

Carolina Decina Vieira

Teores de mercúrio total em *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) e sua relação com os parâmetros físicos, químicos e físico-químicos do rio Piracicaba, em Minas Gerais.

PUC – Minas
Belo Horizonte – MG
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Programa de Pós Graduação em Zoologia de Vertebrados

Teores de mercúrio total em *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) e sua relação com os parâmetros físicos, químicos e físico-químicos do rio Piracicaba, em Minas Gerais.

CAROLINA DECINA VIEIRA
ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. MARIA TEREZA CANDIDO PINTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados de Ambientes Impactados da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia de Vertebrados.

BELO HORIZONTE – MG
2005

“O que acontecer com a terra acontecerá com os filhos da
terra. O homem não teceu a teia da vida, ele é
apenas um fio. O que ele fizer à teia, estará fazendo
a si mesmo”

(Ted Perry, inspirado em palavras de índio chefe Seattle)

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	6
1.1 – Considerações gerais sobre o mercúrio	10
1.2 - A espécie <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	
2 - OBJETIVOS	11
2.1 - Geral	11
2.2 - Específicos	11
3 - ÁREA DE ESTUDO	12
4 - MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 - Coleta e processamento das amostras	14
4.2 - Procedimento analítico para as quantificações do Hg_T e C_{ORG} no sedimento	16
4.3 - Procedimento analítico para as quantificações do Hg_T no Bagre	17
4.4 - Tratamento estatístico	17
5 - RESULTADOS	18
5.1 - Variação espacial e temporal de variáveis limnológicas para um trecho médio do rio Piracicaba	18
5.2 - Interação entre a coluna d'água e o sedimento do rio Piracicaba	25
5.3 - Teores de mercúrio no bagre	29
6 - DISCUSSÃO	30
6.1 - O ambiente abiótico do rio Piracicaba	30
6.2 - Os teores de mercúrio em bagre	33
7 - CONCLUSÕES	37
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO	44

RESUMO

O presente trabalho avaliou a concentração de mercúrio total em tecido muscular de *Rhamdia quelen*, popularmente conhecido como bagre, e seu potencial risco para a saúde da população humana, que o consome. Os peixes foram capturados em um trecho do curso médio do rio Piracicaba, tributário do rio Doce, pela margem esquerda. Neste trecho, o rio apresenta 2 características fisiográficas distintas: uma lótica com maior vazão e profundidade e outra lântica, mais rasa e de águas mais calmas. As quantificações do mercúrio nos peixes e no sedimento foram feitas por espectrometria de absorção atômica, em aparelho Analyst 100 da Perkin Elmer acoplado a sistema de geração de vapor frio MHS-20. A contaminação do rio foi avaliada através de amostras de sedimento, coletadas em quatro pontos situados ao longo do trecho estudado e sua dinâmica química foi inferida através dos teores de carbono orgânico do sedimento e das medidas de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, Disco de Secchi e teores de sólidos totais e dissolvidos na água, capazes de determinarem as formas químicas do metal nos dois compartimentos do rio: coluna d' água e sedimento. A correlação dos sólidos dissolvidos e em suspensão na água com o mercúrio do sedimento indicou o escoamento superficial do solo como a via de contaminação do sistema. O barramento natural (meandro) e artificial (represa da usina hidrelétrica de Piracicaba) nos pontos localizados na porção de menor vazão do rio (trecho lântico do curso) apontam este local como ideal para a acumulação de matéria orgânica e inorgânica lançada a jusante, assim como para a síntese das espécies químicas que são preferencialmente absorvidas pelos organismos da cadeia trófica, terminando por contaminar os peixes. A concentração de mercúrio total nos peixes oscilou ao longo do ano amostral (janeiro a dezembro de 2001) entre valores não detectados pelo método utilizado ($<4,0$ ng/g p.f.) no verão, aos maiores teores (123,8 ng/g p.f.) medidos na estação seca (maio). Ainda que tais valores estivessem abaixo do permitido pela legislação brasileira (500 ng/g p.f.) para consumo de pescado contaminado, para os sedimentos os valores foram elevados (0,02 - 0,16 $\mu\text{g/g}$ p.s.) e ao se apresentarem acima do estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (0,1 $\mu\text{g/g}$ p.s.), confirmaram a contaminação do sistema, pelo metal.

