

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

GREICE MARIA OSTROWSKI

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA EM ÁREAS
INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE ERECHIM-RS**

ERECHIM – RS

2020

GREICE MARIA OSTROWSKI

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA EM ÁREAS
INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE ERECHIM-RS**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico,
Departamento das Engenharias e Ciências
da Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Câmpus de Erechim.**

Orientador(a): Prof. Dr. Clarice Steffens

ERECHIM – RS

2020

GREICE MARIA OSTROWSKI

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA EM ÁREAS
INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE ERECHIM-RS**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico,
Departamento das Engenharias e Ciências
da Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Câmpus de Erechim.**

Erechim, ____ de _____ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Clarice Steffens
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dra. Juliana Steffens
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Rogério Marcos Dal Lago
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Dedico este trabalho aos meus laços mais queridos, minha família.

Agradecimentos

Chegou a tão esperada hora de concluir mais um ciclo em minha vida, o momento esperado tanto por mim quanto por todas as pessoas que fazem parte dela e por isso não poderia deixar de conceder a minha sincera gratidão aqui. Primeiramente, a Deus e ao Universo que me permitiu escolher a Engenharia Química e que principalmente tornou isso uma realidade para mim. Reservo este espaço para manifestar meu agradecimento a todos e de forma particular:

Num abraço apertado, agradeço aos meus pais, Irene e Izidoro, pelo apoio e incentivo por minha ascensão profissional e pessoal, principalmente pela inesgotável confiança nas minhas capacidades. E em especial, pelo impecável exemplo de vida!

Agradeço com o coração cheio de amor meus irmãos, Adriano e Dilvane, e aos meus sobrinhos, Eduarda, Vanessa e Bruno por terem o dom de transformar dias ruins em dias felizes, por serem a minha coragem e a linha luz!

Agradeço ao Anderson, meu amor, por suportar comigo os momentos de nervosismo, trazendo o humor e alegria para os meus dias!

Agradeço a minha orientadora, Clarice Steffens, pela acessibilidade, paciência e preocupação com as quais me instruiu. À Sandra Ballen e Cidiane Zeni, pela generosidade que sempre encontrei quando recorri a elas, e principalmente por terem compartilhado seus conhecimentos comigo, tornando esse trabalho possível!

Agradeço a minha banca, professor Dr. Rogério Dal Lago e a professor Dra. Juliana Steffens, por todas as sugestões bem vindas que enriqueceram o meu trabalho. E aqui abro um espaço especial para agradecer todos os professores que tive a honra de conhecer durante a graduação e que sempre estiveram dispostos a ajudar!

E por último e nunca menos importante, às minhas amigas, lemedelais, Franciele e Patrícia! A faculdade tem cor e brilho muito mais forte com vocês. Agradeço não só pelo auxílio dentro dela, mas muito mais pela amizade e companheirismo que levaremos para a vida. Sou infinitamente grata por esses cinco anos de realizações, risos, vitórias e aprendizados igualmente como sou grata pelos choros, erros e tropeços, pois tudo isso juntamente com a persistência levaram ao meu crescimento.

Agradeço a todos que não pude citar, mas que também me acompanharam e fizeram parte dessa jornada e a todos que torceram por mim durante essa etapa!

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

(José de Alencar)

RESUMO

O cádmio é classificado como um metal pesado, e por ser bioacumulável na natureza pode vir a causar grandes problemas à saúde humana e também ao meio ambiente. No presente artigo foi aplicada a espectrometria de absorção atômica para detecção de cádmio em amostras de água de rio coletadas em área industrial do município de Erechim-RS. Os parâmetros referentes a condutividade, turbidez e pH, se encontraram dentro dos valores permitidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005, porém os resultados obtidos para oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) demonstraram que o rio contém baixos níveis de oxigênio e alta demanda bioquímica de oxigênio. Os resultados obtidos não demonstraram a presença de Cd no rio de água doce, pois concentração deste elemento nas amostras é inferior ao limite de detecção da análise, mas foi possível detectar a presença e quantificar outros minerais, tais como, K, Mg e Na, os quais apresentaram índices elevados. As análises físico-químicas realizadas permitiram analisar o grau de poluição e capacidade de autodepuração da água em estudo.

Palavras Chaves: Cádmio. Poluição. Água de Rio.

ABSTRACT

Cadmium is classified as a heavy metal, and because it is bioaccumulative in nature it can cause major problems for human health and also for the environment. No article was applied to atomic absorption spectrometry to detect cadmium in river water bottles collected in the industrial area of Erechim-RS. The parameters specified for conductivity, turbidity and pH are included within the values allowed by CONAMA Resolution No. 357 of 2005, but the results obtained for dissolved oxygen (OD) and biochemical oxygen demand (BOD) demonstrate what the river contains low oxygen values and high biochemical oxygen demand. The results obtained did not demonstrate the presence of Cd in the freshwater river, as the concentration of these elements is below the detection limit of the analysis, but it was possible to detect the presence and quantify other minerals, such as K, Mg and Na, which high. The physical-chemical analyzes allowed to analyze the degree of pollution and the capacity for self-purification of water in the study.

KEYWORDS: Cadmium. Pollution. River water.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Aspectos legais	14
3.2	Qualidade da água	17
3.3	Parâmetros de qualidade da água	18
3.3.1	pH	18
3.3.2	Turbidez	19
3.3.3	Condutividade elétrica	19
3.3.4	Oxigênio dissolvido (OD)	19
3.3.5	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	20
3.3.6	Cor	20
3.4	Poluição da água e contaminação por metais pesados	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	Coleta de amostras	22
4.2	Análises	26
4.2.1	Turbidez	26
4.2.2	Condutividade elétrica	26
4.2.3	pH	27
4.2.4	Oxigênio dissolvido	27
4.2.5	Demanda bioquímica de oxigênio	28
4.2.6	Cor	29
4.2.7	Determinação de minerais e Cádmiu por espectrometria de absorção atômica	29
4.3	Análise estatística	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Parâmetros físico-químicos da água	30
5.2	Minerais e cádmio	34
6	CONCLUSÃO	36
6.1	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população aliado aos altos padrões de consumo e a falta de programas de reciclagem e reutilização, tem causado problemas de poluição ambiental levando ao aumento da geração de resíduos e à necessidade de áreas de disposição. Devido às falhas na escolha desses locais, projetos de tratamento e falta de manutenção, acaba que resíduos tóxicos fluem para áreas próximas, contaminando águas subterrâneas, assim, comprometendo seu uso. Qualquer modificação química, biológica ou física é considerada poluição, uma vez que essas modificações venham alterar o ecossistema (VIEIRA *et al.*, 2015). As alterações podem ocorrer por lançamentos de resíduos em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos, que prejudicam direta ou indiretamente a saúde e o bem estar da população (RIGO, 2019).

A água recobre 75% da superfície da Terra, sendo assim o componente mais abundante da natureza (GAUTO e ROSA, 2011). Em estudo realizado pela Fundo Mundial para a Vida Selvagem e Natureza revela que de toda a água existente no mundo, 97,5% encontra-se em mares e oceanos e o restante dos 2,5% em geleiras, rios, lagos e águas subterrâneas, são consideradas como “água doce”. Desta pequena quantidade, menos de 1% está disponível para consumo humano (ANA, 2011).

A poluição das águas tem afetado gravemente rios e lagos. Assim a água que não é adequada para uso humano e para processos industriais é considerada poluída. Essa poluição pode ser ocasionada por diferentes situações, tais como, presença de matéria orgânica oriundas de animais e/ou vegetais em decomposição, lixiviação de solos e rochas, uso de pesticidas, lançamento de esgoto doméstico e industrial, bem como contaminação por metais pesados (RIGO, 2019).

Os metais pesados são tóxicos, mesmo em baixas concentrações, e não são biodegradáveis. Entre os metais pesados o Cádmio (Cd) e o Chumbo (Pb) são considerados os mais tóxicos. Ambos já foram citados em vários estudos como causadores de doenças renais, hipertensão, alguns tipos de câncer, alterações celulares, entre outros (SANTANA, 2018).

