

Orlando Paulino da Silva

**Estudo da Água e Sedimentos de Pesque-Pagues e Piscicultura, situados
na Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu, com Ênfase na Avaliação do Nível
de Contaminação por Metais**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof(a) Dr Eny Maria Vieira

São Carlos - SP
2004

DEDALUS - Acervo - EESC

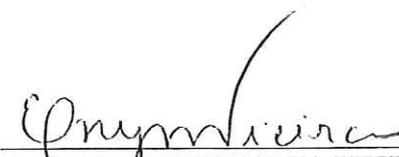


31100052115

FOLHA DE JULGAMENTO

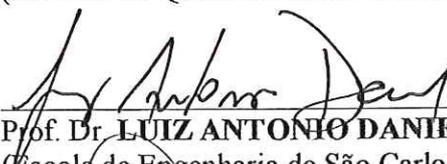
Candidato: Químico **ORLANDO PAULINO DA SILVA**

Dissertação defendida e julgada em 03-02-2005 perante a Comissão Julgadora:



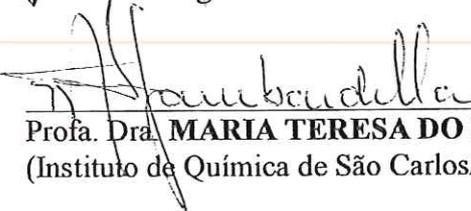
Prof. Dra. **ENY MARIA VIEIRA (Orientadora)**
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

APROVADO



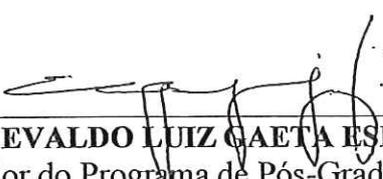
Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



Prof. Dra. **MARIA TERESA DO PRADO GAMBARDELLA**
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

APROVADO



Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

A HISTÓRIA DA TERRA EM UMA SEMANA

“Tomemos os sete dias da semana para representar o que de fato passou em 5 bilhões de anos. O nosso planeta nasceu em uma segunda-feira, às zero hora. A Terra formou-se na segunda, terça e quarta-feira até o meio dia. A vida começa na quinta, ao meio dia, e desenvolve-se em toda sua beleza orgânica durante os quatro dias seguintes.

Somente às quatro da tarde de domingo é que os grandes répteis aparecem. Cinco horas mais tarde, quando as sequóias brotam da terra, os grandes répteis desaparecem

O homem surge só três minutos antes da meia noite, Cristo nasce. A um quadragésimo de segundo antes da meia noite, inicia-se a Revolução Industrial. Agora, meia noite de domingo, e estamos rodeados por pessoas que acreditam que aquilo que fazem, a um quadragésimo de segundo, pode durar indefinidamente”.

Autor Desconhecido

"As águas não eram estas, há um ano, há um
mês, há um dia. Nem as crianças, nem as
flores, nem o rosto dos amores. Onde estão
águas e festas anteriores?"

Cecília Meireles, Mar Absoluto e Outros
Poemas

Dedico este trabalho a toda minha família,
em especial a minha mãe Maria, ao
meu pai Francisco (*in memoriam*), pelo
dom da Vida e educação que me
ofereceram. Ao meu irmão Auricélio
pelo apoio e confiança em mais uma
etapa da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dra. Eny Maria Vieira, pela orientação, competência, presteza, responsabilidade e principalmente pela confiança na realização deste trabalho, desde o primeiro contato na cidade de São Carlos-SP.

Às Faculdades Integradas do Tapajós (FIT), base inicial da minha caminhada junto à docência no ensino superior, na pessoa do Helvio Arruda.

Ao Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, pela acolhida e credibilidade em mim depositada, fundamental durante todo o meu mestrado.

À Dra. Janete Brigante, pelo apoio e motivação à pesquisa, oferecendo subsídios em todos os momentos.

À Márcia Eler, pelas contribuições e idéias junto à coleta de amostras.

À Núbia e Mariha, pela amizade, incentivo e preciosas contribuições, sempre de forma muito enriquecedora.

Ao Eurico, colega de república, pela motivação e alegria.

Ao Sérgio Sanches, amigo e sempre pronto a somar tanto no convívio acadêmico como no social.

À Neide, Luiz Augusto e Bento, pela amizade e apoio em momentos de boas discussões e refinamento.

À (Karina secretária do nosso grupo de pesquisas), Illona, Anelise, Célia, Serginho (cazuzinha), Ozelito, Melissa, Mateus, Vitor, Wilma e Ricardo, Maria Helena, Sandra e Neuza pela amizade e convívio.

Aos funcionários Edson Copi e Renata, do IQSC, pela amizade e disposição quando solicitados.

Aos funcionários do CRHEA, Amândio e Luci e da Geotécnia, Oscar, pela contribuição no campo e laboratório.

À Claudete Aparecida Poianas, secretária do SEA, pela socialização constante de alto estima.

Doravante, agradeço a todos que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste trabalho.

A Deus, pela capacidade, força e vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Piscicultura.....	2
1.2 Metais Pesados	6
1.3 Metais em Ambientes Aquáticos.....	7
1.3.1 Metais na Água e nos Sedimentos	7
1.3.2 Especificação dos Metais	8
1.4 Essencialidade e Toxicidade de Alguns Metais	10
1.4.1 Cádmio.....	11
1.4.2 Chumbo	13
1.4.3 Cobalto.....	14
1.4.4 Cobre	14
1.4.5 Cromo	16
1.4.6 Ferro	17
1.4.7 Manganês	18
1.4.8 Níquel.....	19
1.4.9 Zinco	20
2. PISCICULTURA NO BRASIL	21
2.1. Piscicultura e pesque-pagues na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	22
2.1.1 Adubação e plantação dos tanques.....	23
3. JUSTIFICATIVA	27
4. OBJETIVOS	28
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	28
5.1 Contextualização da área da bacia do rio Mogi Guaçu.....	28
5.2 Clima.....	29
5.3 Vegetação.....	29
5.4 Tipos de solo, uso e ocupação da área no entorno da bacia.....	30
6. MATERIAIS E MÉTODOS – ÁREA DE ESTUDO E COLETAS	35
6.1 Área de abrangência e pontos de amostragem	35

6.2 Contexto da realização das coletas de água, sedimentos e rações.	39
6.2.1 Coleta da água.....	39
6.2.2 Coleta de sedimentos	39
6.2.3 Coleta das rações	40
7. MATERIAIS E MÉTODOS - PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO	41
7.1 Análise da Água.....	41
7.1.1 Metodologia de extração dos metais em água.....	41
7.2 Técnica empregada para a determinação das concentrações dos metais em água, metais totais em sedimentos e rações.....	41
7.3 Análise dos sedimentos	44
7.3.1 Preparo das amostras dos sedimentos.....	44
7.3.2 Reagentes.....	44
7.3.3 Equipamentos	44
7.3.4 Metodologia empregada para o teor de matéria orgânica e inorgânica nos sedimentos.....	45
7.3.5 Metodologia empregada para a análise granulométrica dos sedimentos	46
7.3.6 Digestão das amostras dos sedimentos	47
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
8.1 Teor de matéria orgânica e inorgânica nos sedimentos	49
8.2 Determinação granulométrica dos sedimentos.....	50
8.3 Metais totais nas amostras de água através da técnica de absorção atômica	52
8.3.1 Cádmio.....	53
8.3.2 Cobre	54
8.3.4 Cromo	55
8.3.5 Ferro	56
8.3.6 Zinco	57
8.4 Metais Totais nas Amostras dos Sedimentos através da Técnica de Absorção Atômica.....	58
8.4.1 Cádmio.....	59
8.4.2 Chumbo	60
8.4.3 Cobalto.....	62
8.4.4 Cobre	63

8.4.5 Cromo	64
8.4.6 Ferro	66
8.4.7 Manganês	68
8.4.8 Níquel.....	69
8.4.9 Zinco	71
8.5 Metais totais nas amostras de ração através da técnica de absorção atômica	73
9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
A N E X O S	86

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Correlação entre o desenvolvimento de organismos vivos e a concentração do metal. Comportamento do metal essencial e não-essencial. 11
- Figura 2: Vista de pesqueiro no Estado de Minas Gerais, com destaque para a presença de viveiro de engorda e relevo montanhoso com parte da vegetação exterminada.....23
- Figura 3: Pesque-pague que faz parte da área de drenagem do rio Mogi Guaçu, o qual recebe constante adubação..... 25
- Figura 4: Localização dos compartimentos e municípios que compõem a bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. Trecho paulista. 36
- Figura 5: Localização dos pontos de coleta das lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, nos estados de Minas Gerais e São Paulo..... 38
- Figura 6: Concentração de cádmio (Cd) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu 54
- Figura 7: Concentração de cobre (Cu) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu 54
- Figura 8: Concentração de cromo (Cr) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. 55
- Figura 9: Concentração de ferro (Fe) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. 57
- Figura 10: Concentração de zinco (Zn) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais seguimentos indústrias com potencial poluidor na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	31
Tabela 2: Algumas atividades antrópicas existentes na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, compreendendo as proximidades das estações de coleta.	32
Tabela 3: Atividades potencialmente poluidoras para a água e sedimentos, na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, onde estão inseridas as lagoas de pesque-pagues e estações de piscicultura.	33
Tabela 4: Percentagens de matéria orgânica dos sedimentos para os 10 pontos (estações de piscicultura e pesque-pagues amostrados).	499
Tabela 5: Análise granulométrica conjunta do sedimento	51
Tabela 6: Concentração de cádmio (Cd) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	59
Tabela 7: Concentração de chumbo (Pb) em sedimentos de lagoas de pesque-pague e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	60
Tabela 8: Concentração de cobalto (Co) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	62
Tabela 9: Concentração de cobre (Cu) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	63
Tabela 10: Concentração de cromo (Cr) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	64
Tabela 11: Concentração de ferro (Fe) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	66
Tabela 12: Concentração de manganês (Mn) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.	68
Tabela 13: Concentração de níquel (Ni) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	69
Tabela 14: Concentração de zinco (Zn) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.....	71
Tabela 15: Concentração de metais totais em amostras de rações coletadas em lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.	73

RESUMO

SILVA, O.P. *Estudo da Água e Sedimentos de Pesque-Pagues e Piscicultura, situados na Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu, com Ênfase na Avaliação do Nível de Contaminação por Metais*. São Carlos-SP, 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A bacia hidrográfica do Mogi Guaçu é um importante sistema de sustento para diversas atividades econômicas regionalizadas. Em decorrência de atividades antrópicas como, uso e ocupação inadequada do solo, utilização de pesticidas e fertilizantes nas lavouras, lançamento de efluentes domésticos (*in natura*) e industriais, sem tratamento; dentre outras, verificou-se que o rio Mogi Guaçu é acometido por diferentes graus de degradação ao longo do seu curso; e, por conseguinte, as lagoas de piscicultura da área de drenagem. Este trabalho objetiva analisar a concentração de metais na água, sedimentos e rações de lagoas de pesque-pagues, no intuito de avaliar o nível de impacto dos metais sobre o ambiente. Foram feitas coletas de água e sedimentos, em quatro épocas diferentes, duas no período seco e duas no chuvoso, precisamente em dez pontos, distribuídos desde a nascente até a foz. As rações foram coletadas em cada um dos pesque-pagues. Análises das percentagens de matéria orgânica e inorgânica foram executadas, bem como análise granulométrica dos sedimentos. A análise quantitativa dos metais foi efetuada pela técnica espectroscópica de absorção atômica, tanto em água, sedimentos e ração. Os resultados demonstram que as percentagens de matéria orgânica são elevadas, ocorrendo em todos os períodos de amostragem. A elevada fração de argila e areia, na grande maioria dos pontos de amostragem, indica que os sedimentos têm mérito considerável na redistribuição dos metais na coluna d'água. A concentração de metais em água excedeu os limites da resolução CONAMA 20/86 para águas de classe 2, com destaque para Cd (P1: Inconfidentes; 0,049 mg/kg), Cr (P9: Jacutinga; 0,190 mg/kg) e Fe (P8: Itapira; 9,60 mg/kg). Em sedimentos na totalidade dos pontos e, pelo menos, em um período, houve indicativo de contaminação. Para a análise das rações, segundo a IFOAM, níveis abaixo para Co, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn, considerados metais essenciais. Portanto, as análises indicam ambientes impactados negativamente, com grau elevado de interferência antrópica.

Palavras-chave: Lagoas de pesque-pagues, piscicultura, metais, sedimentos.

ABSTRACT

SILVA, O.P. *Study of the Water and Sediments on Fish & Pay and Fish Culture, situated on Hydrographic Basin of the Mogi Guaçu, with Emphasis in the Evaluation of the Metals' Level Contamination*. São Carlos-SP, 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The hydrographic basin of Mogi Guaçu is an important sustenance system for a lot of local economic activities. In result of human activities as use and inadequate occupation of the ground, pesticides and fertilizers in the farmings, launching of domestic and industrials effluent servants, without treatment; amongst others, it was verified that the Mogi Guaçu river must be submitted by different degrees of degradation to the long on its course; and, therefore, the fish culture on draining area. This work's purpose is to analyse the metal concentration in the water, sediments and rations on fish & pay lagoons, in intention to evaluate the level of impact of metals on the environment. There was water collect and sediments, at four different times, two in dry period and two in the rainy one, necessarily in ten points, distributed since the spring until the estuary. The rations had been collected in each one of fish & pay. Analyses of the percentages of organic and inorganic substance had been executed, as well as grain sized analyses of the sediments. The quantitative analysis of the metals was effected by atomic absorption spectroscopic technique, as much in water, sediments and ration. The results demonstrate that the percentages of organic substance are been raised, occurring in all the periods of sampling. The raised fraction of clay and sand, in the great majority of the sampling points, suggesting that the sediments have considerable importance in the redistribution of the metals in the water' column. The metal concentration in water exceeded the limits of CONAMA, 20/86, with prominence to Cd (P1: Inconfidentes; 0.049 mg/kg), Cr (P9: Jacutinga; 0.190 mg/kg) and Fe (P8: Itapira; 9.60 mg/kg). In sediments on totality of the points, at least in a period, indicative contamination. For rations anylises, by IFOAM, low levels to Co, Cu, Cr, Fe, Mn and Zn, considered essential metals. Therefore, the analysis indicate negative environmental impacts, with high degree of human interference.

Key word: Fish & pay lagoons, fish culture, metals, sediments.

1. INTRODUÇÃO

Todas as formas de vida existentes no planeta Terra dependem de água. Cada ser humano necessita consumir água diariamente para permanecer vivo. Contudo, a água doce é um prêmio, pelo fato de que mais de 97% da água do mundo é água do mar, indisponível para beber e para a maioria dos usos agrícolas. Além disto, três quartas partes da água doce estão presas em geleiras e nas calotas polares. Restando para os lagos e rios como as principais fontes de água potável, constituindo, em seu conjunto, menos de 0,01% do suprimento total de água. Recentemente, foi estimado que a humanidade consome, sobretudo para a agricultura, cerca de três quintos de água que escoar para os mares; e as previsões indicam que esta fração atingirá três quartas partes no ano de 2025. (BAIRD, 2002).

Com o aumento da população humana, a paisagem foi se modificando, as florestas foram sendo desmatadas; surgiram as monoculturas; a terra foi removida para prevenção de enchentes; áreas costeiras aterradas e grandes sistemas de drenagem construídos. Concomitantemente, volumes crescentes de água estão sendo utilizados pela agropecuária, pelas indústrias e pelo poder público, com diversos objetivos, dentre eles a irrigação de culturas. O resultado final destas atividades é um impacto na estrutura física, química e biológica dos rios, lagos e represas, reduzindo o potencial desses sistemas em oferecer condições para usos múltiplos. (LLOYD, 1992).

O futuro da população dos países em desenvolvimento dependerá do balanço entre o uso e a conservação dos recursos naturais. A produção de alimentos, a subsistência dos produtores dos mesmos e dos trabalhadores, associados a esta atividade, terá que garantir um sistema "sustentável", em vez de um ambiente superexplorado e negativas modificações na estrutura e funcionamento. Nestes termos, o ambiente é definido, de maneira ampla, no enfoque em que a ecologia humana está relacionada com os recursos naturais bióticos e abióticos. (PULLIM, 1989).

A agricultura tem afetado o ambiente, através da ocupação e fragmentação dos habitats naturais causando a redução da abundância e da diversidade da biota, com alterações do solo e da água e isto contribui para que ocorra modificação no clima. A agricultura ainda é considerada como a mais importante fonte econômica dos países em desenvolvimento, mas continua provocando transformações no ambiente. Assim sendo, as preocupações e análises com o duplete custo-benefício que têm sido amplamente discutidas, as quais são essenciais para a avaliação das conseqüências, trazem para o centro de atenção a aqüicultura, até antes considerada como uma atividade que não causava impacto ambiental. (KITAMURA et al.,1999).

1.1 Piscicultura

Haliêutica é o nome erudito da antiqüíssima arte de pescar. Recentes descobertas da arqueologia e antropologia indicam que, desde a época dos homens das cavernas, a pesca já era utilizada para satisfazer as necessidades de alimentos, tendo surgido concomitantemente com a caça. O peixe está ligado a atos religiosos, quem não se lembra dos primeiros cristãos que, para estabelecerem comunicação entre si, usavam um criptograma de cinco letras gregas, onde a junção formava a imagem de um peixe. Pescar é uma arte, que o diga os que tentaram e observam as diversas maneiras que o peixe procura utilizar para se ver livre das armadilhas aplicadas. (SANTOS, 1985).

Ao contrário da agricultura, a atividade da aqüicultura é uma prática recente e embora atualmente seja reconhecido o mérito que esta possui em relação à produção de alimentos, com alta eficiência e como pólo de integração com a agricultura, também têm sido reconhecidos os impactos aos sistemas naturais que recebem seus efluentes. Ademais, deve-se considerar que o meio aquático apresenta uma série de processos físicos, químicos e biológicos, os quais, em conjunto com a própria atividade metabólica dos peixes, devem ser analisados, visando-se manter a sanidade e o desempenho da criação.

Segundo BOYD (1997), os efluentes da piscicultura são freqüentemente mais concentrados em sólidos, materiais orgânicos e nutrientes que as águas superficiais naturais onde são descarregados. A intensificação da produção

piscícola aumenta as concentrações de CO₂, amônia, sólidos fecais e matéria orgânica dissolvida na água.

O forte da piscicultura nacional está concentrada nas regiões Sul, Sudeste e parte do Centro-Oeste. Os Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás, são os que mais se destacam. Somente os Estados de São Paulo e Paraná contribuem com mais de 60% da atividade, sendo que São Paulo contribui com mais de 45% de toda a produção de peixes de água doce do país. (COELHO, 1997).

O surgimento das estruturas dos pesque-pagues no Brasil funciona, também, como uma mola propulsora para a piscicultura. Na realidade são atividades que se complementam, ou seja, atualmente os pesque-pagues constituem um grande mercado para os piscicultores brasileiros, configuram-se como a grande opção para os pescadores dos grandes centros urbanos, pois permitem que as pessoas possam praticar a pesca amadora sem ser necessário realizarem grandes viagens. (PNDPA, 1999)

São vários os exemplos da expansão e da integração da aquicultura com outras atividades agropecuárias, turísticas e industriais, nos últimos anos, no estado de São Paulo; é o caso da piscicultura comercial intensiva, em grande escala, e as pisciculturas integradas às pequenas propriedades rurais, a criação de peixes em tanques-rede, nos grandes reservatórios das hidrelétricas, nas bacias hidrográficas paulistas e os próprios sistemas de pesque-pagues (CASTAGNOLLI et al., 1997).

Atualmente, alguns pesque-pagues são mais do que estruturas de pesca, uma vez que incorporam uma série de outros serviços de lazer para toda a família, contando ainda com hospedagem e alimentação. Só no Estado de São Paulo existem mais de 3000 pesque-pagues e, calcula-se que, pelo menos, 5 milhões de pessoas freqüentam mensalmente estas estruturas. A procura pelos pesque-pagues também pode ser medida pelas lojas de equipamentos de pesca, onde grande parte dos produtos a venda são específicos para serem utilizados em pesque-pagues (PNDPA, 1999). Estudos recentes indicam que só na bacia do Piracicaba, que representa uma parcela significativa da oferta de pescado no Estado de São Paulo, a pesca esportiva agregue um total estimado de mais de R\$ 60 milhões anuais na economia da

região e estima-se uma contribuição de 335 toneladas de pescado, com lucros superiores a 100% para o produtor. (KITAMURA et al., 1999).

O desconhecimento do número exato de empreendimentos piscícolas e de suas características (produtividade, volume e qualidade do efluente, espécies criadas, sistema de criação e manejo) leva, invariavelmente entre outros fatores, a gestão errônea dos recursos hídricos.

A manutenção da qualidade da água em viveiros de piscicultura é um requisito básico para o sucesso econômico da operação. Esta qualidade pode ser influenciada por vários fatores, como por exemplo, a origem da fonte de abastecimento e o manejo do pescado. Entretanto, o emprego de alimentos industrializados é o maior responsável pela queda na qualidade da água. De acordo com SMITH (1998) o florescimento de algas, principalmente de *Cyanophyta*, é consequência da disponibilidade de nitrogênio e de fósforo originados de restos de ração não consumida, além do pó fino que se desintegra dos grânulos das rações que caem direto na coluna d'água (KIBRIA et al., 1998). Contribuindo, ainda, para o aumento nas concentrações de nutrientes, ressaltam-se os restos metabólicos dos peixes, bem como as entradas de carbono no sistema via respiração do zooplâncton, das bactérias e dos peixes que também colaboram com o aumento da produção primária do fitoplâncton. (DRAPCHO & BRUNE, 2000).

Durante o florescimento, a comunidade é dominada por poucas espécies, geralmente por gêneros da divisão *Cyanophyta*, sendo os mais comuns *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* e *Oscillatoria*. Estes gêneros conferem um sabor desagradável (geosmina) à carne do peixe (BOYD, 1990; PAERL & TUCKER.,1995). Um outro fator negativo a ser ressaltado é referente aos compostos produzidos por espécies de *Cyanophyta* e que são altamente tóxicos para os animais de sangue quente. No entanto, pouco se sabe de sua influência nos estoques piscícolas de viveiros. De acordo com PAERL & TUCKER (1995), uma mortandade em massa de peixes e crustáceos coincidiu com duas florações, cujos gêneros dominantes foram *Anabaena* e *Microcystis*, gêneros que possuem espécies altamente tóxicas. Além disto, o aumento dos teores de amônia pode chegar a níveis tóxicos e concorrer para a mortandade coletiva dos peixes. (BOYD, 1990).

O estudo dos fatores físicos e químicos, em ambientes aquáticos, é de grande importância devido a sua influência sobre os processos metabólicos. Destes fatores, a temperatura está intimamente relacionada com o desenvolvimento dos organismos e com as reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também em outros processos, tais como solubilidade dos gases nela dissolvidos. HERMAN & MEYER (1990) salientam que as ocorrências de oscilações de temperatura e concentração de oxigênio dissolvido, podem provocar alterações no ambiente, chegando ao ponto de causar a morte de peixes e de outros organismos aquáticos, em viveiros de piscicultura.

De acordo com HOFF & WESTMAN (1988), o principal fator que afeta o metabolismo dos peixes é a temperatura. BRET (1988) demonstrou que existe relação direta entre o índice de crescimento específico desses animais e a temperatura da água. Assim, ela é considerada fator ecológico importante, ligado ao crescimento dos peixes.

O meio aquático contém uma flora e uma fauna diversificada. Com a coleta de algumas espécies do ambiente natural e inseridas em cativeiro, o homem as domesticou e as mesmas passaram a ser produto da demanda de mercado. BEVERIDGE et al (1996) afirmam que os organismos aquáticos, como os peixes, comportam-se de forma diferente, pois escapam e formam populações que podem inter-reproduzir com o estoque nativo e, desta forma, ameaçar os recursos genéticos naturais, provocando a ruptura nos habitats naturais pela proliferação ou remoção da vegetação, pelo aumento da turbidez da água e pela introdução de organismos patogênicos, predadores e outras pragas. Com isto, é necessário que a prática aquícola seja bem planejada. Este tipo de avaliação traz a aquíicultura para o centro do conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que se procura inserir esta prática utilizando o ambiente de forma racional.

É de extrema necessidade o monitoramento da água onde os peixes estão inseridos, proporcionando condições para uma boa produtividade e garantia da qualidade.

O impacto simultâneo das diversas atividades antrópicas desenvolvidas ao longo da bacia do rio Mogi Guaçu deve ser estimado, dentre outras maneiras, através do monitoramento das variáveis físicas e químicas da

qualidade da água, ao longo de sua extensão; e, também, da qualidade da água dos efluentes lançados pelas estações de pisciculturas. Além disto, os produtores poderão ter uma visão do seu sistema, que também funciona como uma fonte de emissão de poluentes e tomar medidas adequadas para evitar a contaminação do corpo receptor.