ABSTRACT

The present study evaluates the total mercury concentration in muscle tissue *Rhamdia quelen* (bagre) and its risk for human population health, that consume them. The fishes were captured in a segment of the medium course of Piracicaba river, a tributary from Doce river, by the left margin. In this segment, the river presents two different physiographic characteristics: the lotic one has a faster flow and a bigger depth and the lentic one presents a small depth and the water is calmer. The mercury quantification in fishes and sediments were done by cold vapor atomic absorption spectrometry made by Analyst 100, an equipment from Perkin. The river contamination was evaluated through sediment samples, collected in four different places situated all along the studied course and its chemistry dynamic was inferred through organic carbon levels from sediment and from measures of pH, dissolved oxygen, electric conductivity, temperature, Secchi and levels of suspended and dissolved matter in the water, capable to determine the metal chemical transformation in both river compartments: water column and sediment. The correlation between dissolved matter and suspended matter on the water with mercury from sediment indicated that runoff was the way for system contamination. The natural barrier (meander) and the artificial ones (Hydroelectricall Work of Piracicaba) in the sampling points placed at the slow flow river portion, indicate this place as ideal to accumulate organic and inorganic matter thrown downstream, the same occurring for chemical species synthesis that are preferentially absorbed by the trophic web organisms, ending in a fish contamination. The fish total mercury levels oscillated all sampling year long (January to December, 2001) presenting values not quantified by the used method ($<4,0$ ng/g w.w.) in the summer, and the higher levels (123,8 ng/g w.w.) quantified in dry season (may). Even if these values were under the ones recommended by Brazilian Legislation (500 ng/g w.w.) for human consumption, for the sediments values, they were higher (0,02 - 0,16 $\mu\text{g/g}$ d.w.; range values) and above the limits established by World Health Organization (0,1 $\mu\text{g/g}$ d.w.), confirming the system contamination by the metal.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Gerais Sobre o Mercúrio

De acordo com estudos realizados na bacia do rio Doce (PAULA, 1997), a sub - bacia do rio Piracicaba é a mais problemática do ponto de vista da degradação ambiental. Em uma área relativamente pequena (5 868 Km²), ela concentra um conjunto de atividades econômicas importantes e altamente impactantes, especialmente para o próprio rio que recebe todo dejetos residencial e industrial produzido no seu interior. Esse cenário é agravado por suas condições topográficas acidentadas, como também pelo processo de ocupação do solo feito de maneira rápida e sem planejamento. Tal fato se confirma na composição da ictiofauna do rio Piracicaba, pouco diversificada e composta principalmente por espécies com ampla distribuição geográfica e tolerância às alterações ambientais causadas pela contaminação antrópica. Ele sofre, ainda hoje, um grande impacto da exploração de minério de ferro, seja ela de pequeno ou grande porte e do garimpo aluvionar de ouro ao longo de sua margem, em particular no distrito de Santa Rita Durão e na área urbana no município de Rio Piracicaba (BARBIERI e RUIZ, 1997). Porém, a detecção de mercúrio em vários pontos de sua bacia sugere a atividade garimpeira como uma das responsáveis pela ocorrência do mercúrio ao longo de seu curso, como verificado pelos estudos ambientais feitos por Ecodinâmica (2002) para a implantação da hidrelétrica de Guilman Amorin, nos trechos de seu curso, situados nos municípios de São Gonçalo do Rio Abaixo, Nova Era e Rio Piracicaba.

O uso descontrolado do mercúrio nos garimpos de ouro se constitui em um grande problema ambiental, cuja magnitude ainda hoje é pouco conhecida. O garimpo revelou-se como um assunto polêmico, em função da diversidade das questões sociais, políticas, econômicas e dos problemas ambientais provocados pela emissão do mercúrio para o ambiente, através de sua utilização na amalgamação do ouro (GONÇALVES, 1993 e MICARONI et al., 2000).

O mercúrio é um metal pesado que ocorre naturalmente na natureza, onde se associa a outros elementos, sendo o mais comum o enxofre, com quem forma o minério cinabário (HgS). Sua forma metálica é obtida por aquecimento e condensação do cinabário (CANELA e JARDIM, 1997). A degaseificação da crosta terrestre, erupções vulcânicas e evaporações da água representam as formas naturais de sua emissão para o ambiente. Essas fontes são responsáveis por emissões de mercúrio da ordem de 2 700 a 6 000 ton/ano (CLARKSON, 1992).