Os metais pesados são constituintes naturais da crosta terrestre, mas a contribuição antropológica para a sua quantidade na água é a maior fonte de contaminação. A poluição química pode vir a gerar mortalidade, mas normalmente

não atinge níveis tão graves. Porém, a preocupação com esses compostos tóxicos se dá a exposição em longo prazo mesmo em baixas concentrações (MACHADO, 2017). Os efeitos no organismo por longo tempo podem afetar a reprodução, o desenvolvimento, o comportamento e a suscetibilidade a doenças nos seres vivos uma vez que, tanto o elemento Cd, quanto compostos de Cd recebem a classificação de carcinogênicos pela Agência Internacional de pesquisa de câncer (IARC, 2018).

A contaminação de rios está relacionada diretamente ao uso e modo de ocupação do solo. A urbanização sem planejamento correto acarreta na contaminação de sistemas aquáticos juntamente com a fauna e flora. A agricultura por fazer uso de agrotóxicos é umas das fontes de contaminação de rios no Brasil, pois faz uso de substâncias tóxicas presentes nos pesticidas e fertilizantes que sofrem lixiviação e atingem recursos hídricos. Dentre outros causadores de contaminação está o esgoto doméstico sem saneamento básico que tem como destino final os rios e lagos e isso pode ocasionar doenças à população que vive nessas condições e os efluentes gerados por indústrias e indevidamente tratados que são descartados em rios e córregos (BAICAN, 2019).

A contaminação do meio ambiente por Cd pode ocorrer pelos efluentes industriais, como de galvanoplastias, produção de pigmentos e soldas (VIEIRA *et al.*, 2015). O Cádmiio ainda é utilizado em ligas metálicas, como revestimento anticorrosivo, em tintas, como estabilizador de plásticos de polivinil (PVC) e em baterias (NiCd). Mas, os fertilizantes fosfatados são os maiores contaminantes ambientais por Cd, e ao infiltrarem-se no solo chegam até às águas superficiais (SANTOS, 2019). E isso acaba sendo um entrave na questão ambiental de águas doces, pois os ecossistemas aquáticos estão vulneráveis a diferentes agentes poluidores. Assim a preservação dos cursos d'água vem ganhando maior impacto, tanto para a própria preservação do meio ambiente como para assegurar os aspectos sociais, econômicos e políticos. A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece condições e os padrões de qualidade de água, bem como um limite máximo de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ de Cd em águas doces (BRASIL, 2005).

Características físicas, químicas e microbiológicas podem ser parâmetros de qualidade da água. Dentre as análises físico-químicas que avaliam o grau de contaminação da água podem ser citadas a demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, minerais, condutividade elétrica, turbidez, cor e pH.

Relacionando os elevados riscos à saúde que o Cd pode causar e tendo em vista os limites permitidos de cádmio presente na água, a detecção desse metal é de extrema importância para o monitoramento ambiental. Os métodos tradicionais para detectar metais pesados em água são as técnicas colorimétricas e por espectrometria de absorção atômica. Método como espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS - do inglês *Flame Atomic Absorption Spectrometry*), a qual possui limite de detecção em torno de $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ (1,0 ppb), espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GF AAS - do inglês *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*) com limite de detecção em torno de $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$ (0,01 ppb), são as mais utilizadas por questões de disponibilidade e custos (SINCLAIR *et al.*, 2015).

No Brasil, os padrões de qualidade para os corpos de água são fixados pela Resolução CONAMA nº. 357/2005, que dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do corpo receptor. E diante desses registros, o conhecimento dos potenciais de um corpo d'água é indispensável para identificar os fatores que afetam a qualidade da água. Além disso, ações podem auxiliar na prevenção dos impactos futuros decorrentes de determinados eventos ou condições específicas, auxiliando a administração dos recursos hídricos com propostas ou alternativas concretas para a conservação ou a recuperação dos recursos hídricos. Com isso há necessidade de monitorar o teor de contaminantes químicos em corpos hídricos, principalmente em áreas industriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Neste sentido este trabalho teve como objetivo detectar e quantificar o elemento cádmio (Cd) e analisar físico-quimicamente as amostras de água de rio próximo às áreas industriais que possivelmente eram locais de contaminação na cidade de Erechim.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar amostras de água no Rio Tigre situado na cidade de Erechim-RS;

- Realizar análises físico-químicas da água (cor, turbidez, pH, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido);
- Determinar qualitativamente e quantitativamente a presença de metais e minerais (Mg, Na e K) por meio de espectrometria de absorção atômica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos legais

O Decreto Federal nº. 24.643 de 10 de julho de 1934 é nomeado como o Código das águas e foi o marco legal fundamental para a gestão dos recursos hídricos no Brasil e ainda em vigor (LEAL, 1998). Após este marco histórico na legislação nacional, destacaram-se outras Leis de significância para o país. Por meio da Lei nº 9.984 de julho de 2000 foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA) que é uma entidade federal que faz a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SOARES, 2003). Já o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou, em 1986, a principal Resolução destinada ao controle de poluição hídrica, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Em 17 de março de 2005, o CONAMA a reeditou, com algumas alterações, e ainda está em vigência, como Resolução nº 357 (CUNHA, 2016).

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 determina que a qualidade das águas seja relacionada ao seu respectivo uso, ou seja, a classificação da qualidade da água de um recurso hídrico deve estar baseada em diagnósticos regionais, considerando-se dados socioeconômicos, uso do solo e usos pretendidos dos recursos hídricos, de modo a assegurar seus usos (FAGUNDES et., 2016). Referentes ao padrão de qualidade das águas para cada classe determinada pela Resolução são estabelecidos limites individuais para cada substância. E é nesse conjunto de parâmetros monitorados periodicamente pelo Poder Público que a classificação é enquadrada (HESPANHOL, 2009).

As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes (HESPANHOL, 2009), mas o objeto de estudo deste trabalho, é referente às águas doces que são classificadas em cinco classes, sendo elas descritas na Tabela 1.

Sendo o enquadramento dos corpos de água em classes, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Para cada classe de corpos d'água são estabelecidos limites máximos ou mínimos dos 20 parâmetros de qualidade de água, que chegam a aproximadamente 100 parâmetros (SOUZA, 2015).

A Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 complementou e alterou a Resolução CONAMA n° 357/2005 em relação às condições e padrões de lançamentos de efluentes, aplicada somente aos corpos d'água superficiais. Para as águas subterrâneas, é a Resolução CONAMA n° 396, de 03 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento e dá outras providências (SOUZA, 2015).

Percebe-se dessa maneira que os mais diversos usos da água estão submetidos a leis, resoluções e portarias nacionais, as quais de diferentes maneiras visam garantir às atuais e futuras gerações acesso a água em quantidade e qualidade adequada, porém existe ainda uma falta de cobertura dos serviços de saneamento e a falta de monitoramento e de fiscalização. E essa carência de monitoramento é a justificativa para muitos problemas ambientais do país (HESPANHOL, 2009), tais como a desativação do abastecimento da barragem na cidade de Erechim pelo Rio Tigre a mais de 40 anos devido ao seu alto grau de poluição (ELOVERDE, 2020).

Tabela 1 - Destino das águas doces segundo a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005

Classificação	Destino
Classe especial	<ul style="list-style-type: none"> • ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; • à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; • à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; • à proteção das comunidades aquáticas; • à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; • à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; • a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; • à proteção das comunidades aquáticas; • à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; • à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; • à aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; • à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; • à dessedentação de animais.
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> • à navegação; • à harmonia paisagística.

3.2 Qualidade de água

A água de fórmula química H_2O por mais simples que pareça é de vital importância para a sobrevivência dos seres vivos, uma vez que está presente na maioria dos processos metabólicos e até hoje não se conseguiu reproduzi-la artificialmente. O máximo alcançado foi ajustes de parâmetros da sua qualidade e seus respectivos tratamentos ou purificação para torna-la potável ou adequada para o consumo humano e para usos de diferentes processos industriais (REBOUÇAS, 2015). Além da sua importância vital para os seres vivos, ela também pode ser considerada como indicador ambiental de grande eficiência, pois levado em conta o ciclo hidrológico, a água interage com todo ambiente e isso pode trazer informações referentes à sua qualidade (OKI, 2002).