1.2 Metais Pesados

Os elementos conhecidos coletivamente como metais pesados são aqueles cujos pesos específicos são iguais ou maiores que 5,00; sendo o peso específico definido como a razão entre a densidade do metal e a densidade da água à 4°C. (LAPEDES, 1974).

Os metais pesados estão situados, na Tabela Periódica, próximo da parte inferior, sendo suas densidades altas em comparação a de outros minerais comuns. Embora pensemos nos metais como poluentes da água ou como contaminantes de nossos alimentos, eles são em sua maioria, transportados de um lugar para outro por via aérea, seja como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas em material particulado em suspensão. Assim, por exemplo, cerca da metade dos metais pesados que entram nos Grandes Lagos – entre Estados Unidos e Canadá – são depositados a partir do ar. Evidências recentes na Suécia indicam que a deposição de chumbo em sedimentos de lagos europeus data da época dos antigos gregos, que foram os primeiros a produzir prata em grande quantidade para fabricar moedas. Aparentemente, naquela época, uma quantidade bastante substancial de chumbo contaminante, presente na prata bruta, escapou para o ar durante a refinação do metal. (BAIRD, 2002).

Os metais se apresentam como os elementos de maior abundância na crosta terrestre. Uma diversidade grande de minerais configura a fonte de metais encontrados em solos e ambientes aquáticos, onde o intemperismo mineral, de ocorrência natural, e as ações antrópicas são os processos responsáveis pela distribuição dos metais nos sistemas atmosférico, terrestre e aquático. (NOVOTNY, 1995).

1.3 Metais em Ambientes Aquáticos

Os metais são transportados, através do ciclo hidrológico, desde a primeira ocorrência de água no planeta Terra. A água fornece condições para o intemperismo nos continentes, bem como meio para o transporte de metais-traço. (SALOMONOS & FÖRSTNER, 1984).

De acordo com JACKSON (1991), no que pese quantidades substanciais de metais e outras substâncias orgânicas entrarem nos lagos diretamente pelas atividades humanas ou processos naturais, outros setores ambientais podem transportá-los para os lagos. Os rios, por exemplo, configuram na principal tarefa do transporte de substâncias em solução ou em associação com os sólidos suspensos, atuando como coletor de descarga de metais da bacia de drenagem antes destes atingirem os lagos.

Segundo CALMANO (1996), a contaminação de metais nos corpos hídricos é originada por fontes difusas e pontuais. As fontes difusas são a partir das deposições sólidas e pela atmosfera. A chamada "lavagem" do solo, particularmente em extensas área agrícolas, é outra significativa fonte difusa. As fontes pontuais são as emissões de despejos industriais, esgotos domésticos "in natura", bem como depósitos de lixo e despejos de mineração, as quais provocam poluição por metais em larga escala.

Os ecossistemas aquáticos acabam, de uma forma ou de outra, servindo como reservatórios temporários ou finais de uma grande variedade e quantidade de poluentes lançados ao ar, solo ou diretamente aos corpos de água. Desta forma, a poluição por metais em ambiente aquático, de uma forma direta ou indireta, produz efeitos danosos, tais como: prejuízo aos seres vivos, perigo a saúde humana e efeitos negativos às atividades aquáticas (piscicultura, pesca e lazer). (HERMAN, 1990).

1.3.1 Metais na Água e nos Sedimentos

Os sedimentos, provenientes da erosão, além de metais, contêm nitrogênio (N) e fósforo (P), prováveis desencadeadores de processos de eutrofização das águas, um aumento da concentração de nutrientes que favorece o desenvolvimento rápido de algas, que elevam o consumo de

oxigênio, impedindo a sobrevivência de outros organismos, como os peixes. Os animais aquáticos também são afetados pelo aumento da turbidez provocada pelo acréscimo das partículas em suspensão; outro problema é que os sedimentos podem conter resíduos de metais pesados, presentes em fertilizantes, pesticidas e corretivos utilizados nos solos. Diversas amostras de fertilizantes e calcários, comercializados no estado de Minas Gerais, apresentaram concentrações de metais pesados consideradas tóxicas. (COSTA et al., 1998).

Um dos aspectos mais graves da contaminação por metais é a sua amplificação na cadeia trófica. Como consequência deste processo, os níveis de metais nos membros superiores da cadeia podem alcançar valores muito acima aos que se encontram no ar e água.

No ecossistema aquático, os metais estão distribuídos em quatro reservatórios abióticos: o material suspenso, o sedimento, as águas superficiais e as águas intersticiais (SALOMONOS & FÖRSTNER, 1984). Estes reservatórios interagem entre si através de inúmeros processos, tais como:

- adsorção/desorção e precipitação/coprecipitação entre material suspenso e metal em solução;
- sedimentação e erosão entre material suspenso e sedimento e,
- difusão consolidação e bioturvação após a deposição do material, podendo influenciar a concentração dos metais nas águas superficiais.

Como resultado destes complexos processos físicos, químicos e biológicos, a maior fração dos metais-traço é encontrada associada ao sedimento do fundo.

1.3.2 Especificação dos Metais

De acordo com ROSS & VERMETTE (1995), a especificação aparece definida como a "identificação da forma específica de como qualquer metal ocorre em um meio amostrado", o que indica que o conhecimento não apenas da concentração do metal, mas do estado em que este se encontra no ambiente, notadamente a especificação química e as reações envolvidas na transformação das espécies, é fator importante para se conhecer como os poluentes afetam o ambiente aquático. (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981).

Os exemplos do arsênio e do cromo são citados por MOORE & RAMAMOORTHY (1984), como sendo metais elevadamente dependentes da sua forma química e da valência: arsina e o arsênio inorgânico trivalente e o cromo hexavalente são as espécies mais tóxicas. Mercúrio, arsênio e algumas espécies do chumbo passam por metilações ambientais, formando metil derivados altamente tóxicos.

Os produtos, bem como os processos e substratos, para o enriquecimento de metais em sólidos aquáticos, podem ser distinguidos em duas principais situações:

1) Ocorrendo a elevação do pH e do percentual de oxigênio dissolvido ocasiona a formação de hidróxidos de metais, carbonatos e outros precipitados de metais;

2) Quando se identificam águas ricas em matéria orgânica, minerais podem ser solubilizados pela combinação de processos de complexação e redução. (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Os principais processos que afetam a especiação dos metais, segundo NOVOTNY (1995), são a adsorção, as reações de oxidação/redução; a diluição e o equilíbrio precipitação/dissolução. O efeito da diluição logicamente irá alterar as “*variáveis master*” (pH, força iônica e temperatura) do conteúdo original, podendo significativamente afetar a distribuição relativa das espécies dissolvidas do metal presente na descarga. O pH e a concentração dos metais e ligantes influenciam a adsorção. (NOVOTNY, op. cit).

A seguinte regra prática aplica-se: geralmente, em meio ácido, poucos metais são adsorvidos, enquanto em meio alcalino, a maioria dos metais catiônicos é adsorvida (em águas naturais, a maioria dos metais está presente como cátions, com algumas exceções, como CrO_4^{-2} e AsO_4^{-3}). A partir de que a maioria do carbono orgânico no corpo d’água esteja usualmente dissolvida, pode-se esperar que os complexos solúveis organo-metálicos possam ser formados, e isto pode aumentar a fração dissolvida do metal. Quando mais do que um metal adsorvido estiver presente, e os locais de adsorção estiverem limitados, a adsorção competitiva ocorre e a adsorção de alguns íons pode ficar limitada pela falta de substrato.

É importante ressaltar, também, que, de acordo com JACKSON (1991), a especiação dos metais possui um significado especial para a disponibilidade

biológica e toxicidade, onde as diferentes espécies químicas, do mesmo elemento, podem ter efeitos biológicos diferentes.

1.4 Essencialidade e Toxicidade de Alguns Metais

Apresentando peso específico aproximadamente igual ou maior que 5, os elementos conhecidos como metais pesados, são considerados a maioria dos chamados metais de transição e alguns dos metais dos grupos III A, IV A, V A e VI A da Tabela Periódica dos elementos. (LAPEDDES, 1974).

Os não-metais são elementos do grupo IV ao VII A da Tabela Periódica. Os metalóides B, Si, Ge, As, Sb, Te, e At apresentam algumas características tanto de metais como de não-metais. Excetuando-se os gases nobres (grupo VIII A), todos os demais elementos, inclusive os lantanídeos e os actinídeos, são metais.

O termo metal pesado, embora não bem definido, é amplamente reconhecido e utilizado para um grupo de metais que estão associados à poluição e toxicidade, tais como, o chumbo, cádmio, mercúrio, arsênio e urânio. São também incluídos alguns outros aos anteriormente citados, como elementos biologicamente essenciais, em baixas concentrações, como, o cobalto, cobre, manganês, selênio e zinco. (RUSSEL, 1994).

Os elementos, possuindo densidade maior que 5,0 e massa atômica maior que 40, são classificados quimicamente como metais pesados (exceto Ti e Se), sendo caracterizados em três classes diferentes:

- de ocorrência natural (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt e Au);
- insolúveis ou associados (V, Cr, Mn, Ti, Zr, Nb, Hf, Ta e W) e
- associados ao enxofre (Mo, Re, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Cd, Hg, In, Tl, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te).

Metal pesado não implica necessariamente em “metal tóxico”. Muitos deles são considerados nutrientes indispensáveis às plantas e seres vivos, desde que em baixas concentrações. Vários íons metálicos são essenciais ao bom funcionamento dos organismos vivos, e outros como: sódio, cálcio, potássio, manganês, ferro, cobalto, molibdênio, cobre e zinco, têm importância fundamental para o homem.

Desta forma, alguns metais e seus compostos são considerados essenciais para os organismos vivos, outros são inertes (uma vez que não se

acumulam no corpo) e, ainda, há os que são considerados tóxicos. (CASARETT e DOULL., 1995).

O cobre e o zinco, por exemplo, compõem o sistema doador de elétrons nos complexos enzimáticos, entretanto, a ingestão de concentração além da necessária ao bom funcionamento do organismo é considerada tóxica.

Estudos relativos à toxicidade dos metais indicam que, em baixas concentrações, podem ocorrer situações que levam à deficiência nutricional. Todavia, a suplementação adequada resulta em ótimas condições para o organismo, ao passo que o excesso resulta em efeitos tóxicos ou, até mesmo letais, conforme pode ser observado na Figura 1:

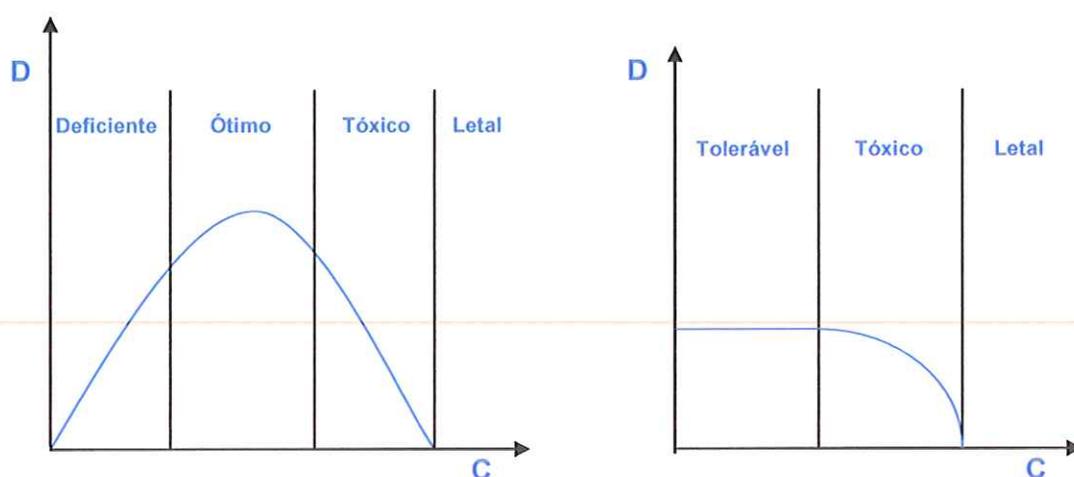


Figura 1: Correlação entre o desenvolvimento de organismos vivos e a concentração do metal. Comportamento do metal essencial e não-essencial. D: Desenvolvimento e C: Concentração do metal.

Fonte: MARTIN & SIGEL (1980)

1.4.1 Cádmio

O cádmio, cujo nome vem do grego *kadmia* (terra), apresenta-se na natureza junto com o zinco, mas também se combina com o enxofre no brilhante sulfeto de cádmio, muito popular entre os pintores. Descoberto em 1817 nos minerais *greenockita* (sulfeto de cádmio, CdS) e *esfalerita* (sulfeto de zinco, ZnS). Os minérios de zinco contêm cerca de 0,2 a 0,3 % de cádmio, o que ocorre em percentagem menor nos minérios de cobre e chumbo. (TEIXEIRA, 1998).

Fazendo parte do Grupo II B da Tabela Periódica, o cádmio é um elemento que possui estado de oxidação natural na forma de Cd^{+2} , com

coloração azulada e ductibilidade. Configura-se com covalência moderada e, pela sua alta afinidade pelos grupos sulfetos, provoca um aumento de solubilidade em lipídios, bioacumulação e toxicidade.

De acordo com MOORE & RAMAMOORTHY (1984), o cádmio no organismo pode substituir o zinco em reações, desativando certos complexos enzimáticos.

Em águas naturais, o cádmio é encontrado, principalmente, no sedimento de fundo e nas partículas em suspensão; tendo sua adsorção ao sedimento elevando o pH e, a partir de um pH maior ou igual a 7, praticamente todo o metal é adsorvido. Em geral, em ambientes aquáticos, o cádmio é oxifílico e sulfofílico, o qual é complexado por muitos tipos de matéria orgânica, como: açúcares, aminoácidos, polissacarídeos, ácidos hidroxílicos (de natureza aromática e alifática).

Os fabricantes de tintas vêm utilizando pigmentos de sulfeto de cádmio em tintas para produzir cores amarelas brilhantes há 150 anos e opõem-se a quaisquer proibições alegando que até o presente não existem substitutivos adequados. Van Gogh não poderia ter pintado seu famoso óleo *Os Girassóis* sem os tons amarelos do cádmio, embora tenha se cogitado que o envenenamento por cádmio pode ter contribuído, além do chumbo presente nas tintas da época, para o estado mental de angústia do pintor (BAIRD, 2002).

De acordo com GESAMP (1985), quando o cádmio (Cd) é ingerido pelo homem, um dos principais problemas é sua meia vida (entre 16 e 33 anos). Existe cerca de 0,001 mg/kg de cádmio no corpo humano ao nascimento, chegando a patamares entre 10 e 30 mg/kg por volta de 50 anos de idade.

Dentre a ampla gama de uso e aplicação do cádmio, pode-se destacar seu uso em muitas ligas metálicas, algumas delas em joalheria, com níquel, prata, cobre e ouro e em soldas rápidas com chumbo. O cádmio é usado, ainda, como proteção contra corrosão (galvanoplastia), para cobrir metais em porcas e parafusos; sua aplicação vai desde a produção de fusíveis, pilhas recarregáveis, varas de regulagem; passando por reatores atômicos, fotômetros e pigmentos.

1.4.2 Chumbo

O chumbo é um elemento do Grupo IV B da Tabela Periódica, e suas formas estáveis são Pb^{+2} e Pb^{+4} . De acordo com OHLWEILER (1972), tem ocorrência na crosta terrestre em uma concentração aproximada de 16 mg/kg em vários minerais, com destaque de maior importância para a galena (PbS), mas ocorre também como gerusita ($PbCO_3$) e anglesita ($PbSO_4$).

Já há 3.000 anos os faraós egípcios ordenaram seu uso em esmalte para louças e ornamentos. Os famosos jardins suspensos da Babilônia tinham placas de chumbo em seus pisos, enquanto que os chineses, da mesma época, cunhavam moedas de chumbo. Os romanos construíram longos aquedutos com chumbo, o que custou a vida de mais de 100.000 escravos no tempo do imperador Tito. Johann Gutenberg (*1398-†1468), inventor da imprensa usou os tipos de chumbo para imprimir a Bíblia em 1450. (TEIXEIRA, 1998).

Em 1991 comemorou-se o centenário de Van Gogh, celebre pintor que morreu intoxicado pelo chumbo de suas tintas, o que modificou inteiramente o seu comportamento em seus últimos anos de vida, levando-o ao suicídio. (HAMMOND & FOULKES, 1986).

No sedimento, a adsorção de chumbo ocorre, principalmente, devido ao seu conteúdo orgânico e ao tamanho de partículas. Nos sistemas aquáticos e em pH acima de 6, ocorre formação de $PbOH$.

De acordo com MOORE & RAMAMOORTHY (1984), em ambientes aquáticos nos quais se verificam extremos processos de poluição, o chumbo se acumula nos peixes e em outros organismos.

Quando ingerido, o chumbo absorvido passa à corrente sanguínea e mais de 95% fica ligado aos eritrócitos, causando aumento da fragilidade e redução do tempo de vida das células. A OMS (Organização Mundial de Saúde), agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), estabelece que a dose de chumbo semanal máxima tolerada por um adulto é de 3 mg. (BAIRD, 2002)

De acordo com MAHAN (1995), o chumbo é utilizado na fabricação de munição, baterias, e ainda como antidetonante na gasolina, na preservação de

madeira, em tintas e secantes, brinquedos, canos, indústria petrolífera e em óleos lubrificantes, dentre outros usos.

1.4.3 Cobalto

O cobalto está localizado no grupo VIII B, sendo o centro da denominada tríade da Tabela Periódica, tendo como vizinhos o ferro (à esquerda) e o níquel (à direita). É um metal duro, amplamente usado em ligas com ferro, níquel e alumínio; é relativamente não reativo, com brilho azul prateado, assim como o ferro é ferromagnético e pode se tornar passivo por agentes oxidantes fortes.

O íon cobaltoso (Co^{+2}), que possui uma coloração rósea, é um agente redutor muito fraco para reduzir o oxigênio, contrastando com o ferro, convergindo em soluções de íon cobaltoso bastante estáveis.

Segundo RUSSEL (1994), o cobalto, em termos de compostos, pela terminação eletrônica d^7 , geralmente aparece com os números de oxidação +2 e +3 e, neste aspecto, assemelha-se ao seu vizinho, o ferro.

A intoxicação por cobalto causa lesões cardíacas e doenças da tireóide, dispnéia, edema e dor abdominal, cianose periférica (extremidades arroxeadas), lesão do pâncreas, aumento do volume do coração e parada cardíaca, apesar de pressão baixa. Algumas cervejarias usaram sulfato do cobalto como estabilizantes da espuma, provocando lesões cardíacas às vezes fatais. O excesso de cobalto sob a forma metálica causa intensa policitemia, que é o excesso de glóbulos vermelhos. (TEIXEIRA, 1998).

1.4.4 Cobre

O cobre pertence ao grupo I B da Tabela Periódica e está, em termos de abundância na crosta terrestre, em 26º lugar; ocorre no ambiente como os minérios cuprita (CuO), pirita (FeSCuS) e malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$), os mais importantes minérios de cobre são os óxidos, sulfetos e carbonatos. O cobre pertence à terceira série do grupo dos metais de transição, podendo ser encontrado nos estados de oxidação +1, +2 e +3 (MAHAN, 1995).

Estando bem distribuído na natureza, o cobre é considerado como um elemento essencial para as plantas. No homem, devido sua bioacumulação, pode causar alguns distúrbios como: doenças renais, anemia hemolítica,

anomalias no sistema nervoso, retardamento mental (doença de Menke) e problemas na córnea; caso seja ingerido, em níveis elevados na forma de sulfatos, pode levar à morte. (CHUTTANI & GUPTA, 1965).

No metabolismo animal, o cobre tem importante papel, pois é essencial na síntese da hemoglobina, o pigmento vermelho que leva o oxigênio a todos os tecidos. Na falta de cobre, o ferro não é absorvido, os ossos se tornam fracos, os cabelos embranquecem, surgem lesões cardíacas, infertilidade e baixa imunidade.

Em alguns invertebrados, a proteína hemocianina contém cobre participando do mecanismo de transporte de oxigênio no sangue. O cobre também tem um papel importante na síntese da queratina e no desenvolvimento adequado de lãs de ovelha. No homem, está presente em algumas enzimas como tirosinase, oxidase do ácido ascórbico, monoamílinas e galactase.

O cobre é um dos muitos elementos químicos essenciais à vida, porém, em excesso, pode causar grandes distúrbios nos organismos. Diariamente, um homem adulto necessita de 0,03 mg/kg, todavia, uma quantidade de 100 mg de cobre causa envenenamento. É pela dieta alimentar e água a principal forma de entrada desse metal no organismo. (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984).

O excesso de cobre é observado em casos de asma, hipertensão, tuberculose, esquizofrenia e depressão. O sulfato de cobre utilizado para tornar azuis as águas das piscinas, algicidas ou a canalização de cobre podem ser fontes potencialmente contaminantes. Nos Estados Unidos verificou-se que muitos dos esquizofrênicos são pessoas contaminadas pelo cobre, assim como as crianças com dislexia (dificuldade de aprendizado) e os portadores de psoríase na pele e nos cabelos. (TEIXEIRA, 1998).

A meia-vida do cobre no organismo humano é de 80 dias e o total que pode ser transportado pelo organismo é de 75 a 150 mg. Uma vez absorvido, é transformado no sangue e armazenado nos músculos, fígado e tecidos cerebrais. Nos casos de intoxicação aguda, é encontrado no cérebro, fígado, estômago, raízes dos cabelos e urina. Os sintomas causados por esse metal são: úlceras, gastrites, hemólises, necroses hepáticas e danos renais, a intoxicação crônica no homem é raramente encontrada.

A Agência de Proteção Ambiental Americana US-EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1985) recomenda que, nos mananciais, a concentração de cobre não exceda 1 mg/L. Para a OMS a concentração máxima de cobre não deve exceder 1,5 mg/L. (PEREIRA et al., 1987).

1.4.5 Cromo

Em termos de abundância, o cromo é o 7º elemento no planeta Terra e o 21º nas rochas das camadas mais superficiais da crosta, sendo extremamente resistente à temperatura ordinária e o principal minério de cromo é a cromita (FeOCr_2O_3).

O cromo é um metal lustroso, branco e rígido, pertencente ao grupo VI B, da Tabela Periódica. Na sua forma (Cr^{6+}) existe somente como óxido (CrO_3 , CrO_4^{-2} e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$).

O cromo é considerado um elemento essencial para alguns organismos vivos. No corpo humano há cerca de 6 mg distribuídos em diversos tecidos. (MARTIN & SIGEL, 1980).

O cromo hexavalente é a forma mais tóxica e prontamente absorvida pelas células vivas. Os mamíferos podem tolerar, acima de 200 vezes, o total da capacidade em peso do corpo humano, sem apresentar efeitos tóxicos. Sua concentração diminui com o tempo de permanência, uma vez que a urina é sua principal fonte excretora. Os efeitos tóxicos são relacionados à forma química, sobretudo por compostos de Cr (VI).

Em excesso, o cromo lesa os rins e o fígado; deve-se ter cuidado com o uso de ácido crômico na cauterização de verrugas, pois já foram registradas intoxicações renais agudas e fatais. O mesmo ocorre com o uso indiscriminado de gelatinas e o manuseio de objetos cromados. Os bebês têm mais cromo que os adultos e as mulheres estéreis têm pouco cromo. (TEIXEIRA, 1998).

Os efeitos agudos de exposição incluem a corrosão do trato gastrointestinal e necrose dos rins, enquanto que a exposição crônica, via inalação de compostos de Cr (VI), pode resultar em úlceras na pele, orifícios no septo nasal, dermatites, e aumento da sensibilidade da pele. (DE ANDRADE et al., 1993).

Em termos de usos industriais, o cromo é aplicado na metalurgia como elemento preventivo da corrosão. De acordo com CANTO (1997), o cromo é utilizado na fabricação de aço inoxidável (cromagem); como material refratário, como corante de tecidos e é um oxidante no processo de obtenção de sacarina, na purificação de óleo e gordura. Configura-se, ainda, como importante catalizador na produção de metanol, em colas, tintas e gel.

1.4.6 Ferro

Alguns milhares de anos antes de Cristo os celtas já usaram o ferro para seus utensílios e, na Inglaterra do século XV, surgiram os primeiros altos-fornos fabricados deste metal. (TEIXEIRA, 1998).