O mercúrio tem sido utilizado na agricultura, principalmente como fungicida, mas também na amalgamação do ouro e em setores industriais, como produção de cloro-soda, lâmpadas fluorescentes, termômetros, entre outros produtos (KITAHARA et al., 2000). Sua crescente utilização tem tido como consequência um aumento de concentração nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Estimativas recentes indicam que das 200.000 toneladas de mercúrio emitidas para a atmosfera desde 1890, aproximadamente 95% permanecem no solo terrestre, 3% nas águas oceânicas superficiais e 2% na atmosfera (MICARONI et al., 2000).

Nos ecossistemas aquáticos ele passa por diversas transformações químicas, capazes de produzirem as diferentes espécies que aí se acumulam (AZEVEDO, 2003). A obtenção da forma orgânica, metilada, a partir de Hg^{+2} é dependente da concentração de matéria orgânica presente no sedimento e sua maior taxa de produção neste compartimento, ocorre no meio anaeróbico. Da mesma forma, a coluna d'água se constitui em um bom substrato para a síntese da forma orgânica ($MeHg$), através da dissolução reativa da espécie Hg^0 . Em ambientes tropicais, essa ação é efetuada pelos microorganismos (bactérias metanogênicas), particularmente nos sedimentos aluvionares, coluvionares e os de fundo dos corpos d'água (BISINOTI e JARDIM, 2003).

A distribuição das diversas espécies de mercúrio que entram no sistema aquático é regulada por processos físicos, químicos e biológicos, os quais ocorrem nas interfaces ar/água e água/sedimento (CANELA e JARDIM, 1997). Elevados teores de mercúrio podem se acumular em alguns solos alcançando eventualmente a superfície da água através do escoamento superficial (HYLANDER et al., 2000) e dos ácidos orgânicos aí presentes, tornando-se capaz de elevar a sua concentração em peixes, a valores acima dos limites seguros para consumo humano (NAKAZONO et al., 1999). A conversão entre diferentes formas químicas do mercúrio é a base do seu complexo padrão de distribuição em ciclos locais e globais e de seu enriquecimento biológico, sendo a troca de espécies inorgânicas para as formas metiladas, o primeiro passo nos processos aquáticos de bioacumulação que ocorrem tanto na coluna de água quanto no sedimento, como citado anteriormente. Devido à bioacumulação de metilmercúrio na biota, a metilação prevalece sobre a desmetilação, em ambientes aquáticos. Uma vez formado, o metilmercúrio entra na cadeia alimentar através da rápida difusão e forte ligação com as proteínas dos organismos, atingindo sua concentração máxima em tecidos de peixes do topo da cadeia alimentar (HORVAT, 1996). É essa concentração de topo de cadeia que leva ao envenenamento tanto de humanos quanto de animais silvestres através da ingestão dos espécimes contaminados

(WREN, 1986; CLARKSON, 1990; FITZGERALD e CLARKSON, 1991; CLARKSON, 1992; THOMPSON, 1996).

Estudos recentes indicaram uma distribuição relativamente uniforme do mercúrio no tecido muscular de peixes (CIZDZIEL et al., 2002) que pode levar a efeitos adversos principalmente no processo reprodutivo das próprias populações (SPRY e WIENER, 1991; WIENER e SPRY, 1996). As pesquisas realizadas com a ictiofauna têm demonstrado que cerca de 60 a 95% do mercúrio total, em tecido muscular, ocorrem na forma de metilmercúrio. (World Health Organization, 1990; AKAGI et al., 1996).

O trabalho de pesquisa na bacia do rio Doce, realizado por uma equipe interdisciplinar, contido em PADCT/CIAMB (1997), contemplou dentre seus resultados, a quantificação de mercúrio na ictiofauna em diferentes rios da bacia, sem entretanto, avaliá-lo ao longo da bacia do rio Piracicaba, para a qual apenas uma área foi amostrada. O estudo realizado por Oberdá (1996) com a ictiofauna do rio Piracicaba, entretanto, apresentou teores de mercúrio nos peixes, apesar dos mesmos terem sido inferiores à concentração máxima permitida (0,50 µg/g p.f.) pela legislação brasileira, para consumo do pescado pela população humana. Segundo Arantes (2002), exemplares de cará (*Geophagus brasiliensis*) coletados no rio, também revelaram um acúmulo gradativo de mercúrio no tecido muscular e os baixos teores encontrados coincidiram com os valores citados nos estudos realizados no estado de Mato Grosso por Silva e Câmara (1995), em Minas Gerais por Oberdá (1996) e no estado de São Paulo, por CETESB (1985).

