizados, o tempo mais adequado para tratamento é de 20 minutos, no qual obteve-se 0,2 mg/L de concentração de ferro final, no tratamento de adsorção com carvão ativado. Nos processos de tratamento de eletrofloculação com placas de alumínio e cobre, obteve-se 0,3 mg/L e 0,1 mg/L de concentração de ferro final respectivamente.

Se compararmos em relação ao tempo, a eficiência da adsorção com carvão ativado é melhor do que a eletrofloculação com as placas de alumínio e cobre, pois removeu 88,9% do ferro, em apenas 20 minutos, enquanto que a eletrofloculação com as placas de alumínio, removeu 86,9% e as placas de cobre, removeu 93,7%.

Apesar das placas de cobre terem sido mais eficientes que as placas de alumínio, o custo do cobre é maior de acordo com a Tabela 9, a reação do cobre com a solução precisa ser estudada de forma mais aprofundada, pois devido a mudança da coloração da solução, percebe-se que a reação de oxidação pode liberar íons de cobre para a solução e em excesso causa danos à saúde.

O cobre em excesso causa dano funcional pela ligação de cobre a locais cruciais em macromoléculas, como DNA ou enzimas. O mesmo, provoca oxidação da vitamina A, o acumulado no sangue, pode esgotar as reservas de zinco no cérebro, dores musculares e nas juntas, diminui a vitamina C, distúrbios no aprendizado, depressão e fadiga (BARCELOS, 2008).

Há estudos com a finalidade de remoção de cobre nas soluções, a partir de processos de isotermas de adsorção com bentonita e vermiculitas, modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich. Outro tipo de tratamento, seria o processo de biossorção por cascas de frutas para a remoção de poluentes sintéticos, melhorando a qualidade da água e retirando em uma taxa de aproximadamente 30% sulfato de cobre (SOUZA, 2019).

Tabela 9 - Custos dos Materiais

<b>Tratamento</b>	<b>Material/Reagente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor gasto</b>	<b>Total gasto</b>
Adsorção com carvão ativado	Carvão ativado	0,1	G	R\$ 0,02	R\$ 0,02
Eletrofloculação com placas de alumínio	Placas de alumínio	2	PC	R\$ 32,00	R\$ 295,01
	Bateria	1	PC	R\$ 260,00	
	Fios de cobre	2	PC	R\$ 3,00	
	NaCl	0,1	G	R\$ 0,01	
Eletrofloculação com placas de cobre	Placas de cobre	2	PC	R\$ 37,00	R\$ 300,01
	Bateria	1	PC	R\$ 260,00	
	Fios de cobre	2	PC	R\$ 3,00	
	NaCl	0,1	G	R\$ 0,01	

Fazendo um comparativo de custos, para 500 ml de solução com concentração de ferro 2,1 mg/L, gastou-se R\$ 0,02 com 0,1 g de carvão ativado. Com as duas placas de alumínio, gastou-se R\$ 32,00, bateria R\$ 260,00, fios de cobre R\$ 3,00 e NaCl R\$ 0,01 para 0,1 g. Com as duas placas de cobre gastou-se R\$ 37,00, bateria R\$ 260,00, fios de cobre R\$ 3,00 e NaCl R\$ 0,01 para 0,1 g. Mas, a bateria, os fios de cobre, as placas de alumínio e cobre podem ser utilizados em várias outras oportunidades até seu desgaste. Já os reagentes carvão ativado e NaCl devem ser repostos sempre que for realizado o tratamento. Neste caso em relação ao custo o tratamento de adsorção com carvão ativado é mais vantajoso.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando o padrão de aceitação de consumo expresso na Portaria MS nº 518/2004 (2005), Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (2017) e o padrão máximo estabelecido para o ferro dissolvido em água doces da Resolução CONAMA nº 357 (2005) que são 0,3 mg/L de concentração de ferro, com as metodologias de tratamento de adsorção com carvão ativado e eletrofloculação com placas de alumínio e cobre, as concentrações de ferro 0,2 mg/L, 0,3 mg/L e 0,1 mg/L respectivamente, no período de tratamento de 20 minutos, atendem as Portarias e a Resolução vigentes.