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, pertence ao Grupo VIII B (fazendo parte da tríade da Tabela Periódica juntamente com cobalto e níquel), seus compostos são encontrados em todos os corpos d'água, mesmo que em concentrações reduzidas. De acordo com RUSSEL (1994), a geoquímica do ferro é muito complexa no ambiente terrestre, e está fortemente determinada pela diversidade de seus estados de oxidação. O comportamento do ferro está intimamente ligado ao ciclo do carbono, oxigênio e enxofre.

Nos seres humanos, a distribuição do ferro é regulada por um mecanismo complexo para manter a homeostase. O mecanismo homeostático limitante para a absorção de ferro envolve a oxidação de Fe^{+2} para Fe^{+3} na mucosa da região gastrointestinal.

Um excesso de ingestão de ferro pode causar algumas conseqüências drásticas à saúde do homem, dentre as quais: irritação da parede gastrointestinal, problemas cardiovasculares e respiratórios (câncer de pulmão), intensa queda de cabelos e diabetes melitus. (FRIBERG et al., 1986).

A deficiência de ferro causa sérias conseqüências, além da conhecida anemia, como: cansaço, dores ósseas e nanismo. O ferro está contido nas algas marinhas, no levedo, no germe de trigo, na gema de ovo, no melado, no feijão, no fígado e nas carnes em geral.

O ferro está presente no sangue das pessoas, em 1983 constatou-se uma mortalidade de apenas 33% entre 332 doadores de sangue na Itália, entre 50 e 70 anos de idade, contra uma mortalidade de 60% entre 339 não

doadores da mesma idade, sexo e procedência. A doação de sangue também tem relação direta com a redução da hipertensão arterial em pacientes resistentes a tratamento. Após a menopausa, as mulheres começam a acumular ferro e o risco de angina e infarto aumenta até alcançar os mesmos níveis dos homens. (TEIXEIRA, 1998).

No que concerne a aplicações industriais, o ferro que sai da fornalha contém impurezas de enxofre, fósforo e silício, além de 4% de carbono que está presente na forma do carbetto (Fe_3C). MAHAN (1995) afirma que, para produzir aços de alta qualidade, na qual o conteúdo em carbono é, em geral, menor do que 1,5% executam-se um tratamento do ferro fundido com ar ou oxigênio até que ocorra a saída da maioria do carbono pela queima.

1.4.7 Manganês

É o metal mais abundante na natureza depois do ferro. Encontra-se em todo tipo de rochas e sua exploração tem sido, desta forma, realizada intensamente.

Os solos que são originados a partir do intemperismo das rochas ígneas, como basaltos e gabros, apresentam concentrações até 7.000 mg/kg de manganês. (PONNAMPERUMA et al., 1969).

A contaminação pelo manganês, através do óleo de linhaça, do permanganato de sódio, do contato com fogos de artifício e da indústria de baterias secas e cerâmicas provoca psicoses e sintomas neurológicos como perda de expressão facial, ausência de piscar, gagueira e insônia, dificuldade para caminhar e falta de comando motor nas pernas. O manganês interage com o cálcio, cobre, ferro, fósforo e enxofre, reduzindo-os ou sendo reduzido por eles. (TEIXEIRA, 1998).

Na aplicação industrial o manganês é usado, principalmente, como aditivo do aço; sendo utilizado em ligas metálicas, pilhas e baterias secas, em fertilizantes (micronutrientes), em compostos orgânicos para secagem de tintas e reagentes químicos.

1.4.8 Níquel

O níquel é pertencente ao Grupo VIII B da Tabela Periódica, é um metal razoavelmente duro, devido, em parte à camada de óxido auto-protetora, possui um fraco brilho amarelado. MAHAN (1995) afirma que, além de ser maleável e dúctil, possui boa condutividade elétrica e térmica. Em termos de estado de oxidação, há uma variação de -1 a +4, mas no estado natural aparece como +2.

Seu nome vem do alemão Kupfernickel, ou seja, falso cobre. Isolado em estado puro na Suécia em 1751, suas características de dureza e durabilidade são muito admiradas há muitos séculos em ligas metálicas extraídas dos meteoritos, onde está ligado ao ferro e ao cobalto. É também um dos componentes da pedra-sabão.

Em sistemas biológicos, o níquel ocorre exclusivamente em solução como Ni (II). Embora, sob algumas condições, é possível a existência da espécie Ni (III), que provavelmente, parece não ser importante para organismos superiores. O corpo humano contém cerca de 10 mg de Ni (II), sendo que traços deste metal servem como estimulantes em alguns animais, com cofator na enzima urease das plantas. Pode combinar com alguns outros íons metálicos, ativando algumas enzimas em animais, todavia, isto não está bem estabelecido para organismos humanos.

Descargas industriais na atmosfera, especialmente do tetra carbonil níquel (NiCO_4), com o níquel no estado da oxidação zero (metálico) são altamente tóxicas, devido sua absorção pelas vias respiratórias. Intoxicação crônica com Ni (II) causa degeneração do coração e de outros tecidos. O níquel também bloqueia as enzimas e combina-se com os ácidos nucleicos. Com o suor pode-se solubilizar a Ni (II) de jóias niqueladas, levando as dermatites, devido à complexação do Ni (II) com a queratina da pele. (BAIRD, 2002).

De acordo com MOORE & RAMAMOORTHY (1984) e ALLOWAY (1993) o níquel tem papel fundamental no metabolismo bioquímico e, se presente em excesso, pode apresentar efeitos carcinogênicos. Está classificado como um ácido forte e fraco em relação aos seus doadores de elétrons, isto se reflete em

sua abundância na crosta terrestre, associado aos carbonatos, óxidos, silicatos, ferro, mercúrio, arsenatos, sulfetos e teluriatos.

Sua utilização concentra-se na produção de aço inoxidável, por ser altamente resistente a corrosão. Também é usado no refino do petróleo e em fertilizantes. O Ni^{+2} forma complexos estáveis com ligantes orgânicos e inorgânicos.

1.4.9 Zinco

O Zinco faz parte do Grupo II B da Tabela Periódica e têm facilidade em formar complexos com a amônia, aminas e cianetos. O zinco de origem industrial, tanto urbano como agrícola, é encontrado usualmente na natureza na forma de sulfetos ou associado ao sulfeto de outros metais, principalmente Pb, Cd, Cu e Fe. (RUSSEL, 1994).

Os antigos romanos já usavam o zinco, juntamente com o cobre, para compor o bronze. O mesmo fazia chineses e babilônicos 1.400 anos antes de Cristo. Os alquimistas estudaram o zinco exaustivamente. Hoje ele é usado para recobrir o ferro e o aço no processo de galvanização, protegendo-os contra a oxidação. Telhados de zinco são muito resistentes e duram mais de um século. O zinco também é usado em baterias secas, peças de automóveis, revestimentos de navios, equipamentos de refinarias e oleodutos, placas para impressão de jornais, livros e revistas e em grande número de produtos farmacêuticos e odontológicos. (TEIXEIRA, 1998).

Segundo trabalhos de MOORE & RAMAMOORTHY (1984), são conhecidos os efeitos tóxicos do zinco sobre os peixes e certos tipos de algas. Contudo, são escassas as experiências com outros organismos aquáticos. Fatores ambientais como dureza, oxigênio dissolvido e temperatura, no ambiente aquático, modificam a toxicidade do zinco.

Para o homem, o zinco funciona como um elemento essencial e necessário ao metabolismo, acumulando-se no fígado, pâncreas, próstata, suco pancreático e no líquido seminal. Seu conteúdo nos tecidos varia de 10 a 200 mg Zn/L. Segundo US-EPA (1976), uma criança na idade pré-escolar necessita de uma dose média diária de 0,3 mg Zn/kg corpóreo, ao passo que sua deficiência provoca o retardo no crescimento.

No que diz respeito a sua aplicação na indústria, é utilizado em metalurgia (fundição e refinação), na produção de óxido de zinco, produtos químicos, remédios, inseticidas, tintas, cerâmica, cosméticos, fertilizantes e em indústrias gráficas (foto-impressão). (MAHAN, 1995).

2. PISCICULTURA NO BRASIL

O Brasil possui o maior potencial hídrico interior do mundo; e, no entanto, sua produção de pescado de água doce é muito pequena (cerca de 203.000 toneladas ao ano), e bem abaixo de sua potencialidade, o que se evidencia se for comparada a de países de menor área geográfica e potencial hídrico (como por exemplo, o Japão que produz 200.000 toneladas ao ano), principalmente quanto ao pescado cultivado, que contribui com apenas 10% desta produção. Embora a pesca seja uma das atividades mais antigas do homem, remontando aos períodos primitivos de sua evolução, a piscicultura, historicamente, teria se originado na China, a cerca de 1000 a.C., e adquirido caráter comercial inicialmente no Japão. (GALLI & TORLONI, 1987).

Rodolpho von Ihering considerado o pai da piscicultura nacional – dizia já em 1912, que devíamos criar peixes com a mesma facilidade com que criamos galinhas, e indicava como espécies possíveis de serem criadas as seguintes: dourado, *Salminus maxillosus*; piracanjuba, *Triurobrycon lundii*; piava, *Leporinus copelandii*; pacu, *Myloplus asterias*; traíra, *Hoplias malabaricus* e mandi-amarelo, *Pimelodus clarias*. Nessa época Ihering desconhecia que as nossas espécies de piracema não desovam em cativeiro. (NAMURA, 1976).

Como ciência, a piscicultura é realmente nova; mas sua evolução é notável, especialmente durante o século XX. No Brasil a piscicultura teve início na década de 1920, experimentando longo período de latência para retomar o impulso e passar a criação racional com fins comerciais. O pescado constitui apenas 1% do total de alimentos produzidos, mas corresponde a 12% do total de proteína animal consumida no mundo. (GALLI & TORLONI, 1987).

Neste sentido, a geração potencial de empregos da indústria da pesca, o baixo custo de produção de peixes em cativeiro, a depleção dos estoques pesqueiros naturais, base da produção (extrativa) de pescado em todo mundo e o aumento da demanda de alimentos em função do crescimento populacional, faz com que a piscicultura assuma o papel de uma das alternativas mais importantes para a pecuária brasileira, mesmo porque utiliza áreas reduzidas, quando comparada às atividades agropecuárias tradicionais, promovendo, também, a reciclagem dos subprodutos da agroindústria de alimentos. (KUBTZA, 1997).

2.1. Piscicultura e pesque-pagues na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Os cultivos de peixes, quer sejam em pesque-pagues ou viveiros e estações de piscicultura, configuram uma importante atividade, tanto do ponto de vista da economia, na área da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, quanto no âmbito do lazer. No entanto, o manejo inadequado, desrespeito aos preceitos e normas legais, atrelado com a ampliação das atividades paralelas, sem a observância da capacidade de suporte do local, converge no surgimento de problemas ambientais.

Observou-se que há uma variação dos empreendimentos da bacia quanto ao porte, estrutura hídrica para pesca, conforto através de oferta de serviços, requinte de acomodações e belezas cênicas.

São empreendimentos predominantemente familiares, alguns funcionam há mais de 8 anos e todos implantados com recursos próprios. É uma atividade comercial e seus proprietários se consideram comerciantes. São encontrados proprietários com escolaridade média, mas também muitos com nível superior e a maioria reside no próprio pesque-pague.

Geralmente os pesque-pagues estão localizados próximos aos centros urbanos, com boa estrutura de acesso, eletrificação e telefonia. Os viveiros são normalmente do tipo escavados, com fundos e laterais de terra. Além desta modalidade, constatou-se a existência de represas e viveiros construídos em alvenaria, ao passo que, em algumas propriedades, existem áreas para alevinos, engorda e viveiro. A área hídrica variou de 400 m² a 33.000 m² de espelho d'água na bacia. Em geral, esta área hídrica é subdividida em viveiros

de pesca, viveiros de engorda e reservatório de água, como pode ser observado na Figura 2. Verificou-se, também, que a fonte de abastecimento hídrico é originária de nascentes e do bombeamento a partir de ribeirão ou de córrego.

BRIGANTE (2003) afirma que entre os impactos provocados pelos seguimentos de pesque-pagues, destacam-se a introdução de espécies exóticas, a eutrofização dos corpos d'água, a modificação da biota aquática, a geração de resíduos indiretos (papéis, plásticos, garrafas e latas de refrigerante), bem como a possibilidade de disseminação de alguns parasitas dos peixes cultivados. Além disto, para a criação de peixes é necessária água de boa qualidade, a qual é enriquecida com adubos orgânicos e inorgânicos e vários produtos químicos são usados para manter a saúde dos peixes.



Figura 2: Vista de pesqueiro no Estado de Minas Gerais, com destaque para a presença de viveiro de engorda e relevo montanhoso com parte da vegetação exterminada.

2.1.1 Adubação e plantação dos tanques

A adubação dos tanques tem por finalidade melhorar as condições de alimentação natural nele existentes. Nas lagoas construídas em terras pobres, que têm a influência da erosão, a adubação é indispensável. A adubação pode ser feita por três processos, que são: adubação orgânica, química e mista. É

importante ressaltar que as adubações do tipo orgânica e mista são usadas quando o tanque estiver vazio, ao passo que a adubação química quando o tanque se apresentar cheio e com peixes. (MACHADO, 1981).

- Adubação orgânica - mais rica, útil e de baixo custo, é facilmente aplicada de início. Podem ser usados os esterco comumente encontrados nos sítios, isto é, de vaca, de cavalo, de galinha, de cabra e ovelha. Estes esterco podem ser aplicados simples ou misturados entre si, desde que estejam bem curtidos.

Sobre o fundo do tanque estende-se uma camada de esterco, recoberta por 5 cm de terra vegetal e, batendo-se firmemente, o não desprendimento é garantido. Enche-se de água, deixando com que ele repouse por 2 ou 3 dias, sem renovar a água. Em seguida, é esvaziado e, depois, cheio de novo, ficando, então, pronto para receber os peixes.

Além do esterco de curral, podem ser usadas misturas de farelos, por exemplo: mistura para poedeiras, farinha de soja e torta de algodão. Estas misturas devem ser aplicadas com cuidado, em quantidades mínimas, pois podem ocasionar danos aos habitantes dos tanques.

Este processo é utilizado economicamente nos tanques de desova e alevinagem, nos destinados somente à alevinagem e nas lagoas construídas em pequena área.

- Adubação química - é utilizada nas lagoas grandes ou nos tanques em que já hajam peixes. Deve ser feita, de preferência, às margens e nos locais de pequena profundidade. Pode ser realizada a lanço, isto é atirando-se punhados do adubo junto às margens, em toda a volta da lagoa, ou colocando-se o adubo em sacos de tecido bem ralo, que são mergulhados na lagoa junto à margem e com os quais se dão voltas a seu redor até que o conteúdo esteja dissolvido. Nas lagoas de área muito grande o serviço pode ser feito com o auxílio de um barco.

Os adubos comuns, encontrados no comércio podem ser utilizados desde que contenham, aproximadamente, 8% de N, 8% de P e 4% de K.

Nos pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia do rio Mogi Guaçu são utilizados os seguintes adubos, especialmente o último:

- Superfosfato – 30 kg por hectare inundado.
- Nitrato de sódio – 40 kg por hectare inundado.

- Sulfato de amônio – 25 a 30 kg por hectare inundado.
- Mistura dos fertilizantes anteriormente descritos, nas proporções de 3 partes de superfosfato, 4 de nitrato de sódio e 3 de sulfato de amônio, na quantidade de 30 a 40 kg por hectare inundado, repetida quando necessário (mais ou menos de 2 em 2 meses).
- Adubação mista – é um tipo de adubação que apresenta rendimento muito elevado. Tem dado ótimos resultados (do ponto de vista do empreendedor) principalmente a mistura de adubo orgânico, em especial o esterco de curral, acrescido de 16 a 20% de superfosfato. Caso de adubação empregada no pesque-pague da Figura 3.



Figura 3: Pesque-pague que faz parte da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, o qual recebe constante adubação.

No que diz respeito à plantação, é importante destacar que as plantas aquáticas submersas têm funções importantes dentro das lagoas de pesque-pagues e piscicultura, como: absorção do gás carbônico dissolvido e desprendimento do oxigênio necessário à vida animal, contribuindo, portanto, com o saneamento da água; servem de alimento e proteção às larvas, aos alevinos e ao plâncton; servem de sustentação aos ovos de carpa; produzem sombra e diminuem a evaporação. (MACHADO, 1981).

Nos tanques e lagoas de grande área e com bastante água, a existência de vegetais aquáticos pode ser dispensável, contudo a sua plantação contribui

para a longevidade do empreendimento. Já nas lagoas de pouca água, o auxílio das plantas é indispensável. (PILLAY, 1992)

Para se realizar a plantação em um tanque ou lagoa já existente e cheia, usam-se, apenas, as margens. Ao passo que nos ambientes construídos, planta-se, antes de enchê-los, cavando-se pequenos buracos e introduzindo as mudas, nas quais, no entorno, comprime-se a terra para que ocorra uma melhor fixação.

Uma vez que inúmeros compostos químicos são lançados no sistema aquático das estações de piscicultura, a presença de metais e outras substâncias inorgânicas tóxicas nas lagoas são atribuídas, além dos processos naturais, às atividades humanas. A entrada dos metais em lagoas é o resultado de processos físicos e químicos tais como a intemperismo e o carreamento de solos e rochas. As águas superficiais, em determinadas áreas, podem apresentar altas concentrações de metais como resultado do contato com partículas de solo e rochas, como selênio e flúor, podendo estar associado com problemas de saúde, isto tudo potencializado pela ação antrópica (JACKSON, 1991).

3. JUSTIFICATIVA

A aquicultura é uma atividade econômica de vital importância à produção de pescados no país. Grande número de produtores está sendo motivado a investir no setor.

As pressões sobre o meio ambiente, que ameaçam e degradam os recursos naturais e as variadas formas de vida, passam a fazer parte das discussões políticas e sociais da atualidade. Os problemas que afetam o nosso meio ambiente, e em especial, os recursos hídricos, têm sido objeto de várias ações dos governos e da sociedade, por meio de iniciativas voltadas à conservação destes recursos.

É ponto pacífico que, somente a partir do real conhecimento da situação de um recurso hídrico, ações de intervenção possam ser implementadas, no intuito de mitigar ou atenuar possíveis impactos, em um cenário de governança. Neste contexto, o crescimento acelerado da aquicultura, no estado de São Paulo, pode estar provocando uma série de problemas ambientais e de saúde pública, destacando-se que os metais pesados, podem estar presentes nas águas em estações de piscicultura, potencializados por uma intensa atividade antrópica, tendo a real possibilidade de serem bioacumulados pelos peixes, que posteriormente são consumidos pela população. Todavia, os metais podem ser introduzidos nos pesque-pagues e estações de pisciculturas através da ração e do manejo amplo do lago.

A preocupação com a bioacumulação dos metais na cadeia trófica requer maiores investigações, principalmente no sentido da detecção do real potencial contaminante e impactante no meio a ser estudado. Este estudo propôs analisar, do ponto de vista da contaminação por metais, a situação dos segmentos de pesque-pagues instalados na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu.

O crescimento real e potencial de empreendimentos, nos ecossistemas aquáticos, atrelados às atividades industriais, urbanas e agropecuárias, no decorrer dos últimos anos no Brasil, e em particular no Estado de São Paulo, têm gerado uma série de preocupações por parte dos pesquisadores e técnicos

da área ambiental, tendo em vista as novas leis dos recursos hídricos, que consideram a bacia hidrográfica como unidade de gestão participativa. Neste sentido, as lagoas de pesque-pague e estações de piscicultura estão em região de possível carreamento de efluentes, contendo metais provenientes de indústrias e, ainda, de pesticidas oriundos de atividades agrícolas. Desta forma, faz-se necessário um monitoramento das águas empregadas nestas atividades.

4. OBJETIVOS

Neste trabalho, desenvolveu-se um estudo em lagoas de pesque-pagues e piscicultura, em um escopo ambiental, na bacia do rio Mogi Guaçu, visando atender os seguintes objetivos:

- 1) Avaliar o nível de contaminação por metais em amostras de águas e de sedimentos, em diferentes empreendimentos de pesque-pagues e de pisciculturas;
- 2) Quantificar os metais: cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco nos compartimentos água e sedimentos;
- 3) Avaliar a influência da ração oferecida aos peixes na concentração dos metais identificados na água e nos sedimentos.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

5.1 Contextualização da área da bacia do rio Mogi Guaçu

A bacia hidrográfica do Mogi Guaçu está compreendida entre os paralelos 21°45' e 22°45' e os meridianos 46°15' e 47°45' (trecho paulista). Sendo a região de nascentes localizada no estado de Minas Gerais, no município de Bom Reposo e desaguando no rio Pardo, município de Pontal,

São Paulo. Possui extensão de 473 km, sendo 79,81% de sua extensão em São Paulo e 20,19% no Estado de Minas Gerais. A bacia hidrográfica do referido rio possui 17.460 km² de área total de drenagem e abrange 48 municípios, sendo 12 municípios no Estado de Minas Gerais e 38 em São Paulo, somando-se um contingente populacional superior a 1.360.000 habitantes. Em consequência disso, o rio Mogi Guaçu tem recebido carga poluidora de aproximadamente 83,9 t DBO₅/dia (RELATÓRIO ZERO, 1999).

Os principais afluentes do rio Mogi Guaçu pela margem direita são os rios Oricanga, Itupeva, Cloro e Jaguari Mirim, e pela esquerda, Eleutério, do Peixe, do Roque, Quilombo e Mogi Mirim.

5.2 Clima

O clima da bacia é compreendido por quatro divisões climáticas: clima mesotérmico, clima mesotérmico de inverno (inverno seco), clima tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno, clima mesotérmico úmido, sem estiagem (parte Norte, nas zonas mais elevadas, principalmente no Município de Amparo). As chuvas variam de 1.620 mm/ano, na região de Águas da Prata, até 1.330 mm/ano, nas vizinhanças de Jaboticabal. Os índices máximos de chuva ocorrem nos meses de novembro a março, e os mínimos, nos meses de junho, julho e agosto. As médias anuais de temperatura variam de 20,5°C a 22,5°C. (RELATÓRIO ZERO, 1999).

5.3 Vegetação

A vegetação natural da bacia do rio Mogi Guaçu, no trecho do estado de Minas Gerais é constituída, principalmente, de Mata Atlântica, Mata de Araucária e Campos Rupestres. A cobertura vegetal de ocorrência no topo das montanhas e às margens dos córregos, no estado mineiro, apresenta-se reduzida, em função da agricultura (cultivo da batata e morango principalmente) e pela pastagem. Ao passo que, já no estado de São Paulo, a vegetação natural, composta principalmente pela Mata Atlântica e Cerrado, encontra-se intensamente fragmentada, convergindo em minúsculas manchas vegetais, onde a perda da área verde original é superior a 80%.

5.4 Tipos de solo, uso e ocupação da área no entorno da bacia

O solo da bacia é variado, sendo os principais tipos: Podzólico, solos podzolizados com cascalho, latossolo roxo, vermelho escuro, vermelho amarelo com fase arenosa, solos hidromórficos, aluviais, litossolo fase substrato granito, litossolo fase substrato arenito calcáreo e regossolos. O vale fluvial da bacia é constituído, basicamente, por leito basáltico, aflorado em derrames de corredeiras em Salto do Pinhal, Cachoeira de Cima em Mogi Mirim, Cachoeira de Baixo em Mogi Guaçu, Cachoeira de Emas em Pirassununga, Corredeira da Escaramuça em Santa Rita do Passa Quatro e Corredeiras dos Três Cordões em Guariba. O desnível entre a foz e as nascentes é de 1.160 m, as declividades variam de 14m/km ou 14% nos primeiros 10 km até 0,43 m/km, na parte baixa de seu curso. (RELATÓRIO ZERO, 1999).

A paisagem da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu possui uma pressão antrópica acentuada em decorrência do processo recente de interiorização da indústria e de intensa modernização, aliados aos ganhos de produtividade da agropecuária estadual. (RELATÓRIO ZERO, op. cit).

Na área de drenagem do Mogi Guaçu existe expressiva atividade agrícola, desde a sua nascente até a sua foz, sendo responsável por grande parcela da produção agropecuária do estado de São Paulo. Nesse âmbito se destacam as culturas da cana-de-açúcar, laranja, braquiária (pasto), eucalipto, algodão, soja, amendoim, morango, batata e tomate. (RELATÓRIO ZERO, 1999).

A interação entre a agricultura e agroindústria pode ser verificada na Tabela 1, onde o potencial poluidor é fator marcante.

