

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS, SAÚDE E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

REGINÁRIA MORAIS DUARTE

ESTUDO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO MÉDIO TOCANTINS

Imperatriz - MA

2013

REGINÁRIA MORAIS DUARTE

ESTUDO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO MÉDIO TOCANTINS

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Msc. José de Ribamar Macedo Costa.

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto da Silva Ribeiro.

Imperatriz – MA

2013

Duarte, Reginária Moraes

Estudo de metais pesados na bacia do médio Tocantins / Reginária Moraes Duarte. - Imperatriz, 2013.

62f.

Orientador: José de Ribamar Macedo Costa

Co-Orientador: Paulo Roberto da Silva Ribeiro.

Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Curso de Engenharia de Alimentos, Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia (CCSST), Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz, 2013.

1. Metais Pesados. 2. Rio Tocantins. 3. Poluição. I. Título.

CDU 661:504.05
D842e

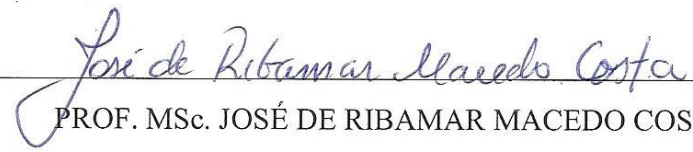
REGINÁRIA MORAIS DUARTE

ESTUDO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO MÉDIO TOCANTINS

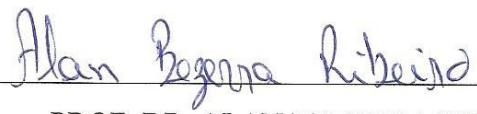
Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia de Alimentos.

Aprovada em : 22 / 02 / 2013

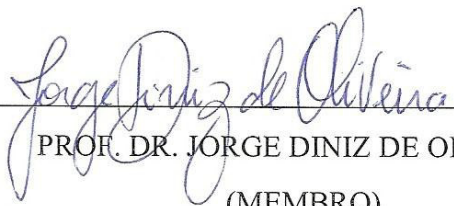
BANCA EXAMINADORA



PROF. MSc. JOSÉ DE RIBAMAR MACEDO COSTA
(ORIENTADOR)



PROF. DR. ALAN BEZERRA RIBEIRO
(MEMBRO)



PROF. DR. JORGE DINIZ DE OLIVEIRA
(MEMBRO)

A Deus, que sempre me estende a sua mão. A meus pais, pelo incentivo, carinho e apoio constantes. Com amor, aos meus alicerces e minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, que me permitiu trilhar mais esse caminho.

À minha mãe Egina, meu pai Pedro e minha irmã Regiane, pelo apoio, carinho e dedicação de todos os dias. E à família Duarte e à família Moraes, pelo carinho e incentivo.

À meu namorado Emaildo, pela dedicação, compreensão e apoio.

Aos meus amigos da família teresiana e do Complexo Educacional Edison Lobão, pela amizade, companheirismo e carinho.

Aos meus amigos e colegas da UFMA, pela parceria, companheirismo e amizade. E aos meus colegas do grupo de pesquisa NUPFARQ pela amizade e apoio.

À Universidade Federal do Maranhão, pela bolsa concedida.

À FAPEMA, pelo suporte financeiro.

Ao Curso de Engenharia de Alimentos pela capacitação profissional proporcionada. Aos professores deste curso que participaram direta e indiretamente na minha formação acadêmica.

Aos meus orientadores, professor Dr. Paulo Roberto da Silva Ribeiro e Msc. José de Ribamar Macedo, pela confiança, orientação e compreensão.

Ao IBAMA pelo apoio técnico durante a coleta. Em especial ao agente José de Ribamar, pela ajuda.

À Universidade Estadual do Maranhão pelo apoio técnico na análise dos metais. Em especial ao professor Dr. Jorge Diniz de Oliveira pela paciência e dedicação.

Aos membros da comissão examinadora, pela atenção.

E a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram na execução deste trabalho.

“A terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra. Todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. Há uma ligação em tudo. O que ocorrer sobre a terra recairá sobre os filhos da terra. O homem não tramou o tecido da vida; ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo”

Cacique Seattle, 1854

RESUMO

A poluição dos sistemas aquáticos por metais pesados é um importante fator que afeta tanto o ciclo geoquímico desses elementos quanto a qualidade da água. A maioria desses metais, até mesmo os que são essenciais aos seres vivos, podem ser muito nocivos à saúde humana, podendo provocar problemas nos sistemas respiratório, gastrointestinal, cardiovascular e nervoso e, em casos extremos, alguns podem levar a morte. Diante disso, este trabalho teve como objetivo realizar estudos sobre contaminantes de ecossistemas aquáticos receptores de dejetos resultantes de atividades domésticas, comerciais, industriais e agrícolas no trecho da Bacia do Médio Tocantins compreendido entre os Municípios de Ribamar Fiquene e Imperatriz, no Estado do Maranhão no período chuvoso. Para tanto, foram escolhidos 11 sítios de amostragem onde foram coletadas amostras de água e determinaram-se parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, cor visual, cor aparente, sólidos totais dissolvidos (TDS), turbidez e dureza total (Cálcio e Magnésio)) e as concentrações de metal total e de metal solúvel para alguns metais pesados (cobre, chumbo, cádmio, ferro e cromo). Os resultados foram comparados com os padrões de qualidade para águas de Classe 2, segundo a resolução CONAMA nº 375 (CONAMA, 2005). Os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram-se de acordo com as recomendações da referida legislação brasileira. Entretanto, as concentrações de cobre solúvel (na maioria dos sítios amostrados), de chumbo total (em todos os sítios), e de cádmio total (nos sítios de amostragem 3 e 4) encontraram-se acima dos valores estabelecidos pela legislação brasileira. Também se encontraram concentrações de ferro solúvel acima de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ (valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375 de 17 de março de 2005) para os sítios de amostragem 2 e 5. Dessa forma, observou-se que a qualidade das águas em todos os pontos amostrados ao longo da Bacia do Médio Tocantins foi significativamente afetada pelo lançamento de efluentes contendo metais pesados, contribuindo para a contaminação deste rio.

Palavras-Chave: Rio Tocantins. Metais pesados. Espectrofotometria de absorção atômica.

ABSTRACT

The pollution of aquatic systems by heavy metals is an important factor that affects both the geochemical cycle elements such as water quality. Most of these metals, even those that are essential to living beings, can be very harmful to human health and may cause problems in the respiratory system, gastrointestinal, cardiovascular and nervous and, in extreme cases, some can lead to death. Therefore, this study aimed to conduct studies on contaminants in aquatic ecosystems receptors waste resulting from domestic activities, commercial, industrial and agricultural stretch of the Middle Tocantins Basin between the municipalities of Ribamar Fiquene and Empress, in the state of Maranhão in rainy season. Thus, we selected 11 sampling sites where water samples were collected and were determined physico-chemical parameters (pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen, color vision, apparent color, total dissolved solids (TDS), turbidity and hardness Total (Calcium and Magnesium)) and the concentrations of total metal to soluble metal and some heavy metals (copper, lead, cadmium, chromium and iron). The results were compared with the water quality standards for Class 2, according to CONAMA Resolution n ° 375 (CONAMA, 2005). The physico-chemical parameters analyzed showed up in accordance with the recommendations of the Brazilian legislation. However, concentrations of soluble copper (in most sites sampled) of total lead (in all sites), and total cadmium (in sample sites 3 and 4) were found above the values established by Brazilian legislation. Also found concentrations of soluble iron above 0.3 mg L⁻¹ (value established by CONAMA Resolution n ° 375, March 17, 2005) for sampling sites 2 and 5. Thus, it was observed that the water quality at all points sampled along the Middle Tocantins basin was significantly affected by the discharge of effluents containing heavy metals, contributing to the contamination of the river.

Keywords: Rio Tocantins. Heavy metals. Atomic absorption spectrophotometry.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização dos sítios de amostragem de água.	23
Tabela 2: Valores de pH das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	30
Tabela 3: Valores de temperatura das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	31
Tabela 4: Valores de condutividade elétrica das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	32
Tabela 5: Concentração de oxigênio dissolvido das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	33
Tabela 6: Cor visual das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	34
Tabela 7: Cor aparente das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	35
Tabela 8: Valores da turbidez das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	35
Tabela 9: Concentração de metais totais em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	37
Tabela 10: Concentração de metais dissolvidos em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	39
Tabela 11: Valores do coeficiente de distribuição (K_d) em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	40
Tabela 12: Valores da dureza total das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	41
Tabela 13: Valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag - Prata

ANA – Agência Nacional de Águas

As – Arsênio

Be – Berílio

Ca - Cálcio

Cd – Cádmio

CETESBE - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

Cr – Cromo

Cu – Cobre

FAAS - Flame Atomic Absorption Spectrometry

Fe – Ferro

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GPS – Global Positioning System

HCl – Ácido clorídrico

Hg – Mercúrio

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Mg - Magnésio

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

Ni – Níquel

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial de Saúde

Pb – Chumbo

PCU - Platinum Cobalt Units

pH – Potencial hidrogeniônico

PVC – Policloreto de polivinila

Sb – Antimônio

Se – Selênio

Si – Sílica

Sr - Estrôncio

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

Th – Tório

U – Urânio

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez

UHE – Usina Hidroelétrica

V – Vanádio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
SUMÁRIO	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Utilizações da água na indústria de alimentos	5
3.2 Metais pesados	6
3.3 Poluição das águas por metais pesados	8
3.4 Características gerais dos metais a serem estudados	9
<i>3.4.1 Cromo</i>	<i>9</i>
<i>3.4.2 Cádmio</i>	<i>10</i>
<i>3.4.3 Cobre</i>	<i>11</i>
<i>3.4.4 Chumbo.....</i>	<i>11</i>
<i>3.4.5 Ferro.....</i>	<i>12</i>
3.5 Parâmetros físico químicos	13
<i>3.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH).....</i>	<i>13</i>

3.5.2 Temperatura	14
3.5.3 Condutividade elétrica (CE).....	14
3.5.4 Oxigênio dissolvido (OD).....	15
3.5.5 Cor visual	15
3.5.6 Cor aparente.....	16
3.5.7 Turbidez.....	16
3.5.8 Sólidos totais dissolvidos (STD).....	16
3.5.9 Dureza total	17
3.6 Espectrofotometria de absorção atômica	18
3.7 Classificação das águas segundo, Resolução CONAMA nº 375, de 17 de março de 2005	19
3.8 Caracterização da área de estudo	20
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 Pontos de coleta das amostras de água	22
4.2 Coleta e preparação das amostras	24
4.3 Determinação de pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos.....	25
4.4 Determinação de turbidez e cor aparente	26
4.5 Determinação da concentração de metais totais.....	26
4.6 Tratamento prévio das amostras que foram submetidas à determinação de metal solúvel	27
4.7 Determinação da concentração do metal dissolvido.....	27
4.8 Coeficiente de distribuição (Kd).....	27
4.9 Determinação da dureza total	28

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1 pH.....	29
5.2 Temperatura	30
5.3 Condutividade elétrica	31
5.4 Oxigênio dissolvido	32
5.5 Cor visual	34
5.6 Cor aparente	34
5.7 Turbidez	35
5.8 Metais totais	36
5.9 Metais dissolvidos	38
5.10 Coeficiente de distribuição (Kd).....	40
5.11 Dureza.....	41
5.12 Sólidos totais dissolvidos (STD).....	42
6. CONCLUSÃO.....	43
7 REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A água constitui uma substância simples e é considerada a mais importante, haja vista que é um recurso natural vital para os homens, animais e vegetais. Além disso, é utilizada com diversas finalidades, entre as quais se pode destacar o abastecimento de água, a geração de energia, a irrigação, a navegação, a aquicultura e a harmonia paisagística. A água também proporciona um *habitat* para um grande número de espécies da fauna, flora e espécies microscópicas, sendo todos estes organismos diretamente afetados por sua composição. Entretanto, nos últimos tempos, este líquido precioso vem sendo ameaçado pelas ações indevidas do homem, o que ocasiona prejuízos notáveis para a própria humanidade (BAGGIO FILHO, 2008; SANTOS, 2007).