Os peixes são considerados uma importante fonte alimentar para a espécie humana e são comumente utilizados como monitores de qualidade ambiental, tanto para áreas com níveis tóxicos de mercúrio antropogênico quanto para áreas contaminadas, de origem natural. Vários fatores influenciam os níveis de mercúrio nos peixes dos trópicos, embora ainda hoje eles sejam pobremente entendidos, a exemplo das mudanças sazonais, dos teores de carbono orgânico dissolvido na água e da grande variedade de espécies, que formam uma complexa teia alimentar (HYLANDER et al., 2000) nestes ecossistemas. A eles se associam o pH da água (LINDQVIST et al. 1984; XUN et al. 1987; BLOOM et al. 1991; MEILI, 1991; WREN et al., 1991; MEILI, 1997; FORSBERG et al., 1999; NAKAZONO et al., 1999), alcalinidade (WREN et al., 1991), dureza (FINK, 2004), teor de alumínio (HEISKARY e HELWIG, 1986), temperatura (SILVA et al., 1993; PARKS et al., 1994; WATRAS et al., 1995; HINTELMANN e WIKEN, 1995), relações tróficas (CLECKNER et al., 1998) e deposição atmosférica do metal (FINK, 2004).

Segundo Horvat (1996) os peixes que se contaminam através da respiração e da alimentação, podem apresentar os níveis de metilmercúrio alterados pelo tipo de dieta, nível trófico da espécie, faixa etária, atividade microbiana, concentração de metal na camada superior do sedimento, conteúdo de carbono orgânico dissolvido, salinidade, pH e potencial redox do compartimento analisado (água ou sedimento).

A espécie *Rhamdia quelen*, objeto do presente estudo, apresenta como hábito alimentar a onivoria e parece ser tanto generalista quanto oportunista, alimentando-se durante todo o ano com o recurso disponível no meio. Sua contaminação por mercúrio no rio Piracicaba, poderia, portanto estar associada ao recurso alimentar disponibilizada pelo sistema, em ambas as estações do ano. Os exemplares capturados ao longo de toda a bacia do rio Piracicaba são procurados, com frequência, por pescadores artesanais e esportivos da região (ECODINÂMICA, 2002), o que justificou sua escolha para a execução do presente trabalho. Ao avaliar a contaminação por mercúrio do pescado, poderia ser evitada, mais tarde, a contaminação da população humana que os consome.

De acordo com estudos epidemiológicos, a World Health Organization (1990) estabeleceu as concentrações de mercúrio seguras para consumo humano de peixes contaminados, nas seguintes faixas: até 300 ng/g p.f. para peixes de consumo diário e entre 300-1000 ng/g p.f., para peixes de consumo eventual. Acima de 1000 ng/g p.f. o pescado não deve ser consumido, implicando em risco para a saúde do consumidor.

1.2 - A Espécie *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824)

Dentre as 80 espécies de peixes registradas na bacia hidrográfica do rio Doce em Minas Gerais, apenas 27 possuem confirmação de sua ocorrência na bacia do rio Piracicaba, incluindo-se entre elas *Rhamdia quelen* ou bagre (Figura 1). Sua distribuição geográfica estende-se do centro da Argentina até o sul do México e seu cultivo vem sendo feito de forma crescente no sul do Brasil (GOMES et al., 2000). Os peixes desta espécie podem atingir até 50 cm de comprimento e 3kg de peso. Possuem hábito noturno, habitam locais calmos e profundos dos rios e são euritérmicos. De hábito alimentar onívoro, possuem uma dieta variada, composta em média por dez itens alimentares. A variação dos recursos é maior durante o verão, sugerindo uma estratégia mais generalista durante essa estação. No inverno, a ingestão de outros peixes ocorre em menor proporção e é realizada por um menor número de indivíduos. Em contrapartida, a ingestão de sementes pode chegar perto de 100% (DEUS e PETRERE-JUNIOR, 2003). Os indivíduos atingem a maturidade sexual no primeiro ano de vida. Desovam em locais com água limpa, calma, de fundo pedregoso, e não apresentam cuidado parental. Possuem desova múltipla com dois picos reprodutivos por ano, sendo um no verão e o outro na primavera. Os alevinos tem melhor crescimento em água alcalina (pH na faixa de 8,0 a 8,5) e apresentam desenvolvimento embrionário rápido, no espaço de tempo de 3 a 5 dias (GOMES et al., 2000).