Verificou-se também que, no processo de adsorção quanto maior a quantidade de carvão ativado e tempo de reação, maior era a remoção do ferro presente na solução.

Nos tratamentos de eletrofloculação com placas de alumínio e cobre, foi possível perceber, que, quanto mais tempo de reação, maior é a porcentagem de remoção do ferro na solução. O alumínio apresenta remoção proporcional ao cobre, devido a isso e, ao custo do alumínio ser inferior ao cobre, indica-se o alumínio para o tratamento de eletrofloculação.

Apesar do cobre apresentar boa eficiência na remoção de ferro, no processo de eletrofloculação ele libera íons de cobre na solução, no entanto devem-se realizar estudos mais aprofundados com a finalidade da sua remoção, pois em excesso pode causar sérios danos à saúde.

No entanto entre as metodologias de eletrofloculação com placas de alumínio e adsorção com carvão ativado 0,1 g, a metodologia mais indicada, seria a de adsorção com carvão ativado, devido ao custo e a porcentagem de remoção de ferro ser superior, de 88,9% de remoção.

As Portarias nº 518/2004 de (2005), nº 5 de (2007) e a Resolução CONAMA nº 357 (2005) não são atendidas pela metodologia de tratamento de eletrofloculação com aço inox escovado 430, pois o tratamento não é eficiente e apresenta parâmetros superiores a 0,3 mg/L de concentração de ferro.

## REFERÊNCIAS

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017. ISBN 978-0-87553-287-5.

BARCELOS, T. D. J. **Cobre: vital ou prejudicial para a saúde humana?**. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Medicina pela Universidade da Beira Interior. Covilhã, junho de 2008.

BARROS, A. R. B., **Remoção de Íons Metálicos em Água Utilizando Diversos Adsorventes**, Dissertação de Mestrado UFSC 2001.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; PAIVA, M. L. de; RODRIGUES, H. R. S. Kit Analítico Simplificado: uma ferramenta para avaliação massiva da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, p. 95-105, 2014.

BAÚ, G. L.; PEITER, A.; FRANCESQUETT, J. Z.; REICHERT, M. B.; KERKHOFF, D. E.; VIEGAS, C. V. **Avaliação da concentração de ferro na água dos Lajeados que compõem a microbacia de abastecimento da população da cidade de Horizontina/RS**. FAHOR – Faculdade de Horizontina. SIEF. 2021.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrogeologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012. Cap. 22, p.849-870.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269/2005 ANVISA**.

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**. Disponível em: <https://alimentusconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2017/12/Portaria-de-Consolida%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-.pdf>. Acesso em 31 julho de 2021.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. R. **Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos**. Petrolina: EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 2007.

BURY, N.; GROSELL, M. Iron acquisition by teleost fish. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 135, p. 97-105, 2003.

CARVALHO, M. N. **Avaliação do processo de remoção de ferro em água de origem subterrânea por adsorção com materiais naturais**. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CASTILLA.M.C, **Eliminación de Contaminantes Orgánicos de las aguas mediante adsorción em materiales de carbón**, Departametro de Quimica Inorgánica, Facultade de Ciencias,Universidade de Granada, España, 2004.

CERRATO, J. M.; REYES, L. P.; ALVARADO, C. N.; DIETRICH, A. M. Effect of PVC and iron materials on Mn(II) deposition in drinking water distribution systems. **Water Research**, v. 40, p. 2720-2726, 2006.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and Purification Technology**, v.38, p.11–41, 2004.

CLAUDINO, A., **Preparação de Carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação de Mestrado -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M.O.O. **Eletroflotação: Princípios e Aplicações**, Editora Rima, São Carlos, 1a Ed., 96 p, 2004.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999.