O desenvolvimento de municípios, atividade agrícola e exploração de recursos minerais sem um planejamento ambiental adequado, provocam alterações bruscas na natureza. Estas alterações refletem-se em poluição de nossos mananciais forçando uma adaptação ou até mesmo a morte dos seres envolvidos e, em consequência, a qualidade de vida resultante é questionável. Os resíduos gerados em domicílios incluem diversos produtos, como pesticidas, produtos farmacêuticos, detergentes, óleos de cozinha, metais pesados contidos em baterias e outros utensílios. Esses resíduos são lançados continuamente nas águas do Rio Tocantins e seus afluentes, ocasionando sérios problemas ambientais.

O desenvolvimento de atividades produtivas no Estado do Maranhão tem contribuído para a depreciação da qualidade das águas da Bacia do Médio Tocantins. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) (2006), os principais problemas que comprometem a qualidade das águas superficiais nesta bacia são: áreas de extração de areia em pequenos mananciais, o lançamento de esgotos domésticos, a contaminação por fontes difusas provenientes de áreas agrícolas (agrotóxicos, fertilizantes, sedimentos carregados por ação erosiva em solos mal manejados, entre outros) e lançamentos de efluentes com grande quantidade de matéria orgânica e inorgânica de matadouros, frigoríficos e curtumes.

A agricultura constitui uma das mais importantes fontes não pontuais de poluição por metais como cádmio (Cd), cromo (Cr), molibdênio (Mo), chumbo (Pb), urânio (U), vanádio (V), zinco (Zn), cobre (Cu), arsênio (As), mercúrio (Hg) e manganês (Mn), (ALLOWAY et al., 1997). Fertilizantes e pesticidas contêm impurezas destes metais sendo que seu uso contínuo contribui para um aumento dos níveis destes materiais no solo que,

acabam sendo transportados pela enxurrada para os rios e lagos. Assim, ressalta-se que o principal uso da água na região hidrográfica do Rio Tocantins é para a irrigação. A vazão de retirada e consumo de água para irrigação das áreas agrícolas é de 19,6 m³/s (ANA, 2006).

Um aspecto característico da poluição por metal potencialmente tóxico deve-se principalmente à persistência no meio aquático. Uma vez mobilizado, sua quantidade total permanece a mesma, qualquer que seja sua forma (JORDÃO, 1983). Os metais potencialmente tóxicos são considerados tóxicos para os seres humanos porque reagem com ligantes difusores, com macromoléculas e com ligantes presentes em membranas. Essas características lhes conferem as propriedades de bioacumulação e de biomagnificação na cadeia alimentar, permanência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos. A persistência garante os efeitos ao longo do tempo, mesmo depois de interrompida as emissões.

Acidentes causados por metais potencialmente tóxicos envolvem vários elementos, como o mercúrio. Este provocou a Doença de Minata, que, revelada em 1959, foi a causa da morte de seres humanos, a qual foi provocada pelo consumo de peixes contaminados com metilmercúrio. A fonte de contaminação foi atribuída aos efluentes de uma fábrica de produção de plásticos (FORSTNER, 1981). As atividades industriais, como curtume, são também responsáveis pelo lançamento de metais pesados nos cursos d'água. O monitoramento desses metais se faz necessário em virtude da sua intensa utilização industrial e toxicidade (MAGOSSY, 1992).

O cromo das indústrias de curtumes que operam em áreas da Bacia do Médio Tocantins tem sido responsável pela poluição das águas de importantes afluentes do Rio Tocantins, como os rios Campo Alegre e Posse. Foi constatada pelo Ministério Público Federal a mortandade de peixes nas águas destes rios devido à contaminação por efluentes de curtumes, conforme denúncias de agricultores da região, congregados na Associação do Vale do Campo Alegre, que dependem dos rios para sua subsistência. A água destes rios é usada para irrigar as terras, regar as lavouras e matar a sede dos animais. Além disso, os peixes constituem um importante item na alimentação da população ribeirinha do Município de Governador Edison Lobão que é banhado por estes rios (VIVIANI, 2006).

Ainda que existam alguns dados hidrometeorológicos disponíveis para a análise hidrológica e disponibilidade hídrica da Bacia do Tocantins, estudos relacionados à área desta bacia estudada neste trabalho são incipientes para uma adequada avaliação da presença de

metais pesados que produza informações robustas acerca da qualidade das águas da Bacia do Médio Tocantins.

Diante deste contexto, tornou-se necessário o estudo de metais potencialmente tóxicos na Bacia do Médio Tocantins. Para isso diferentes trechos deste curso d'água foram avaliados a fim de verificar as condições de suas águas, de acordo com Brasil (2005). Dessa forma, este estudo contribuirá para os estudos sobre contaminantes de cursos d'água que recebem resíduos resultantes de atividades domésticas, comerciais e agroindustriais, e fornecerá dados que permitirão a criação de políticas com vistas à prevenção da contaminação das pessoas pelo uso da água poluída, contemplando as especificidades da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral realizar estudo sobre contaminantes de ecossistemas aquáticos (água de rios) receptores de dejetos resultantes de atividades domésticas, comerciais, industriais e agrícolas no trecho da Bacia do Médio Tocantins compreendido entre os Municípios de Ribamar Fiquene e Cidelândia, no Estado do Maranhão.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o nível de concentração dos metais na coluna de água que compõem os pontos de amostragem;
- Analisar os parâmetros físicos e químicos das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins no trecho entre os Municípios de Ribamar Fiquene e Cidelândia - MA;
- Comparar os resultados analíticos dos metais encontrados com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05 para as águas superficiais de Classe 2 e com dados disponíveis de outros rios.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Utilizações da água na indústria de alimentos

O uso da água na obtenção de alimentos vegetais e de origem animal é o mais representativo no mundo (CHRISTOFIDIS, 2006).

De acordo com o Manual de Conservação e Reuso da Água elaborado pela FIESP (2005) os principais usos da água nas indústrias são:

a) Consumo humano: água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas, refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (hidrante, lava-olhos) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;

b) Matéria Prima: incorporação da água ao produto final;

c) Fluido auxiliar na preparação de suspensões, soluções químicas, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;

d) Geração de energia: a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;

e) Fluido de aquecimento e/ou resfriamento: a água pode ser utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento.

De acordo com Junior (2004) *apud* Castro (2006) nos estabelecimentos que se limitam ao abate, as águas são utilizadas para quatro finalidades, tais como:

a) Consumo: tanto os animais que estão retidos nos currais quanto aos empregados, é imprescindível que a água apresente suas características de potabilidade, bem como a concentração máxima de 1 ppm de cloro residual livre.

b) Lavagem: a água para a higienização dos animais, como banho de aspersão, tanto na rampa quanto na seringa, além de ser potável deve revelar uma concentração de 15 ppm de cloro residual livre. A água para a lavagem das meias - carcaças, dos equipamentos, dos instrumentos de trabalho e dos utensílios, além de potável deve apresentar um teor de 1

ppm cloro residual. A água que se destina a higienização das dependências pode apresentar 10 ppm de cloro residual livre.

c) Higiene pessoal: utilizada para higienização das mãos e antebraços, durante a higienização corporal (banho), bem como nos sanitários, deve apresentar-se com características de potabilidade, e o teor de 1 ppm cloro residual livre.

d) Produção de vapor: o ponto crítico da água utilizada nas caldeiras é a sua concentração de bicarbonatos, sulfatos e cloretos (principalmente de cálcio e magnésio), que determinará o seu grau de “dureza”. A água considerada “dura” provocará incrustações prejudiciais e indesejáveis em sua tubulação, prejudicando a transmissão de calor, pelo fato de agir como isolante térmico, com riscos de explosão. A presença de metais pesados como ferro e manganês também provoca incrustações, promovendo rupturas ou bloqueamento em tubos de caldeira ou trocadores de calor.

3.2 Metais pesados

Atualmente substituído pelo termo “metais potencialmente tóxicos”, a expressão “metais pesados” refere-se aos elementos e às suas formas iônicas que pertencem ao grupo de transição e não transição da tabela periódica com densidade maior que 6 kg dm^{-3} . Este grupo abrange metais, semi-metais e mesmo não metais com diferentes propriedades químicas e biológicas, e costumam ser associados à toxicidade por constituírem um risco potencial à vida aquática, aos animais e ao homem em virtude da possibilidade de contaminação do ar, do solo, sedimento, da vegetação e das águas (CHAVES, 2008; RIBEIRO, 2002).

Os metais potencialmente tóxicos são amplamente utilizados na indústria, especialmente na metalurgia e em produtos como pilhas e eletrônicos, além de também serem usados na produção de joias, tintas, pigmentos, esmaltes, corantes, borracha, plásticos, pesticidas e até mesmo na medicina (LANDIS, 1999). Alguns dos metais são essenciais para sustentar a vida, elementos como cálcio, magnésio, potássio e sódio devem estar presentes para funções normais do corpo. Além disso, cobalto, cobre, ferro, molibdênio, manganês e zinco são necessários em níveis baixos como catalisadores para as atividades da enzima. Entretanto, o excesso de exposição a metais podem resultar em intoxicação (MOMODU, 2010).

Dornfeld (2002) *apud* Baggio Filho (2008) afirma que a presença dos metais no ambiente pode se dar por processos naturais ou antrópicos e que a diferença entre estes reside na magnitude do impacto, na frequência (ocasional, contínua ou intermitente) e na duração (horas, meses, anos) em que ocorre a distribuição e contaminação pelos metais, ocasionando impactos consideráveis na estrutura e funcionamento dos ecossistemas.

As emissões antrópicas de metais para o meio ambiente ocorrem através de uma variedade de processos e caminhos, inclusive para o ar (por exemplo, durante a combustão, extração e processamento), para as águas superficiais e sedimentos (por lançamento de resíduos industriais, agrícolas e domésticos) e ao solo (e, portanto, em águas subterrâneas, por deposições sólidas, atividades agrícolas e despejos da mineração) (BAGGIO FILHO, 2008; JARUP, 2003). Sendo que uma vez no ecossistema aquático, os metais potencialmente tóxicos são distribuídos nos diversos compartimentos do ambiente, como solo, sedimento, plantas e animais (SANTANA, 2007).

Os metais potencialmente tóxicos se diferenciam dos compostos tóxicos por serem não degradáveis biológica ou quimicamente, podendo se acumular nos componentes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade (RIBEIRO, 2002).

Novotnh (1995) *apud* Baggio Filho (2008) menciona que treze metais e metalóides têm sido reconhecidos como potencialmente perigosos para a saúde humana e também para a biota aquática e que estes elementos têm sido incluídos na lista de poluentes prioritários "*priority pollutants list (black list)*", das agências de controle ambiental do mundo. São eles: arsênio (As), antimônio (Sb), berílio (Be), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se), prata (Ag), tório (Th) e zinco (Zn).