Na atualidade, um dos maiores desafios para o homem é suprir a demanda de água potável, devido à escassez crescente e ao comprometimento da qualidade das águas (PAIVA, 2001). Segundo Von Sperling (2005) a definição dessa qualidade na ótica da Engenharia Ambiental, é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H_2O , pois sendo um solvente universal e tendo a capacidade de transportar partículas, a água incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água. Então, quando se utiliza o termo “qualidade da água”, é necessário compreender que esse termo também se refere às características químicas, físicas e biológicas, e que conforme estas características são estipuladas diferentes finalidades para a água. Assim, como já mencionado a Resolução 357/2005 do CONAMA, procurou estabelecer parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos naturalmente presentes, considerando os diferentes usos.

A qualidade das águas pode ser deteriorada por metais e outros compostos orgânicos como também pode ser comprometida por agentes orgânicos provenientes dos esgotos industriais e domésticos. A decomposição e a interferências destas matérias podem causar consequências para os seres vivos (MULLER, 2001). Segundo Tundisi (1999), a qualidade dos corpos de água em uma cidade é uma das principais referências de qualidade de vida da cidade. Pois a água é um bem natural dotado de valor econômico e deve ser garantida tanto para a manutenção do equilíbrio ecológico como para os múltiplos usos exigidos pela sociedade, garantindo, assim, a sua conservação para as futuras gerações.

A diminuição da qualidade da água é um grave problema que precisa ser enfrentado. Grande parte populacional brasileira enfrenta problemas graves relacionados à água, desde situações de extrema carência até o desperdício, passando por problemas de baixa qualidade (AUGUSTO *et al.*, 2012). O conceito de qualidade da água está associado aos usos para qual a água se destina, ou seja, quanto melhor for a qualidade da água, mais nobre será seu uso. A sua baixa qualidade é diagnosticada através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e pode ser ocasionada pela poluição, que altera as características naturais da água, causando um desequilíbrio em todo o sistema hídrico. E em se tratando de poluição, esta é diretamente associada às características naturais das águas e às atividades antrópicas que são desenvolvidas na mesma. Dentre as atividades antrópicas, destacam-se as atividades industriais e agrícolas (PRASAD *et al.*, 2013). E a utilização dos parâmetros físicos, químicos e biológicos para o monitoramento da qualidade da água, pode sugerir em que medida os ecossistemas aquáticos podem estar sendo afetados, comprometendo inclusive a qualidade final do marisco para consumo humano (CORREIA *et al.*, 2015).

3.3 Parâmetros de qualidade da água

O grau de contaminação das águas é medido por meio de características físicas, químicas e biológicas das impurezas existentes que, por sua vez, são identificadas por parâmetros de qualidade das águas. Os principais parâmetros físico-químicos de qualidade das águas são: cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e condutividade elétrica (HESPANHOL, 2009). A seguir são apresentados alguns parâmetros de qualidade de água avaliados no presente estudo.

3.3.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) numa solução, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O pH pode variar de 1 a 14, indica ser uma água ácida quando o pH for inferior a 7, é neutro quando o pH for igual a 7 ou alcalina se o pH estiver maior do que 7. A sua variação pode contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e, em outras condições, exercer efeito sobre a solubilidade de nutrientes. Os valores entre 6 e 9 é que são considerados compatíveis, em longo prazo, para a sobrevivência da maioria dos organismos aquáticos. A violação destes limites por longos períodos de tempo, ou fortes

oscilações de pH em curto prazo, resultam na inibição dos processos metabólicos, na redução de espécies de organismos ou no poder de autodepuração (BORTOLI, 2016).

3.3.2 Turbidez

A turbidez é representada através de partículas suspensas na água que podem estar associadas à presença de plâncton, microorganismos, argila, além de partículas finas associadas a diferentes fontes de poluição (ANA, 2011). Assim, quanto maior for a turbidez, mais difícil será a passagem de luz pela coluna d'água e conseqüentemente a transparência será menor afetando a entrada de luminosidade nos mananciais e conseqüentemente as reações ocorrentes no meio (SOUZA, 2015), prejudicando a oxigenação do meio, principalmente em águas paradas ou mesmo em rios de baixa turbulência. A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta no aumento da turbidez das águas. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. As chuvas que causam vazões maiores podem ser muito variáveis, provocando graus diferentes de erosividade, afetando os terrenos das encostas e das margens. (BORTOLI, 2016).

A análise de turbidez é realizada pelo método nefelométrico, baseado na comparação da intensidade da luz dispersa em amostra, com a intensidade de luz dispersa em uma solução padrão. Este método requer de um equipamento, o turbidímetro, em que o resultado é obtido instantaneamente (OLIVEIRA e QUEIROZ, 2018).

3.3.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água representa a capacidade de transmissão da corrente elétrica através da presença de íons dissolvidos na água. Essas substâncias dissolvidas na água geralmente são íons de ferro, manganês, potássio, cloreto, sódio, cálcio e magnésio e quanto maior a concentração destes íons maior será a condutividade elétrica (LIBÂNIO, 2010).

3.3.4 Oxigênio dissolvido (OD)

Para os organismos aeróbios o oxigênio dissolvido é de extrema importância, pois as bactérias presentes na água fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, e assim causam uma redução da concentração do mesmo no meio.

Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. E caso isso venha acontecer, tem-se a condição anaeróbia, com geração de maus odores. É o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 2005).

De acordo com um estudo realizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), as faixas de concentração de oxigênio dissolvido com as respectivas comunidades aquáticas que podem suportar tais níveis de oxigênio dissolvido são: de 0 a 2 mg.L⁻¹ é insuficiente para manter a vida aquática, de 2 a 4 mg.L⁻¹ somente poucas espécies de peixe podem sobreviver, de 4 a 7 mg.L⁻¹ é aceitável para peixes de águas quentes e de 7 a 11 mg.L⁻¹ é ideal para peixes de águas frias.

3.3.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

É um parâmetro imprescindível nos estudos de autodepuração dos cursos d'água e composição dos índices de qualidade dos mesmos, pois é utilizado para estabelecer a poluição produzida por matéria orgânica lançada no rio, que corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantidos a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencional. Essa demanda pode ser tão grande que pode consumir todo o oxigênio dissolvido da água e isso também pode resultar na morte de peixes (VON SPERLING, 2005).

3.3.6 Cor

Algumas substâncias dissolvidas na podem ocasionar aparecimento de cor. “Quando pura, e em grandes volumes, a água é azulada, quando rica em ferro é avermelhada e quando rica em ácidos húmicos, é amarelada” (ALVES, 2010). Então, a cor da água pode ser natural ou resultado de uma fonte de contaminação, por exemplo, por corantes industriais e esgotos domésticos. O pH elevado pode intensificar a cor visível (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009). Os compostos orgânicos que dão cor às águas naturais estão relacionados à decomposição de matéria orgânica de origem vegetal e do metabolismo de organismos presentes no solo e de atividades antrópicas (LIBÂNIO, 2010).

3.4 Poluição da água e contaminação por metais pesados

A água é considerada uma estrutura socioeconômica por ser capaz de proporcionar o desenvolvimento de diversas atividades, tais como, a agrícola, industrial, pecuária, aquicultura e outras (CARVALHO *et al.*, 2016). E no estado do Rio Grande do Sul o emprego de águas superficiais, ainda, é prática comum, porém na maioria dos municípios, o rápido crescimento populacional resultou em grandes áreas que dependem de sistemas de saneamento e muitos que não possuem nenhum sistema para tratar seus efluentes. Ressaltando que são diversos os fatores que estabelecem a qualidade da água para abastecimento público, dentre eles encontra-se o lançamento de efluentes e resíduos em rios. Essa prática vem comprometendo a qualidade da água, exigindo investimento nas estações de tratamento e alterações na dosagem de produtos para se garantir a qualidade da água na saída das estações (KOCH *et al.*, 2017).

Resíduos sólidos também são fontes poluidoras de águas, uma vez que se depositadas em solo nenhuma impermeabilização e contenção dos contaminantes, a água da chuva e o líquido proveniente da decomposição da matéria orgânica (chorume) são progressivamente lixiviadas. Os tipos de contaminantes predominantes oriundos destes resíduos são os compostos de nitrogênio, os microorganismos patogênicos, e em alguns casos, produtos químicos orgânicos sintéticos (CAPALONGA, 2017).