DA ROCHA, W. D.; DA LUZ, J. A. M.; DE LENA, J. C.; BRUÑAROMERO, O. **Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de noz macadâmia e de semente de goiaba**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 59, n. 4, p. 409-414, out/dez. 2006.

DE ARAÚJO, G. V. R. et al. **Avaliação do teor de ferro dos principais sistemas de abastecimento de água da RMR/PE**. 2016.

Di BERNARDO, Luiz. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. 01, Rio de Janeiro, 1993. 496 p.

DE PAULA, F. S. **Influência de aspectos hidráulicos na otimização de parâmetros de projeto de reatores uasb tratando esgotos domésticos**, 2007.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas.** 2005. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005.

FERNANDES, T. F.; SILVA, J. N. **Estudo dos fenômenos do processo de eletrofloculação para um reator eletroquímico com eletrodos de alumínio.** 35p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Química – UAEQ/CCT/UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2012.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; HASENACK, H.; WEBER, E. **Zoneamento edáfico para as culturas da mamona, soja, girassol e canela na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.** Pelotas, RS. 2006.

FORNARI, M. M. T. **Aplicação da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de curtume.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo – PR, 2007.

FOUST, S.A., WENZEL, A.L, CLUMP, W.C, MAUS, L., ANDERSEM, B.L., **Princípios das Operações Unitárias,** Segunda Edição, LTC- Livros Técnicos e Científicos, Editora AS,RJ, 1982.

FRANCISCHETTI, Jaqueline. **Remoção de metais pesados em efluentes líquidos através da filtração adsortiva.** 2004. 81 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

FREIRE, R. S.; PEREIRA, W. S. Ferro Zero: Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Quím. Nova**, v. 28, n. 01, p. 130-136, 2005.

JUNIOR, J. F. **O excesso de ferro aumenta a incidência de câncer, de infarto do miocárdio e de infecções de repetição.** 2011. Disponível em: <http://www.medicinacomplementar.com.br/biblioteca/pdfs/Biomolecular/mb-0076.pdf>. Acesso em: 30 de julho de 2021.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa.** São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: ÁTOMO, 2010.

MACIEL, Naylson Moreira. **Remoção de ferro e manganês em águas de abastecimento, através de reatores granulares de fluxo ascendente: aplicação em poços profundos.** 1999. 186 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, 1999.

MADEIRA, V.S. **Desenvolvimento De Um Carvão Adsorvente Para Remoção De Íons Ferro Em Águas Naturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 89 f., 2003.

MANTEL, M. **Oxidação de Metais**. Módulo Geral, idem ref. 8. 2000.

MENDIETA, A. G.; RÍOS, M. S.; OLGUÍN, M. T. Evaluation of the sorption properties of a Mexican clinoptilolite-rich tuff for iron, manganese and iron-manganese systems. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 118, p. 489-495, 2009.

MOLLAH, M. Y. A. et al., “**Electrocoagulation (EC)—science and applications**”, Journal of hazardous materials, v. 84, n. 1, p. 29-41, 2001.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, v. B114, p. 199-210, 2004.

MORUZZI, R.B.; REALI, M.A.P. **Oxidação E Remoção De Ferro E Manganês Em Águas Para Fins De Abastecimento Público Ou Industrial – Uma Abordagem Geral**. Revista de Engenharia e Tecnologia v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012.

NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A.C.A.; VIDAL, C.B.; MELO, D.Q.; RAULINO, G.S.C., **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2014.

OKONIEWSKA, E.; LACH, J.; KACPRZAK, M.; NECZAJ, E. The removal of Manganese, iron and ammonium nitrogen on impregnated activated carbon. **Desalination**, v. 206, p. 251-258, 2007.

OLIVEIRA D. A; SCHMIDT, G; FREITAS, D. M. **Avaliação do Teor de Ferro em Águas Subterrâneas de Alguns Poços Tubulares, no Plano Diretor de Palmas-To**. Palmas: Universidade Federal do Tocantins – UFT. 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS– ONU. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: **agenda 21**. BRASÍLIA- DF. Disponível em:<<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: 26 julho de 2021.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. de F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>. Acesso em: 31 de julho de 2021.