Os metais potencialmente tóxicos podem causar efeitos graves para a saúde com sintomas variados, dependendo da natureza e da quantidade do metal ingerido. Eles produzem sua toxicidade através da formação de complexos com proteínas, em que o grupo carboxílico (-COOH), amino (-NH₂), e tiol (-SH), estão envolvidos. Estas moléculas biológicas perdem a capacidade de funcionar corretamente resultando em mau funcionamento ou na morte das células. Ao vincular os metais a estes grupos, eles inativam importantes sistemas enzimáticos ou afetam a estrutura da proteína, que está ligada às propriedades catalíticas de enzimas. Este tipo de toxina também pode causar a formação de radicais que são substâncias químicas perigosas que causam a oxidação de moléculas biológicas (MOMODU, 2010).

3.3 Poluição das águas por metais potencialmente tóxicos

Um aspecto característico da poluição por metal potencialmente tóxico deve-se principalmente à sua persistência no ambiente aquático. A persistência desses elementos garante os efeitos, em longo prazo, mesmo depois de interrompidas as emissões pelos organismos das diferentes espécies. Uma vez mobilizado, a quantidade do metal continua a mesma, ainda que sob formas diferentes. Dentre as formas químicas em que os metais potencialmente tóxicos podem se apresentar destaca-se o íon metálico livre como a forma mais tóxica à vida aquática (BISINOTI *et al*, 2004; RIBEIRO, 2002).

É no meio aquático que estes metais podem passar por transformações químicas que os tornam mais nocivos ao ambiente, já que essas características tóxicas estão relacionadas ao pH, quantidade de carbono dissolvido e em suspensão, permitindo estabelecer reações com capacidade de remover ou potencializar a atividade biológica potencial de alguns metais, tornando-os mais biodisponíveis (BAGGIO FILHO, 2008; RIBEIRO, 2002).

Os metais que chegam aos corpos d'água têm o potencial de se fixar e de proceder à complexação com as partículas que compõem o sedimento, acumulando-se neste, o qual funciona como reservatório de contaminantes de baixa solubilidade e desempenha importante papel nos processos de assimilação, transporte e deposição para essas espécies químicas. Em ambientes onde a coluna d'água possui pouca profundidade, a taxa de intercâmbio de espécies solúveis pode até dobrar pela ação dos ventos, que provocam a ressuspensão dos sedimentos. O sedimento destaca-se, então, como uma fonte potencial de contaminação primária para os organismos e secundária para a coluna d'água (ZAMBETTA, 2006 *apud* BAGGIO FILHO, 2008; SAMPAIO, 2003),

A concentração de metais potencialmente tóxicos e seu impacto podem ser fortemente modificados devido às interações com os componentes naturais da água. Entretanto, o conhecimento da concentração de metais potencialmente tóxicos é necessário para estimar o nível de poluição da mesma (SOARES, 2006).

3.4 Características gerais dos metais a serem estudados

3.4.1 Cromo (Cr)

O cromo é um metal cinza-aço, de forma cristalina cúbica, sem odor, resistente a corrosão e não é encontrado livre na natureza. Os estados de oxidação mais comuns são +2, +3 e +6, sendo as formas tri e hexavalente as formas mais estáveis (além da forma elementar) e mais importantes do ponto de vista toxicológico (NORONHA, 2008).

A maioria dos compostos solúveis de cromo, em água de superfície, pode estar presente como cromo hexavalente, que é facilmente acumulado pelas espécies aquáticas por difusão passiva e, uma pequena parte, como cromo (III) em complexos orgânicos. (SILVA, 2001).

Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo do homem e de animais e sua carência causa doenças. Já na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno. Sendo assim, os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente (CHAVES, 2008).

O cromo é comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas como na produção de alumínio anonizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel e fotografia (RIBEIRO, 2002). As principais fontes antrópicas deste metal são: emissões decorrentes da fabricação de cimentos; construção civil, devido aos resíduos provenientes do cimento; soldagem de ligas metálicas; fundições; manufatura do aço e ligas; indústria de galvanoplastia; lâmpadas; minas; lixos urbanos e industriais e sua incineração; cinzas de carvão; curtumes; conservantes de madeiras e fertilizantes (NORONHA, 2008).

A intoxicação por cromo geralmente conduz à corrosão do sistema digestório, diarreia, náusea, efeitos cutâneos, danos aos rins, fígado e pulmão, hemorragias internas e desenvolvimento de carcinomas (TRINDADE, 2010).

3.4.2 Cádmio (Cd)

O cádmio é um elemento não essencial e altamente tóxico para plantas e animais. Quando puro raramente é encontrado na natureza, ocorrendo como minerais Greenockita (CdS) e Otavita (CdCO₃). Ele está associado principalmente a sulfetos em minérios de Zn, Pb e Cu, pode apresentar-se na cor prata-esbranquiçada, azulada ou metálica lustrosa e possui consistência mole (SANTOS, 2007; CHAVES, 2008).

O cádmio tem mais mobilidade em ambientes aquáticos do que a maioria dos outros metais. Ele é também bioacumulativo e persistente no meio ambiente e é encontrado em água de superfície ou subterrânea como cátion bivalente, hidratado ou como um complexo iônico com outras substâncias orgânicas e inorgânicas. Uma das principais características do cádmio, no ambiente aquático, diz respeito à sua mobilidade, sendo removido desse ambiente por precipitação, sorção da superfície mineral e complexado com a matéria orgânica (BAGGIO FILHO, 2008; CHAVES, 2008).

Usado na galvanoplastia, na produção de ligas para proteção contra corrosão, na manufatura de baterias, de cerâmica, de vidro e em alguns biocidas, o cádmio pode ser adicionado ao solo por meio de resíduos de pneus, óleo, lixo urbano, lodo de esgoto e fertilizantes fosfatados. Ele é facilmente absorvido e translocado nas plantas e tem potencial de entrar na cadeia alimentar humana, causando sérios problemas à saúde (SOARES, 2006).

A faixa de ingestão diária de cádmio é de 2 a 200 mg, com média de 20 a 40 mg ao dia. Sendo que apenas 5 a 10 % desta parte ingerida são absorvidas, enquanto que do cádmio inalado de poeiras e fumo, 20 a 25% são absorvidos. Logo, a principal via de absorção deste metal é a via respiratória (RIBEIRO, 2002).

Mesmo não ocorrendo biomagnificação em cadeia, o Cd é um veneno cumulativo, permanecendo no organismo por décadas, o que leva à incidência de doenças nos rins e no fígado e no sistema nervoso. Além do potencial cancerígeno, são possíveis efeitos mutagênicos que são ampliados quando contabilizados o período de meia-vida de 10 anos (BAGGIO FILHO, 2008).

A intoxicação por cádmio provoca pneumonites agudas com edema pulmonar letal, náuseas, vômitos, salivação e câibras, e casos sérios levam a danos no fígado, convulsões, choques, problemas renais e depressões cardiopulmonares (BIOTECH, 2004).

3.4.3 Cobre (Cu)

O cobre é um elemento avermelhado, dúctil e maleável, bom condutor elétrico e de calor. Este ocorre nas águas superficiais principalmente como compostos quelados de Cu^{+2} , ocorrendo na forma de complexado insolúvel com hidróxidos e ligado a compostos orgânicos, podendo apresentar relativa solubilidade (CHAVES, 2008).

As concentrações de cobre em águas superficiais são, normalmente, bem menores que $0,02 \text{ mg L}^{-1}$. As fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de cobre e latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, e precipitação de efluentes atmosféricos industriais. As principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação (RIBEIRO, 2002).

A alimentação contribui com 78% do total de cobre ingerido pelo corpo, mas existem poucos casos de efeitos agudos. Os problemas de toxicidade por excesso de cobre são limitados a situações ambientais particulares, como áreas de mineração, metalurgia e usos de fungicidas. A toxicidade é afetada por condições ambientais, tais como temperatura, dureza, turbidez e presença de CO_2 . Elevadas concentrações de cobre podem produzir vômitos, perturbações no fígado, sabor desagradável na água e efeitos tóxicos para uma extensa variedade de formas aquáticas. O principal sintoma é a queimação gástrica e diarreia (BAGGIO FILHO, 2008; BIOTECH, 2004; SAMPAIO, 2003).

3.4.4 Chumbo (Pb)

O chumbo é encontrado em todos os tipos de ambiente natural e em organismos, e é um elemento essencial para a vida fisiológica. Este é um metal macio e maleável, de cor cinza-azulada, encontrado no seu estado natural em depósitos minerais de onde são extraídos de 3 a 10% (SANTOS, 2007).

O problema ambiental do chumbo está nas formas dissolvidas (iônicas), o que ocorre a partir da reação com oxigênio em meio ácido – exemplo disso está no uso de soldas em latas de estanho (para alimentos) e em tubulações. Diante disso recomenda-se não

consumir a primeira água da torneira com esses sistemas de encanamento, devido ao seu alto teor de chumbo: é este chumbo presente na água o responsável pela maior parte da absorção no organismo, em contraposição aos alimentos.

O chumbo e seus compostos são utilizados em eletrodeposição, metalurgia, materiais de construção, plástico, tintas e etc. Dissolvido em águas superficiais naturais, as concentrações de chumbo são, geralmente baixas. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes, além da sua utilização como aditivo anti-impacto na gasolina. O principal problema para a saúde humana, causado pelo chumbo, procede provavelmente daquele presente na gasolina, bem como daquele absorvido pelo ar e pelos alimentos (como frutas e vegetais) – por meio dos quais entra na cadeia alimentar, onde é bioconcentrado. Uma vez no sangue, passa aos tecidos macios, como as vísceras e o cérebro, depositando-se nos ossos, onde substitui o cálcio (BAGGIO FILHO, 2008; RIBEIRO, 2002).

Os primeiros sintomas da intoxicação por chumbo são fadiga, anemia e desordens neurológicas. Dependendo do nível e da duração da exposição, resulta em mau funcionamento geral do corpo, de inibição de enzimas a mudanças morfológicas e morte. O adulto absorve 10% do chumbo que passa pelo corpo, enquanto as crianças retêm 50%. Os efeitos produzem perda de apetite, constipação, fraqueza, cólicas, dores musculares, hipertensão, disfunção renal e danos ao sistema nervoso (BIOTECH, 2004).

3.4.5 Ferro (Fe)

O ferro é um nutriente essencial, presente em diversos alimentos. 60% a 70 % do ferro total presente em seres humanos está ligado à hemoglobina. No entanto, quando presente em excesso, pode provocar aumento na produção de radicais livres do oxigênio no organismo, responsável por doenças degenerativas e processo de envelhecimento (SANTOS, 2007; RIBEIRO, 2002). Além disso, sais de ferro são irritantes para a pele e para o trato respiratório quando inalados na forma de poeiras e misturas e irritação do trato gastrointestinal quando ingeridos (LIMA, 2001a).