Tabela 1: Principais seguimentos indústrias com potencial poluidor na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Atividades	Municípios
Minerais não-metálicos	Porto Ferreira; Mogi Guaçu; Leme; Araras
Metal mecânica	Mogi Guaçu; Araras; Porto Ferreira; Itapira
Celulose e papel	Mogi Guaçu; Araras; Itapira
Madeira e mobiliário	Mogi Mirim; Araras; Leme; Itapira
Processamento de leite	Araras
Têxtil e calçados	Araras; Leme; Mogi Guaçu
Sucro-alcooleira	Araras
Engarrafamento de bebidas	Águas da Prata; São João da Boa Vista
Cultura da batata e morango	Bom Repouso; Bueno Brandão; Albertina; Borda da Mata

Fonte: CETESB, 1995

Apesar da diversificação do uso do solo, as plantações de cana-de-açúcar aparecem em grande parte da área da bacia (47,6%). Existem outras culturas, como a laranja, ocupando 11,3% da área cultivada, seguida pela braquiária com 8,9%, pelo milho com 7,8%, eucalipto (5,7%), algodão (2,4%), soja (1,8%) e amendoim (1,7%). Na região da bacia de cabeceira do rio Mogi Guaçu, em grande parte da área predomina o cultivo da batata e do morango. Cada um desses cultivos possui características próprias quanto à produção de agentes contaminantes, tais como os metais pesados, a partir dos insumos agrícolas e dos pesticidas utilizados nas culturas.

Em território paulista a bacia do Mogi Guaçu apresenta intensa diversidade de uso e ocupação do solo, além de uma maior percentagem de urbanização e atividades industriais, quando comparado com o trecho mineiro. O rio Mogi Guaçu atravessa regiões fortemente industrializadas e urbanizadas e consideráveis extensões de terras agricultáveis.

Diversas atividades antrópicas e potencialmente impactantes, para as águas do rio Mogi Guaçu, estão elencadas nas Tabelas 2 e 3, muitas delas realizadas por identificação *in loco*. O deflúvio superficial urbano e o lançamento de efluentes domésticos estão considerados neste mapeamento.

Tabela 2: Algumas atividades antrópicas existentes na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, compreendendo as proximidades das estações de coleta

Locais	Atividades	Locais	Atividades
Bom Repouso	<ul style="list-style-type: none"> •Cultura de batata e do morango •Esgoto 	Pirassununga	<ul style="list-style-type: none"> •Cultura da cana de açúcar •Indústria e comércio de aguardentes •Esgoto
Outro Fino e Jacutinga	<ul style="list-style-type: none"> •Cultura da batata, alho e café •Mineração do manganês •Esgoto 	Porto Ferreira	<ul style="list-style-type: none"> •Cultura da cana de açúcar •Indústria e comércio de aguardentes •Indústria de louças e cerâmica •Esgoto
Espírito Santo do Pinhal	<ul style="list-style-type: none"> •Curtume •Cultura do café 	Descalvado	<ul style="list-style-type: none"> •Usina de açúcar e álcool •Cultura de cana-de-açúcar •Portos de extração de areia •Confinamento de gado •Esgoto
Estiva Gerbi	<ul style="list-style-type: none"> •Indústria/comércio •Indústria de produtos químicos •Culturas de tomate e café •Esgoto 	Luiz Antônio	<ul style="list-style-type: none"> •Indústria de papel e celulose •Destilarias •Usinas de açúcar e álcool •Curtume •Cultura da cana-de-açúcar
Itapira	<ul style="list-style-type: none"> •Usina de açúcar e álcool •Fabrica de papel e papelão •Matadouro Municipal •Matadouro de aves •Frigoríficos •Portos de extração de areia 	Pradópolis	<ul style="list-style-type: none"> •Usina de açúcar e álcool •Cultura da cana-de-açúcar •Portos de extração de areia
Mogi Guaçu	<ul style="list-style-type: none"> •Indústria de papel e celulose •Indústria de produtos alimentícios •Metalurgia •Curtume •Esgoto 	Pitangueiras	<ul style="list-style-type: none"> •Destilarias •Cultura da cana-de-açúcar •Esgoto
Araras	<ul style="list-style-type: none"> •Usina de açúcar e álcool •Indústria de produtos alimentícios •Cultura da cana-de-açúcar 		

FONTE: BRIGANTE, 2003.

Tabela 3: Atividades potencialmente poluidoras para a água e sedimentos, na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, onde estão inseridas as lagoas de pesque-pagues e estações de piscicultura

Atividades	Potencial poluidor sobre a água
Culturas: batata, morango, tomate, alho, café e cana-de-açúcar	Pesticidas – corretivos do solo e fertilizantes: acrilonitrila, nitrato de cobre, diclorobenzeno, furfural, fluoreto de sódio, nitrato de amônia, formas nitrogenadas e fosfatadas; cádmio, cromo, cobre, mercúrio e zinco
Mineração do manganês	Alta turbidez; elevados níveis de manganês, assoreamento.
Curtume	Cobre (sulfato); metilamina, cromo, corantes (metais pesados); matéria orgânica (sangue, soros, pelos, etc.), elevados sólidos em suspensão; tanino; cloreto de amônia; cloreto de bário; salinidade; DBO e DQO.
Indústria/comércio de produtos químicos	Ácidos, álcalis, sais tóxicos (fluoretos, fosfatos, sulfatos, solventes orgânicos, graxas, óleos e metais); fenóis, nitrato de amônia, etc.
Usina de açúcar e álcool	Vinhaça (altos teores de potássio), cromo, risco de poluição térmica
Fábrica de papel e papelão	Cola; caulim; composto orgânico mercurioso; fibras finas; pigmentos; alta carga de sólidos suspensos; dióxido de cloro; carbonato de sódio; cloreto de zinco;
Matadouros	Alta DBO; sólidos em suspensão; material flotável; graxas; altos teores de nitrogênio orgânico; materiais orgânicos putrescíveis; sangue; gorduras; fragmentos de ossos; microrganismos patogênicos
Frigoríficos	Alta DBO; sólidos em suspensão; material flotável; graxas; altos teores de nitrogênio orgânico; materiais orgânicos putrescíveis; sangue; gorduras; fragmentos de ossos; microrganismos patogênicos
Portos de extração de areia	Turbidez e assoreamento; emissão de material particulado; perda de solo orgânico; poluição das águas com óleos e graxas
Indústria de papel e celulose	Despejos sulfíticos (alta carga de matéria orgânica); elevada DBO e sólidos em suspensão, produção de lodo; amido; caulim; corantes hidróxidos de ferro; breu; mercaptans; terebintina; etc.
Indústria de produtos industriais	Polifosfatos; perboratos; silicatos; carbonatos de sódio; carboximetilcelulose; tetracloreto de carbono; etc.
Metalurgia	Despejo ácido contendo cromo ou cobre; zinco; cobalto, cádmio; níquel; despejos alcalinos cianetos ou sulfuretos; hidróxidos, ortofosfatos; silicatos; fluoretos de bário
Esgoto	Elevada DBO; coliformes; eutrofização.
Indústria e comércio de aguardentes	Vinhaça (altos teores de potássio); cromo; risco de poluição térmica
Indústria de produtos alimentícios	Fecularia: alta DBO; ácido cianídrico; matéria nitrogenada. Extração de óleos vegetais: água fortemente alcalinas, contendo sabões, óleos, corantes, resinas, lipase, etilamina, etc. Fábrica de conservas: sulfato ferroso
Confinamento de gado	Elevada DBO; sólidos em suspensão; eutrofização.
Destilarias	Sólidos sedimentáveis; açúcares; dextrina; proteínas, taninos, resinas; álcool etílico; aldeídos; cetonas; ácidos; ésteres; gorduras e bactérias.

FONTES: BRAILE & CAVALCANTI (1979), CETESB (2002) e BRIGANTE, 2003.

A atividade agrícola mais expressiva no trecho paulista da bacia do rio Mogi Guaçu é a plantação da cana-de-açúcar, especialmente na região de Ribeirão Preto até Barretos. Esse tipo de cultura, aliada à gestão ambiental desprovida de embasamentos de sustentabilidade, tem avançado sobre a região sem nenhuma preocupação com o ambiente.

Além de todas as atividades antrópicas citadas, quiçá a mais recente e em franca expansão é a indústria da piscicultura, que surge nesse quadro como atividade potencialmente impactante, contribuindo para a deterioração da qualidade das águas.

6. MATERIAIS E MÉTODOS – ÁREA DE ESTUDO E COLETAS

6.1 Área de abrangência e pontos de amostragem

A bacia hidrográfica do Mogi Guaçu teve sua área de drenagem subdividida em macrorregiões ou macrozonas, e estabelecidos critérios para o uso e ocupação do solo para área compreendida pelas bacias, conjuntamente, dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande. (RELATÓRIO ZERO, 1999).

Essa subdivisão é oriunda da evolução de discussões sobre planejamento e gestão ambiental, capitaneada pela política estadual de recursos hídricos através dos comitês de bacia, com o intuito de se estabelecer, com o enfoque nas atividades econômicas da área, diretrizes mais consistentes de localização e adequação.

Neste sentido, a bacia do rio Mogi Guaçu foi inserida como Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 09 (UGRHI-09) e subdividida em compartimentos ambientais ou econômico-ecológicos (limites fisiográficos), com características e dimensões que possibilitassem seu planejamento e gestão e a necessária relação entre os elementos do meio físico e os aspectos sócio-econômicos (SMA/SAA/SEPLAN, 1995).

A divisão definida é estabelecida pelas seguintes unidades: Alto Mogi, Peixe, Jaguari Mirim, Médio Mogi Superior e Médio Mogi Inferior, conforme a Figura 4.



Figura 4: Localização dos compartimentos e municípios que compõem a bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. Trecho paulista.
 FONTE: Relatório ZERO/CETESB (1999).

Quanto ao critério da escolha dos pesque-pagues e estações de piscicultura, onde as coletas ocorreram, as considerações essenciais foram: usos e a ocupação do solo para as atividades agrícolas, industriais, extrativistas, aglomerados populacionais urbanos, bem como áreas de preservação permanente. Vislumbrando-se o rio Mogi Guaçu, desde a sua nascente até a foz, cinco regiões de estudo da área de drenagem foram selecionadas que são: Bacia Hidrográfica a montante (MG), Compartimento Peixe (SP), Compartimento Alto Mogi e Jaguari Mirim (SP), Compartimento Médio Mogi Superior (SP) e Compartimento Médio Mogi Inferior (SP).

Foram realizadas as análises de 10 locais de coleta (todos em lagoas de pesque-pagues e piscicultura), sendo 2 pontos situados no estado de Minas Gerais, às proximidades das nascentes que formam o rio Mogi Guaçu. Os demais pontos de coleta estão inseridos já no Estado de São Paulo.

Estabeleceu-se, para cada região de estudo, um número mínimo de pesqueiros, onde todos os pontos são em lagoas de pesque-pagues, com intuito de realizar um mapeamento, visando contemplar o nível de alteração dos ambientes frente ao grau de interferências antrópicas, a saber:

• **Região 1: Bacia Hidrográfica a montante- MG**

Nesta região, que é composta por três micro-bacias, representando 271 km² de área de drenagem (bacia de cabeceira dos rios Mogi Guaçu, Peixe e Espreado) foi implementado dois pontos de coleta: **P10** no município de Inconfidentes e **P9** no município de Jacutinga.

• **Região 2: Compartimento Peixe - SP**

Neste compartimento, de área de drenagem quantificada na ordem de 1.143,1 km², foi selecionada a estação de coleta **P8** (rodovia SP 352 - km 172, próximo ao município de Itapira).

• **Região 3: Compartimento Alto Mogi e Jaguari Mirim - SP**

Foram selecionadas duas estações de piscicultura para este compartimento, sendo **P7** no município de Mogi Guaçu e **P6** em Pirassununga, próximo ao distrito de Cachoeira de Emas.

• **Região 4: Compartimento Médio Mogi Superior - SP**

Neste compartimento, o qual representa 3.305,7 km² de área de drenagem, foram selecionadas duas estações de piscicultura: **P5** no município de Descalvado e **P4** às proximidades do município de Luiz Antonio.

• **Região 5: Compartimento Médio Mogi Inferior - SP**

Três estações de piscicultura foram selecionadas, para este compartimento que representa 2.182,8 km² de área de drenagem, a saber: **P3**, no município de Pradópolis; **P2** no município de Pitangueiras e **P1** às proximidades da cidade de Barretos.

A localização dos pontos de coletas dos pesque-pagues e lagoas de piscicultura é mostrada na Figura 5.

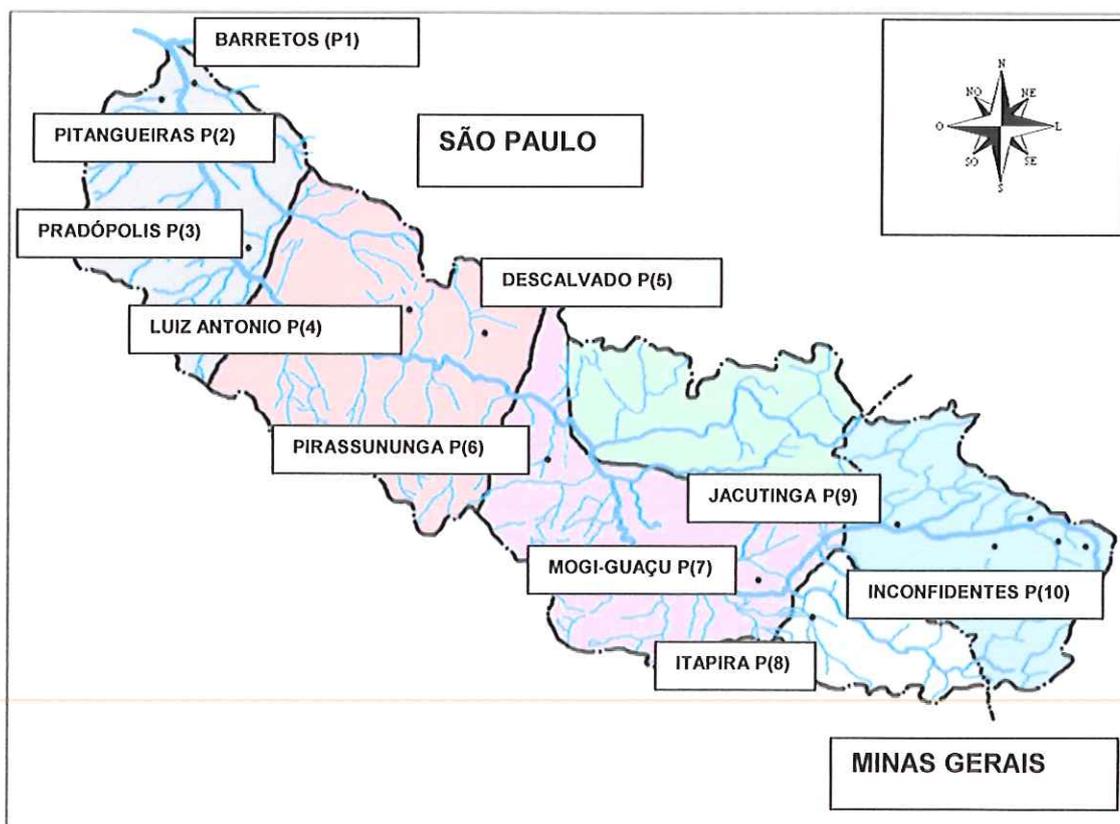


Figura 5: Localização dos pontos de coleta das lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

FONTE: Relatório ZERO (1999).

Com relação à amostragem, foram realizadas quatro campanhas de coleta de dados, por ocasião de todo o período de estudo; sendo: duas no período seco, nos meses de agosto de 2000 e junho de 2001 (considerada baixa temporada nos pesque-pagues) e duas no período chuvoso, período em que as lagoas de pesque-pague sofrem efeito do carreamento de materiais alóctones e autóctones, meses de novembro de 2000 e março de 2001, coincidindo com a alta temporada. Todos os pontos de coleta são nos tanques de pesque-pagues e lagoas de piscicultura.

6.2 Contexto da realização das coletas de água, sedimentos e rações.

É interessante registrar que, para se efetuar as visitas e coletas junto aos pesque-pagues, foi necessário um exercício de rotina, prática e experiência, dentro do campo da comunicação social e intercâmbio entre teoria e prática, a fim de que fosse exposto o cunho científico da pesquisa, já que os empreendimentos são particulares. Após os contatos preliminares e, a partir da permissibilidade, as coletas de água, sedimentos e rações foram implementadas.

6.2.1 Coleta da água

A água foi coletada usando-se garrafas de polietileno (plástico útil composto por muitas centenas de moléculas orgânicas poliméricas $-CH_2-$ unidas por ligações covalentes). As garrafas foram previamente lavadas e, imediatamente após a coleta, fixaram-se as amostras com HCl, na proporção de 1,5 mL/L. Para a coleta, tomou-se o cuidado de se ter uma amostragem representando de maneira ampla a coluna d'água (integrada) e foi realizada sempre na parte central de cada lagoa, com o auxílio de um bote. A coleta foi realizada manualmente, mergulhando-se as garrafas a cerca de 50 cm de profundidade.

6.2.2 Coleta de sedimentos

As amostras dos sedimentos foram coletadas com um equipamento denominado pegador de Eckman-Birge, quando o sedimento era mole e a profundidade superior a 2,0 m. Utilizou-se, também, às margens dos pesque-pagues, o denominado tubo de Core, que é feito de PVC (policloreto de vinila) e possui uma rolha na extremidade superior, favorecendo a retirada da amostra sem a perda do sedimento. As amostras constituídas foram de forma composta, sendo resultado da coleta do sedimento do meio da lagoa, e dos sedimentos de duas das margens (uma de cada lado).

Uma vez coletadas, as amostras foram colocadas em sacos plásticos com capacidade de 2,0 L, etiquetadas e transportadas para o laboratório.

6.2.3 Coleta das rações

Os padrões das rações não mudam, profundamente, para os pontos de coleta (P10 a P1), em geral, são apresentadas em forma de grânulos e peletes e, segundo especificações dos fabricantes, são produtos especiais indicado para peixes cultivados, com 25% de proteína, possuindo como composição básica: farinha de peixe, farinha de carne, farelo de soja, farelo de trigo, farelo de arroz, farinha de vísceras, fosfato bicálcico, vitamínico e mineral; e, ainda, proteína isolada de soja e sal. Ademais, no que diz respeito às especificações dos fabricantes, aconselha-se servir uma quantidade relativa a 5% da biomassa dos peixes, dividido em três refeições ao dia.

A coleta da ração foi realizada sempre nos momentos antecedentes a alimentação dos peixes, tomando-se o cuidado para não deixar a ração cair no chão e nem entrar em contato com a água dos pesque-pagues, ou seja, foi coletado diretamente a partir das embalagens usadas na alimentação dos peixes. As amostras de ração foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetadas e logo após foram encaminhadas ao laboratório.

7. MATERIAIS E MÉTODOS - PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

7.1 Análise da Água

7.1.1 Metodologia de extração dos metais em água

Para a determinação dos metais em água, as amostras foram submetidas ao processo de dissolução total, para garantir a real concentração dos elementos de interesse estudados na parte solúvel. O procedimento aplicado para a decomposição foi o método da decomposição da matéria orgânica, por via úmida, em sistemas abertos, realizado em duplicata.

A análise foi implementada, através do aquecimento da amostra em béqueres colocados em placa aquecedora, evitando-se a fervura e completa secagem. Durante o aquecimento, acrescentou-se 5 mL de HNO₃ (APHA, 1995). Depois de ocorrida a redução de volume, geralmente inferior a 50 mL, aguardou-se o resfriamento das amostras; e, logo em seguida, transferiu-se o volume para balões volumétricos de 100 mL, completando-se com água destilada. Os volumes foram posteriormente colocados em pequenos frascos (previamente lavados) de polietileno. Logo em seguida, os frascos foram tampados e a identificação de cada amostra foi feita com pincel marcador.

As análises foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, onde a concentração, após a detecção, foi convertida de acordo com o volume original e o resultado expresso, em seguida, em mg/L.

7.2 Técnica empregada para a determinação das concentrações dos metais em água, metais totais em sedimentos e rações

Foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica, da marca Hetach, modelo Z-8100, equipado com polarizador Zeeman, na determinação das concentrações dos metais nas amostras de água, sedimentos e rações.

A técnica de determinação foi desenvolvida por Walsh, na Austrália em 1955, configurando-se como a preferida para esse tipo de análise em virtude de permitir determinar concentrações de metais abaixo daquelas conseguidas

pelas técnicas convencionais. Descobriu-se, ainda, nesta época, que a maioria dos átomos livres presentes na chama normalmente usada, apresentava-se no estado fundamental, já que a chama não tinha energia suficiente para excitar elétrons de todos os átomos para níveis mais altos, exceto os elementos dos grupos I A (alcalinos) e II A (alcalinos terrosos). LAWS (1993), SPYRIDAKIS & WELCH (1976).

De acordo com WELZ (1985), uma fonte de luz que emite uma linha espectral suficientemente estreita, com energia característica, é usada para excitar os átomos no estado fundamental formados na chama.

A diminuição da energia desta fonte (absorção) é então medida, e é proporcional à concentração dos átomos livres presentes na chama, obedecendo a Lei de Lambert-Beer. WELZ (1985)

$$\text{ABSORB\AA{NCIA}} = \log I_0 / I_t = K.C.L$$

Em que:

I_0 = intensidade da radiação incidente emitida pela fonte de luz;

I_t = intensidade da radiação transmitida (quantidade não absorvida);

C = concentração da amostra (tomos livres);

K = constante de proporcionalidade (determinada experimentalmente) e,

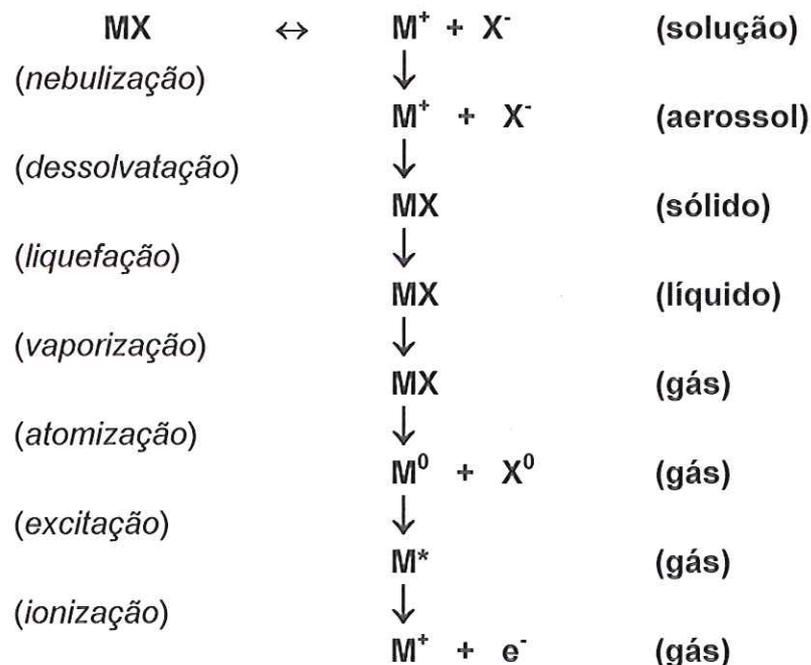
L = caminho tico.

Em termos práticos, a Lei de Lambert-Beer pode ser reduzida a:

$$\text{Absorb\AA{ncia}} = A = \log I_0 / I_t = C$$

Se uma solução contendo um sal de um metal (M^+X^-) for introduzida em uma chama composta de uma mistura de ar e gás acetileno, por exemplo, obtm-se um vapor que contm átomos do metal (M^+).

O processo no qual os íons dos metais são produzidos na chama pode ser resumido nas seguintes etapas:



7.3 Análise dos sedimentos

7.3.1 Preparo das amostras dos sedimentos

Imediatamente após a chegada no laboratório as amostras de sedimentos foram secas em estufa, à temperatura de 40°C, trituradas com o auxílio do cadinho e pistilo de porcelana, peneiradas em peneira com abertura de 0,297 mm e, posteriormente, estocadas em potes plásticos, com prévia identificação.

7.3.2 Reagentes

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico P. A., sendo:

- Ácido nítrico concentrado, HNO₃, marca Carlo Erba, título 65% (m/m), d 1,40 g/mL, MM 63,01 g/mol;
- Ácido perclórico, HClO₄, marca Merck, título 70% (m/m), d 1,67 g/mL, MM 100,45 g/mol;
- Peróxido de Hidrogênio, H₂O₂, marca Synth, título 32%, MM 34,01 g/mol;
- Ampolas de soluções padrão para absorção atômica contendo 1.000 µg/ mL de Cd⁺², Pb⁺², Co⁺², Cu⁺², Cr⁺³, Cr⁺⁶, Fe⁺², Mn⁺², Ni⁺², e Zn⁺², da marca Carlo Erba;
- Hexametáfosfato de sódio, da marca Merck;
- Ácido bórico Mallinckrodt.