PAULA, M. de. **Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana**. Tchê - Química, v. 3, n. 6, p. 37 - 44, 2006.

PIVELI, R. P. Curso: **Qualidade das Águas e poluição: Aspectos físico-químicos**, 2000.

PORTARIA MS N.º 518/2004. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília – DF, julho de 2005.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos Níveis de Basais de Concentração de Metais**. São Paulo: Biobiblioteca24horas, Seven System International Ltda, 2012. Google Books.

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 357. Conselho Nacional do Meio ambiente. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58 a 63.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1991. São Paulo, Edgard Blüschner.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água. Tecnologia atualizada**. São Paulo, 1998. 332 p.

RODRIGUES, E. T.; LOPES, I.; PARDAL, M. A. Occurrence, fate and effects of azoxystrobin in aquatic ecosystems: A review. **Environment International**, v. 53, p. 18-28, 2013.

RODRIGUES, F. R., SABIO MOLINA. M, **El carbón activado como adsorbente en descontaminacion ambiental**, Laboratorio de Materiales Avanzados, Departamento de Química Inorgánica. Universidade de Alicante, España, 2004.

SANTOS, Solange Regina dos. **Tratamento da água: Monitoramento das Características de Qualidade de Água Potável**. 2007. 244 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná – Setor de Tecnologia e Ciências Exatas. Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Curitiba, 2007.

SODRÉ, Fernando Fabríz. **Especiação de cobre em águas naturais: influência de fatores associados à urbanização**. 2005. 165 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós graduação em Química. Setor de Ciências Exatas. Curitiba, 2005.

SONTHEIMER, H. **Experience with riverbank filtration along the Rhine River.** Journal American Water Works Association , v. 72, n. 7, p. 386-390, 1980.

SOUZA, B. J. G. **Utilização de cascas de frutas como bioissorvente para remoção de poluentes em efluentes sintéticos.** Universidade Federal Rural do Semi-árido. Departamento de ciência e tecnologia. CARAÚBAS – RN, 2019.

STRELKO, V.; MALIK, D. J. Characterization and metal sorptive properties of oxidized active carbon. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 250, p. 213-220, 2002.

TEKERLEKOPOULOU, A. G.; VASILIADOU, I. A.; VAYENAS, D. V. Physico-chemical and biological iron removal from potable water. **Biochemical Engineering Journal**, v. 31, p. 74 – 83, 2006.

TRINIDAD, P., WALSH, F., & GILROY, D. **Conversion Expressions for Electrochemical Reactors which Operate under Mass Transport Controlled Reaction Conditions, Part I: Batch Reactor, Electronic Engineering PFR and CSTR.** International Journal of Engineering Education, 14, 431-441, 1998.

VERÍSSIMO, Liano Silva; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno. AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CRAJUBAR, REGIÃO DO CARIRI-ESTADO DO CEARÁ-BRASIL. **Águas Subterrâneas**, 2000.

VITALI, Luciano. **Microesferas de quitosana obtidas via spray drying contendo os agentes quelantes 3,3-bis-n,n, di-(carboximetil) aminometil-o-cresol-sulfonaftaleína e 8-hidroxiquinoleína-5 ácido sulfônico como adsorventes para Cu(II), Cd(II), Zn(II) e Fe(III) em meio aquoso.** 2008. 83f. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

YARDIM, M. F.; SAVOVA, D.; PETROV, N.; EKINCI, E. BUDINOVA, T.; RAZVIGOROVA, M.; MINKOVA, V. The influence of the texture and surface properties of carbon adsorbents obtained from biomass products on the adsorption of manganese ions from aqueous solutions. **Carbon**, v. 41, p. 1897 – 1903, 2003.

ZAMBETTA, Paula Munhoz Antunes. **Espécies químicas inorgânicas (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Sn) no sedimento e nos sólidos em suspensão do rio Corumbataí, SP.** 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2006.