As fontes antropogênicas do ferro são as emitidas pela atividade de mineração, fundição, soldagem, polimento de metais, uso de compostos de ferro como agentes antidetonantes da gasolina, os efluentes de esgotos municipais e industriais e o escoamento

superficial urbano (SILVA, 2012). Segundo Sampaio (2003) o ferro é um elemento metálico que ocorre em águas naturais, também pela dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos. Nestes tipos de solos, a matéria orgânica se decompõe consumindo oxigênio e produzindo gás carbônico, o qual solubiliza compostos de ferro. Embora muitos dos sais férricos e ferrosos sejam altamente solúveis em água, os íons ferrosos, em águas superficiais, são oxidados a condições férricas e formam hidróxidos insolúveis. Estes precipitados apresentam-se na forma de gel ou flocos, podendo, quando suspensos na água, exercer efeitos nocivos sobre peixes e outras vidas aquáticas.

O ferro traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Dar cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferros-bactéria, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade (FURTADO, 2007).

3.5 Parâmetros físico-químicos

A distribuição das várias espécies químicas vai depender, além das propriedades químicas de cada metal, de um número de fatores, tais como pH, potencial redox, a quantidade de sólidos dissolvidos, temperatura do meio, atividade microbiana, dentre outros. Além disso, a degradação ambiental tem contribuído também para a diminuição de oxigênio e modificação na composição física, química e físico-química da água (SAMPAIO, 2000). Por isso torna-se necessário que além da determinação dos metais potencialmente tóxicos presentes no meio, também sejam determinados alguns parâmetros físico-químicos.

3.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O nível do pH é uma medida de acidez da água. Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental (BAGGIO FILHO, 2008; CETESB, 2008).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais potencialmente tóxicos; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (CETESB, 2008). Segundo Salomons (1995), Kabata-Pendias (1995) e Borma *et al.* (1996) apud Baggio Filho (2008), o pH controla a precipitação dos metais por meio de sua capacidade de atacar os minerais das rochas, solos e sedimentos; induzindo a lixiviação ou solubilizando seus constituintes.

Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação estadual. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (CETESB, 2008).

3.5.2 Temperatura

A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2008).

3.5.3 Condutividade elétrica (CE)

O parâmetro condutividade é determinado pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da

temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (BAGGIO FILHO, 2008; CETESB, 2008).

3.5.4 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes de que se dispõe no campo do monitoramento e avaliação da poluição das águas, pois permite verificar as condições aeróbicas em um curso d'água receptor de material poluente. A medida da concentração de oxigênio dissolvido em águas possibilita prever e estudar fenômenos de fotossíntese e corrosividade.

A solubilidade do oxigênio é uma função da temperatura e da altitude local. Os níveis de oxigênio dissolvido indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática. Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido também é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. As zonas úmidas naturais apresentam níveis ora altos, ora baixos de oxigênio dissolvido; em função da variação da temperatura, da quantidade de sais dissolvidos e de atividades biológicas (BAGGIO FILHO, 2008; CETESB, 2008).

3.5.5 Cor visual

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico (CETESB, 2008).

Compostos inorgânicos também são capazes de possuir as propriedades e provocar os efeitos de matéria em estado coloidal. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz. O problema maior de cor na água, em geral, é o estético, já que causa um efeito repulsivo aos consumidores (CETESB, 2008).

3.5.6 Cor aparente

A cor aparente de uma amostra líquida inclui a cor devida às substâncias dissolvidas, além dos materiais que causam turbidez, ou seja, que estão em suspensão. A cor verdadeira ou cor real, por sua vez, se diferencia da análise da cor aparente pela remoção prévia dos possíveis sólidos suspensos que causam a turbidez da amostra líquida (LUCIDO, 2010).

3.5.7 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas, bactérias e plâncton em geral (CETESB, 2008).

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

3.5.8 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Sólidos totais dissolvidos é o termo usado para descrever sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica presente em solução na água. Os componentes principais são normalmente cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbonatos de cátions, hidrogenocarbonato, cloreto, sulfato, e nitrato de ânions. Certo nível desses componentes na água é necessário para a vida aquática, porém entre estes também existem contaminantes, como metais potencialmente tóxicos e poluentes orgânicos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2003; WEBER-SCANNELL, 2007).

A presença de sólidos dissolvidos na água pode afetar o seu gosto. A potabilidade da água foi avaliada por provadores, em relação ao seu nível de TDS (peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume) da seguinte forma: excelente, menos de 300 mg L⁻¹; bom, entre 300 e 600 mg L⁻¹; razoável, entre 600 e 900 mg L⁻¹; ruim, entre 900 e 1200 mg L⁻¹; e inaceitável superior a 1200 mg L⁻¹ (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2003).

3.5.9 Dureza total

Refere-se à concentração total de íons alcalino-terrosos na água, particularmente de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), e em menor grau estrôncio (Sr²⁺) (associado ao cloreto), ferro (Fe²⁺) e manganês (Mn²⁺). A dureza é normalmente expressa como número de equivalente de miligramas por litro (mg L⁻¹) de carbonato de cálcio (CaCO₃) e pode ser classificada em: temporária, chamada de dureza de carbonatos, causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio ou em permanente, chamada de dureza de não carbonatos devida à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio (ABDALLA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

A dureza da água representa um sério problema para muitas atividades industriais, principalmente em processos térmicos. Entre os principais problemas relacionados com a dureza estão consumo elevado de sabão pela água dura, deposição de sais em membranas, incrustações em caldeiras e tubulações devido à precipitação química de carbonatos de cálcio e hidróxido de magnésio com aumento da temperatura e problemas de corrosão em tubulações metálicas, principalmente devido aos ânions cloreto e sulfato associados aos cátions determinantes de dureza (SILVA *et al.*, 2010).

Segundo Abdalla *et al.* (2010) a água pode ser classificada quanto à dureza em: branda (quando a concentração de CaCO₃ presente na água é de até 50 mg L⁻¹), pouco dura (quando a concentração de CaCO₃ está entre 50 e 100 mg L⁻¹), dura (quando a concentração de CaCO₃ está entre 100 e 200 mg L⁻¹) e muito dura (quando a concentração de CaCO₃ está acima de 200 mg L⁻¹).

3.6 Espectrofotometria de absorção atômica

A espectrofotometria de absorção atômica é um dos métodos mais difundidos na determinação de traços de metais, em virtude de seu baixo custo de operação em relação a outras técnicas analíticas e de sua facilidade em poder analisar grande número de amostras em pouco tempo (ALMEIDA NETO, 2003).

O princípio fundamental da espectrometria de absorção atômica envolve a medida da absorção da intensidade da radiação eletromagnética, proveniente de uma fonte de radiação primária, por átomos gasosos no estado fundamental. A espectrofotometria de absorção atômica com chama (FAAS – do inglês Flame Atomic Absorption Spectrometry) utiliza esse fenômeno para a determinação quantitativa de elementos (metais, semi-metais e alguns não metais) em baixas concentrações, que estão presentes em uma ampla variedade de amostras, sejam estas líquidas, sólidas, em suspensão, e até mesmo gasosas, tais como, materiais biológicos (tecidos e fluidos), ambientais (águas, solos, sedimentos, e plantas), alimentos, materiais geológicos, tecnológicos, etc. (KRUG et al., 2004).

O preparo da amostra deve ser bastante cuidadoso e obedecer às regras usuais da Química Analítica Clássica, dependendo do material e da concentração do elemento a dosar. Casos especiais exigem dissoluções específicas normalmente citadas nos manuais dos instrumentos. Os reagentes utilizados devem ser de alta pureza e os aparelhos de medida os mais precisos possíveis (ALMEIDA NETO, 2003).

O tipo mais utilizado de chama em FAAS é a mistura ar/acetileno, numa proporção relativamente elevada de oxidante em relação ao combustível (chama azul) (KRUG et al., 2004). Este tipo de chama produz temperaturas de 2100 °C a 2400 °C e é adequada para a determinação de cerca de 30 metais (SKOOG, 2006; VOGEL, 2002).

Amarante et al. (2011) utilizou esta técnica para a determinação de micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn) em partes comestíveis de plantas alimentícias mais consumidas na dieta da comunidade Rio Urubueua de Fátima, Abaetetuba-PA. Das dez plantas mais consumida (goiaba, cacau, ajiru preto, ajiru branco, limãozinho, chicória, cebolinha, limão de caiena, alho e urucum) apenas uma, o limãozinho, não extrapolou os limites máximos toleráveis dos quatro minerais (Fe, Cu, Zn e Mn) estudados. As demais plantas apresentaram pelo menos um elemento em concentrações consideradas tóxicas segundo a Organização Mundial de Saúde.

Gonçalves et al. (2008) determinou os teores de chumbo, cádmio, zinco, cobre e ferro em leite integral bovino pasteurizado, produzidos nos meses de setembro de 2003 a dezembro de 2004, nas mesorregiões do Estado de Goiás, também por esta técnica. Gonçalves et al. (2008) conclui que o leite das regiões avaliadas não supre completamente as necessidades dos elementos Cu, Fe e Zn, precisando ser complementado e que, considerando os níveis médios de chumbo, o leite produzido na região apresenta risco de promover intoxicações a médio e longo prazo.

3.7 Classificação das águas segundo, Resolução CONAMA nº 375, de 17 de março de 2005

Segundo a Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 17 de março de 2005, as águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) 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; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

3.8 Caracterização da área de estudo

A Bacia do Rio Tocantins-Araguaia apresenta uma grande área de captação, que se estende de 46° a 55° oeste e 2° a 18° Sul, drenando uma área de 767000 km², dos quais 343000 km² correspondem ao Rio Tocantins, 382000km² ao rio Araguaia (seu principal afluente) e 42000 km² ao Rio Itacaiúnas (o maior contribuinte de seu curso inferior) (MÉRONA *et al.*, 2010).

O Rio Tocantins é bastante canalizado, com estreita planície de inundação e densidade de drenagem moderadamente alta. Este rio nasce no escudo brasileiro e flui em direção ao norte sobre terrenos sedimentares por cerca de 2500 km até desaguar no rio Pará, próximo à cidade de Belém/PA. Em seu curso superior, o Rio Tocantins é formado por dois

tributários principais, os rios Paranã e Maranhão (Figura 1). Esse último nasce na Reserva Biológica de Águas Emendadas, no distrito Federal, local onde as bacias dos rios Amazonas, Paraná e São Francisco permanecem em comunicação direta. Abaixo da confluência com o Rio Maranhão, o Rio Tocantins passa gradativamente de uma gradiente íngreme (1400 – 600 m) a um relevo monótono nos cursos médio (500 – 200 m) e inferior (cerca de 100 m). Corredeiras e cachoeiras são os habitats mais comuns ao longo do curso superior, sendo essas também encontradas de maneira esparsa do curso médio ao inferior. A última dessas cachoeiras encontra-se hoje submersa pela represa da unidade hidroelétrica de Tucuruí. Ilhas rochosas ou arenosas e extensas praias são características e predominantes da estação seca no curso médio do rio Tocantins, enquanto ilhas aluviais dominam o cenário no seu curso inferior (RIBEIRO *et al.*, 1995).