A agricultura exerce importante influência sobre a qualidade da água, pois algumas das suas práticas provocam grave contaminação difusa, por nutrientes (sobretudo nitratos) e, às vezes, por agrotóxicos. Outra fonte poluidora de rios e lagos é a indústria, essa tem grande potencial de carga contaminante no subsolo em decorrência da emissão de efluentes líquidos, do despejo inadequado de resíduos sólidos e efluentes e de materiais indesejados, além de acidentes envolvendo vazamentos de produtos químicos (CAPALONGA, 2017). Dentre essas substâncias potencialmente poluidoras, se encontram os metais pesados que se dissolvem na água, incluindo arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata. Vários destes metais se concentram na cadeia alimentar, resultando num grande perigo para os organismos vivos (WAHEED *et al.*, 2018).

Os metais podem ser liberados para o meio ambiente pelas atividades industriais, especialmente das áreas de galvanoplastia, fundição de metal e química, além de

águas residuais domésticas e agrícolas não tratadas adequadamente. Dentre estes, destaca-se especialmente o Cd por sua alta toxicidade, causando danos á saúde, podendo causar danos nos rins, além de câncer (LIU *et al.*, 2017). Ele é usado como estabilizantes em produtos de policloreto de vinil (PVC), pigmentos de cor, várias ligas e, agora mais comumente, em baterias recarregáveis de níquel-cádmio. O cádmio metálico tem sido usado principalmente como agente anticorrosivo (cadmiação).

Os metais pesados são conhecidos por terem meia vida prolongada, não serem biodegradáveis e pelo seu potencial de acumulação em diferentes partes do organismo humano (WAHEED *et al.*, 2018). A toxicidade é dada até mesmo em pequenas concentrações, como por exemplo o cádmio, que apresenta limite em água doce de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ (VON SPERLING, 2005). Portanto, um rastreamento rápido, sensível e preciso em amostras de água, é altamente desejável.

4 METODOLOGIA

Todo material utilizado (balões volumétricos, espátulas, béqueres, placas de petri, etc.) foi submetido a um procedimento de limpeza com solução de HNO_3 (ácido nítrico) 3 M (65 %) com posterior lavagem com água destilada (OS10LXE - Gehaka), água deionizada (Permuton) e água ultrapura (Millipore Co. $18,2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$), para assegurar a ausência de quaisquer resíduos orgânicos que pudessem interferir nas análises.

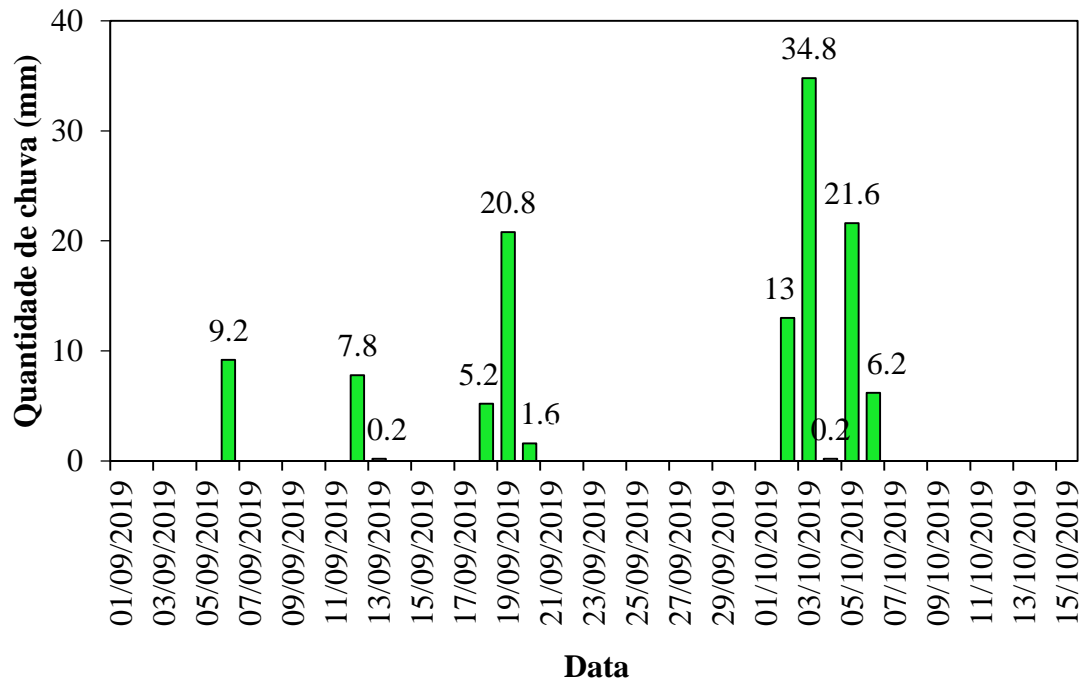
Os reagentes utilizados neste trabalho foram: ácido nítrico (HNO_3 - Química Moderna, 65 %), sulfato de manganês (MnSO_4 - Synth, 99%), tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ - Synth, 99%), hidróxido de sódio (NaOH - Dinâmica, 99%), iodeto de potássio (KI - Synth, 98%), pastilhas de hidróxido de sódio (NaOH - Dinâmica, 99%), azida de sódio (NaN_3 - Dinâmica, 99%), padrão de Cádmio (Cd -Alamar Tecno Científica, 99%), solução-padrão estoque de sódio (Na - Specsol, 99%), potássio (K - Specsol, 99%), magnésio (Mg - Specsol, 99%) e gás combustível/Ar Sintético-gás oxidante (White Martins).

4.1 Coleta de amostras

As amostras de água foram coletadas semanalmente durante dois meses em um rio próximo ao Distrito Industrial na cidade de Erechim, onde estão localizadas empresas metais mecânicas, de alimentos, produtos químicos e veterinários que possuem potencial poluidor e que ao lançarem seus rejeitos podem contaminar a água do rio.

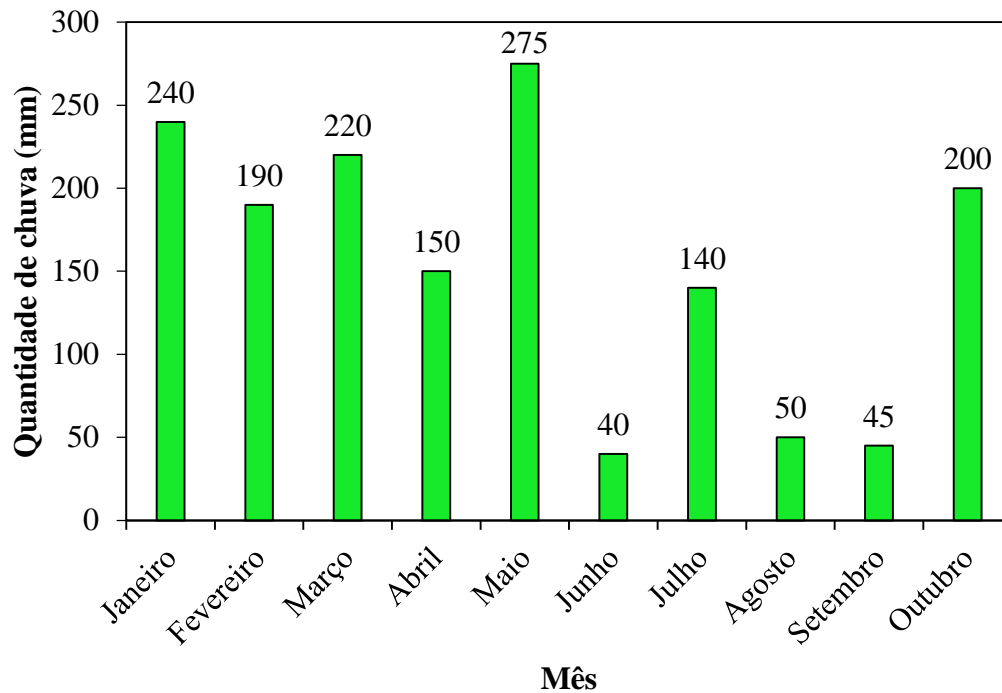
Foram realizadas três coletas amostrais a fim de se obterem dados referentes às variações de índice pluviométrico na concentração dos compostos nos corpos d'água, sendo denominadas como: Amostra A, Amostra B, e Amostra C. As mesmas foram realizadas nos dias 23 e 30 de setembro e 7 de outubro de 2019, contemplando períodos com e sem precipitação de chuva. Os dados pluviométricos referentes ao período de coleta da água foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estão demonstrados na Figura 1. A Figura 2 apresenta o acumulado de chuvas no período investigado. Segundo esses dados, o mês de outubro foi bem mais chuvoso do que o mês de setembro.