7.3.3 Equipamentos

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Coletores tubo de Core e draga de Eckamn-Birge, para coleta de sedimento;
- agitador de peneiras elétrico produtest;
- balança analítica, modelo AND, máx 120 g, precisão 0,1 mg;
- balança digital micronal B 6000;
- bloco digestor marca tecnal;
- densímetro CL-277B (soiltest), hydrometer ASTM 1514, 86-21855;

- dispersor de solos soiltest modelo S-228 série 791;
- estufa de secagem modelo 315SE;
- espectrofotômetro de absorção atômica, marca Hetach, modelo Z-8100, equipado com atomizador por chama e polarizador Zeeman,
- micro pipetas automáticas de vários volumes marca milipore;
- mufla modelo EDGCON3P EDG 7000;
- peneiras com abertura de 10#(2,00 mm), 16#(1,20 mm), 30#(0,60 mm), 50#(0,30 mm), 100#(0,150 mm), 200#(0,075 mm);
- pastilhador "waring" - modelo 3648 Carver Laboratory Press;
- sistema ultra purificador de água marca Milipore, modelo Milli-Q plus;
- vidraria comum a um laboratório de Química Analítica.

7.3.4 Metodologia empregada para o teor de matéria orgânica e inorgânica nos sedimentos

Foi seguido o procedimento padrão metodológico de incineração (APHA, 1995). Foram pesados aproximadamente 4,0 g de sedimento seco, colocados em cadinhos de porcelana que previamente haviam sido clacinados a 600°C. Em seguida os cadinhos com o material foram levados a uma estufa e mantidos a 40°C por 24 horas. Após este tempo foram calcinados a 600°C durante duas horas.

Os resultados de massa de matéria orgânica são expressos em percentagem, utilizando-se as seguintes equações:

$$\% \text{ M.O} = [100.(P_1-P_2)] / P_S$$

$$\% \text{ M.I} = [100.(P_2-P_0)] / P_S$$

Onde,

P_S = Peso do sedimento seco em gramas (P_1-P_0).

P_0 = Peso do cadinho vazio em gramas.

P_1 = Peso do cadinho com sedimento seco após estufa a 40°C.

P_2 = Peso do cadinho com sedimento após incineração a 600°C.

% MO = Percentagem de Matéria Orgânica.

% MI = Percentagem de Matéria Inorgânica.

7.3.5 Metodologia empregada para a análise granulométrica dos sedimentos

O ensaio de granulometria dos sedimentos foi realizado de maneira conjunta, compreendendo tanto o peneiramento quanto a sedimentação, o que é indicada para sedimentos com partículas grossas e finas, seguindo as normas da ABNT - NBR 7181-84.

O objetivo do ensaio de granulometria é a obtenção dos pares de valores, tamanhos de partículas e suas percentagens de ocorrência. A forma de se obter esses pares de valores dependerá das dimensões das partículas componentes de cada sedimento. Para as partículas maiores que 0,075 mm esta separação será feita através de peneiramento, enquanto que, para as partículas menores que 0,075 mm deverão ser utilizados o processo de sedimentação em água destilada. Com relação ao tamanho das partículas que compõem os sedimentos, a argila possui diâmetro menor que 0,002 mm, o silte (intermediário entre a argila e areia) possui entre 0,002 e 0,05 mm de diâmetro, ao passo que para a areia o diâmetro varia de 0,05 a 2 mm. (NOGUEIRA, 1995).

Todas as amostras de sedimento foram passadas em peneira N°10 de abertura 2 mm. O material retido foi lavado e seco. Após o peneiramento grosso do sedimento, em peneira N° 10, pesou-se cerca de 80 g deste sedimento, transferido para um béquer, onde foram adicionados 125 mL de defloculante (hexametáfosfato de sódio), deixando-se em repouso por, no mínimo, 12 horas. Juntou-se água destilada ao material, no conjunto dispersor por 15 min. O material foi agitado para que ficasse em suspensão e atingisse o equilíbrio da temperatura. Transferiu-se para uma proveta e completou-se com água destilada até a marca de 1000 mL.

O densímetro foi colocado em uma outra proveta com água destilada, por quinze a vinte segundos antes de cada leitura. Mergulhou-se, em seguida, cuidadosamente o densímetro na suspensão. Quando ocorreu a mudança para outra proveta, contendo o sedimento em avaliação, o densímetro retornou sempre à proveta com água destilada, para limpeza e eliminação de interferentes.

As leituras foram feitas em tempos pré-determinados: ½, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240 e 480 minutos, a partir do instante inicial do ensaio; e, após cada leitura, mediu-se a temperatura.

Tendo terminada a última leitura, realizou-se uma lavagem da suspensão em peneira de N°. 200 (de abertura 0,075 mm) utilizando água corrente. A porção retida foi, em seguida, seca em uma estufa a 110°C.

Após a secagem das amostras, os sedimentos foram peneirados nas peneiras de N°. 10; 16; 30; 50; 100 e 200. As massas retidas foram acumuladas, separadas e, fazendo-se as leituras das massas, os cálculos executados. O Laboratório de Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos (Universidade de São Paulo), ofereceu suporte e o espaço físico no qual transcorreram as análises.

7.3.6 Digestão das amostras dos sedimentos

Para a completa digestão das amostras dos sedimentos (a qual quimicamente se denomina abertura dos sedimentos), foi desenvolvida por via úmida em sistema aberto, realizado sempre em duplicata.

Para a análise da concentração de metais total foi pesado cerca de 1,0 g de sedimentos, colocados em tubos do sistema digestor, em ambiente da capela, procedimento de segurança em função da volatilidade e periculosidade dos gases emanados no processo. Em seguida foram adicionados 10 mL de solução concentrada de HNO₃ e 5 mL de HClO₄. Após 2 horas de aquecimento, com temperatura em torno de 150°C, retirou-se o tubo do sistema digestor e, após um breve resfriamento, adicionou-se 5 mL de H₂O₂. WATSON (1994) e KRUG (1996). O objetivo da adição da água oxigenada foi para a total degradação da matéria orgânica.

A digestão foi feita até que não ocorresse mais a liberação de gases escuros, e até que as amostra dos sedimentos se tornassem claras. Concluída a digestão das amostras, as quais foram realizadas sempre em duplicatas, esperou-se o material esfriar e filtrou-se em funil de vidro, utilizando-se papel de filtro faixa preta quantitativo.

Após o líquido ser transferido para balões de 100 mL, completou-se o volume. Posteriormente, o material foi transferido para frascos de polietileno, os

quais foram previamente lavados. Imediatamente após os frascos terem sido tampados, procedeu-se a marcação para identificação dos mesmos.

Apresentando-se a solução muito concentrada, utilizou-se água milli-Q para fazer as diluições necessárias. Após a análise, foram feitas as conversões para a determinação dos metais na amostra original.

As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Química de São Carlos (IQSC-USP). Onde se teve o cuidado, para procedimentos com o intuito de se estabelecer, sempre, o uso racional de reagentes, no sentido da minimização da produção de resíduos químicos. Quando estes foram, porventura, gerados, procedeu-se um acondicionamento (em frascos de coloração escura), rotulados e encaminhados ao Laboratório de Resíduos Químicos do Campus de São Carlos (LRC-USP), que trata os resíduos gerados em diversos laboratórios de forma a torná-los não agressivos ao meio ambiente.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Teor de matéria orgânica e inorgânica nos sedimentos

Os sedimentos são as camadas de partículas minerais e orgânicas, com frações finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como lagos, rios e oceanos. Nos sedimentos, a proporção dos minerais para matéria orgânica varia substancialmente em função do local, face à constituição da rocha de origem. Os sedimentos são de grande importância ambiental, pois é o compartimento onde se depositam muitos produtos químicos, especialmente metais pesados e compostos orgânicos, como PAHs (hidrocarbonetos aromáticos polinucleares) e pesticidas, e a partir deles os produtos tóxicos podem ser transferidos para os organismos que habitam essa região. (BAIRD, 2002).

Os resultados para o teor de matéria orgânica e inorgânica nos sedimentos são elencados na Tabela 4. O conhecimento da qualidade, fração e composição dos sedimentos são componentes importantes no gerenciamento global da água.

Tabela 4: Percentagens de matéria orgânica dos sedimentos para os 10 pontos (lagoas de piscicultura e pesque-pagues amostrados)

Pontos de coleta	Agosto/00 (%)	Novembro/00 (%)	Março/01 (%)	Junho/01 (%)
10	14,4	14,6	19,2	12,5
9	14,6	18,2	17,4	15,2
8	12,8	14,6	18,3	11,9
7	11,9	12,4	16,1	12,0
6	15,6	18,2	26,5	12,3
5	4,5	15,2	6,5	4,2
4	15,5	14,2	16,4	12,3
3	15,0	14,3	5,2	3,8
2	2,2	15,8	23,8	2,6
1	1,4	7,6	18,0	2,8

De maneira ampla, as percentagens de matéria orgânica foram elevadas para os pontos analisados, na grande maioria dos períodos amostrados, o que é indicativo de interferência antrópica. De acordo com ESTEVES (1988), o teor de matéria orgânica que o sedimento possui, pode ser classificado em orgânico e inorgânico. Para o sedimento ser considerado pertencente ao grupo orgânico, é obrigatório que possua 10% de matéria orgânica em seu peso seco. Quando o sedimento for considerado inorgânico, a obrigatoriedade consiste na presença de menos de 10% de matéria orgânica.

Os maiores percentuais de matéria orgânica ocorreram com a chegada da estação chuvosa, a partir de novembro/00, com destaque para P10 (Inconfidentes), P6 (Pirassununga) e P2 (Pitangueiras). Com valores de 19,2%, 26,5% e 23,8% respectivamente, sendo, portanto, sedimentos considerados orgânicos. Com a observação de que os sedimentos que apresentaram maiores percentuais foram os coletados no mês de março/01 (auge da estação das chuvas e alta temporada nos pesque-pagues). O P2 apresentou, também, a maior variação (21,6%), dentre todos os pontos amostrados, indo de 2,2 % (agosto/00) a 23,8% (março/01).

Em função do tempo de resiliência da água dos rios e lagoas, pode ocorrer maior ou menor sedimentação dos materiais orgânicos e inorgânicos que chegam através de entradas pontuais ou difusas. Além do maior carreamento de material alóctone no período chuvoso, deve-se também salientar a possibilidade de remoção e suspensão dos materiais orgânicos e inorgânicos nos sedimentos, devido ao aumento do fluxo de água ocasionado pelas chuvas (TUNDISI et al., 1999).

O P9 (Jacutinga), além de se mostrar com níveis superiores a 10% em todos os períodos verificados, sendo considerado, desta forma, como sedimento orgânico, apresentou, ainda, a menor variação (3,6%), de 14,6% (agosto/00) a 18,2% (novembro/00).

8.2 Determinação granulométrica dos sedimentos

Para o mapeamento mais específico das características dos sedimentos, no campo físico e químico, é condição importante a verificação dos percentuais de argila, silte e areia, para as lagoas de pesque-pague e estações de



piscicultura; visto que, a composição do sedimento pode influenciar, sobremaneira, nas condições ambientais.

Na Tabela 5 os percentuais de argila, silte e areia são apresentados para os 10 pontos amostrados, nos quatro períodos temporais.

Tabela 5: Análise granulométrica conjunta do sedimento, de acordo com a NBR 7181/84

Agosto/00				Novembro/00			
P	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	P	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
10	66,2	4,1	27,7	10	34,4	5,8	59,3
9	47,5	6,2	46,3	9	31,9	6,7	61,4
8	57,4	2,9	39,7	8	42,7	4,5	52,8
7	52,8	4,7	42,2	7	25,5	3,9	70,6
6	59,2	5,6	35,2	6	34,5	2,3	62,9
5	54,8	6,2	39,1	5	2,6	5,4	92,0
4	55,3	2,9	41,8	4	16,3	3,6	80,1
3	57,0	3,6	39,4	3	4,7	2,9	92,4
2	45,8	6,5	47,7	2	36,0	3,8	60,2
1	52,6	5,2	42,2	1	40,9	4,4	54,7

Março/01				Junho/01			
P	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	P	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
10	37,9	3,9	58,2	10	55,5	3,7	40,8
9	34,4	5,2	60,4	9	50,2	4,8	45,0
8	7,4	2,2	90,4	8	48,7	2,8	48,5
7	12,3	4,6	83,1	7	60,9	3,7	35,4
6	12,7	4,2	53,6	6	57,3	4,9	37,8
5	9,0	2,2	88,8	5	49,2	3,5	47,3
4	37,4	3,8	58,9	4	58,2	2,2	39,6
3	36,4	3,2	60,4	3	49,5	4,7	45,8
2	34,8	2,9	62,3	2	48,4	6,5	45,1
1	24,5	4,7	70,8	1	55,7	2,7	41,6

Realizando-se um cruzamento de dados entre os pontos amostrados e os percentuais granulométricos, para os quatro períodos (agosto/00,

novembro/00, março/01 e junho/01), observa-se que as maiores percentagens de areia foram evidenciadas no período das chuvas (novembro a março/00), com variação de 52,8% a 88,2%, tendo o P5, em março/01, contendo o maior percentual de areia dos pontos amostrados.

No período seco (agosto/00 e junho/01), foi o momento de se ter a argila predominando nos pontos de coleta, com percentuais que variaram de 48,4% a 66,2%, com o P10, em agosto/00 trazendo o valor mais superlativo de todos os pontos e para todos os períodos. Merece destaque, também, além do P10 (66,2%), citar os pontos P7 (60,9% em junho/01), P6 (59,2% em agosto/00) e P4 (58,2% em junho/01) que tiveram valores de argila expressivos.

Para as análises granulométricas com relação ao silte, observaram-se os menores valores. Sendo relativamente constante estes níveis para a totalidade dos pontos, nos quatro períodos verificados. O silte, portanto, teve uma variabilidade entre 2,2% a 6,5%.

Em análises realizadas por TONISSI (1999), que estudou os sedimentos do reservatório de Salto Grande, dentre outros aspectos, no município de Americana-SP, pode-se ver uma estreita relação dos percentuais de argila, silte e areia com os verificados nas lagoas de pisciculturas avaliadas. Infere-se, portanto, que tanto para um reservatório de significativo volume d'água, como para as lagoas de pesque-pague (menor volume hídrico), percentuais de areia são encontrados, em maiores quantidades no período chuvoso. Ao passo que a argila se mostra presente, em maiores percentuais, na estação seca; enquanto que o silte possui uma tendência a se apresentar, de maneira generalizada, com percentuais bem menores nas duas estações.

É evidente que esse referencial comparativo é, em grande parte, figurativo; visto que os percentuais de argila, silte e areia de ambientes aquáticos estão intimamente correlacionados com as atividades antrópicas no seu entorno e com a composição geoquímica da bacia de formação.

8.3 Metais totais nas amostras de água através da técnica de absorção atômica

Os gráficos apresentados nas Figuras 6 a 10, mostram as concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe) e zinco (Zn), encontrados nas estações de piscicultura e lagoas de pesque-pagues. A

escolha destes metais foi baseada no fato de que são os mais relevantes, em termos da toxicidade de metais para a qualidade da água.

As barras em marrom, em cada gráfico, são os valores máximos permitidos para águas doces de classe 2, caso dos ambientes estudados, pela resolução 20/86 do CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1986). A qual estabelece, no seu artigo 1º, inciso III, que são águas destinadas:

- a) Ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) À proteção das comunidades aquáticas;
- c) À recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
- d) À irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) À criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Para os metais analisados, os limites máximos estabelecidos pela resolução 20/86 do CONAMA são:

- Cádmio (Cd) → 0,001 mg/L
- Cobre (Cu) → 0,002 mg/L
- Cromo (Cr) → 0,05 mg/L
- Ferro (Fe) → 0,3 mg/L
- Zinco (Zn) → 0,18 mg/L

8.3.1 Cádmio

Com relação ao cádmio, nas águas das estações de piscicultura e pesque-pagues, a totalidade dos pontos apresentou, para todos os períodos amostrados, de 4 a 49 vezes acima do limite do CONAMA, que é estabelecido em 0,001 mg/L. O cádmio se mostrou com as maiores concentrações nos pontos P8 (Itapira: 0,045 mg/L), P4 (Luiz Antonio: 0,047 mg/L) e P1 (Inconfidentes: 0,049 mg/L), em novembro/00, como é evidenciado pela Figura 6.

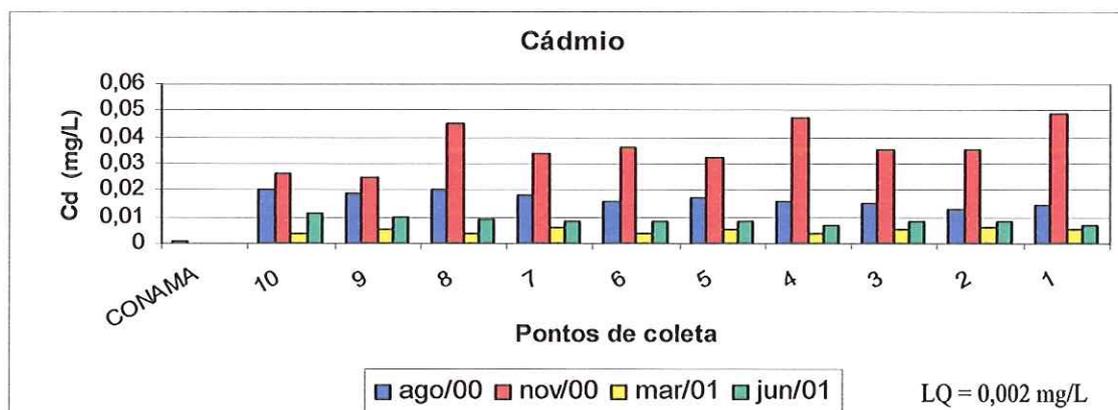


Figura 6: Concentração de cádmio (Cd) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu
LQ= limite de quantificação.

A maior incidência na concentração de Cd deve-se, provavelmente, ao uso de pesticidas na agricultura da região, em vários níveis, em culturas como morango, batata e cana-de-açúcar, nos municípios de Inconfidentes e Luiz Antonio. Através do carreamento de substâncias, provocado pelas chuvas, os corpos d'água são o depósito desses contaminantes.

8.3.2 Cobre

A Figura 7 contém a concentração de cobre nos pontos pesquisados. Identifica-se considerável aumento nos meses de novembro/00 e março/01 para todos os pontos, provavelmente, em função do advento do período chuvoso, pelo carreamento de óxidos do elemento na área de drenagem, convergindo em limites superiores à classificação do CONAMA, para águas doce de classe 2, que é 0,02 mg/L.

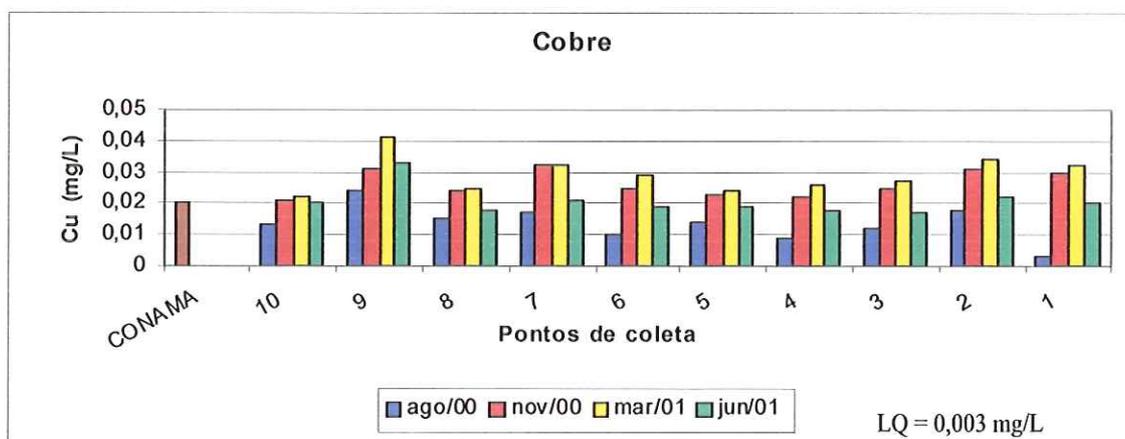


Figura 7: Concentração de cobre (Cu) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu
LQ= limite de quantificação.

As maiores concentrações de cobre na água foram registradas em P9 (0,041 mg/L) em P7 (0,032 mg/L) e P2 (0,034 mg/L) em março/01. No mês de agosto/00 a concentração de cobre nos pontos amostrados ficaram abaixo da estabelecida pelo CONAMA, com exceção do P9 (0,024 mg/L), variando entre 0,003 a 0,018 mg/L.

Este comportamento se deve, provavelmente, ao fato da elevada possibilidade de solvatação dos íons e hidróxidos do cobre, fazendo-os ser mais perceptíveis no período chuvoso, auxiliado pelo carreamento de nitrato de cobre, oriundos de pesticidas e corretivos de solos, aplicados em atividades como culturas de batata, morango, tomate e alho, nas imediações dos pontos amostrados.

8.3.4 Cromo

O cromo é um metal altamente carcinogênico, apresentando-se na água como Cr^{+3} (trivalente) e Cr^{+6} (hexavalente); o primeiro é considerado mais inerte, ao passo que o segundo possui cerca de 100 vezes maiores efeitos de toxicidade (quando comparado com Cr^{+}), sendo ainda mais solúvel.

Neste sentido, verificando os resultados nos pontos amostrados, percebe-se concentrações maiores de Cr nos meses de novembro/00 e março/01, com destaque para o P9, com teores de até 3,8 vezes superiores aos aceitos pelo CONAMA, que é 0,05 mg/L, conforme pode ser verificado na Figura 8.

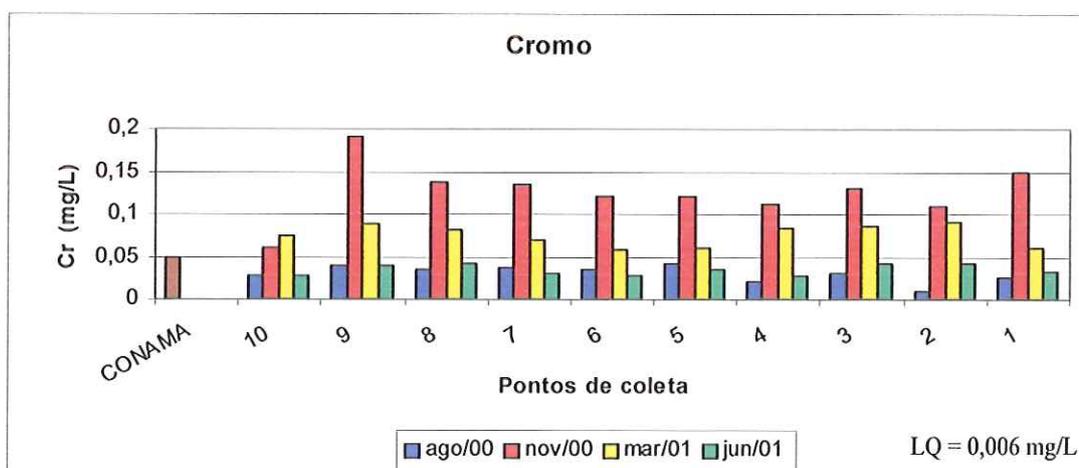


Figura 8: Concentração de cromo (Cr) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu
LQ= limite de quantificação.

Foi realizada a especiação do cromo através da técnica de potenciometria, para se saber qual a fração de Cr^{+3} e Cr^{+6} dentro dos teores encontrados. A percentagem de Cr^{+6} ficou entre 10 e 15% do cromo detectado, enquanto o Cr^{+3} compôs o restante, 85 a 90%, outras espécies de cromo não foram detectadas. Verifica-se que para o P9 (Jacutinga; 0,190 mg/L), o maior índice encontrado, o teor de Cr^{+6} atinge, no máximo, o valor de 0,028 mg/L, sendo inferior ao que o CONAMA estabelece (0,05 mg/L).

O comportamento para o Cr pode ser justificado pela solubilização dos compostos que contém este metal, com o aumento do período das chuvas (o que pode ser visto em maiores concentrações para os meses novembro/00 e março/01), oriundos provavelmente, de pesticidas utilizados na cultura de café e cana de açúcar, bem como curtumes existentes na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, os quais produzem como rejeitos metilamina e compostos com elevada quantidade de resíduos de cromo, dentre outros.

8.3.5 Ferro

Por ser um dos metais que existem em maiores quantidades no planeta Terra, convergindo em significativa solubilização em sistemas hídricos, oriundo de processo de carreamento, é encontrado na forma de óxidos e cloretos, dentre outros, em todos os corpos d'água, ainda que em pequenas concentrações.