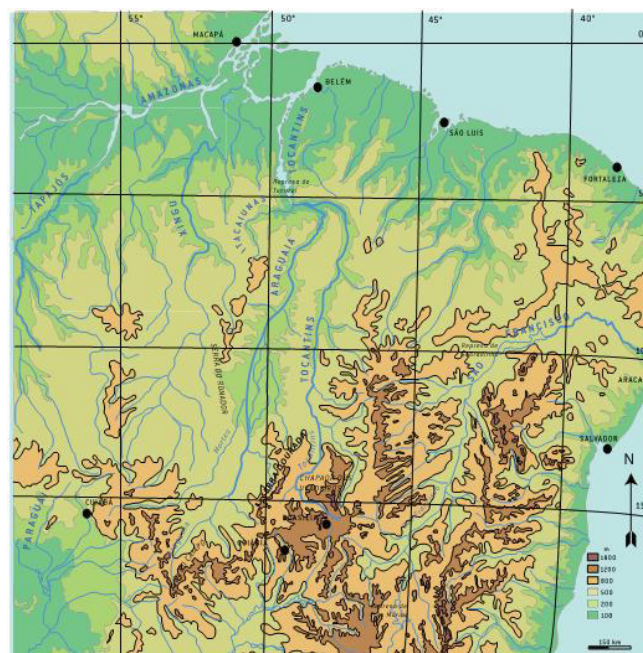


FIGURA 1. Mapa fisiográfico da bacia dos rios Tocantins e Araguaia. Fonte: modificado de Mérona *et al.*, 2010.

4 METODOLOGIA

4.1 Pontos de coleta das amostras de água

As amostras de água foram coletadas no trecho correspondente a sub bacia 23 do Rio Tocantins que abrange a área entre os rios do Sono e Araguaia. A região de coleta está compreendida entre os municípios de Ribamar Fiquene e Cidelândia, no Estado do Maranhão (Figura 2). A coleta efetuou-se no mês de abril de 2010 (período chuvoso) e foi realizada em parceria com o IBAMA – Imperatriz, que disponibilizou o guia e o transporte viário (barco a motor).



FIGURA 2. Localização dos pontos de amostragem na área a ser estudada.

Foram definidos onze pontos de coleta abrangendo a área da margem direita da Bacia do Médio Tocantins, com suas coordenadas registradas com o auxílio de um aparelho de GPS. As localizações dos sítios de amostragem estão apresentadas na Tabela 1. Todos os sítios de amostragem estão localizados a montante e a jusante da confluência dos principais afluentes do Rio Tocantins, no trecho compreendido entre os municípios de Ribamar Fiquene e Cidelândia:

- P1: Na cidade de Ribamar Fiquene, a jusante do Rio Lajeado e a montante do Rio Arraias;
- P2: Na cidade de Ribamar Fiquene, a jusante do Rio Arraias e a montante do Rio Clementino;
- P3: Na cidade de Ribamar Fiquene, a jusante do Rio Clementino e a montante do Rio Campo Alegre;
- P4: Na cidade de Governador Edison Lobão, a jusante do Rio Campo Alegre e a montante do Ribeirão Dantas;
- P5: Na cidade de Governador Edison Lobão, a jusante do Ribeirão Dantas e a montante do Rio Bananal;
- P6: Na cidade de Imperatriz, a jusante do Rio Bananal e a montante do Rio Cacao;
- P7: Na cidade de Imperatriz, a jusante do Rio Cacao e a montante Riacho Bacuri;
- P8: Na cidade de Imperatriz, a jusante do Riacho Bacuri e a montante do Riacho Capivara;
- P9: Na cidade de Imperatriz, a jusante do Riacho Capivara e a montante do Córrego São Fidélis;
- P10: Na cidade de Imperatriz, a jusante do Córrego São Fidélis e a montante do Córrego Bom Jesus;
- P11: Na cidade de Cidelândia, depois da cidade de Imperatriz e a jusante do Córrego Bom Jesus.

Tabela 1. Localização dos sítios de amostragem de água.

Sítio de amostragem	Localização	Altitude (m)
1	05°51'16"S ^a 047°26'14"W ^b	104
2	05°51'16"S 047°25'33"W	91
3	05°49'28"S 047°26'14"W	117
4	05°45'48"S 047°25'32"W	95

Tabela 1. Continuação...

Sítio de amostragem	Localização	Altitude (m)
5	05°40'49"S 047°28'12"W	101
6	05°37'28" S 047°28'33" W	107
7	05°34'01" S 047°28'44" W	107
8	05°32'31" S 047°29'19" W	102
8	05°32'31" S 047°29'19" W	102
9	05°18'32" S 047°51'50"W	102
10	05°32'14" S 047°29'25" W	102
11	05°32'14" S 047°29'25" W	102

. ^a Representa a latitude. ^b Representa a longitude

4.2 Coleta e preparação das amostras

Frascos de polietileno de 1 L de capacidade foram enxaguados, em sequência, com banho de detergente concentrado, solução de HCl a 10% (v/v) e água deionizada para a coleta das amostras.

Foi realizado um evento de amostragem, em triplicata, em cada sítio. A coleta das amostras de água foi feita manualmente, com o auxílio de um coletor de policloreto de polivinila (PVC) e depois transferidas para frascos de polietileno de um litro de capacidade, previamente lavados e descontaminados no laboratório, como já descrito anteriormente. Os frascos foram identificados, especificando o ponto da coleta.

Todos os frascos utilizados na coleta das amostras foram enxaguados três vezes com água do próprio local de coleta, antes da amostragem. As amostras foram coletadas a cerca de 10 cm abaixo da superfície líquida. As medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos foram feitas no próprio local de amostragem.

As amostras foram transportadas ao laboratório em caixas de isopor contendo gelo e em seguida parte delas foi submetida à preservação com HNO_3 . Após, todas as amostras de água foram refrigeradas a 4°C .

Os reagentes utilizados nas análises foram de grau analítico, da marca MERCK ou equivalente. Foram feitos ensaios em branco para verificar qualquer contaminação.

4.3 Determinação de pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos

Os valores de pH, temperatura, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram determinados *in situ*, em unicata, utilizando-se um medidor portátil de pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE), marca HANNA, série Combo, modelo HI 98130, que possui precisão de $\pm 2\%$ na escala total para STD/CE, $\pm 0,05$ para o pH e de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ para a temperatura. As determinações foram realizadas mediante a introdução, em recipiente próprio do aparelho, de pequeno volume de água a ser analisada (cerca de 50 mL). As determinações foram feitas no mesmo volume de água, com o mostrador digital indicando o parâmetro a ser medido.

Em etapa anterior às determinações, foi realizada a calibração do aparelho utilizando para as medidas de pH soluções-padrão de pH 4,0 e 7,0 e, para a condutividade elétrica, solução de KCl $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (com condutividade padrão de $1413 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Os valores das concentrações de oxigênio dissolvido, em mg L^{-1} , foram também obtidos no próprio local de amostragem, em unicata, utilizando-se um medidor portátil de oxigênio dissolvido, marca HANNA, modelo HI 9146, que apresenta precisão de $\pm 1,5\%$ em escala cheia por mg/L O_2 e típico desvio de $\pm 0,3 \text{ mg/L O}_2$ / $\pm 3,5\% \text{ O}_2$. As determinações foram realizadas mergulhando o eletrodo sensível ao O_2 na amostra de água.

Antes das determinações, o aparelho foi calibrado, utilizando-se solução com concentração de oxigênio dissolvido igual a zero.

Após a calibração do oxigênio dissolvido para o valor zero, como descrito acima, foi realizada a calibração para o valor de 100 mg L^{-1} de O_2 , com o eletrodo suspenso no ar.

4.4 Determinação de turbidez e cor aparente

As medidas da turbidez e cor aparente foram obtidas no laboratório multidisciplinar da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Para isso utilizou-se um microprocessador portátil turbidímetro, marca HANNA, modelo HI 93703, para a análise da turbidez, onde os resultados foram expressos em *unidades nefelométricas de turbidez* (UNT) que corresponde a $0,13 \text{ Sílica O}_2 \text{ (mg/L)}$ e um medidor de cor, marca HANNA, modelo HI 93727 para a análise da cor aparente onde os resultados foram expressos em *platinum cobalt units* (PCU) que equivale à unidade Hazen (mg PT/L). Estas análises foram realizadas em triplicata.

4.5 Determinação da concentração de metais totais

A determinação da concentração total de Cr, Fe, Cu, Cd e Pb foi adaptada do procedimento descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Para isso, foram transferidos 300 mL de amostra de água (não-filtrada) para béqueres de vidro de 500 mL. Adicionou-se, então, uma mistura 3:1 de HNO_3 e H_2O_2 concentrados, aquecendo-se, em seguida, em chapa aquecedora a 150°C até quase a secura. Adicionou-se mais 10 mL da mistura ácida, aquecendo novamente até quase a secura. O conteúdo dos béqueres foi transferido para balões de 50 mL, que foram aferidos com água deionizada. Dessa forma, a amostra foi pré-concentrada em seis vezes. As concentrações dos metais nas soluções foram, então, determinadas no laboratório de química da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em espectrofotômetro de absorção atômica com chama, fabricante Varian, modelo AA-240, utilizando-se chama de ar-acetileno.

4.6 Tratamento prévio das amostras que foram submetidas à determinação de metal dissolvido

Para a avaliação da concentração de metal solúvel foi feita a filtração da amostra, logo após a coleta, como estratégia preliminar de fracionamento. Este processo divide os componentes da amostra nas frações “solúvel” e “insolúvel” (URE e DAVIDSON, 1995). Com esta finalidade, cerca de 300 mL das amostras de água foram filtrados, com auxílio de uma bomba de vácuo, marca FABRE PRIMAR, modelo 341, em filtros de membrana de acetato de celulose, marca Sartorius, de porosidade 0,45 μm .

4.7 Determinação da concentração do metal dissolvido

Foram transferidos 300 mL de amostra de água (filtrada) para béqueres de vidro de 500 mL. Adicionou-se, então, uma mistura 3:1 de HNO_3 e H_2O_2 concentrados, aquecendo-se, em seguida, em chapa aquecedora a 150°C até quase a secura. Adicionou-se mais 10 mL da mistura ácida, aquecendo novamente até quase a secura. O conteúdo dos béqueres foi transferido para balões de 50 mL, que foram aferidos com água deionizada. Dessa forma, a amostra foi pré-concentrada seis vezes. As concentrações dos metais nas soluções foram, então, determinadas no laboratório de química da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em espectrofotômetro de absorção atômica com chama, fabricante Varian, modelo AA-240, utilizando-se chama de ar-acetileno.

4.8 Coeficiente de distribuição (K_d)

Este parâmetro fornece a relação entre a concentração do metal no material em suspensão (mg kg^{-1}) e a concentração do metal solúvel na água (mg L^{-1}). Os valores de K_d foram obtidos dividindo-se a concentração do metal no material particulado (mg Kg^{-1}) pela concentração do metal solúvel na água (mg L^{-1}).

O parâmetro K_d permite que os aspectos relacionados ao transporte e à partição do metal entre a água e os sólidos em suspensão sejam interpretados convenientemente.

4.9 Determinação da dureza total

A dureza total (Dureza cálcio e magnésio) foi determinada pelo método titrimétrico do EDTA, segundo a metodologia descrita por Fernandes (2010). Este método consiste em determinar a quantidade de CaCO_3 ou Mg(OH)_2 mediante a adição do ácido etilenodiaminatetracético (EDTA) por titulação, que reage em proporção definida e conhecida. Sabendo-se esta proporção e tendo sido determinado a quantidade gasta de EDTA, pode-se calcular a quantidade da dureza. O ponto final da reação da titulação foi visualizado pelo indicador preto de eriocromo T.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho refletiram uma situação momentânea da qualidade da água da Bacia do Médio Tocantins, pois foram relativos a uma amostragem de diferentes sítios destes cursos d'água. Estes resultados foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) para águas de Classe 2 e com dados disponíveis de outros rios. Como mencionado no item 4.1., as amostras de água foram coletadas no período chuvoso. Neste período a vazão da Bacia do Médio Tocantins encontrou-se mais elevada ao longo do seu curso.