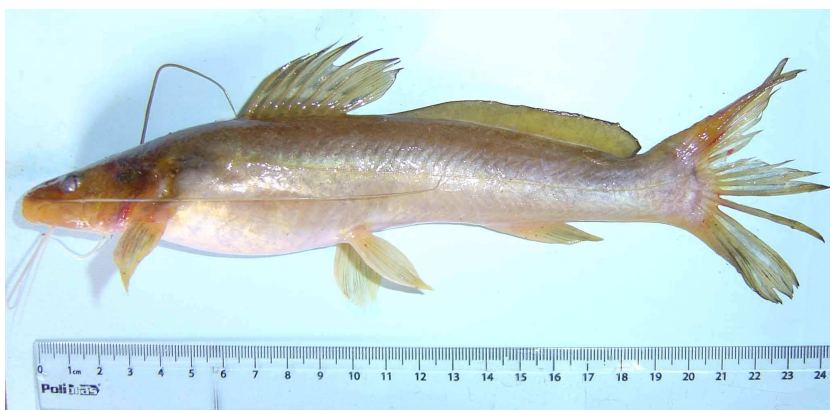


Figura 1- Espécime de *Rhamdia quelen*.

Fonte - Foto de Renê Hojo

2 – OBJETIVOS

2.1 – Geral

Quantificar os teores de mercúrio total em tecido muscular de *Rhamdia quelen* (bagre) bem como no sedimento de uma das margens do rio Piracicaba e relacioná-los à variáveis limnológicas, no trajeto de seu curso pelo interior do município de Rio Piracicaba, em Minas Gerais.

2.2 – Específicos

- Verificar as correlações existentes entre as variáveis limnológicas do rio medidas na coluna d'água com os teores de mercúrio total e carbono orgânico do sedimento dos pontos amostrais.
- Identificar as variáveis limnológicas que indiquem comportamento sazonal.
- Quantificar os níveis de mercúrio total no tecido muscular de *Rhamdia quelen* capturado no segmento estudado do rio, procurando identificar suas fontes de contaminação na bacia.
- Comparar os teores de mercúrio quantificados nos peixes analisados, aos limites estabelecidos pela Legislação Brasileira para consumo humano.
- Disponibilizar informações para entidades públicas do município de Rio Piracicaba e região, visando eliminar ou mesmo minimizar o risco de contaminação da população humana por mercúrio, através do consumo de pescado contaminado.
- Gerar subsídio teórico para futuros estudos relacionados à contaminação do rio Piracicaba por mercúrio, na região.

3 – ÁREA DE ESTUDO

O rio Piracicaba nasce na serra do Caraça, no município de Ouro Preto, a 1680m e após percorrer 241 Km sobre um gradiente acentuado do relevo (CETEC, 1988), deságua no rio Doce, entre os municípios de Ipatinga e Timóteo (Figura 2).

Com uma área de 5 868Km² delimitada pelas coordenadas geográficas 43⁰30' O e 19⁰30' S, sua bacia hidrográfica localiza-se geologicamente na Zona Ocidental do norte da serra da Mantiqueira, com ocorrência de quartzo, micaxistos, dolomitas e grandes extensões de minério de ferro. O solo predominante é Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico, de baixa fertilidade e acidez elevada (CETEC, 1988). A vegetação nativa é de Floresta Pluvial Tropical, que vem sendo substituída através de um processo avassalador de desmatamento, por pastagens e plantações de *Eucalyptus* usado como carvão vegetal na siderurgia (GUERRA, 1993). O clima, que na região estudada, segundo Ab'Sáber (1990) é classificado como Aw de Köppen, ou seja, clima tropical úmido (megatérmico) de savana, com invernos secos e verões chuvosos. Durante o ano de estudo, a precipitação pluvial anual foi de 1160,7mm , apresentando valores mais baixos que os característicos para a região (1400 mm). Não foram observadas grandes oscilações na temperatura atmosférica, que oscilou de 18°C a 25°C (ECODINÂMICA, 2002). As principais atividades econômicas da região são a extração e transformação de minerais metálicos e não metálicos, indústria metalúrgica, indústria de material elétrico, eletrônico e de comunicação, e indústria de produtos alimentares (FEAM, 1995). Verifica-se também na região, a presença de um garimpo clandestino, artesanal, feito de forma esporádica e em pequena escala ao longo do rio, como fonte complementar de renda da população local.