Figura 1 - Dados pluviométricos referentes ao período de coleta.



Fonte: INMET (2019).

Figura 2 - Dados referentes ao acúmulo de chuvas no período investigado.



Fonte: INMET (2019).

Todos os pontos de amostragem estão localizados no rio Tigre, rio que não abastece a barragem da CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento) a mais ou menos 40 anos, pois foi desativado devido ao seu alto grau de poluição. As nascentes do Rio Tigre ficam localizadas em quase sua totalidade na área urbana de Erechim. O leito principal encontra-se canalizado em partes do percurso. Os cursos de água apresentam-se em partes canalizados e impactados pelas atividades urbanas, pois recebem lançamento de esgotos e de resíduos sólidos. Esse trecho inicia-se próximo a ponte da comunidade do Rio Tigre e termina junto a ponte da estrada para Áurea na RS 477 totalizando a extensão de 1.370 m. A disponibilidade hídrica indica que sua vazão média é de $0,804 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e sua bacia do abrange quase à totalidade da área urbana de Erechim (cerca de 90 %). Constitui-se de um trecho do Rio Tigre com menores gradientes de declividades, e conseqüentemente local de depósito de resíduos nas margens e nas árvores de entorno, onde estes resíduos ficam presos, ou mesmo nos poteiros e lavouras (ELOVERDE, 2011).

A Figura 3 mostra a localização dos pontos amostrais abordados nesse trabalho e a Figura 4 retrata o ponto das coletas. As coordenadas do local de coleta foram as

seguintes: latitude $-27^{\circ}39'42.0''\text{S}$ e longitude $-52^{\circ}14'08.6''\text{W}$. A escolha deste local se deu devido ao acesso fácil e pela água nesse ponto não apresentar correnteza.

Figura 3 - Localização dos pontos amostrais.



Fonte: Google Maps.

Figura 4 - Ponto de amostragem: rio Tigre no município de Erechim.



Fonte: A autora.

As amostras foram coletadas a uma profundidade 10 a 15 cm abaixo da superfície da água, para evitar contaminantes superficiais. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno, com capacidade de 500 mL, previamente descontaminados com ácido nítrico (3 M, Química Moderna – 65%) e enxaguados vigorosamente com água destilada e ultrapura. As coletas foram realizadas por duas pessoas, sendo que uma era responsável pelo manuseio dos materiais que não entraram em contato direto com a amostra e a outra que manipulava somente os materiais destinados a receber a amostra.

Os frascos contendo as amostras foram selados com papel alumínio, fechados e colocados em caixa térmica para transporte. Todas as amostras coletadas foram filtradas com papel filtro quantitativo (J Prolab) faixa preta com gramatura de 80 g.m⁻² e tamanho de poro de 28 µm, para garantir a remoção sujidades maiores, aumentando assim a seletividade do método de detecção. Todas as amostras foram preservadas congeladas, em refrigerador (Brastemp) à -20°C para manter os compostos de interesse inalterados.

4.2 Análises

As análises físico-químicas das amostras de água realizadas foram de turbidez, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Cd e minerais. Os métodos para análise destes parâmetros são de acordo com Métodos padrão para o exame de água e efluentes, 23^o edição (APHA, 2017). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.1 Turbidez

A turbidez ocorre em águas com partículas suspensas (partículas de solos, indústrias, ou mesmo de esgoto das cidades e outros). A análise de turbidez foi realizada com auxílio de um aparelho chamado turbidímetro (Poli Control, Modelo AP – 2000). Por meio desta análise é possível detectar a presença de partículas em suspensão, relativa à cor, o qual pode concorrer para o agravamento da poluição. A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio (AZHAR *et al.*, 2015). Após calibração do aparelho, as amostras foram introduzidas uma por vez na cubeta do instrumento e foi realizada as respectivas leituras.

4.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade é a capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. A medição da condutividade elétrica foi feita por meio do aparelho denominado condutivímetro (Bel, Modelo W12D). Essa análise corresponde a uma medida resultante da aplicação de uma dada força elétrica, que é diretamente proporcional à quantidade de sais presentes em uma solução (HATORI *et al.*, 2018). Com o eletrodo posicionado de forma que a sua ponta ficasse imersa dentro amostra, aguardou-se a estabilidade do dispositivo e posteriormente a isso foi realizado a leitura de cada coleta. O display indicava a condutividade em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

4.2.3 pH

O pH foi obtido por meio de um pHmetro (Quimis, Q400A), devidamente calibrado em solução tampão 7 e 4. Este instrumento que mede o potencial hidrogeniônico de uma substância, indicando se ela é ácida, neutra ou básica. O equipamento funciona com um eletrodo que gera uma tensão quando é submerso na amostra: a intensidade da tensão é medida e convertida em uma escala de pH, que é apontada em uma numeração que vai de 0 a 14, em que índices iguais a 7 indicam neutralidade, menores do que 7 apontam acidez e acima disso representam alcalinidade. Após ajustar o sensor de forma que a ponta do eletrodo fique totalmente imersa dentro da amostra, e efetuou-se a leitura (HATORI *et al.*, 2018).

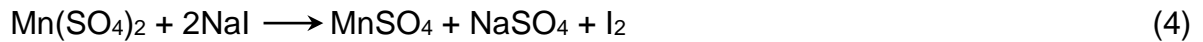
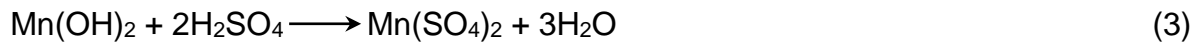
4.2.4 Oxigênio Dissolvido

O OD é um parâmetro muito importante para o controle da poluição das águas. A determinação de OD foi realizada adicionando-se à 300 mL da amostra 2 mL de sulfato de manganês 0,2 M e 2 mL de álcali-iodeto-azida. Posteriormente, o sulfato de manganês reage com o hidróxido de sódio ocorrendo a formação de precipitado de hidróxido manganoso (1), o qual, na presença de oxigênio da amostra é oxidado para óxido mangânico (2), caracterizado pela formação de um precipitado de cor marrom:



Depois foi adicionado 2 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Neste momento, o precipitado se dissolveu e se formou o sulfato mangânico (3) que reagiu

com o iodeto de potássio (4), liberando iodo em quantidade equivalente à quantidade de oxigênio dissolvido na amostra.



O iodo liberado foi então titulado com tiosulfato de sódio 0,1 N. Para isto, transferiu-se 100 mL desta amostra para um erlenmeyer de 250 mL e titulou-se, utilizando solução de amido como indicador até o desaparecimento da cor azulada, descrito na reação (5):



O cálculo de da quantidade de OD foi obtido pela Equação 1 e resultado é dado em mg OD.L⁻¹:

$$\text{mg OD} = \frac{V_1 \times N \times 8.000}{V_2} \quad (1)$$

Onde:

V_1 = volume de solução de tiosulfato de sódio utilizados na titulação (mL);

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio (N);

V_2 = volume da amostra titulada (no caso de uso de 100 mL sem diluição da amostra pura, utilizar o valor de 98,7).

4.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO quantifica o oxigênio necessário para que as bactérias aeróbias destruam a matéria orgânica biodegradável (GAUTO e ROSA, 2011). Esta análise foi determinada pela incubação das amostras de água sob temperatura de 20°C durante 5 dias. A incubação foi realizada utilizando o kit de oxitop (WTW – do inglês Watermark). Em cada frasco foi utilizado 164 mL de cada amostra e adicionado no suporte de borracha duas pastilhas de hidróxido de sódio. Os frascos de oxitop após devidamente tampados foram incubados por 5 dias em uma incubadora (Nova ética - 430 RDB) com agitação de 120 rpm à 20 °C.