5.1 pH

Os valores de pH das amostras de água encontram-se apresentados na Tabela 2. Como podem ser observados, todos os valores de pH apresentaram-se ligeiramente alcalinos e mostraram-se dentro da faixa de manutenção da vida (6,0 – 9,0), conforme o estabelecido pela Legislação Brasileira (2005) para águas de Classe 2.

Os valores encontrados ao longo do Rio Tocantins são similares aos observados nos rios que cortam a cidade de Ubá e Dorés de Campos-MG, 6,3 – 7,5, que também recebem em seu leito descartes industriais (ALMEIDA NETO, 2003). Estes rios também apresentaram valores de pH próximos à neutralidade e variações pequenas, o que demonstra que estes descartes não estão afetando tal parâmetro. Por outro lado, a Fonte do Rochedo no Município de Araponga (MG) considerada por Pereira (2000) como uma região não contaminada, apresentou valor de pH igual a 5,7, o que foi atribuído a um possível caráter ácido do solo da região onde foi coletada a amostra.

Segundo Dias (2001) o pH é um fator importante na solubilidade e disponibilidade de nutrientes e de metais no ambiente aquático, além de exercer forte influência na adsorção de metais em superfícies de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn. De maneira geral, a solubilidade dos metais diminui com o aumento do pH.

Tabela 2. Valores de pH das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

pH (6,00 – 9,00) ^a	
Sítio	Valor
1	7,18
2	7,12
3	7,09
4	7,20
5	7,29
6	7,29
7	7,25
8	7,25
9	7,20
10	7,19
11	7,20

^aLB: Valores estabelecidos pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2.

5.2 Temperatura

Os valores de temperatura medidos nos pontos de coleta de amostras de água encontram-se apresentados na Tabela 3. As variações observadas nos valores de temperatura podem ser justificadas pelo fato das amostras terem sido coletadas em diferentes períodos do dia.

Os resultados mostram semelhança com os valores encontrados por Baggio Filho (2008) na Bacia do Rio Formoso no município de Buritizeiro - MG onde a temperatura média da água ficou em torno de 25°C, mas também teve variações que chegaram a 30°C. O autor atribuiu os valores encontrados ao clima tropical úmido-subúmido, com invernos secos e verões chuvosos, e ao uso intensivo do solo.

Aumentos significativos nos valores de temperatura são prejudiciais ao ambiente aquático. As temperaturas dos animais aquáticos variam de acordo com as modificações da temperatura ambiental. Além disso, a água aquecida possui menos oxigênio dissolvido que a

água fria, podendo provocar aceleração do seu metabolismo e, conseqüentemente, aumento da demanda de oxigênio (MAGOSS, 1992).

Tabela 3. Valores de temperatura das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Temperatura (°C)	
Sítio	Valor
1	29,15
2	28,80
3	29,10
4	29,45
5	28,40
6	28,40
7	29,35
8	29,65
9	29,35
10	29,60
11	30,25

5.3 Condutividade elétrica

Os dados obtidos de condutividade elétrica nos sítios amostrados encontram-se apresentados na Tabela 4. Apesar de receber em seu leito o despejo de esgotos domésticos sem tratamento, as amostras de águas da Bacia do Médio Tocantins não apresentaram valores de condutividade elétrica acima do valor estipulado pela Legislação Brasileira (2005).

A condutividade da água depende de suas concentrações iônicas e da temperatura. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta (CETESB, 2001). Segundo Peláez-Rodriguez (2000) a faixa normal para águas de ambientes lóticos não contaminados é de 6 a 30 $\mu\text{S cm}^{-1}$, o que indica que valores de condutividade acima de 30 $\mu\text{S cm}^{-1}$ como os encontrados neste trabalho, estão relacionados ao lançamento de esgotos domésticos e industriais nas águas da referida Bacia.

Valores de condutividade iguais a 144 e 128 $\mu\text{S cm}^{-1}$ foram encontrados por Ribeiro (2002) em dois sítios do Ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa (MG) que

estavam sendo altamente impactados pelo lançamento de esgotos domésticos. Almeida Neto (2003) encontrou valor de condutividade elétrica de $575 \mu\text{S cm}^{-1}$ em um sítio que estava situado a aproximadamente 50 m após o descarte de um curtume.

Tabela 4. Valores de condutividade elétrica das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	
Sítio	Valor
1	36,00
2	48,00
3	45,00
4	35,00
5	41,00
6	41,00
7	45,00
8	45,00
9	41,00
10	33,00
11	37,00

5.4 Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido obtidas nas amostras de água encontram-se apresentadas na Tabela 5. As amostras de água examinadas apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido maiores que 5 mg L^{-1} , valor mínimo estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005). Esse comportamento também foi encontrado por Pereira (2000), ao analisar a Fonte do Rochedo, que o atribuiu a boas condições de aeração (região de correnteza) e a ausência de espécies químicas capazes de consumirem o oxigênio dissolvido, como por exemplo, matéria orgânica biodegradável.

Como se pode observar dentre os 11 sítios de amostragem analisados, 3 apresentaram valores inferiores para concentração de oxigênio dissolvido. As concentrações dos sítios de amostragem 8 e 9 atribuem-se ao aporte de resíduo sólido doméstico e industrial à medida que o rio atravessa o perímetro urbano da cidade de Imperatriz. Já a concentração

inferior de oxigênio dissolvido nas amostras de água do sítio 11 indica, certamente, que o Riacho Bom Jesus está contribuindo para o aumento da carga orgânica biodegradável do Rio Tocantins, visto que o sítio 10, que se encontra a montante do riacho citado, apresenta maior concentração de oxigênio dissolvido na água do que o sítio 11, que está a montante.

Ferreira *et al* (2010) encontrou valores que se mostraram com razoável oxigenação, mas próximos a níveis preocupantes nos pontos 3, 4 e 5, na Baía de Sepetiba – RJ. Almeida Neto (2003) encontrou condições próximas à anaerobiose ao analisar dois sítios dos rios que cortam o município de Dorcas de Campos - MG, o que indica que há presença de matéria orgânica provavelmente provinda de esgotos domésticos e industriais ou outros resíduos biodegradáveis descartados ao tempo de coleta. Este comportamento também foi obtido por Ribeiro (2002) nas amostras do Rio Turvo Sujo - MG.

Segundo Ferreira *et al* (2010) as perdas deste elemento ocorrem devido aos processos de consumo durante a oxidação da matéria orgânica; às perdas para a atmosfera; à respiração dos organismos e à oxidação de íons metálicos. Uma menor concentração de oxigênio em meio aquoso pode causar a morte dos organismos, de modo que o acompanhamento constante deste parâmetro é de importância fundamental.

Tabela 5. Concentração de oxigênio dissolvido das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹) (> 5,00) ^a	
Sítio	Valor
1	6,53
2	6,58
3	6,33
4	6,70
5	6,55
6	6,55
7	6,66
8	5,67
9	5,77
10	6,25
11	5,28

^aLB: Valores estabelecidos pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2.

5.5 Cor visual

Na Tabela 6 estão apresentadas as cores, obtidas visualmente, das águas coletadas nos sítios selecionados. Como se pode perceber as amostras de água não apresentaram colorações pronunciadas como as observadas por Ribeiro (2002), nas amostras do Ribeirão São Bartolomeu. Observa-se também que a cor levemente amarelada apresentada pelas amostras de águas pode ser praticamente atribuída ao material particulado. O estudo de cor é um indicativo da presença de contaminantes dissolvidos ou em suspensão, no entanto, o problema maior de coloração na água é o estético já que causa um efeito repulsivo aos consumidores (CETESB, 2008).

Tabela 6. Cor visual das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Sítio	Cor
1	Translúcida
2	Translúcida
3	Translúcida
4	Translúcida
5	Translúcida
6	Translúcida
7	Translúcida
8	Translúcida
9	Translúcida
10	Translúcida
11	Translúcida

5.6 Cor aparente

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados encontrados na determinação da cor aparente. Conforme estabelecido pela Legislação Brasileira (2005) a cor verdadeira não apresenta um limite máximo. Na Bacia do Rio Cabelo em João Pessoa - PB, por exemplo, todas as amostras analisadas apresentaram valores de cor aparente abaixo de 50 PCU (SILVEIRA, 2007).

Tabela 7. Cor aparente das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins

Cor aparente (PCU) ^a	
Sítio	Valor
1	173,33 ± 5,77
2	170,00 ± 10,00
3	160,00 ± 0,00
4	270,00 ± 17,32
5	260,00 ± 10,00
6	216,67 ± 5,77
7	220,00 ± 0,00
8	190,00 ± 17,32
9	360,00 ± 10,00
10	140,00 ± 10,00
11	210,00 ± 10,00

^a Média de três subamostras.

5.7 Turbidez

Os valores de turbidez para as amostras de água estão apresentados na Tabela 8. Como se pode observar todos os sítios de amostragem apresentaram valores de turbidez abaixo do limite de 100 UNT, estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005). Diante disso afirma-se que as águas da Bacia do Médio Tocantins não apresentam taxas altas de sólidos em suspensão mesmo recebendo descargas de esgotos domésticos ao longo do seu leito. As descargas desse tipo de esgoto, juntamente com as descargas de diversos efluentes industriais, são os principais fatores que provocam elevações na turbidez das águas.

Tabela 8. Valores da turbidez das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Turbidez (UNT) ^a (< 100 UNT) ^b	
Sítio	Valor
1	40,24 ± 8,96
2	49,83 ± 5,03

Tabela 8. Continuação...

Turbidez (UNT) ^a (< 100 UNT) ^b	
Sítio	Valor
3	50,69 ± 5,34
4	41,04 ± 2,72
5	21,13 ± 1,50
6	35,17 ± 2,87
7	22,22 ± 0,53
8	30,44 ± 1,96
9	62,30 ± 3,51
10	20,66 ± 2,03
11	50,27 ± 3,16

^a Média de três subamostras. ^b Valor mínimo estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2.

5.8 Metais totais

As concentrações totais de Cd, Cr, Cu, Fe e Pb, nas amostras de água coletadas nos sítios monitorados encontram-se apresentadas na Tabela 9. Nos sítios de amostragem 3 e 4 foram encontradas concentrações de Cd que excederam, em até 3 vezes, ao limite estabelecido pela Legislação Brasileira para águas de Classe 2. A contaminação destes locais pode estar associada a lançamento de águas residuárias e ao carreamento de fungicidas e herbicidas para a Bacia do Médio Tocantins. Bisinoti *et al.* (2004) também associam as altas concentrações de Cd, observadas na Bacia hidrográfica da cidade de Londrina-PR, ao uso de baterias para telefonia celular, cujo descarte não contava até 1999 com programas de coleta e reciclagem das unidades descartadas.

As concentrações relativamente altas de Pb na maioria dos sítios examinados devem-se provavelmente aos lançamentos de esgotos domésticos contaminados com esse elemento e à deposição atmosférica. Barros *et al.* (2009) encontrou valores similares no rio Turvo Sujo no município de Viçosa (MG) (24,33 e 12,27 µg L⁻¹ respectivamente), nas épocas

de primavera e inverno. Dias (2000) também encontrou valores altos de Pb nos pontos 9,7 e 6 no mês de setembro no Igarapé 3, um afluente do Igarapé do Quarenta, localizado na região do Distrito Industrial de Manaus (AM) e atribuiu a presença desse elemento à atividade antrópica, sendo que o ponto de coleta 9 recebe influência de esgoto industrial e poderia ser a fonte desse metal. Segundo Alves *et al.* (2010) metais como o Pb e Mn, em concentrações superiores às máximas permitidas, são considerados neurotóxicos, capazes de induzir disfunções neurais ou causar lesões no sistema nervoso central ou periférico.