Para a grande maioria dos pontos de coletas amostrados, o ferro foi o que apresentou em todos os períodos pesquisados (agosto/00 a junho/01) as maiores concentrações, com cerca de 6 a 32 vezes o limite estabelecido pelo CONAMA, que é 0,3 mg/L. Com destaque para março/01, em P8 (Itapira: 9,60 mg/L) e P10 (Inconfidentes: 8,2 mg/L), como pode ser observado na Figura 9 seguinte.

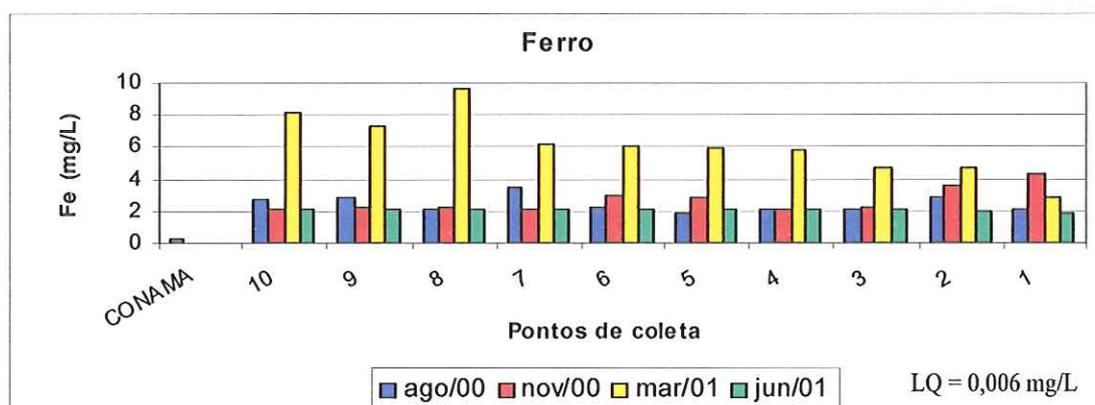


Figura 9: Concentração de ferro (Fe) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu
LQ= limite de quantificação.

As águas de diversas regiões no Brasil, como a situação de Minas Gerais, pela própria formação geológica na bacia, onde o estudo foi realizado, é plenamente comum a verificação de níveis elevados de ferro, com valores acima de limites potáveis. Portanto, a alta concentração de ferro, na amplitude geral de pontos de pesque-pagues e lagoas de piscicultura, pode ser decorrente do carreamento de solos contendo ferro, pela ação pluviométrica, que foi intensa no mês de março, corroborada pelo próprio contorno geoquímico da área de drenagem do rio Mogi Guaçu, onde a sua gênese a partir de latossolo roxo, vermelho escuro e vermelho amarelo com fase arenosa, proporciona, de maneira ampla, formações rochosas contendo níveis significativos de ferro. (SPERLING, 1998).

8.3.6 Zinco

As concentrações de zinco se mostraram com níveis mais elevados no período de novembro/00, especialmente para os pontos P8 (0,22 mg/L) e P6 (0,20 mg/L) e P1 (0,21 mg/L), nos municípios de Itapira, Pirassununga e Barretos, respectivamente, ou seja, números acima do limite máximo aceito pelo CONAMA, que é 0,18 mg/L, como que é mostrado na Figura 10.

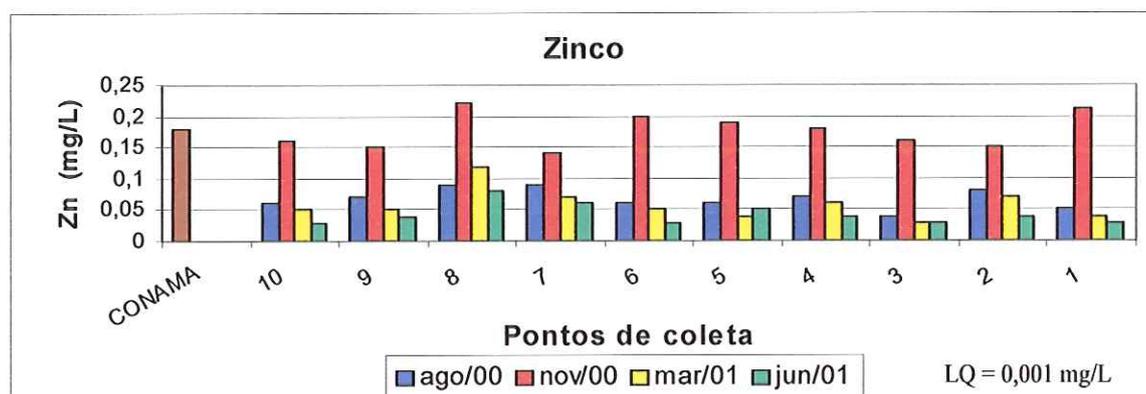


Figura 10 Concentração de zinco (Zn) na água de pesque-pagues e lagoas de piscicultura da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu
LQ= limite de quantificação.

De acordo com dados da CETESB (2002), o intervalo de concentração em que o zinco é considerado problemático para peixes, está entre 0,026 e 1,368 mg/L. Isto para águas de rios como Mogi Guaçu de classe 2, extrapolando-se esta normatização às lagoas de piscicultura podemos concluir que o zinco está causando efeito tóxico aos peixes, pois foi observado uma variação entre 0,03 a 0,22 mg/L, numa visão para todos os pontos amostrados e na totalidade dos períodos.

Isto se deve, em grande escala, ao fato da amplitude, em termos de disseminação, das fábricas de papel e papelão na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, as quais, além de caolim, composto orgânico mercurioso e alta carga de sólidos suspensos, produzem como rejeito cloreto de zinco, fazendo com que, por processos de carreamento, os corpos d'água se apresentem impactados no que tange a este metal.

8.4 Metais Totais nas Amostras dos Sedimentos através da Técnica de Absorção Atômica

Para se avaliar a qualidade dos sedimentos, das estações de piscicultura e lagoas de pesque-pague, no que diz respeito à contaminação por metais, para os 10 pontos amostrados, determinou-se a concentração de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn). A escolha destes metais se deu pelo fato de serem considerados poluentes na verificação de possíveis impactos no ambiente.

8.4.1 Cádmi

As maiores concentrações de cádmio foram encontrados em P10, P8, P7 e P4, com variação de 4,10 a 6,20 mg/kg, conforme a Tabela 6. A maior concentração de cádmio foi detectada em março/01, em P4 (Luiz Antônio), com valor de 6,20 mg/kg. Em geral, níveis maiores de concentração foram observados nos meses de novembro/00 e março/01, tanto para o trecho mineiro (P10 e P9), quanto para o paulista (P8 a P1). Estes altos teores podem ser explicados pelo incremento no índice pluviométrico (chegada das chuvas).

Tabela 6: Concentração de cádmio (Cd) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Cádmi (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	0,05	4,40	4,80	3,30
9	0,08	3,20	3,50	3,20
8	2,10	4,10	4,30	2,50
7	0,10	3,00	4,20	2,70
6	1,20	2,60	3,20	1,70
5	1,10	2,50	2,80	1,90
4	1,40	4,30	6,20	2,80
3	0,09	3,50	2,90	2,10
2	1,50	2,20	6,10	1,50
1	1,30	2,10	3,40	1,30
Limite de quantificação = 0,009 mg/L				

De acordo com FÖRSTNER & WITTMANN (1983), para regiões naturais livre de interferência antrópica, e conseqüentemente, não impactadas a concentração de cádmio em sedimentos é 0,20 mg/kg. Realizando uma comparação com os níveis de cádmio encontrados nos sedimentos, dos pontos em estudo, os valores extrapolaram de 15 a 24 vezes e 5,5 a 31 vezes nos trechos mineiro e paulista, respectivamente, indicando ambientes intensamente impactados de acordo com esta referência.

É estabelecido que o mineral cádmio, de acordo com padrões da US-EPA (THOMAS, 1987), em concentrações de 6 mg/kg, presente em

sedimentos, o local é caracterizado como altamente poluído, desta forma o P4 (Luiz Antônio: 6,20 mg/kg) e P2 (Pitangueiras: 6,10 mg/kg) são considerados como altamente poluídos com relação à concentração desse metal.

Este comportamento se deve, provavelmente, pela intensa atividade da cultura da cana-de-açúcar, existentes nestes dois municípios (Luiz Antônio e Pitangueiras), onde o Cd presente em pesticidas e fertilizantes, usados para otimizar a produção, provoca, pelo efeito pluviométrico obviamente, o carreamento de resíduos destes produtos para a área de drenagem do rio Mogi Guaçu e, concomitantemente, para as lagoas de pesque-pagues e piscicultura na área de drenagem do rio.

8.4.2 Chumbo

O chumbo total encontrado nos sedimentos das estações amostradas teve variação de 14,60 a 112,30 mg/kg, ou seja, um intervalo considerável, o que indica uma larga amplitude, como resposta para as análises deste metal. Conforme a Tabela 7. No sedimento em P10 (Inconfidentes) foi verificada a maior concentração de chumbo: 112,30 mg/kg.

Tabela 7: Concentração de chumbo (Pb) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Chumbo (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	74,50	28,20	112,30	34,80
9	73,80	22,30	91,40	36,20
8	53,40	18,90	86,10	48,20
7	40,20	36,70	89,20	29,40
6	49,80	34,50	95,20	39,80
5	39,30	21,60	62,10	40,04
4	36,70	38,40	93,50	43,70
3	52,50	34,80	88,60	45,40
2	44,20	19,20	60,60	29,30
1	36,40	14,60	69,50	23,90
Limite de quantificação = 0,06 mg/L				

O grau de poluição para o chumbo em sedimentos dragados, estabelecido pela EPA (THOMAS, 1987), é até 90,00 mg/kg para os sedimentos considerados não-poluídos e de 90,00 a 200,00 mg/kg para os sedimentos moderadamente poluídos. Nesta base de referência os pontos P10 (112,30 mg/kg), P9 (91,40 mg/kg), P6 (95,20 mg/kg) e P4 (93,50 mg/kg) são ditos moderadamente poluídos, em março/01, ao passo que os outros pontos são considerados não-poluídos.

A concentração de chumbo em sedimentos de regiões naturais não impactadas, de acordo com estudos de FÖRSTNER & WITTMANN (1983) é entre 7,40 a 53,80 mg/kg. Realizando comparação entre as concentrações encontradas, nas amostras estudadas, e o limite 53,80 mg/kg, a totalidade dos pontos superou este valor, com destaque para março/01. Este alto valor pode ter sido pelo clímax do período das chuvas e para estes padrões de resultados, pode-se concluir que os sedimentos estão impactados pelo chumbo.

A ocorrência desta situação, provavelmente, é pelo amplo rol de atividades industriais existentes na área de drenagem do rio Mogi Guaçu, o que pode ser um fator potencial de contaminação com a presença deste metal.

8.4.3 Cobalto

Quanto ao cobalto nos sedimentos das estações de piscicultura e lagoas de pesque-pagues, as concentrações mínimas e máximas encontradas foram de 7,20 mg/kg e 37,60 mg/kg, respectivamente, faixa esta de concentração que se verificou predominantemente para os pontos amostrados. Conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Concentração de cobalto (Co) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de Coleta	Cobalto (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	14,50	17,20	19,10	9,20
9	13,60	17,30	18,20	10,60
8	17,10	16,40	35,20	11,10
7	7,20	19,30	37,60	12,30
6	8,10	14,40	19,20	16,60
5	12,10	17,50	18,70	16,80
4	9,20	10,50	16,90	19,20
3	19,10	20,10	22,20	12,10
2	15,40	10,70	19,20	13,90
1	12,50	14,80	19,50	14,70
Limite de quantificação = 0,05 mg/L				

De acordo MOORE (1990), citado em CETESB (2002) sedimentos contendo cobalto podem ser considerados isentos de contaminação, quando estiverem na faixa de 1 a 10 mg/kg de peso seco deste elemento, ao passo que em ambientes contaminados, os valores estão em patamares entre 25 a 50 mg/kg. Usando-se o referencial descrito, pode-se dizer que os sedimentos dos pontos P8 (Itapira: 35,20 mg/kg) e P7 (Mogi Guaçu: 37,60 mg/kg), que apresentaram as maiores concentrações de todos os pontos, estão contaminados por este metal.

Percebe-se, ainda, que todos os valores superlativos, para os dois pontos citados, ocorreram exatamente no mês de março/01. Isto pode ter sido

pelo apogeu do período de chuvas, que iniciou no mês de novembro/00, no qual constata-se, também, valores acrescidos, convergindo, portanto, nos significativos níveis de março/01.

A presença de elevadas concentrações de Co pode ser em função, dentre outros fatores, de que nas imediações de P8 (Itapira) e P7 (Mogi Guaçu), existem significativas atividades da indústria de metalurgia. Neste sentido, as altas concentrações de Co podem ser oriundas do rol dos rejeitos desses processos.

8.4.4 Cobre

O cobre apresentou concentrações, nos sedimentos, que variaram de 8,60 mg/kg a 49,20 mg/kg tendo os seguintes pontos com níveis elevados: P8 (Itapira: 37,20 mg/kg) e P4 (Luiz Antônio: 49,20 mg/kg), ambos no mês de março, provavelmente pelo incremento de chuvas na região. De acordo com a Tabela 9.

Tabela 9: Concentração de cobre (Cu) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Cobre (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	17,20	21,20	14,10	22,10
9	9,60	18,30	20,60	8,60
8	10,90	32,50	37,20	11,20
7	11,20	15,10	12,50	20,20
6	16,60	26,60	29,20	16,40
5	8,90	9,40	21,70	18,20
4	19,20	39,60	49,20	14,90
3	27,60	20,60	21,40	20,60
2	12,40	10,90	18,90	22,50
1	13,60	9,60	27,60	18,40
Limite de quantificação = 0,025 mg/L				

O P4 apresentou nível mais elevado de cobre entre todos os pontos amostrados, para todos os períodos. Isto pode ter sido pelo fato de que em P4

(Luiz Antônio), estão localizadas significativas indústrias de papel e celulose, usinas de açúcar e de álcool e curtumes, onde rejeitos oriundos destas atividades podem conter sulfatos com relevantes concentrações deste metal.

É estabelecido em 0,20 mg/kg, por FÖRSTNER & WITTMANN (1983), a concentração de cobre em sedimentos naturais para regiões não impactadas. Os níveis de cobre encontrados nos sedimentos, usando-se esta base de comparação, foram de 43 a 246 vezes para os pontos amostrados.

8.4.5 Cromo

Em relação ao cromo total nos sedimentos nos pontos amostrados, este elemento está presente em concentrações que variaram de 19,40 mg/kg a 139,50 mg/kg, conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Concentração de cromo (Cr) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Cromo (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	36,10	47,20	51,30	43,30
9	32,10	45,10	49,30	31,80
8	44,20	45,40	46,20	34,90
7	33,30	44,50	45,40	29,70
6	45,10	79,10	88,50	41,80
5	23,20	32,60	43,40	26,20
4	37,10	82,70	139,50	19,40
3	31,30	81,60	89,40	78,50
2	29,40	69,20	41,20	32,30
1	20,20	46,40	68,70	48,20
Limite de quantificação = 0,05 mg/L				

Para THOMAS (1987) em estudos realizados com sedimentos contendo cromo, ambientes moderadamente poluídos possuem concentração que variam entre 25 mg/kg a 70 mg/kg e ambientes altamente poluídos, possuem patamares acima de 70 mg/kg.

As maiores concentrações de cromo foram verificadas nos pontos P6 (Pirassununga: 88,50 mg/kg), P4 (Luiz Antônio: 139,50 mg/kg) e P3 (Pradópolis 89,40 mg/kg). Todas estas concentrações foram encontradas no período amostrado de março/01, o que se deve, provavelmente, a intensificação pluviométrica.

Os níveis elevados em P6 (Pirassununga), P4 (Luiz Antônio) e P3 (Pradópolis) podem ter sido em função de que nas imediações existem empreendimentos como indústria e comércio de aguardentes, culturas de cana-de-açúcar, usinas de açúcar e de álcool e curtumes, dentre outras, às quais têm um peso muito significativo. Desta forma, o Cr pode ter surgido como um rejeito impactante, junto aos demais produzidos por estas atividades.

No que diz respeito à especiação do cromo, que foi realizada através da técnica de potenciometria, com o intuito de realizar a detecção das frações Cr^{+3} (trivalente) e Cr^{+6} (hexavalente); pode-se afirmar que, de acordo com os teores verificados, o percentual de Cr^{+6} respeitou padrões entre 0,001 % e 0,002% do cromo detectado, o restante se configura na fração Cr^{+3} , limite superior bem longe ao limite inferior para água (que ficou entre 10% e 15% para Cr^{+3} e Cr^{+6} , respectivamente). Estudos direcionados por FÖRSTNER & WITTMANN (1983) e MOORE & RAMAMOORTHY (1984) consideram a concentração de cromo em 0,30 mg/kg, ocorrendo em sedimentos de regiões naturais não impactadas. Desta forma, conclui-se que, para o maior índice de cromo encontrado em P4 (Luiz Antônio: 139,50 mg/mL em março/01) tem-se o teor de Cr^{+6} atingindo o limite de 0,0027 mg/kg, portanto valores inferiores ao nível de 0,30 mg/L. Infere-se, portanto, que praticamente todo o cromo encontrado, nos sedimentos, foi das outras espécies.

8.4.6 Ferro

A concentração de ferro total nos sedimentos amostrados, ao longo das estações de piscicultura e pesque-pagues foi a que forneceu valores mais expressivos, de todos os metais analisados, percebe-se, desta forma, que é o metal de maior abundância contido nos sedimentos. Níveis de ferro totais mais altos foram verificados, no mês de março/01, em P10 (Inconfidentes: 9830 mg/kg), P5 (Descalvado: 7980 mg/kg) e P1 (Barretos: 8600 mg/kg). De acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Concentração de ferro (Fe) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Ferro (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	2954	4832	9830	4862
9	2772	3974	6281	2700
8	2981	2931	5464	3971
7	2532	2646	5274	2576
6	2544	2648	5623	2886
5	2668	2571	7980	2722
4	2876	5178	6220	3274
3	2571	4419	5611	2821
2	2766	4234	5220	2781
1	2976	4862	8600	3678
Limite de quantificação = 0,05 mg/L				

O alto teor de Fe pode ter aparecido neste período, em função da estação chuvosa, que proporciona um meio ideal para o carreamento de hidróxidos de ferro e, posterior, complexação junto aos sedimentos de fundo dos pesque-pagues.

Os valores elevados na concentração de Fe para os pontos P10 (Inconfidentes), P5 (Descalvado) e P1 (Barretos) pode indicar uma maior presença deste metal na composição geológica das rochas nesta área de

formação, quando comparado com os outros pontos, da mesma área de drenagem, do rio Mogi Guaçu.

A EPA (THOMAS, 1987) estabelece que, quando o nível de ferro estiver em concentrações iguais ou superiores a 2500 mg/kg, os ambientes são ditos altamente poluídos, o que enquadra a totalidade dos sedimentos analisados, para a plenitude dos períodos.

O que se faz inferir, doravante, que a formação geoquímica da área de drenagem do rio Mogi-Guaçu, corroborada pela intensificação das atividades antrópicas, tem importante papel na redistribuição do Fe junto aos sedimentos de fundo, nos ambientes hídricos, que compõe a referida bacia de formação.

8.4.7 Manganês

A análise de manganês total, nos sedimentos, apresentou-se com intervalos entre 270 e 1370 mg/kg nos pesque-pagues mineiros e 104 a 870 mg/kg nos pontos paulistas. BRANDÃO et al. (2000), refere-se à cerca de mineração de manganês pelo município mineiro de Jacutinga; desta forma é o provável motivo de ter sido encontrado a maior concentração, de todos os pontos amostrados, em P9 (Jacutinga: 1370 mg/kg em março/01), pela ocorrência da exploração de manganês neste município. Estes valores encontrados em novembro/00 e março/01 podem ser pelo fato do período das chuvas, o que propicia ambiente para a solvatação dos compostos contendo Mn e carreamento para as lagoas de pesque-pagues. Conforme a Tabela 12.

Tabela 12: Concentração de manganês (Mn) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Manganês (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	298	270	460	260
9	360	975	1370	540
8	320	380	362	490
7	410	230	208	310
6	102	104	202	196
5	610	690	808	140
4	292	410	460	248
3	164	580	870	280
2	150	392	410	175
1	420	208	290	148
Limite de quantificação = 0,02 mg/L				

Para a mensuração do grau de poluição em sedimentos contendo manganês, a EPA (THOMAS, 1987) estabelece concentrações inferiores a 300 mg/kg para sedimento não poluído, moderadamente poluído entre 300 mg/kg e

500 mg/kg e, finalmente, aqueles com concentração superando 500 mg/kg como altamente poluídos.

Tomando como base este referencial, podem-se considerar como altamente poluídos, relacionados à concentração de manganês, além do já citado P9 (Jacutinga), os pontos P5 (Descalvado: 610 mg/kg em agosto/00, 690 mg/kg em novembro/00 e 808 mg/kg em março/01) e P3 (Pradópolis: 580 mg/kg em novembro/00 e 870 mg/kg em março/01). Em geral, durante e após a época das chuvas, houve uma elevação na concentração deste metal. O nível significativo de concentração no P5 (Descalvado) e P3 (Pradópolis) pode ter sido pela existência de portos de extração de areia, nas imediações destes locais que compõem a área de drenagem do rio Mogi Guaçu.

8.4.8 Níquel

A análise de níquel total, nos sedimentos amostrados em estações de pesque-pagues e lagoas de piscicultura, apresentou-se com uma variação, em termos de concentração, entre 21,2 a 35,5 mg/kg, no trecho mineiro, e 8,7 a 39,6 mg/kg, no trecho paulista, como se evidencia na Tabela 13.

Tabela 13: Concentração de níquel (Ni) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Níquel (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	28,6	29,5	21,2	24,5
9	26,6	28,2	35,5	25,5
8	28,9	29,7	38,3	27,8
7	22,4	32,2	39,6	28,2
6	15,8	30,8	32,3	28,2
5	8,7	18,7	34,8	23,1
4	9,2	23,7	34,6	19,9
3	19,5	35,1	38,4	34,7
2	27,7	26,7	36,1	16,5
1	14,5	24,7	33,1	24,1
Limite de quantificação = 0,04 mg/L				

O nível referencial, utilizado pela EPA (THOMAS, 1987) estabelece um mínimo de 20 mg/kg e máximo de 50 mg/kg, para os sedimentos de ambientes serem considerados moderadamente poluídos, com respeito às concentrações de níquel. Usando-se esta quantificação, os sedimentos, tanto das estações de piscicultura do trecho a montante (Minas Gerais), quanto a jusante (São Paulo), olhando-se o rio Mogi Guaçu da nascente a foz, estão moderadamente poluídos, na totalidade dos pontos de coleta (P10 a P1) e na grande maioria do período amostral.

Os pontos que mostraram níveis mais expressivos foram P8 (Itapira: 38,3 mg/kg) e P7 (Mogi Guaçu: 39,6 mg/kg), ambos no mês de março/01, fato que pode ter sido pelo aumento de chuvas neste período. Níveis de concentrações elevadas em P8 (Itapira) e P7 (Mogi Guaçu), permitem-se inferir que estes resultados se deram pelo fato que existem expressivas atividades, no entorno destes pontos de coletas, como indústrias da área metalúrgica e galvanoplastia, dentre outras, o que pode estar sendo o vetor da verificação destes níveis elevados de Ni na concentração dos metais em sedimentos.

É importante ressaltar, também, que as concentrações de Ni nos sedimentos estão entre 1,74 a 7,92 vezes superiores à máxima concentração referencial, estabelecida por FÖRSTNER & WITTMAN (1983), no qual especifica que as concentrações de níquel, encontrados em sedimentos de ambientes naturais, isentos de interferência antrópica e, portanto, não impactadas está entre 0,2 e 5 mg/kg. Verifica-se, portanto, que se tratam de ambientes impactados, com relação ao níquel. Fato que pode ser relacionado à intensa atividade industrial desenvolvida na área de drenagem do rio Mogi Guaçu.

8.4.9 Zinco

As análises do zinco total, para os sedimentos dos pontos de pesque-pagues amostrados, para os Estados de Minas Gerais (P10 e P9) e São Paulo (P8 a P1), tiveram um intervalo variando entre 21,2 a 108,2 mg/kg, conforme a Tabela 14.