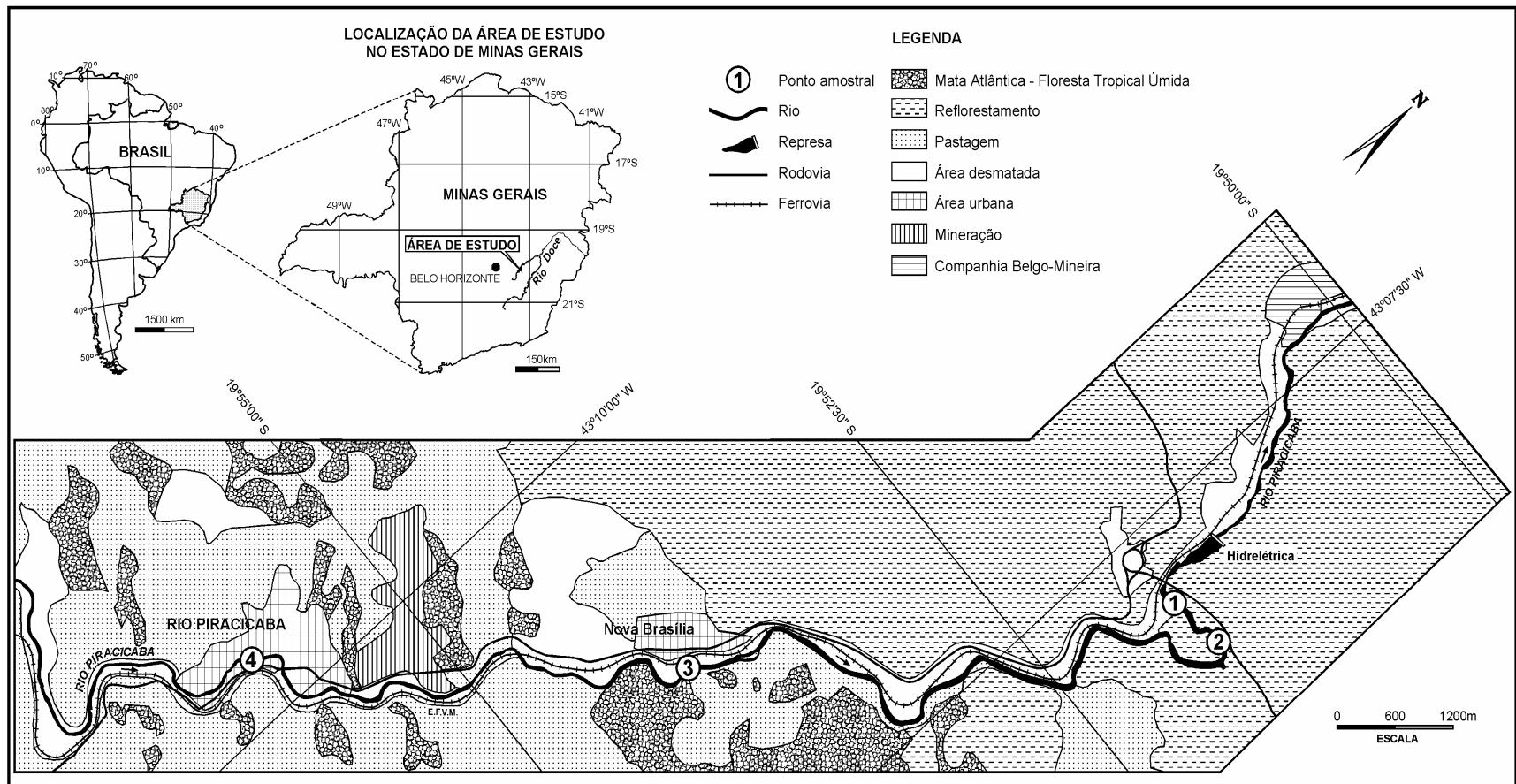


Figura 2 - A bacia hidrográfica do rio Doce e sua localização no estado de Minas Gerais. Em detalhe abaixo na figura, o segmento estudado do rio Piracicaba com os pontos amostrais, a topografia, os tipos de vegetação e o uso do solo do entorno.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Coleta e Processamento das Amostras

Para a execução do estudo, quatro pontos amostrais foram selecionados em um segmento de aproximadamente 20 Km de extensão, no trecho médio do rio Piracicaba (42° 45' e 43° 30' Oeste e 19° 30' e 20° Sul), situado entre os municípios de Rio Piracicaba e Bela Vista de Minas. Neste segmento, o rio apresenta-se com duas características fisiográficas distintas: uma lótica de maior profundidade e vazão, que incluiu os pontos amostrais 3 e 4 e outra lântica, mais rasa, com águas lentas, na qual localizaram-se os pontos amostrais 1 e 2 (Figura 2).