De acordo com a Ambiental análise (2013) o volume de amostra utilizado deve corresponder à quantidade de carga orgânica presente na massa de água. Para o cálculo de carga orgânica é necessário o conhecimento da vazão do esgoto que é despejado no rio, sem essa informação, mas levando em conta que a bacia do Tigre abriga quase toda a totalidade da área urbana de Erechim (ELOVERDE, 2011), para o presente trabalho foi atribuído um valor de carga orgânica médio com um de fator de multiplicação igual 10.

4.2.6 Cor

A cor foi analisada com auxílio de um colorímetro (Minolta, CR-400), previamente calibrado em superfície branca de acordo com padrões pré-estabelecidos. As amostras de água foram depositadas em pequenas placas de petri e então a medição foi realizada. Foram avaliados 3 parâmetros de cor: L^* , a^* e b^* . O valor de a^* caracteriza coloração na região do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), o valor b^* indica coloração no intervalo do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). O valor L nos fornece a luminosidade, variando do branco ($L=100$) ao preto ($L=0$) (HARDER *et al.*, 2007).

4.2.7 Determinação de minerais e Cádmiu por espectrometria de absorção atômica

Por meio da análise de espectrometria de absorção atômica (AAS) utilizando um espectrômetro Varian (Modelo espectra 55) foi realizada a detecção e quantificação do Cd e outros minerais como o magnésio, potássio e sódio nas amostras de água utilizando a metodologia recomendada pelo Métodos padrão para o exame de água e efluentes (APHA, 2017).

Para tanto, 150 mL das amostras foram digeridas em 10 mL de HNO_3 (Química Moderna – 65%) em chapa de aquecimento (Fisatom, modelo 752A) até o volume final ficar em 50 mL. Posteriormente, essa amostra foi analisada em um AAS equipado com corretor de *background* (modelo contrAA 700, Analytikjena). O atomizador utilizado foi o de chama do tipo acetileno (gás combustível/Ar Sintético -gás oxidante) com fluxo de 40-120 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$. O tratamento dos dados foi realizado pelo Software Aspect CS.

Foram preparadas soluções-padrão levando em consideração a sensibilidade do equipamento e a faixa linear de trabalho para cada elemento: Cd ($0,1089 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); Mg ($0,0366 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); K ($0,082 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e Na ($0,0463 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). A leitura das absorbâncias das soluções-padrão foi realizada, onde o branco foi zerado e obteve-se a curva-padrão

para cada elemento a ser determinado usando regressão linear. Em seguida, realizaram-se as leituras das amostras em triplicata.

4.3 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram submetidos à análise estatística dos dados de variância (ANOVA) com a aplicação do teste de Tukey para comparação entre as amostras, com 95% de significância. Estas análises foram realizadas pelo programa estatístico computacional SAS (Statistical Analysis System Institute).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros físico-químicos da água

As análises físico-químicas são uma forma de monitoramento que podem fornecer subsídios às políticas de proteção ambiental, permitindo que se faça uma avaliação do grau de poluição e de contaminação de águas doces (LOPES, 2017). As características físico-químicas da água de rio coletadas em períodos diferentes estão apresentadas na Tabela 2.

Observa-se que em todas as amostras coletadas, a turbidez encontra-se dentro dos limites estabelecidos para Classe 1 que estabelece turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT) para rios de água doce (Tabela 3), valores acima disso tornam a água insatisfatória para potabilidade. Também é possível observar que as amostras diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e há maior turbidez na amostra do dia 07/10/19, mesmo esta estando dentro do valor permitido pela Resolução nº 357/05 do CONAMA, o que pode ter sido ocasionada pela ocorrência de chuvas mais intensas no dia anterior às coletas, que por sua vez acarretam a movimentação de cargas sedimentares. A bacia do Tigre abriga quase toda a totalidade da área urbana de Erechim, e seu leito principal encontra-se canalizado em parte do seu percurso e assim o rio é diretamente impactado pelas atividades urbanas, uma vez que nele ocorrem lançamento de esgotos sem tratamento e de resíduos sólidos (BRASIL, 2005).

Junto ao ponto de coleta observou-se uma grande quantidade de resíduos sólidos, dos mais variados tipos (roupas, garrafas pet, sacolas plásticas, entre outros), no leito do rio como também nas margens. Além da poluição pelos resíduos sólidos, ocorre também uma poluição visual que indica um descaso acerca destes resíduos. Outro aspecto bastante marcante observado durante a coleta foi o odor forte, característico de efluentes domésticos e industriais.

Tabela 2 - Características físico-químicas das amostras de água de rio.

Amostras	Condutividade ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	pH	Turbidez (UNT)
23/09/19	310,67 ^a \pm 1,15	7,28 ^b \pm 0,05	3,03 ^c \pm 0,48
30/09/19	291,67 ^b \pm 1,15	7,48 ^a \pm 0,08	17,10 ^a \pm 0,10
07/10/19	121,47 ^c \pm 0,06	7,20 ^b \pm 0,02	4,43 ^b \pm 0,13

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo comparadas letras minúsculas entre colunas.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 357/2005, subdividiu as águas doces em classes. A Classe 1 pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado. A Classe 2 são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional. As águas da Classe 3 representam águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado.

Tabela 3 - Valores máximos permitidos nos parâmetros físico-químicos da água doce, conforme a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e nº 430 de 2011 de acordo com a classe de água.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Turbidez (UNT)	40	100	100
OD ($\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$)	≥ 6	≥ 5	≥ 4
DBO ($\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$)	3	5	10

Fonte: Brasil (2005).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 o pH de águas doces deve estar entre 6,0 e 9,0. A análise de pH não teve diferença significativa entre as amostras do dia 23/09 e 07/10/19, mesmo assim ambas tendem a um pH alcalino (acima de 7), e estão dentro dos parâmetros permitidos para a classificação de águas doces. A diferença significativa ($p < 0,05$) entre a amostra do dia 30/09 pode ser devido a presença de dejetos industriais (EFFENDI, 2016).

Os valores de condutividade elétrica variaram de 121,45 a 310,66 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (Tabela 2) e todas se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Isso pode ser correlacionado com a quantidade de chuva (Figura 1). À medida que íons são concentrados na água, sua condutividade vai aumentando (GAUTO e ROSA, 2011).

Houve maior concentração de íons no período de pouca chuva por ter menor quantidade de água no rio, assim como houve diminuição da concentração de íons dissolvidos no período de maior incidência pluviométrica. Essa análise permitiu expressar a capacidade de condução de corrente elétrica de sais dissolvidos e ionizados presentes nas amostras de água doce, porém é um parâmetro físico-químico que não traz informações relevantes, como indicação das quantidades dos vários componentes presentes nas amostras reais de água. As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (PIRATOBA *et al.*, 2017).

As águas que apresentam contaminação por esgoto necessitam de muito oxigênio para decompor essa matéria orgânica apresentam baixo valor de OD, conseqüentemente as águas limpas apresentam concentrações de OD mais elevadas (ANA, 2017). As quantidades de OD (Tabela 4) nas amostras de água apresentaram valores entre 4,36 a 4,78 mg.L^{-1} sendo que a amostra dos dias 23/09 e 07/10/19 não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre as amostras, e assim, as amostras atenderam as condições estabelecida pela Resolução nº 357/05 do CONAMA para Classe 3. Os resultados obtidos nessa análise estão diretamente ligados ao seu grau de poluição, pois segundo um estudo do Eloverde (2015) que em apenas um ano foram removidos 50 toneladas de resíduos do rio Tigre e ainda levando em consideração que este rio abriga quase em sua totalidade a zona urbana ele acaba por absorver todo o lançamento de esgoto doméstico e industrial da cidade muitas vezes sem o devido tratamento prévio.

Tabela 4 - Valores encontrados para análises de OD e DBO

Amostra	OD (mg.L^{-1})	DBO (mg.L^{-1})
23/09/19	4,36 ^b \pm 0,03	12,67 ^a \pm 0,58
30/09/19	4,78 ^a \pm 0,04	2,67 ^b \pm 0,58
07/10/19	4,42 ^b \pm 0,01	12,00 ^a \pm 0,01

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$), sendo comparadas letras minúsculas entre colunas.