Tabela 14: Concentração de zinco (Zn) em sedimentos de lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos de coleta	Zinco (mg/kg)			
	Agosto/00	Novembro/00	Março/01	Junho/01
10	52,2	54,5	61,3	34,2
9	49,3	52,8	52,6	29,7
8	48,6	64,7	108,2	31,3
7	34,3	51,3	53,4	32,2
6	49,9	59,3	52,4	42,1
5	21,2	63,9	31,2	23,5
4	23,4	102,3	92,1	35,8
3	28,6	53,7	53,1	29,4
2	49,5	52,4	26,5	28,3
1	29,2	49,5	61,4	26,6
Limite de quantificação = 0,008 mg/L				

A EPA (THOMAS, 1987) registra concentrações de até 90 mg/kg de zinco para sedimentos considerados não poluídos. Desta forma, pode-se afirmar que os pontos P8 (Itapira: 108,2 em março/01) e P4 (Luiz Antônio: 102,3 mg/kg em novembro/01 e 92,1 mg/kg em março/01), estão notadamente antropizados, destacando-se pela detecção das maiores concentrações, em termos de zinco, de todos os pontos, e, todavia, considerados poluídos. Estes níveis significativos podem ter sido em função de que P8 (Itapira) e P4 (Luiz Antônio) são locais onde ocorrem intensas atividades como fábrica de papel e papelão, bem como indústria de papel e celulose, dentre outras, o que pode

estar levando rejeitos contendo zinco (na forma iônica e de cloretos) para os corpos hídricos da região.

Em geral foi observado, notadamente, que houve uma elevação na concentração de Zn para os meses chuvosos (novembro/00 e março/01). Constata-se, assim, que a pluviosidade favorece ao carreamento deste metal aos corpos d'água.

Para a concentração de zinco em sedimentos de regiões naturais não impactadas, de acordo com estudos de FÖRSTNER & WITTMAN (1983), os valores estipulados estão entre 47 mg/kg a 50 mg/kg, o que é intervalo bem mais restritivo.

Adotando-se essa referência, percebe-se cabalmente que todos os outros pontos que extrapolaram 50 mg/kg (além dos já citados P8 e P4, que tiveram concentrações superlativas) podem ser em decorrência de interferência antrópica e, por conseguinte, estão impactados com relação à concentração de zinco. O que foi observado pelo restante dos pontos amostrados, em pelo menos um período, fato que pode se dar pela atividade industrial, notadamente expressiva e crescente, em toda a área de drenagem do rio Mogi Guaçu.

8.5 Metais totais nas amostras de ração através da técnica de absorção atômica

Realizou-se a coleta da ração utilizada para alimentar os peixes, nos 10 pontos de amostragem. A Tabela 15 contém os resultados, em termos de concentração.

Tabela 15: Concentração de metais totais (mg/kg) em amostras de rações coletadas em lagoas de pesque-pagues e piscicultura na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu

Pontos	Cd	Pb	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
10	0	0	0,003	0,060	0,020	3,400	0,400	0	0,007
9	0	0	0	0	0,003	3,250	0,700	0	0,006
8	0	0	0	0,007	0,001	1,820	0,500	0	0,004
7	0	0	0,002	0	0,002	2,480	0,300	0	0,008
6	0	0	0	0	0,001	1,920	0,700	0	0,005
5	0	0	0	0	0,002	3,320	0,200	0	0,002
4	0	0	0	0,003	0,001	2,750	0,300	0	0,004
3	0	0	0	0	0,002	2,900	0,700	0	0,007
2	0	0	0	0	0,003	3,010	0,600	0	0,008
1	0	0	0,001	0	0,001	2,820	0,400	0	0,004
Limite de quantificação = 0,003 mg/L									

Como resultado, da análise da concentração de metais totais, na ração das estações de piscicultura e pesque-pagues, o cádmio (Cd), chumbo (Pb) e níquel (Ni) não foram detectados em nenhum dos 10 pontos de coleta, fator que se permite inferir que as concentrações destes metais encontradas, tanto em água como em sedimentos, não são oriundas da ração administrada aos peixes.

Para o resultado da concentração dos outros metais, obteve-se para o manganês (Mn) uma variação de concentração entre 0,200 a 0,700 mg/kg. Para cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr) e zinco (Zn), para toda amplitude dos pontos, variação entre 0 a 0,060 mg/kg. Portanto, níveis aceitáveis para alimentos, pois são inferiores às normas da IFOAM (1998) - INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS, Federação Internacional de Movimentos da Agricultura Orgânica, órgão bastante restritivo, onde os valores máximos aceitos são para Mn (1000 mg/kg), Co (0,800 mg/kg), Cr (100 mg/kg) e Zn (1500 mg/kg).

O metal que se verificou com maiores concentrações, nas rações, foi o ferro (Fe), com variação entre 1,820 a 3,400 mg/kg. O P10 com resultado mais superlativo (3,400 mg/kg) fica, ainda, ínfimo quando comparado com o referencial (IFOAM, op. cit), que é 2500 mg/kg.

Portanto, as mínimas concentrações de metais em rações, verificadas nos pontos de piscicultura e pesque-pagues denotam pouca influência, relacionado com os valores vistos nas concentrações em águas e sedimentos. Infere-se, ademais, que os excessos verificados nas concentrações destes metais são oriundos, exclusivamente, das ações antrópicas.

9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como ponto de partida os resultados obtidos no presente estudo e considerando dados e informações previamente adquiridas e disponibilizadas em teses, dissertações e publicações, torna-se possível avaliar as condições ambientais, das estações de piscicultura e lagoas de pesque-pagues, considerando os dez pontos de coleta, nos quatro períodos amostrais, no que tange ao percentual de matéria orgânica e composição dos sedimentos e, ainda, à concentração de metais nos compartimentos água, sedimentos e, também, na ração oferecida aos pescados.

✓ Matéria orgânica

De um modo geral, as percentagens de matéria orgânica nos sedimentos são altas. Elevados teores de matéria orgânica encontrados, podem demonstrar, dentre outros fatores, intensa entrada de material alóctone, provavelmente oriundo da ação antrópica de uso e ocupação do solo, tais como efluentes industriais, domésticos e de agricultura (pesticidas e fertilizantes). Os pontos que apresentaram matéria orgânica acima de 10%, em relação à matéria inorgânica, caracterizam-se como sedimentos orgânicos. Com a chegada da estação chuvosa, em geral, são detectados os maiores percentuais de matéria orgânica.

✓ Granulometria

Como resultado da caracterização dos sedimentos, pode-se concluir que a análise granulométrica apresentou uma variação percentual, em relação ao período seco e chuvoso; onde as maiores percentagens de areia foram evidenciadas no período das chuvas, enquanto que, a argila predominou no período seco. O silte se apresentou, em geral e de maneira constante, com os menores valores. A análise granulométrica se torna importante, visto que a variabilidade nos percentuais de argila, silte e areia, em diferenças sazonais,

junto à composição do sedimento, em ambientes aquáticos, podem influenciar condições de agregação dos metais.

✓ Metais em água

O cádmio (Cd) apresentou de 4 a 49 vezes acima do limite do CONAMA, tendo o P4 (Luiz Antonio: 0,047 mg/L) com maior concentração. As maiores concentrações de Fe aparecem no período chuvoso, com destaque para P8 (Itapira: 9,60 mg/L) e P10 (Inconfidentes: 8,2 mg/L).

Partindo dos resultados de metais nas águas das estações de piscicultura e lagoas de pesque-pagues, e tomando-se como consideração de referência o limite do CONAMA para águas doce de classe 2, constata-se, com intensa freqüência, a superação dos níveis estabelecidos para a totalidade dos metais analisados. Denotando um forte indício que o antropismo, em franca expansão, que atua na área de drenagem da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, tem contribuído, em grande escala, para o incremento dos níveis e concentrações de metais na água dos pesque-pagues, convergindo em situações potenciais de risco à saúde de espécies aquáticas e dos seres humanos que se utilizam destes ambientes para lazer.

Um resultado edificante foi para a especiação do Cr. A concentração do Cr^{+6} ficou entre 10 e 15% do cromo detectado, atingindo 0,028 mg/L, inferior ao nível máximo do CONAMA (0,05 mg/L), o que é um resultado positivo do ponto de vista ambiental e de saúde pública, em função do Cr^{+6} ser cancerígeno e prejudicial à saúde humana.

✓ Metais nos sedimentos

Os pontos P4 (Luiz Antonio) e P2 (Pitangueiras) têm concentração de Cd 6,20 mg/kg e 6,10 mg/kg, respectivamente, são considerados altamente poluídos, de acordo com US EPA (THOMAS, 1987). Com relação a Pb e Fe, o P10 (Inconfidentes) surge como amplamente impactado, ao passo que o mesmo ocorre para Cu, Cr e Zn em P4 (Luiz Antonio). Para o Co e Ni, P8 (Itapira) e P7 (Mogi Guaçu) apresentam elevadas concentrações impactantes. O Mn teve como destaque o P9 (Jacutinga), área onde existe mineração deste metal.

Para Cr, especificamente o P6 (Pirassununga) e P3 (Pradópolis) estão apresentando elevadas concentrações. A maior concentração de Cr foi em P4 (Luiz Antônio: 139,50 mg/kg). A especiação demonstrou que o Cr encontrado não era o Cr⁺⁶.

A concentração dos metais analisados foram elevadas em todos os pontos amostrados. O que pode ser em decorrência da presença de efluentes industriais, esgotos e pela deposição de material alóctone e autóctone, oriundos da bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. Todavia, os pesque-pagues, em área de águas de nascentes, riachos e ribeirões, podem estar sendo alimentados por água contaminada.

Pelo elevado grau de contaminação, denota-se, efetivamente, a ocorrência intensa de interferência antrópica junto às lagoas de piscicultura e estações de pesque-pagues. Ademais, níveis mais expressivos de concentração de metais foram percebidos a partir do mês de novembro/01, coincidindo com o período das chuvas e com a alta temporada de pesca.

✓ Metais em rações

De forma ampla, não se observou Cd, Pb e Ni em nenhum dos pontos em quaisquer dos períodos amostrados. Para Co, Cu, Cr e Zn apresentaram variação de 0 mg/kg a 0,060 mg/kg, níveis inferiores às normas IFOAM (1998). Desta forma, denota-se pequena influência da concentração de metais, oriunda das rações, nas concentrações verificadas em água e sedimentos. Pode-se até afirmar que, para metais considerados essenciais, a ração está em déficit dentro do balanço da dieta alimentar dos peixes.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Amostragem granulométrica conjunta de sedimentos — Procedimentos NBR 7181-84. São Paulo, ABNT, 1987.

ALLOWAY, B.J. (1993). Heavy metal in soils. New York, John Wiley, 368p.

APHA. (1995). Standard Methods for the examination of water and waste-water. 25.ed. New York, McGraw-HILL, 720p.

BAIRD, Colin. (2002). Química Ambiental; trad Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. – 2.ed. – Porto Alegre: Bookman.

BEVERIDGE, M. C. M., ROSS, L. G., KELLY, L. A., (1996). Aquaculture and biodiversity. *Ambio*. V. 23. n.8. p.497-502.

BOYD, C. E. (1990) Water quality in Warmwater fish Culture. 359p. Auburn University

BOYD, C. E. Water quality in ponds for aquaculture. (1997). Auburn. 482p. Auburn University Press.

BRAILE. P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. (1979). Manual de tratamento de águas residuárias industriais. CETESB. 764p.

BRANDÃO, V. S. G.; EMERGENTE, A. J.; MARQUES, P. P. (2000). Caminhos do Moji. 36p. Dissertação (Mestrado) Faculdades de Ciências e Letras Eugênio Placelli, Pouso Alegre, MG.

BRASIL (1986). RESOLUÇÃO CONAMA (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE) Nº 20 de 18 de junho de 1986. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de julho de 1986.

BRIGANTE, J. (2003). Limnologia fluvial: um estudo do rio Mogi Guaçu/organizado por Janete Brigante e Evaldo Luiz Gaeta Espíndola. – São Carlos: RIMA Editora.

BRET, Bernard, (1988)."Le développement des échanges intrarégionaux en Amérique latine", Les notes bleues de Bercy, Paris, Direction des Relations Économiques Extérieures, décembre.

CANTO, E.L. (1997). Minerais, Minérios e metais: de onde vem para onde vão?. São Paulo, MODERNA, p 96-102

CALMANO, W. (1996). Metals in sediments: Remobilization and environment hazards. In: Development and Progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, Challenges, Techniques & Strategies. Eds. MUNAWAR, M.; DAVE, G. p.1-20.

CASARETT, L.J.; DOULL, J. (1995). Casarett and Doull's toxicology: The basic science of poisons. New York, McGraw-Hill, 1111p.

CASTAGNOLLI, N., CYRINO, J. E. (1997). Piscicultura nos Trópicos. São Paulo-SP. Ed. Manole Ltda.

CETESB (2000). Companhia de Tecnologia e Saneamento de São Paulo. Publicações Periódicas. São Paulo - SP.

CETESB (2002). Companhia de Tecnologia e Saneamento de São Paulo. Publicações Periódicas. São Paulo - SP.

CHUTANI, H.K.; GUPTA, P.S (1965). Acute Koper sulfate poisoning – American Journal of Medicine, v.39, n.5, p.849.

COELHO, S. R. (1997). Situação atual e perspectivas da indústria de rações para organismos aquáticos. in J.E.P. Cyrino e F. Kubitza, editores. Anais do Simpósio sobre Manejo e Nutrição de Peixes. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.102-116., Campinas, SP.

COSTA, C.M.R. et al. (Orgs) (1998). Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 94p.

DE ANDRADE, J.C; ROCHA, J.C; PASQUIN. C.; BACCAN, N. (1993). Effect of on line complex formation, kineticsw on the flow injection analysis signal the spectrophotometric determination of chromium (VI). Analyst, n. 108, p.612-625.

DRAPCHO, C. M., Brune, D. E. (2000). The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. Aquacultural Engineering. V.21, n.3, p.151-168

ESTEVES, F.A. (1988). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Interciência, FINEP. 575 p.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. H. (1983). Metal pollution in the aquatic environment. Springer- Verlag. 486p.

FRIBERG. L.; NORDBBERG, G.F.; VOUK, V.P. (1986). Handbook on toxicology of metals. Amsterdam, Elsevier, 2v.

GALLI, L. F.; TORLONI, C.E. (1987). Criação de peixes, 3.^a Edição. São Paulo. Nobel.

GESAMP, (1985). IMCO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. Report of the sixth session of Reports and Studies of GESAMP. Geneva, WHO. 43p.

HAMMOND, P.B.; FOULKES, E.C. (1986). Metal ion toxicity in man and animals. In:SIGEL,H. Metal ions in biological systems. New York, Marcel Dekker, v.20, p.157-200.

HERMAN, L., MEYER, F. P. (1990). Fish Kills Due Natural Causes. In: Field Manual for the Investigation of Fish Kills. Uninated States Departament of Interior - Fish and Wildlife Service: Resouce Publication 177., p. 41-44.

HOFF & WESTMAN W. E. (1985). Ecology, Impact assessment and environmental planning. J. Wiley, New York. p. 325.

IFOAM (1998) - INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS, Federação Internacional de Movimentos da Agricultura Orgânica, I General Assembly em Mar Del Plata/Argentina.

JACKSON J. (1991). Heavy metals and other inorganic toxics substances. In: Guidelines of Lake Management. Ed. MATSUI, S. Japan. ILEC.65-80

KIBRIA, G., NUGEOGODA, D., LAM, P., FAIRLCLOUGH, (1998). R. Can nitrogen pollution from aquaculture be reduced?. Naga, The ICLARM Quaterly., January-March. p.17-25

KITAMURA, P. C., LOPES, R. B., CASTRO, F. G. de, Jr., QUEIROZ, J. F. , (1999). Avaliação Ambiental e econômica dos lagos de pesca esportiva na Bacia do rio Piracicaba. B. Industr. anim. N. Odessa, v. 56, n. 1-13.

KRUG. F.J. (1996). Pré-tratamento de amostras. In: WORKSHOP ON METHODS OF SAMPLE DE COMPOSITION,1.,Piracicaba. Livro de Resumo. Piracicaba, CENA/USP,. 108p.

KUBTZA, F. (1997). Sistema de pesca recreativa, Cuiabá: SEBRAE-MT, 79p. Coleção Agroindústria.

LAPEDES, D.N. (1974). Dictionary of scientific and technical terms. 2.ed. New York, Mc Graw-Hill, 1634p.

LAWS, A. (1993). Aquatic pollution: an introductory text. 2.ed. New York, Wiley Interscience, p.45-51.

LLOYD, R. (1992). Pollution and Freshwater fish. New York, Blackwell, p.176.

MACHADO, Cirilo E. M. Criação prática de peixes (1981). 8. Edição. Nobel, São Paulo.

MAHAN, B. H. (1995). Química: um curso universitário. 4.ed. São Paulo, Edgard Blucher, p.396-452.

MARTIN, R. B.; SIGEL, H. (1980). Bioinorganic chemistry of metal ion toxicity. In: SIGEL, H., ed. Metal in ions biological systems. New York, Marce Dekker, v.18, p.21-65.

MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. (1984). Heavy metals in natural waters -. New York, Springer - Verlag, p.205-261

NAMURA, H. (1976). Vamos criar peixes. Brasília-DF. Editerra Editorial.

NOGUEIRA, J. B (1995). Mecânica de Solos – Ensaios de laboratório, São Carlos, EESC-USP.

NOVOTNY, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In: Heavy metals: problems and solutions. Eds. SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U.; MADER, P. Springer. p.33-52.

OHLWEILER, O.A. (1972). Química Inorgânica. São Paulo, EDUSP, p.298-310.

PAERL, H. W.; TUCKER, C. S. (1995). Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. J. of the World Aquaculture Society. V.26, n.2, p.109-131. 3

PEREIRA, B.T.B.; YASSUDA, E. R.; MARTINS, J. A; NAGOMI, P.S.; GAGLICONE, S.; OLIVEIRA, W.E. (1987). Técnicas de abastecimento e tratamento de águas. 2.ed São Paulo, CETESB, V. 1,P.80-104

PILLAY. T.V.R. (1992). Aquaculture and the environment. Oxford: Fishing News Books/Blakwell Scientific Publications Ltd.. 189p

PNPDA, (1999). Programa Nacional de Desenvolvimento de Pesca Amadora, Brazilian sportfishing guide, Guia Brasileiro de Pesca Amadora, Brasília-DF. EMBRATUR.

PONNAMPERUMA, F. N.; LOY, T. A.; TIANCO, E. M. (1969). Redox equilibria in flooded soils, the manganese oxide systems. Soil Science, v. 108, p.48.

PULLIN, R. S. V. (1989). Third-World aquaculture and the environment. Naga, The ICLARM Quaterly. January. p.10-13.

RELATÓRIO ZERO (1999). Comitê da Bacia do Mogi Guaçu. CETESB/Pirassununga. 200p.

ROSS, H. B; VERMETTE, S. T. (1995). Precipitation. In: Trace elements in natural waters. SALBU, B; STEINESS, E. (eds) p.99-116

RUSSEL, J.B. (1994). Química geral. 2.ed. São Paulo, McGraw- Hill,. v.2, p.1048-1060

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. (1984). Metals in the hydrocycle. New York, Springer- Verlag. 349p.

SANTOS, Eurico (1985). Pesca e Piscicultura. - 2.ed. – Belo Horizonte. Ed. Itatiaia LTDA.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO/SECRETARIA DE PLANEJAMENTO (SMA/SAA/SEPLAN). Projeto de Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande. São Paulo, SEPLAN, 1995. p.1-156.

SMITH, D.W. (1998). Phytoplankton and catfish culture: a review. *Aquaculture*. v.74, p.167-189.

SPERLING, E. V. (1998). Qualidade da água em atividades de mineração. In: DIAS, L.E. VARGAS DE MELO, J. W. Recuperação de áreas degradadas. Universidade Federal de Viçosa, Dept. de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Viçosa/MG, p.95-105.

SPYRIDAKIS, D. E. E.; WELCH, E. B. (1976). Treatment processes and environmental impacts of waste effluent disposal on land in land treatment and disposal of municipal and industrial water. New York, John Wiley, p.1131.

TEIXEIRA, SÉRGIO. (1998). *Medicina holística*. Rio de Janeiro. Ed.Campus.

TEIXEIRA, SÉRGIO. (1998). *Medicina holística*. Rio de Janeiro. Ed.Campus.

THOMAS, R. L. (1987). A protocol for the selection of process oriented-remedial options to control in situ sediments contaminants. *Ecological effects of in situ sediments contaminants*. *Hidrobiol.*, v.149, p.247-258.

TONISSI, F. B. Avaliação ecotoxicológica do Reservatório de Salto Grande, Americana (SP), como subsídio para a análise ambiental da qualidade do sistema. São Carlos, 1999.137p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TUNDISI, J. G. MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. (1999). Limnologia de Água doce Interiores. Impactos, Conservação e Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G., (Orgs). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras,. Cap.6, p.195-225.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1976)
Contaminated Quality Criteria for Water. Washington, USEPA,. 1V

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1985).
Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, US - EPA, 1V

WATSON, T.P. (1994). Analytical Methods for the Determination of Trace Metals
and other elements. In: OFFICIAL AND STANDARD METHODS OF
ANALYSIS. New York, McGraw-Hill,. p .446-671.

WELZ, B. (1985). Atomic absorption spectrometry. Weinheim, VCH,. 505p.

ANEXOS

Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe) e zinco (Zn), em unidades de mg/kg, na água de lagoas de pesque-pagues e piscicultura (formato para plotagem dos gráficos em software Excel - Microsoft Office 2003).

	Cádmio (mg/kg)			
	ago/00	nov/00	mar/01	jun/01
CONAMA	0,001			
10	0,02	0,026	0,004	0,011
9	0,019	0,025	0,005	0,01
8	0,02	0,045	0,004	0,009
7	0,018	0,034	0,006	0,008
6	0,016	0,036	0,004	0,008
5	0,017	0,032	0,005	0,008
4	0,016	0,047	0,004	0,007
3	0,015	0,035	0,005	0,008
2	0,013	0,035	0,006	0,008
1	0,014	0,049	0,005	0,007

	Cobre (mg/Kg)			
	ago/00	nov/00	mar/01	jun/01
CONAMA	0,02			
10	0,013	0,021	0,022	0,02
9	0,024	0,031	0,041	0,033
8	0,015	0,024	0,025	0,018
7	0,017	0,032	0,032	0,021
6	0,01	0,025	0,029	0,019
5	0,014	0,023	0,024	0,019
4	0,009	0,022	0,026	0,018
3	0,012	0,025	0,027	0,017
2	0,018	0,031	0,034	0,022
1	0,003	0,03	0,032	0,02

	Cromo (mg/kg)			
	ago/00	nov/00	mar/01	jun/01
CONAMA	0,05			
10	0,029	0,06	0,075	0,029
9	0,04	0,19	0,089	0,04
8	0,036	0,138	0,082	0,043
7	0,037	0,134	0,07	0,031
6	0,035	0,122	0,059	0,028
5	0,042	0,121	0,06	0,034
4	0,022	0,112	0,084	0,029
3	0,03	0,13	0,085	0,042
2	0,01	0,11	0,09	0,041
1	0,025	0,15	0,06	0,032

	Ferro (mg/kg)			
	ago/00	nov/00	mar/01	jun/01
CONAMA	0,3			
10	2,72	2,16	8,2	2,15
9	2,85	2,22	7,3	2,14
8	2,12	2,18	9,6	2,1
7	3,42	2,1	6,2	2,06
6	2,19	2,92	6,1	2,1
5	1,8	2,87	5,9	2,12
4	2,13	2,16	5,8	2,12
3	2,14	2,19	4,65	2,14
2	2,84	3,58	4,7	1,92
1	2,13	4,28	2,89	1,9

	Zinco (mg/kg)			
	ago/00	nov/00	mar/01	jun/01
CONAMA	0,18			
10	0,06	0,16	0,05	0,03
9	0,07	0,15	0,05	0,04
8	0,09	0,22	0,12	0,08
7	0,09	0,14	0,07	0,06
6	0,06	0,2	0,05	0,03
5	0,06	0,19	0,04	0,05
4	0,07	0,18	0,06	0,04
3	0,04	0,16	0,03	0,03
2	0,08	0,15	0,07	0,04
1	0,05	0,21	0,04	0,03

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20 de 18 de junho de 1986
CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986

Publicado no D.O.U. de 30/07/86

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 7º, inciso IX, do Decreto 88.351, de 1º de junho de 1983, e o que estabelece a RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 5 de junho de 1984;

Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes;

Considerando que os custos do controle de poluição podem ser melhor adequados quando os níveis de qualidade exigidos, para um determinado corpo d'água ou seus diferentes trechos, estão de acordo com os usos que se pretende dar aos mesmos;

Considerando que o enquadramento dos corpos d'água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade;

Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados como consequência da deterioração da qualidade das águas;

Considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação aos níveis estabelecidos no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos permanentes;

Considerando a necessidade de reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos, contemplar as águas salinas e salobras e melhor especificar os parâmetros e limites associados aos níveis de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento ;

RESOLVE estabelecer a seguinte classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional:

Art. 1º - São classificadas, segundo seus usos preponderantes, em nove classes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional :

ÁGUAS DOCES

I - Classe Especial - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção.
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- 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) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

III - Classe 2 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IV - Classe 3 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

- c) à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - águas destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística;
- c) aos usos menos exigentes.