As concentrações de Cr total nas águas de todos os sítios examinados estão abaixo dos limites estabelecidos pela Legislação Ambiental Brasileira (2005), para águas de Classe 2. Segundo Sampaio (2000) o Cr geralmente não está biodisponível em pH próximo a neutralidade, pois a sua biodisponibilidade está relacionada com o valor de pH; a forma Cr^{3+} (não tóxica), por exemplo, é virtualmente insolúvel em pH neutro e se dissolve quase que totalmente em águas naturais com pH muito baixo, enquanto que na forma oxidada CrO_4^{2-} , é muito mais solúvel em valores de pH maiores.

As altas concentrações de Fe total se devem provavelmente ao material particulado que ainda estava presente na amostra analisada. Por ser o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, depois do O_2 , Si e Al, o ferro é continuamente disseminado ao meio ambiente pelo desgaste natural de rochas contendo minérios de ferro e pelo escoamento superficial (LIMA, 2001a).

Os resultados encontrados na determinação de cobre total não foram comparados com a Legislação Ambiental Brasileira (2005), para águas de Classe 2, porque esta não estabelece um limite máximo para o mesmo. Segundo Lima (2001) o cobre é um constituinte natural do solo atingindo as águas ribeirinhas por ação das chuvas ou movimentação do solo, e pode estar na água dissolvido ou associado a colóides ou material particulado.

Tabela 9. Concentração de metais totais em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Sitio	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)				
	Cd 1 ^a	Cr 50 ^a	Cu -	Fe -	Pb 10 ^a
1	0,5	ND ^b	15,5	2974,5	12,3
2	0,6	20,0	23,3	2866,8	21,3
3	2,0	ND	15,8	2952,0	14,7

Tabela 9. Continuação...

Sitio	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)				
	Cd 1 ^a	Cr 50 ^a	Cu -	Fe -	Pb 10 ^a
4	3,0	ND	12,5	3190,0	26,2
5	ND	ND	14,3	1733,4	28,8
6	ND	ND	13,3	1972,1	15,8
7	ND	ND	15,2	2252,8	15,2
8	0,3	ND	14,5	1850,3	14,7
9	ND	17,5	17,5	2571,3	31,7
10	0,3	5,3	14,8	1220,8	28,0
11	0,3	14,6	12,8	1452,8	13,8

^a LB: Valor máximo estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2. ^b Não detectado (concentrações metálicas inferiores aos limites de detecção da técnica utilizada).

5.9 Metais dissolvidos

As concentrações dissolvidas de Cd, Cr, Cu, Fe e Pb nas amostras de água coletadas nos sítios monitorados encontram-se apresentadas na Tabela 10. Como se pode observar, todas as amostras de água apresentaram concentrações de Cu maiores que limite estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005). Por ser um micronutriente indispensável às lavouras, o cobre pode ter sido carregado para as águas do Rio Tocantins pelo escoamento superficial, visto que a coleta realizou-se na época de cheia.

Sampaio (2000) encontrou valores altos de Cu em todos os pontos analisados em afluentes e no Igarapé do Quarenta na Região do Distrito Industrial de Manaus-AM, e ressaltou que a contaminação por Cu é uma das mais preocupantes, por este elemento ser o mais biodisponível de todos, além de ser extremamente tóxico para muitos microrganismos, causando um desequilíbrio no ecossistema. Além disso, o Cu é um potente veneno para as hemácias, danificando suas membranas celulares e inibindo várias enzimas no homem.

Apenas os sítios de amostragem 2 e 5 apresentaram concentrações de Fe acima de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, mesmo assim, o resultado observado no sitio 2 está bem próximo ao permitido. Ribeiro (2002) encontrou uma concentração de $3040 \mu\text{g L}^{-1}$ na nascente do Rio Turvo Limpo,

sendo esta quase 50 vezes maior do que o valor encontrado na Fonte do Rochedo. Este tipo de comportamento pode ser atribuído à composição do solo visto que o Fe é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e através do intemperismo das rochas que compõem a bacia de drenagem e outros fatores como o clima, o processo erosivo, a ausência de conservação do solo e a pastagem extensiva com grande potencial erosivo aceleram a chegada deste elemento nos corpos d'água (FRANCO, 2010).

Teores acima de 0,30 mg/L produzem gosto metálico, manchas em louças, tecidos e outros, e em termos econômicos, o acúmulo de ferro precipitado em tubulações de água provoca perda em sua capacidade de transporte e há possíveis riscos de entupimento nos sistemas de irrigação localizada (ANACLETO, 2008; FRANCO, 2010).

Os resultados encontrados nas determinações de cádmio, cromo e chumbo solúveis também não foram comparados com a Legislação Ambiental Brasileira (2005), para águas de Classe 2, porque esta não estabelece limite máximo para os mesmos.

Tabela 10. Concentração de metais dissolvidos em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Sitio	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)				
	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb
	-	-	9 ^a	300 ^a	-
1	0,5	ND ^b	12,6	145,0	1,5
2	0,7	20,0	14,8	302,3	21,3
3	2,0	ND	10,6	208,8	9,5
4	3,0	ND	11,6	177,6	22,8
5	ND	ND	14,2	603,7	14,5
6	ND	ND	13,3	196,0	15,8
7	ND	ND	12,6	201,3	15,2
8	0,3	ND	14,5	114,5	14,7
9	ND	10,8	13,8	102,5	25,2
10	ND	5,3	14,8	173,7	28,0
11	ND	ND	12,8	153,1	13,8

^aLB: Valor máximo estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2. ^b Não detectado (concentrações metálicas inferiores aos limites de detecção da técnica utilizada).

5.10 Coeficiente de distribuição (K_d)

Os valores de K_d obtidos nas amostras de água são apresentados na Tabela 11. Para elementos como Cádmio e Cromo, em sua grande maioria, não foi possível determinar os valores de K_d , devido às concentrações destes elementos na fração solúvel e/ou particulada estarem abaixo do limite de detecção da técnica empregada. Pode-se observar que os valores de K_d nas localidades estudadas apresentaram, para o mesmo metal, grandes variações. Este fato pode ser atribuído à complexidade do quadro de contaminação dos ecossistemas aquáticos das regiões estudadas. As influências de descargas intermitentes de esgotos domésticos e industriais devem ser consideradas (ALMEIDA NETO, 2003).

Valores do coeficiente de distribuição menores que 1, como os observados para o cobre e o chumbo, indicam que a maior parte desses metais tem sido transportados ao longo dos cursos d'água na forma dissolvida. Já os valores de K_d para o ferro ficaram bem maiores que a unidade. Isso reflete a importância do material particulado em suspensão no transporte de espécies metálicas nos cursos d'água avaliados. Ribeiro (2002) atribuiu os valores de K_d encontrados para os elementos Al, Ca, Fe e Mg, à presença destes elementos como constituintes na fração mineral de solos e sedimentos de correntes, tais como constituintes como a caolinita, gibsitita, goetita e hematita.

Tabela 11. Valores do coeficiente de distribuição (K_d) em amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Sítio	Concentração (L Kg ⁻¹)				
	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb
1	ND ^a	ND	0,23	19,50	7,20
2	ND	ND	0,57	8,48	ND
3	ND	ND	0,49	13,14	0,55
4	ND	ND	0,08	16,96	0,15
5	ND	ND	0,01	1,87	0,98
6	ND	ND	ND	9,06	ND
7	ND	ND	0,20	10,19	ND
8	ND	ND	ND	15,16	ND
9	ND	ND	0,27	24,08	0,26
10	ND	ND	ND	6,03	ND

Tabela 11. Continuação...

Concentração (L Kg ⁻¹)					
Sítio	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb
11	ND	ND	ND	8,49	ND

^a LB: Valor máximo estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2. ^b Não detectado (concentrações metálicas inferiores aos limites de detecção da técnica utilizada).

5.11 Dureza

Na Tabela 12, estão apresentados os valores da dureza das águas coletadas nos sítios selecionados. Todos os sítios analisados apresentaram dureza inferior a 50 mg CaCO₃ L⁻¹, podendo ser classificadas como água mole, bem como na Fonte do Rochedo, em Araponga- MG, referencia de região não contaminada considerada como área não poluída pelo autor (PEREIRA, 2000). A dureza da água causa sabor desagradável, efeitos laxativos e reduz a formação da espuma do sabão, além de poder provocar incrustações nas tubulações de caldeiras e de abastecimento domésticos.

Tabela 12. Valores da dureza total das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

Dureza (mg L ⁻¹ CaCO ₃) ^a	
Sítio	Valor
1	3,47 ± 1,85
2	2,47 ± 1,00
3	2,60 ± 0,40
4	2,80 ± 0,53
5	10,40 ± 1,20
6	4,93 ± 0,56
7	4,60 ± 0,53
8	3,57 ± 0,50
9	3,57 ± 0,50
10	2,07 ± 0,30
11	1,93 ± 0,10

^a Média de três subamostras.

5.12 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Na Tabela 13 estão apresentados os valores de STD obtidos nas amostras de água coletadas. Como se pode observar os sítios de amostragem apresentaram valores de STD baixíssimos, o que nos permite afirmar que, quanto a este parâmetro, as águas da área estudada estão próprias para consumo. Os sólidos totais dissolvidos podem estar presentes naturalmente na água ou são resultados de mineração ou algum tratamento industrial de água (WEBER-SCANNELL, 2007). Altas concentrações de STD podem reduzir a claridade da água, contribuir para uma redução na fotossíntese, combinar-se com compostos tóxicos e metais pesados, e levar a um aumento na temperatura da água.

Tabela 13. Valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) das amostras de água da Bacia do Médio Tocantins.

TDS (mg L ⁻¹) (< 500 mg/L) ^a	
Sítio	Valor
1	18
2	24
3	23
4	18
5	20
6	20
7	23
8	23
9	21
10	19
11	17

^a Valor mínimo estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), para águas da Classe 2.

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos pode-se perceber que apesar de não estar em condições precárias, a Bacia do Médio Tocantins vem sofrendo bastante com o lançamento de efluentes domésticos e industriais e o uso de aditivos agrícolas. Tal fato pode ser constatado ao verificarem-se as concentrações de alguns metais como o chumbo e o cobre, os quais quase todos os valores obtidos nos sítios de amostragem se encontraram acima do limite estipulado, e como o cádmio que apresentou concentrações que excederam em até três vezes o limite estabelecido (CONAMA, 2005).

Cabe ressaltar também que o Riacho Bom Jesus, sendo um afluente do rio Tocantins, pode estar contribuindo para o aumento da carga orgânica biodegradável desta bacia, visto que todas as concentrações de OD obtidas a montante deste riacho encontram-se maior do que a concentração encontrada a jusante. As concentrações de OD encontradas estão acima do limite estabelecido pela Legislação Brasileira (2005), mas abaixo do ideal para uma região não contaminada.

Ressalta-se ainda que a discussão e as conclusões em torno dos resultados obtidos devem ser relativizados, em função de ter sido realizada apenas um evento de amostragem em cada sítio e, reconhecidamente, a qualidade da água é um evento dinâmico no tempo e espaço.