Para o parâmetro de DBO verifica-se que todas as amostras de água apresentaram elevados resultados (Tabela 4), indicando uma grande quantidade de matéria orgânica lançada e presente nas amostras de água. Levando em conta que a análise de DBO (5 dias a 20°C) indica até 3 mg.L⁻¹ O₂ para ambas as classes de água, que pode-se dizer que a análise de DBO realizada nas amostras extingue a possibilidade de classificação do rio Tigre em águas com possíveis tratamentos para uso humano ou industrial, pois reduz os níveis de oxigênio na água abaixo dos exigidos pela Resolução CONAMA n° 357.

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357 do ano de 2005 para promover saúde para a população a água deve ser incolor, inodora e insípida, mas a água que é captada das fontes, nascentes ou mananciais, pode conter microrganismos e substâncias decorrentes de várias influências, tais como restos de vegetais, animais, minerais e algas (BRASIL, 2005). E esses interferentes podem ocasionar em aparecimento de cor, pois a cor está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos (SAMPAIO *et al.*, 2019).

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para L*, a* e b*. Para os parâmetros a* e b* não houve diferenças significativas (p>0,05) entre os tratamentos. Observou-se valores baixos e negativos para o parâmetro a*, parâmetro este que indicaria tonalidade verde. Para o parâmetro b*, houve uma tendência ao amarelo (valores +), sendo que apresentaram valores decrescentes. E para o parâmetro L* a amostra do dia 30/09/19 apresenta semelhança significativa com as outras duas amostras e a amostra coletada no dia 07/10/19 é que mais apresenta luminosidade, com valor de 60,2 para o parâmetro L*. Verifica-se que as amostras são levemente escuras, se encaixando em tons acinzentados. Essa tonalidade é coerente com o grau de lançamento de esgoto doméstico e sanitário.

Tabela 5 - Valores de cor (L*, a*, b*) das amostras de água do rio em dias de coleta.

Amostras	L*	a*	b*
23/09/19	58,84 ^b ± 0,71	-0,48 ^a ± 0,07	1,42 ^a ± 0,02
30/09/19	59,11 ^{ab} ± 0,48	-0,56 ^a ± 0,06	1,43 ^a ± 0,01
07/10/19	60,20 ^a ± 0,01	-0,54 ^a ± 0,01	1,40 ^a ± 0,01

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05), sendo comparadas letras minúsculas entre colunas.

5.2 Minerais e cádmio

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na análise de minerais (Na, K e Mg) e Cd das amostras de água de rio. Os valores obtidos para minerais auxiliaram a estabelecer um perfil da poluição que ocorre no Rio Tigre/RS através de lançamento de efluentes.

Tabela 6 - Concentração de minerais (Na, K e Mg) e Cd na água coletada no rio.

Amostras	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Cd (mg.L ⁻¹)
23/09/19	41,80 ^a ± (2,10)	4,41 ^a ± (0,07)	8,91 ^a ± (0,11)	Não detectável
30/09/19	38,63 ^a ± (0,64)	4,20 ^a ± (0,51)	8,94 ^a ± (1,56)	Não detectável
07/10/19	33,26 ^b ± (0,94)	3,41 ^a ± (0,49)	9,38 ^a ± (0,16)	Não detectável
LD (mg.L ⁻¹)	0,0463	0,082	0,0366	0,1089
LQ (mg.L ⁻¹)	0,0554	0,117	0,0471	0,1152

*Média (três repetições) ± Desvio Padrão. Letras iguais na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% (teste de Tukey).

LD: limite de detecção do equipamento

LQ: limite de quantificação do equipamento

**Não detectável: abaixo do LD.

A resolução CONAMA não estabelece parâmetros máximos para Mg, seja em águas superficiais e/ou subterrâneas, porém é encontrado em águas naturais com concentrações próximas a 4 mg.L⁻¹ (EMBRAPA, 2011). Sua identificação auxilia na determinação da dureza das águas superficiais referentes à concentração total de íons alcalino-terrosos na água, particularmente de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), cujas concentrações são muito superiores às dos demais íons alcalino-terrosos encontrados em águas naturais. E de acordo com a Tabela 5, observa-se que não houve variação significativa ($p > 0,05$) na concentração de Mg nas amostras, sendo a concentração máxima de até 9,38 mg.L⁻¹. Essas concentrações possivelmente estão associadas a utilização constante de fertilizantes e produtos para correção do solo (LOPES, 2017). E outro fato justificável aos resultados do Mg é a proximidade do rio Tigre com indústrias metal mecânica e seus resíduos, uma vez que ligas de magnésio são muito utilizadas em estruturas, pois possuem boas características de resistência mecânica, módulo de elasticidade e baixa densidade.

Em relação à análise do Na não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras do dia 23/09/19 e 30/09/19, onde houve uma diminuição com o período

chuvoso (Figura 1), diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) da amostra do dia 07/10/19. O Na é um micro nutriente que pode estar presente em águas superficiais pelo contato existente com rochas do subsolo. Concentrações de sódio na água dependem das condições geológicas e da descarga de efluentes. Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, têm níveis bem abaixo de 50 mg.L^{-1} , assim estando de acordo com as análises realizadas no rio Tigre (PIRATOBA *et al.*, 2017).

O K é um elemento essencial de nutrição, o potássio pode ser encontrado em amostras de água por transferência de elementos minerais de material em decomposição e também pela lixiviação de solos (DE VASCONCELOS *et al.*, 2016). O elemento potássio não permanece em solução, pois é rapidamente absorvido por plantas e até incorporado por argilas, por isso geralmente suas concentrações em água variam de 1 a 3 mg.L^{-1} (EMBRAPA, 2011). O K foi o elemento em menor concentração encontrado nas amostras, não apresentando diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as amostras, mas mesmo assim está acima das concentrações que usualmente é encontrado.

Um estudo feito por Ballen (2020), onde utilizava nanossensores de óxido de grafeno e uréase para detecção de cádmio no trecho em estudo (Rio Tigre) revela quantificação mínima ($0,01831 \text{ ppb}$) do metal pesado apenas quando a amostra foi fortificada com cádmio padrão. Não foi possível detectar a presença do elemento cádmio nas diferentes coletas por meio da realização da análise de espectrometria de absorção atômica, pois a mesma procede com um limite de detecção de $0,1089 \text{ mg.L}^{-1}$ ($108,9 \text{ ppb}$). E observando que a legislação é bastante restritiva quanto a presença de cádmio na água doce, permitindo um máximo de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, o não aparecimento do metal pesado em estudo (Cd) nas amostras coletadas em diferentes períodos não retrata confiabilidade e leva a um resultado inconclusivo nos tratamentos de efluentes que são gerados em indústrias metal mecânica e são lançados no Rio Tigre, uma vez que o limite de detecção do equipamento utilizado está muito longe do limite mínimo necessário.

6 CONCLUSÃO

Verificou-se que as análises físico-químicas permitiram avaliar que o rio Tigre apresentam elevado grau de poluição e de contaminação das águas. O resultado do pH encontrado nas amostras coletadas apresentou pouca variação entre as amostras, sendo coerente com a referência de classificação para qualquer classe. Em relação a condutividade elétrica, as amostras apresentaram valores superiores aos considerados normais, indicando águas com as características alteradas. O parâmetro Turbidez analisado apresentou resultado abaixo do padrão nas três amostras coletadas.