ÁGUAS SALINAS

VI - Classe 5 - águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

VII - Classe 6 - águas destinadas:

- a) à navegação comercial;
- b) à harmonia paisagística;
- c) à recreação de contato secundário.

ÁGUAS SALOBRAS

VIII - Classe 7 - águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IX - Classe 8 - águas destinadas:

- a) à navegação comercial;
- b) à harmonia paisagística;
- c) à recreação de contato secundário

Art. 2º - Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições.

a) **CLASSIFICAÇÃO:** qualificação das águas doces, salobras e salinas com base nos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade).

b) **ENQUADRAMENTO:** estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo.

c) **CONDIÇÃO:** qualificação do nível de qualidade apresentado por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada.

d) **EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO:** conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo d'água em correspondência com a sua classe.

e) **ÁGUAS DOCES:** águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰.

f) **ÁGUAS SALOBRAS:** águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ e 30 ‰.

g) **ÁGUAS SALINAS:** águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

Art. 3º - Para as águas de Classe Especial, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

COLIFORMES: para o uso de abastecimento sem prévia desinfecção os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra.

Art. 4º - Para as águas de classe 1, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;

e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

f) coliformes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. As águas utilizadas para a irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas que se desenvolvam rentes ao Solo e que são consumidas cruas, sem remoção de casca ou película, não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 1.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

g) DBO₅ dias a 20°C até 3 mg/l O₂;

h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l O₂;

i) Turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);

j) cor: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/l

l) pH: 6,0 a 9,0;

m) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	0,1 mg/l Al
Amônia não ionizável:	0,02 mg/l NH ₃ .
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba.
Berílio:	0,1 mg/l Be
Boro:	0,75 mg/l B
Benzeno :	0,01 mg/l
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg/l
Cádmio:	0,001 mg/l Cd
Cianetos:	0,01 mg/l CN
Chumbo:	0,03 mg/l Pb
Cloretos:	250 mg/l Cl
Cloro Residual:	0,01 mg/l Cl
Cobalto:	0,2 mg/l Co
Cobre:	0,02 mg/l Cu
Cromo Trivalente:	0,5 mg/l Cr
Cromo Hexavalente:	0,05 mg/l Cr
1,1 dicloroetano :	0,0003 mg/l
1,2 dicloroetano:	0,01 mg/l
Estanho;	2,0 mg/l Sn
Índice de Fenóis:	0,001 mg/l C ₆ H ₅ OH
Ferro solúvel:	0,3 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Fosfato total:	0,025 mg/l P
Lítio:	2,5 mg/l Li
Manganês:	0,1 mg/l Mn
Mercúrio:	0,0002 mg/l Hg

Níquel:	0,025 mg/l Ni
Nitrato:	10 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/l N
Prata:	0,01mg/l Ag
Pentaclorofenol:	0,01 mg/l
Selênio:	0,01mg/l Se
Sólidos dissolvidos totais:	500 mg/l
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno :	0,5 mg/l LAS
Sulfatos:	250 mg/l SO ₄
Sulfetos (como H ₂ S não dissociado):	0,002 mg/l S
Tetracloroetano:	0,01 mg/l
Tricloroetano:	0,03 mg/l
Tetracloro de carbono:	0,003 mg/l
2, 4, 6 triclorofenol:	0,01 mg/l
Urânio total:	0,02 mg/l U
Vanádio:	0,1 mg/l V
Zinco:	0,18 mg/l Zn
Aldrin:	0,01 mg/l
Clordano:	0,04 µg/l
DDT;	0,002 µg/l
Dieldrin:	0,005 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Endossulfan:	0,056 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,01 µg/l
Heptacloro:	0,01 µg/l
Lindano (gama.BHC)	0,02 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,001 µg/l
Toxafeno:	0,01 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Gution:	0,005 µg/l
Malation:	0,1 µg/l
Paration:	0,04 µg/l
Carbaril:	0,02 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration
2,4 - D:	4,0 µg/l
2,4,5 - TP:	10,0 µg/l
2,4,5 - T:	2,0 µg/l

Art. 5º - Para as águas de Classe 2, são estabelecidos os mesmos limites ou condições da Classe 1, à exceção dos seguintes:

a) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

b) Coliformes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. Para os demais usos, não deverá ser excedido uma limite de 1.000 coliformes fecais

por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

c) Cor: até 75 mg Pt/l

d) Turbidez: até 100 UNT;

e) DBO₅ dias a 20°C até 5 mg/l O₂;

f) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l O₂.

Art. 6º - Para as águas de Classe 3 são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

d) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

f) número de coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, índice limite será de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

g) DBO₅ dias a 20°C até 10 mg/l O₂;

h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/l O₂

i) Turbidez: até 100 UNT;

j) Cor: até 75 mg Pt/l;

l) pH: 6,0 a 9,0

m) Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	0,1 mg/l Al
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba
Berílio:	0,1 mg/l Be
Boro:	0,75 mg/l B
Benzeno:	0,01 mg/l
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg/l
Cádmio:	0,01 mg/l Cd
Cianetos:	0,2 mg/l CN

Chumbo:	0,05 mg/l Pb
Cloretos:	250 mg/l Cl
Cobalto:	0,2 mg/l Co
Cobre:	0,5 mg/l Cu
Cromo Trivalente:	0,5 mg/l Cr
Cromo Hexavalente:	0,05 mg/l Cr
1,1 dicloroetano:	0,0003 mg/l
1.2 dicloroetano:	0,01 mg/l
Estanho:	2,0 mg/l Sn
Índice de Fenóis:	0,3 mg/l C ₆ H ₅ OH
Ferro solúvel:	5,0 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Fosfato total:	0,025 mg/l P
Lítio:	2,5 mg/l Li
Manganês:	0,5 mg/l Mn
Mercurio:	0,002 mg/l Hg
Níquel:	0,025 mg/l Ni
Nitrato:	10 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/l N
Nitrogênio amoniacal:	1,0 mg/l N
Prata:	0,05 mg/l Ag
Pentaclorofenol:	0,01 mg/l
Selênio:	0,01mg/l Se
Sólidos dissolvidos totais:	500 mg/l
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno:	0,5 mg/l LAS
Sulfatos:	250 mg/l SO ₄
Sulfatos (como H ₂ S não dissociado):	0,3 mg/l S
Tetracloroetano:	0,01 mg/l
Tricloroetano:	0,03 mg/l
Tetracloro de Carbono:	0,003 mg/l
2, 4, 6 triclorofenol:	0,01 mg/l
Urânio total:	0,02 mg/l U
Vanádio:	0,1 mg/l V
Zinco:	5,0 mg/l Zn
Aldrin:	0,03 µg/l
Clordano:	0,3 µg/l
DDT:	1,0 µg/l
Dieldrin:	0,03 µg/l
Endrin:	0,2 µg/l
Endossulfan:	150 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,1 µg/l
Heptacloro:	0,1 µg/l
Lindano (gama-BHC):	3,0 µg/l
Metoxicloro:	30,0 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,001 µg/l
Toxafeno:	5,0 µg/l
Demeton:	14,0 µg/l

Gution:	0,005 µg/l
Malation:	100,0 µg/l
Paration:	35,0 µg/l
Carbaril:	70,0 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais em Paration:	100,0 µg/l
2,4 - D:	20,0 µg/l
2,4,5 - TP:	10,0 µg/l
2,4,5 - T:	2,0 µg/l

Art. 7º - Para as águas de Classe 4, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- b) odor e aspecto: não objetáveis;
- c) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- d) substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;
- e) índice de fenóis até 1,0 mg/l C₆H₅OH ;
- f) OD superior a 2,0 mg/l O₂, em qualquer amostra;
- g) pH: 6 a 9.

ÁGUAS SALINAS

Art. 8º - Para as águas de Classe 5, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- c) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) coliformes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. Para o uso de criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana e que serão ingeridas cruas, não deverá ser excedida uma concentração média de 14 coliformes fecais por 100 mililitros, com não mais de 10% das amostras excedendo 43 coliformes fecais por 100 mililitros. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1,000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5,000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO₅ dias a 20°C até 5 mg/l O₂ ;

h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l O₂ ;

i) pH: 6,5 à 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade;

j) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	1,5 mg/l Al
Amônia não ionizável:	0,4 mg/l NH ₃
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba
Berílio:	1,5 mg/l Be
Boro:	5,0 mg/l B
Cádmio:	0,005 mg/l Cd
Chumbo:	0,01 mg/l Pb
Cianetos:	0,005 mg/l CN
Cloro residual:	0,01 mg/l Cl
Cobre:	0,05 mg/l Cu
Cromo hexavalente:	0,05 mg/l Cr
Estanho:	2,0 mg/l Sn
Índice de fenóis:	0,001 mg/l C ₆ H ₅ OH
Ferro:	0,3 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Manganês:	0,1 mg/l Mn
Mercúrio:	0,0001 mg/l Hg
Níquel:	0,1 mg/l Ni
Nitrato:	10,0 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/ N
Prata:	0,005 m/l Ag
Selênio:	0,01 mg/l Se
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno:	0,5 mg/l - LAS
Sulfetos com H ₂ S:	0,002 mg/l S
Tálio:	0,1 mg/l Tl
Urânio Total:	0,5 mg/l U
Zinco:	0,17 mg/l Zn
Aldrin:	0,003 µg/l
Clordano:	0,004 µg/l
DDT:	0,001 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Dieldrin:	0,003 µg/l
Endossulfan:	0,034 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,001 µg/l
Heptacloro:	0,001 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Lindano (gama - BHC):	0,004 µg/l
Dodecacloro + Nonadoro:	0,001 µg/l
Gution:	0,01 µg/l
Malation:	0,1 µg/l

Paration:	0,04 µg/l
Toxafeno:	0,005 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration
2,4 .- D:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - TP:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - T	10,0 µg/l

Art. 9º - Para as águas de Classe 6, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes; virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- c) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) coliformes: não deverá ser excedido um limite de 4,000 coliformes fecais por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região meio disponível para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO₅ dias a 20°C até 10 mg/l O₂
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/l O₂;
- i) pH: 6,5, a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades;

ÁGUAS SALOBRAS

Art. 10 - Para as águas de Classe 7, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) DBO₅ dias a 20°C até 5 mg/l O₂;
- b) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l O₂;
- c) pH: 6,5 a 8,5
- d) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- e) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- f) substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- g) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- h) coliformes; para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução, Para o uso de criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação



humana e que serão ingeridas cruas, não deverá ser excedido uma concentração média de 14 coliformes fecais por 100 mililitros com não mais de 10% das amostras excedendo 43 coliformes fecais por 100 mililitros. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês;

i) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) ;

Amônia:	0,4 mg/l NH ₃
Arsênio:	0,05 mg/l As
Cádmio:	0,005 mg/l Cd
Cianetos:	0,005 mg/l CN
Chumbo:	0,01 mg/l Pb
Cobre:	0,05 mg/l Cu
Cromo hexavalente:	0,05 mg/l Cr
Índice de fenóis:	0,001 mg/l C ₆ H ₅ OH
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Mercúrio:	0,0001 mg/l Hg
Níquel:	0,1 mg/l Ni
Sulfetos como H ₂ S:	0,002 mg/l S
Zinco:	0,17 mg/l Zn
Aldrin:	0,003 µg/l
Clordano:	0,004 µg/l
DDT:	0,001 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Dieldrin:	0,003 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Endossulfan:	0,034 µg/l
Epóxido de heptacloro:	0,001 µg/l
Gution:	0,01 µg/l
Heptacloro:	0,001 µg/l
Lindano (gama . BHC):	0,004 µg/l
Malation:	0,1 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Paration:	0,04 µg/l
Toxafeno:	0,005 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration
2,4 - D:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - T:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - TP:	10,0 µg/l

Art.11 - Para as águas de Classe 8, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

a) pH: 5 a 9

b) OD, em qualquer amostra, não inferior a 3,0 mg/l O₂;

- c) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- d) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- f) substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;
- g) coliformes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes fecais por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes recais, o índice será de 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

Art. 12 - Os padrões de qualidade das águas estabelecidos nesta Resolução constituem-se em limites individuais para cada substância. Considerando eventuais ações sinérgicas entre as mesmas, estas ou outras não especificadas, não poderão conferir às águas características capazes de causarem efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida.

§ 1º - As substâncias potencialmente prejudiciais a que se refere esta Resolução, deverão ser investigadas sempre que houver suspeita de sua presença,

§ 2º - Considerando as limitações de ordem técnica para a quantificação dos níveis dessas substâncias, os laboratórios dos organismos competentes deverão estruturar-se para atenderem às condições propostas. Nos casos onde a metodologia analítica disponível for insuficiente para quantificar as concentrações dessas substâncias nas águas, os sedimentos e/ou biota aquática deverão ser investigados quanto a presença eventual dessas substâncias.

Art. 13 - Os limites de DBO, estabelecidos para as Classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que os teores mínimos de OD, previstos, não serão desobedecidos em nenhum ponto do mesmo, nas condições críticas de vazão ($Q_{crit.} = Q_{7,10}$, onde $Q_{7,10}$, é a média das mínimas de 7 (sete) dias consecutivos em 10 (dez) anos de recorrência de cada seção do corpo receptor).

Art. 14 - Para os efeitos desta Resolução, consideram-se entes, cabendo aos órgãos de controle ambiental, quando necessário, quantificá-los para cada caso.

Art. 15 - Os órgãos de controle ambiental poderão acrescentar outros parâmetros ou tornar mais restritivos os estabelecidos nesta Resolução, tendo em vista as condições locais.

Art. 16 - Não há impedimento no aproveitamento de águas de melhor qualidade em usos menos exigentes, desde que tais usos não prejudiquem a qualidade estabelecida para essas águas.

Art. 17 - Não será permitido o lançamento de poluentes nos mananciais sub-superficiais.

Art. 18 - Nas águas de Classe Especial não serão tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e outros resíduos sólidos, substâncias potencialmente tóxicas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros poluentes, mesmo tratados. Caso sejam utilizadas para o abastecimento doméstico deverão ser submetidas a uma inspeção sanitária preliminar.

Art. 19 - Nas águas das Classes 1 a 8 serão tolerados lançamentos de desejos, desde que, além de atenderem ao disposto no Art. 21 desta Resolução, não venham a fazer com que os limites estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados.

Art. 20 - Tendo em vista os usos fixados para as Classes, os órgãos competentes enquadrarão as águas e estabelecerão programas de controle de poluição para a efetivação dos respectivos enquadramentos, obedecendo ao seguinte:

a) o corpo de água que, na data de enquadramento, apresentar condição em desacordo com a sua classe (qualidade inferior à estabelecida), será objeto de providências com prazo determinado visando a sua recuperação, excetuados os parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais;

b) o enquadramento das águas federais na classificação será procedido pela SEMA, ouvidos o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográfica; - CEEIBH e outras entidades públicas ou privadas interessadas;

c) o enquadramento das águas estaduais será efetuado pelo órgão estadual competente, ouvidas outras entidades públicas ou privadas interessadas;

d) os órgãos competentes definirão as condições específicas de qualidade dos corpos de água intermitentes;

e) os corpos de água já enquadrados na legislação anterior, na data da publicação desta Resolução, serão objetos de reestudo a fim de a ela se adaptarem;

f) enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2, as salinas Classe 5 e as salobras Classe 7, porém, aquelas enquadradas na legislação anterior permanecerão na mesma classe até o reenquadramento;

g) os programas de acompanhamento da condição dos corpos de água seguirão normas e procedimentos a serem estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Art. 21 - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às seguintes condições:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura : inferior a 40°C, sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;

c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/litro em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;

e) óleos e graxas:

- óleos minerais até 20 mg/l

- óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/l;

f) ausência de materiais flutuantes;

g) valores máximos admissíveis das seguintes substâncias:

Amônia:	5,0 mg/l N
Arsênio total:	0,5 mg/l As
Bário:	5,0 mg/ Ba
Boro:	5,0 mg/l B
Cádmio:	0,2 mg/l Cd
Cianetos:	0,2 mg/l CN
Chumbo:	0,5 mg/l Pb
Cobre:	1,0 mg/l Cu
Cromo hexavelente:	0,5 mg/l Cr
Cromo trivalente:	2,0 mg/l Cr
Estanho:	4,0 mg/l Sn
Índice de fenóis:	0,5 mg/l C ₆ H ₅ OH
Ferro solúvel:	15,0 mg/l Fe
Fluoretos:	10,0 mg/l F
Manganês solúvel:	1,0 mg/l Mn
Mercúrio:	0,01 mg/l Hg
Níquel:	2,0 mg/l Ni
Prata:	0,1 mg/l Ag
Selênio:	0,05 mg/l Se
Sulfetos:	1,0 mg/l S
Sulfito:	1,0 mg/l SO ₃
Zinco:	5,0 mg/l Zn
Compostos organofosforados e carbonatos totais:	1,0 mg/l em Paration
Sulfeto de carbono:	1,0 mg/l
Tricloroeteno:	1,0 mg/l
Clorofórmio :	1,0 mg/l
Tetracloroeto de Carbono:	1,0 mg/l
Dicloroeteno:	1,0 mg/l
Compostos organoclorados não listados acima (pesticidas, solventes, etc):	0,05 mg/l
outras substâncias em concentrações que poderiam ser prejudiciais: de acordo com limites a serem fixados pelo CONAMA.	

h) tratamento especial, se provierem de hospitais e outros estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos.

Art. 22 - Não será permitida a diluição de efluentes industriais com águas não poluídas, tais como água de abastecimento, água de mar e água de refrigeração.

Parágrafo Único - Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes despejos ou emissões individualizadas, os limites constantes desta regulamentação aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão competente.

Art. 23 - Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento nos termos desta Resolução.

Parágrafo Único - Resguardados os padrões de qualidade do corpo receptor, demonstrado por estudo de impacto ambiental realizado pela entidade responsável pela emissão, o competente poderá autorizar lançamentos acima dos limites estabelecidos no Art. 21, fixando o tipo de tratamento e as condições para esse lançamento.

Art. 24 - Os métodos de coleta e análise das águas devem ser os especificados nas normas aprovadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial - INMETRO ou, na ausência delas, no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WPCF, última edição, ressalvado o disposto no Art. 12. O índice de fenóis deverá ser determinado conforme o método 510 B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16ª edição, de 1985.

Art. 25 - As indústrias que, na data da publicação desta Resolução, possuem instalações ou projetos de tratamento de seus despejos, aprovados por órgão integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, que atendam à legislação anteriormente em vigor, terão prazo de três (3) anos, prorrogáveis até cinco (5) anos, a critério do Estadual Local, para se enquadrarem nas exigências desta Resolução. No entanto, as citadas instalações de tratamento deverão ser mantidas em operação com a capacidade, condições de funcionamento e demais características para as quais foram aprovadas, até que se cumpram as disposições desta Resolução.

BALNEABILIDADE

Art. 26 - As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) serão enquadradas e terão sua condição avaliada nas categorias EXCELENTE, MUITO BOA, SATISFATÓRIA e IMPRÓPRIA, da seguinte forma:

- a) EXCELENTE (3 estrelas) : Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais por 1,00 mililitros ou 1.250 coliformes totais por 100 mililitros;
- b) MUITO BOAS (2 estrelas): Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais por 100 mililitros ou 2.500 coliformes totais por 100 mililitros;
- c) SATISFATÓRIAS (1 estrela): Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes recais por 100 mililitros ou 5.000 coliformes totais por 100 mililitros;
- d) IMPRÓPRIAS: Quando ocorrer, no trecho considerado, qualquer uma das seguintes circunstâncias:
 1. não enquadramento em nenhuma das categorias anteriores, por terem ultrapassado os índices bacteriológicos nelas admitidos;
 2. ocorrência, na região, de incidência relativamente elevada ou anormal de enfermidades transmissíveis por via hídrica, a critério das autoridades sanitárias;
 3. sinais de poluição por esgotos, perceptíveis pelo olfato ou visão;
 4. recebimento regular, intermitente ou esporádico, de esgotos por intermédio de valas, corpos d'água ou canalizações, inclusive galerias de águas pluviais, mesmo que seja de forma diluída;

5. presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;
6. pH menor que 5 ou maior que 8,5 ;
7. presença, na água, de parasitas que afetem o homem ou a constatação da existência de seus hospedeiros intermediários infectados;
8. presença, nas águas doces, de moluscos transmissores potenciais de esquistossomo, caso em que os avisos de interdição ou alerta deverão mencionar especificamente esse risco sanitário;
9. outros fatores que contra-indiquem, temporariamente ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Art. 27 - No acompanhamento da condição das praias ou balneários as categorias EXCELENTE, MUITO BOA e SATISFATÓRIA poderão ser reunidas numa única categoria denominada PRÓPRIA.

Art. 28 - Se a deterioração da qualidade das praias ou balneários ficar caracterizada como decorrência da lavagem de vias públicas pelas águas da chuva, ou como consequência de outra causa qualquer, essa circunstância deverá ser mencionada no Boletim de condição das praias e balneários.

Art. 29 - A coleta de amostras será feita, preferencialmente, nos dias de maior afluência do público às praias ou balneários.

Art. 30 - Os resultados dos exames poderão, também, se referir a períodos menores que 5 semanas, desde que cada um desses períodos seja especificado e tenham sido colhidas e examinadas, pelo menos, 5 amostras durante o tempo mencionado.

Art. 31 - Os exames de colimetria, previstos nesta Resolução, sempre que possível, serão feitos para a identificação e contagem de coliformes fecais, sendo permitida a utilização de índices expressos em coliformes totais, se a identificação e contagem forem difíceis ou impossíveis.

Art. 32 - À beira mar, a coleta de amostra para a determinação do número de coliformes fecais ou totais deve ser, de preferência, realizada nas condições de maré que apresentem, costumeiramente, no local, contagens bacteriológicas mais elevadas.

Art. 33 - As praias e outros balneários deverão ser interditados se o órgão de controle ambiental, em qualquer dos seus níveis (Municipal, Estadual ou Federal), constatar que a má qualidade das águas de recreação primária justifica a medida.

Art. 34 - Sem prejuízo do disposto no artigo anterior, sempre que houver uma afluência ou extravasamento de esgotos capaz de oferecer sério perigo em praias ou outros balneários, o trecho afetado deverá ser sinalizado, pela entidade responsável, com bandeiras vermelhas constando a palavra POLUÍDA em cor negra.

DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 35 - Aos órgãos de controle ambiental compete a aplicação desta Resolução, cabendo-lhes a fiscalização para o cumprimento da legislação, bem como a aplicação das penalidades previstas, inclusive a interdição de atividades industriais poluidoras.

Art. 36 - Na inexistência de entidade estadual encarregada do controle ambiental ou se, existindo, apresentar falhas, omissões ou prejuízo sensíveis aos usos estabelecidos para as águas, a Secretaria Especial do Meio Ambiente poderá agir diretamente, em caráter supletivo.

Art. 37 - Os estaduais de controle ambiental manterão a Secretaria Especial do Meio Ambiente informada sobre os enquadramentos dos corpos de água que efetuarem, bem como das normas e padrões complementares que estabelecerem.

Art. 38 - Os estabelecimentos industriais, que causam ou possam causar poluição das águas, devem informar ao órgão de controle ambiental, o volume e o tipo de seus efluentes, os equipamentos e dispositivos antipoluidores existentes, bem como seus planos de ação de emergência, sob pena das sanções cabíveis, ficando o referido órgão obrigado a enviar cópia dessas informações ao IBAMA, à STI (MIC), ao IBGE (SEPLAN) e ao DNAEE (MME).

Art. 39 - Os Estados, Territórios e o Distrito Federal, através dos respectivos órgãos de controle ambiental, deverão exercer sua atividade orientadora, fiscalizadora e punitiva das atividades potencialmente poluidoras instaladas em seu território, ainda que os corpos de água prejudicados não sejam de seu domínio ou jurisdição.

Art. 40 - O não cumprimento ao disposto nesta Resolução acarretará aos infratores as sanções previstas na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e sua regulamentação pelo Decreto nº 88.351, de 01 de junho de 1983.

Art. 41 - Esta Resolução entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Deni Lineu Schwartz
Presidente