7 REFERÊNCIAS

ABDALLA, K. V. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; NETO, J. P. C.; BARBIERI, R.; NETO, M. C. C. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2010. São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Associação Brasileira de águas Subterrâneas. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>. Acesso em: 21 jan. 2013

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. Chapman & Hall: New York, 1997, p. 382.

ALMEIDA NETO, O. B. **Caracterização físico-química, determinação de metais, e especiação de crômio, ferro, nitrito e nitrato para avaliação da contaminação de rios receptores de esgotos domésticos e industriais**. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2003.

ALVES, R. I. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MEÑÓZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 122-132, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.157)

AMARANTE, C. B.; GERMANO, C. M.; LUCAS, F. C. A. determinação dos micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn em plantas alimentícias consumidas na comunidade Rio Urubueua de Fátima, Abaetetuba, PA. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 7, n.12, 2011.

ANA – Agência Nacional das Águas. **A região hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**. 2006. 17 p.

ANACLETO, B. M.; CAVALCANTI, B. F.; SOUSA, J. S. Remoção da poluição ferruginosa de águas subterrâneas pelo processo eletrolítico. In: XV Congresso Brasileiro de águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2008, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Associação Brasileira de águas Subterrâneas. Disponível em: aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/.../15891. Acesso em: 21 jan. 2013.

APHA/AWWA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, 1998.

BAGGIO FILHO, H. **Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração de e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento corrente na Bacia do Rio Formoso, município de Buritizeiro, MG.** 2008. 216 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; MOREIRA, D. A.; ROSA, D. R. Q. Elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes níveis de vazão no rio Turvo Sujo, MG, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 93-105, 2009. (doi: 10.4136/ambi-agua. 89).

BISINOTI, M. C.; YABE, M. J.S.; GIMENEZ, S. M. N. Avaliação da influência de metais pesados no sistema aquático da bacia hidrográfica da cidade de Londrina-Pr. **Revista analytica**. n. 8, dez./jan. 2004.

BORMA, R. P.; EHRLÍCH, M.; BARBOSA, M. C.; COSTA, F.J.C. 1996. **Estudo sobre a mobilidade de metais pesados em solos argilosos.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., Rio de Janeiro, 1996. Anais. SBG, v. 1. p. 611.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº274, de 29 de novembro de 2000. Define a balneabilidade em águas brasileiras. **Resoluções CONAMA.** DOU nº018, 70-71, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº375, de março 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. **Resoluções CONAMA.** DOU nº053, 58-63, 2005.

CASTRO, V. C. **Utilização da água na indústria de alimentos.** 2006. Trabalho monográfico (Pós-graduação em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária) – Universidade Castelo Branco, São Paulo, 2006.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2000.** São Paulo, 2001. 215 p.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** 2008. 40 pág.

CHAVES, R. P. C. **Avaliação do teor de metais pesados na água tratada do município de Lavras - MG.** 2008. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, 2008.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista de ciências exatas, Taubaté**, v. 12, n. 1, p. 37-46, 2006.

Conselho de Informações sobre Biotecnologia. Meio ambiente e saúde pública: biotecnologia pode contribuir para a recuperação de áreas poluídas. **BIOTECH**: informação científica sobre biotecnologia. São Paulo, SP: ano 2, n. 4, jun. 2004.

DIAS, C. M. **Estudo físico-químico da água de três igarapés da Região Industrial de Manaus – AM**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química de Produtos Naturais) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2001.

DORNFELD, C. B. 2002. **Utilização de análises liminológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para diagnostico ambiental no reservatório de Salto Grande (Americana – SP)**. 2002. 149 p. Tese (Doutorado) Departamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/ USP. São Paulo.

FERNANDES, C. **Determinação da Dureza Total (Dureza de Cálcio e Magnésio)**. Texto organizado de "notas de aula" do curso Análise de Água e de Esgotos, do Prof. Rui de Oliveira, PhD em Leeds, Inglaterra, e professor adjunto do Departamento de Eng. Civil do CCT/UFPB. Disponível em: www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dureza.html. Acesso em: 10/06/2010.

FERREIRA, A.P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da gestão costeira integrada**, v. 10, n. 2, p. 229-241, 2010.

FIESP. Manual de Orientação para uso Industrial. **Conservação e Reuso da Água**. vol. 1. Coords. Ivanildo Hespanhol, Orestes Marracini Gonçalves. São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/reuso.pdf. Acesso em: 6 jan. 2013.

FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**, 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1981. 931 p.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; BARBOZA, G. C. VANZELA, L. S. Diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação localizada na região noroeste paulista. In: CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, XX, 2010, Uberaba – MG. **Anais eletrônicos...** Uberaba: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. Disponível em: http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_franco.pdf. Acesso em: 21 jan. 2013.

FURTADO, J. G. C. **Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na baía de São Marcos: correlações e níveis background.** 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2007.

GONÇALVES, J. R.; MESQUITA, A. J.; GONÇALVES, R. M. Determinação de metais pesados em leite integral bovino pasteurizado no estado de Goiás. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 2, p. 365-374, abr./jun, 2008.

JARUP, L. Hazards of heavy metal contamination. **British Medical Bulletin**, v. 68, p 167–182, 2003 (DOI: 10.1093/bmb/ldg032).

JORDÃO, C.P. **Chemical availability of heavy metals in the aquatic environment.** **Bristol:** University of Bristol, 1983, 226p. Thesis (PhD, In Environmental Chemistry) – University of Bristol, 1983. 180 p.

JUNIOR, R.L.A. **Água de abastecimento – Rotina de sua inspeção.** Curso preparatório para concurso de Fiscal Agropecuário. Rio Janeiro. 2004

KABATA-PENDIAS, A. 1995. **Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soil.** In: SOLOMONS, W. et al. Heavy metals: problems and solution. Berlin, Springer, 1995. p. 3-18.

KRUG, F. J. ; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. Espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, 2004. Material instrucional. Disponível em: web.cena.usp.br/.../krug/AAS%20geral%20parte%201%20revisada.pdf. Acesso em: 10/06/2010.

LANDIS, W. G.; YU, M. **Environmental Toxicology: Impacts of Chemical upon Ecological Systems.** 2. ed. United States of America, 1999.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos.** Centro de recursos ambientais. Série de cadernos de referência ambiental. v. 2, Salvador, 2001. 128 p.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos.** Centro de recursos ambientais. Série de cadernos de referência ambiental. v. 4, Salvador, 2001a. 112 p.

LUCIDO, G. L. A. **Avaliação de metodologia para controle e medição de cor em efluentes têxteis.** 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2010/GilLeonardoAliprandiJR_PEAMB2010.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2012.

MAGOSSI, L. R., BONACELLA, P.H. **Poluição das águas – coleção desafios**. 9ª. Ed. São Paulo: Editora Moderna, 1992. 79 p.

MÉRONA, B.; JURAS, A. A.; SANTOS, G. M.; CINTRA, I. H. A. **Os peixes e a pesca no baixo do rio Tocantins: vinte anos depois da UHE Tucuruí**. 2010 – 208 p. il.

MOMODU, M. A.; ANYAKORA, C. A. Heavy metal contamination of ground water: the Surulere case study. **Research Journal Environmental and Earth Sciences**. v. 2, n. 1, p 39-43, 2010.

NORONHA, T. J. M. **Avaliação das concentrações de metais pesados em sedimentos do estuário do rio Timbó, Pernambuco – Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 2008.

NOVOTNH, V. 1995. **Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metal and Impact on Receiving Water**. In SOLOMONS, W., FORSTNER, U. Heavy Metals. Problems and solutions. Berlin. Spring, 1995. p. 33 – 53.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Total de Sólidos Dissolvidos na água**. As orientações da OMS para água potável de qualidade. OMS, 2003. Disponível em: www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf. Acesso em: 23/08/2010.

PELÁEZ-RODRIQUEZ, M.; PERET, A. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. **Análise da qualidade da água e aplicação do índice de proteção da vida aquática (IVA) em duas sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu**. In: ESPINDOLA, E. L. G.; PASCHOAL, C. B.; OLIVEIRA NETO, A.; ROCHA, O. (Edit.). *Ecotoxicologia: Perspectivas para o Século XXI*. 1. ed. São Carlos: Rima Editora, 2000. p. 95-114.

PEREIRA, M. G. **Contaminação ambiental pelas indústrias de beneficiamento de caulim e avaliação do emprego de vermicomposto no tratamento de efluentes contendo metais**. 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2000. 147 p.

RIBEIRO, M. C. I.; PETRERE Jr., M.; JURAS, A. A. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia-tocantins river Basin, Brazil. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 11, p. 325-350, 1995.

RIBEIRO, P. R. S. **Caracterização química, física e microbiológica de cursos d'água da bacia do rio Turvo Limpo**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2002.

SALOMONS, W. 1995. **Long-term strategies for handling contaminated sites and large-scale areas. In: SALOMONS, W, et al. Biogeodynamics of pollutants in soil and sediments: risk assessments of delayed and non-linear responses.** Berlin, Springer, 1995. p. 1 – 52.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da Bacia do Alto do Paraguai.** 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.

SAMPAIO, A. Q. **Caracterização física e química dos sedimentos na área do Distrito Industrial de Manaus (AM).** 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química de Produtos Naturais) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2000.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 111-118, 2007.

SANTOS, J. R. **Aspectos físico-químicos e metais pesados na água e sedimento do rio Verruga no município de Vitória da Conquista – BA.** 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, Bahia, 2007.

SILVA, N. D.; OLIVEIRA, O. P. Determinação da concentração de metais em águas do córrego barbado, Cuiabá – MT. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VIII-008.pdf>. Acesso em: 29/01/2013.

SILVA, R. D. R; RODRIGUES, R. T; RUBIO, J. Remoção de dureza da água por precipitação dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} e flotação por ar dissolvido – processo P-FAD. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2010, Fóz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Fóz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2010. Disponível em: www.ufrgs.br/ltn/attachments/378_COBEQ%20P-FAD.pdf. Acesso em: 21/01/2013.

SILVA, C. S...; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do cromo e seus compostos.** Centro de recursos ambientais. Série de cadernos de referência ambiental. v. 5, Salvador, 2001c. 128 p

SILVEIRA, T. Análise físico-química da água da Bacia do Rio Cabelo – João Pessoa – PB. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. 10. , 2007, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: REDENET, 2007. Disponível:

http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_092019_MEIO-028.pdf. Acesso em: 15 dez. 2012.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. "**Fundamentos de Química Analítica**". Pioneira São Paulo. 2006

SOARES, C. R. A. **Concentração de metais pesados em sedimento, água e macrófitas aquáticas em duas represas do município de Viçosa**. 2006. 206 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa, Brasil, 2006.

TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio são Francisco entre três Marias e Pirapora/MG: fatores naturais e antrópicos**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2010.

URE, A. M.; DAVIDSON, C. M. **Chemical speciation in the environment**. Blackie Academic & Professional, 1 ed., 1995. 408 p.

VIVIANI, O. **IBAMA estuda fechar e multar curtume que polui dois rios**. Jornal Pequeno – O Órgão das Multidões (on-line) 11/08/2006.

VOGEL, A. **Análise Química Quantitativa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2002. 462 p.

WEBER-SCANNELL, P. K; DUFFY, L.K. Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: a review of literature and recommendation for salmonid species. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2007.

ZAMBETTA, P. M. A. **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. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, São Paulo 2006.