As amostras obtiveram alto teor de minerais (K, Mg e Na), sendo que Na foi o mais elevado. No rio Tigre também ocorrem índices baixos de oxigênio e elevados valores de DBO, causado pela quantidade grande de matéria orgânica diluída proveniente da urbanização e industrialização e assim, classificando apenas a amostra da coleta do dia 30/09/2019 como classe III, e tornando as outras amostras irregulares para uso.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, pautada nos parâmetros físico-químicos estabelecidos pela legislação, confirmam que a qualidade da água do Rio Tigre encontra-se comprometida, não apenas visualmente, mas pelos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISA EM CÂNCER - IARC. **Exposição no trabalho e no ambiente**. Ministério da Saúde. Brasília/DF, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Índice De Qualidade Das Águas**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Uso racional da água é a solução para a preservação desse recurso**. Ministério Do Meio Ambiente. Brasília/DF, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Uso racional da água é a solução para a preservação desse recurso**. Ministério Do Meio Ambiente. Brasília/DF, 2011.
- AMBIENTAL ANÁLISE. **Procedimento para análise de DBO**. Disponível em: <https://ambientalanalise.blogspot.com/search?q=DBO>. Acesso em: 1 abr. 2020.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Métodos padrão para o exame de água e efluentes**, 23rd ed. Washington, 2017.
- AUGUSTO, L. G. da S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n.6, p.1511-1522, 2012.
- AZHAR, S. C.; ARIS, A. Z.; YUSOF, M. K.; RAMLI, M. F.; JUAHIR, H. Classificação da qualidade da água do rio utilizando análise multivariada. **Procedia Environmental Sciences**, v. 30, p. 79-84, 2015.
- BAICAN, M. C. Nanobiossensores poliméricos: nanomateriais poliméricos em nanoterapêuticos. **Elsevier**. p. 151-181, 2019.
- BALLEN, S. C. **Desenvolvimento de nanobiossensores e nanossensores de cantilever para detecção de cádmio em água**. Dissertação de mestrado em Engenharia de alimentos. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim/RS, 2020.
- BORTOLI, J. D. **Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada para consumo humano e dessedentação animal em propriedades rurais produtoras de leite na região do Vale do Taquari/RS**. Dissertação de mestrado em Ambiente e Desenvolvimento. Centro Universitário Univates, Lajeado/RS, 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília/DF, 2005.
- CAPALONGA, S. **Avaliação do risco de poluição da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2017.
- CARVALHO, A. P.; BALDUINO, A. R.; MACIEL, G. F.; PICANÇO, A. P. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no Ribeirão São João em Porto Nacional–TO. **Geosciences= Geociências**, v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **L5. 169**: Determinação de oxigênio dissolvido em águas - método de Winkler modificado pela azida sódica. São Paulo/SP, 1978.

CORREIA, L. J. H. FERNANDES, A. J. D. LÚCIO, M. M. L. M. TOMAZ, J. K. O. HONORATO, M. B. CARNEIRO, E. N. Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba–Cabedelo, PB. **Revista Principia**, v. 27, p. 47-54, 2015.

CUNHA, D. L. et al. Regulamentação do estrogênio sintético 17 α -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, p. e00056715, 2016.

DE VASCONCELOS, R. R. A.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; CORDEIRO, A. T.; BARROS, M. F. C. Qualidade da água drenada e desenvolvimento do feijão-caupi em solos salino-sódicos após uso de gesso associado à lâmina de lixiviação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 3, p. 640, 2016.

EFFENDI, H. Avaliação rápida preliminar da qualidade da água do rio usando índice de poluição. **Procedia Environmental Sciences**, v. 33, n. 1, p. 562-67, 2016.

ELOVERDE. **PROJETO REVITALIZAÇÃO DOS RIOS DE ERECHIM**. Disponível em: <http://www.eloverde.org.br/uploads/artigos/Relatorio_Final_BAIXA_Qualidade_03.09.13.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2020.

ELOVERDE. **Revitalização dos Rios de Erechim encerra segunda etapa**. Disponível em: <http://www.eloverde.org.br/linha_tempo_escolhida/131/revitalizacao-dos-rios-de-erechim-encerra-segunda-etapa>. Acesso em: 02 abr. 2020.

EMBRAPA. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

FAGUNDES, A. K. B.; MENDES, T. A.; PEREIRA, T. S. R. Classificação preliminar de corpos d'água com base na resolução CONAMA nº 357/2005: Caso do rio Meia Ponte-GO. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1382-1393, 2016.

FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. **22 de março, Dia Mundial da Água**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?56622>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

GABROVSKA, K.; GODJEVARGOVA, T. Imobilização ideal da urease em membranas de copolímero de acrilonitrila modificado: Inativação por íons de metais pesados. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 60, n. 1-2, p. 69-75, 2009.

GARCIA, J. B. P. **Avaliação de chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) no sedimento de margem da represa do Guarapiranga, uma questão de saúde pública**. Dissertação de mestrado em Ciências da Saúde. Universidade de Santo Amaro, São Paulo/SP, 2017.

GAUTO, M.; ROSA, G. R. Processos e operações unitárias da indústria Química. **Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro**, 2011.

HARDER, M. N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação quantitativa por colorímetro digital da cor do ovo de galinhas poedeiras alimentadas com urucum

- (Bixa orellana). **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 102, n. 563-564, p. 339-342, 2007.
- HATORI, H. M.; OLIVEIRA, M. E.; TECH, A. R. B.; MUÑOZ, O. A. O. V. Avaliação da salinidade como parâmetro de controle da condutividade elétrica da água em sistema aquapônico. **Anais**, 2018.
- HESPANHOL, K. M. H. **Monitoramento e diagnóstico da qualidade da água do ribeirão morangueiro**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 2009. .
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Chuva acumulada na estação automática: Erechim (RS)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A828&mesAno=2019>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- KOCH, F. F.; KAUFFMANN, C.; BICA, J. B.; ADAMI, F. S.; STEVENS, J. F.; ECKHARD, C. L.; MARMITT, L. G.; OLIVEIRA, E. C. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.
- LEAL, M. S. **Gestão Ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM/ANEEL, 1998.
- LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2010.
- LIU, Y.; DENG, Y.; DONG, H.; LIU, K.; HE, N. **Progress on sensors based on nanomaterials for rapid detection of heavy metal ions**. Science China Chemistry, v. 60, n. 3, p. 329–337, 27 mar. 2017.
- LOPES, H. S. S. **Avaliação de atributos químicos e de bioindicadores da qualidade da água sob diferentes ações antrópicas na bacia do rio Canoas no estado de Santa Catarina**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages/SC, 2017.
- MACHADO, D. V. **Avaliação da contaminação em água subterrânea pela disposição de rejeitos industriais: estudo de caso-Centres (Queimados-RJ)**. Defesa do trabalho de conclusão de curso em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2017.
- MULLER, S. **Gestão Ambiental de Recursos Hídricos**. Ecolatina, 2001. Belo Horizonte/MG, 2001.
- OKI, V. K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. Dissertação de Mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2002.
- PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. ABRH. Porto Alegre, RS, 2001.
- PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena,

PA, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017.

PRASAD, P. et al. Water Quality analysis of surface water: a Web approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, n.7, p.5987-5992, 2013.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda, v. 1, p. 11-13, 2015.

RIGO, A. A. **Desenvolvimento de nanobiossensores de cantilever para detecção de metais pesados em água**. Tese doutorado em Engenharia de alimentos. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim/RS, 2019.

SAMPAIO, C. A. P. IDE, G. M.; BATALHA, C. P.; PEREIRA, L. C.; BUENO, L. F. Análise técnica de água de fontes rurais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 213-217, 2019.

SANTANA, J. J. **Avaliação da bioacumulação de metais tóxicos em ostras, em condições simuladas do descarte da água produzida no mar**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte/RN, 2018.

SANTOS, C. F. V. A. **Qualidade da água nas zonas de abastecimento na área de reintrodução do lince ibérico (*Lynx pardinus*) em Portugal: estudo preliminar sobre a presença de cádmio, chumbo, ferro, cobre e zinco**. Tese de doutorado em Medicina Veterinária. Universidade de Lisboa, 2019.

SINCLAIR, J. A.; SCHEIN, A.; WAINWRIGHT, M. E.; PRENCIPE, H. J.; MACDONALD, D. D.; HAINES, M. L.; MEAYS, C. **Ambient Water Quality Guidelines for Cadmium**, 2015.

SOARES, P. F. **Projeto e Análise de desempenho de redes de monitoramento da qualidade da água**. Apostila do Programa de Mestrado da Geografia, UEM, Maringá, PR, 2003.

SOUZA, M. F. **Qualidade da água do Canal São Gonçalo-RS/Brasil: uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2015.

TUNDISI, J. G. **Limnologia do século XXI: perspectivas e desafios**. São Carlos, 1999.

VIEIRA, L. R.; CORRÊA, E. S.; MORAES, B. S.; ROSSATO, M. V.; VESTENA, S. Toxicidade de cádmio em plantas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1574-1588, 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas residuárias**. 3 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Belo Horizonte, MG, 2005.

WAHEED, A.; MANSHA, M.; ULLAH, N. **Nanomaterials-based electrochemical detection of heavy metals in water: Current status, challenges and future direction**. TrAC Trends in Analytical Chemistry, v. 105, p. 37–51, ago. 2018.