As medidas limnológicas no campo, assim como as coletas de água e sedimento, foram feitas mensalmente na margem direita do rio, na superfície da lâmina d'água (0,10-1,0 m de profundidade) nos pontos 3 e 4, no período de janeiro a dezembro de 2001, enquanto a coleta dos peixes, foi feita bimestralmente, no mesmo período, ao longo de todo o trecho amostral. Nos pontos 1 e 2, de aspecto tipicamente lacustre, as medidas de profundidade e penetração de luz (Secchi), foram feitas na região central da calha do rio enquanto as demais variáveis limnológicas e o sedimento, foram obtidos em uma de suas margens.

Variáveis limnológicas- A temperatura da água (°C), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mg/L), pH e sólidos totais dissolvidos (mg/L) foram medidos *in situ* com aparelhos marca Digimed (modelos DM2, DM3, DM4) com precisão analítica de 0,01 – 0,1. Para a penetração de luz (m) e a profundidade máxima da coluna d'água (m) foi usado disco de Secchi.

Água – A coleta de água utilizada na análise de sólidos totais suspensos foi feita em recipiente de polietileno com capacidade de 2L, previamente lavado com HCl 10%. Após a coleta, os recipientes foram acondicionados em caixas de isopor com gelo até seu encaminhamento ao laboratório, onde foram separadas sub-amostras de 300 mL que foram passadas em filtros de celulose AP20 04700 de 0,45 μm de diâmetro, previamente secos em estufa à 50°C por 2 h, de Sistema de Filtração Millipore acoplado a bomba de vácuo Quimis. Os sólidos totais suspensos presentes nas amostras foram calculados através da fórmula proposta por Teixeira e Kutner (1962):

$$\text{STS (mg/L)} = \frac{(\text{Pf} - \text{Ps})}{\text{V}} \times 10^2$$

onde:

STS = Sólidos Totais Suspensos

Pf = Peso do filtro após a filtração

Ps = Peso do filtro antes da filtração

V = Volume de água utilizado

Os resultados foram expressos em mg/L.

Sedimento – A coleta do sedimento foi feita em local raso, de baixa velocidade de fluxo de água, a aproximadamente 0,30 m de profundidade, utilizando-se core de 2cm de diâmetro interno e originou amostras compostas de 1Kg à partir de material coletado em 5 locais escolhidos aleatoriamente em cada um dos pontos amostrais. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em saco plástico e armazenadas em caixa de isopor com gelo, até seu encaminhamento ao laboratório, onde foram mantidas em local sombreado e fresco para secagem em condição ambiente (TFSA= Terra Fresca Seca ao Ar). Em seguida foram passadas em peneira de nylon com malha de 2mm. Do material peneirado, foram separadas alíquotas de 100g que foram enviadas ao Setor de Análises Químicas da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC para as quantificações dos teores de mercúrio total e alíquotas de 500 g, que foram encaminhadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo no Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA/Sete Lagoas, MG para a quantificação dos teores de carbono orgânico (C_{ORG}). Os resultados das concentrações de mercúrio total das amostras, foram expressos em $\mu\text{g/g}$ p.s. e os de carbono total, em % PS.

Peixes- A coleta dos peixes foi feita, tanto quanto possível, nas proximidades dos pontos amostrais ao longo do trecho estudado, com vara de pescar, no período da noite. A cada bimestre foram capturados 30 exemplares, exceção feita ao mês de março, quando foram coletados 26 indivíduos, totalizando 176 peixes no ano amostral. O comprimento padrão (medido da boca ao início da nadadeira caudal) dos espécimes capturados variou de 7 a 26 cm e sua escolha

pressupôs a obtenção e indivíduos adultos, e conseqüentemente, com maior possibilidade de estarem contaminados por mercúrio (MALM e GUIMARÃES, 1996).

No campo todos os peixes foram embalados individualmente em sacos plásticos de fecho hermético (tipo zippack), após o quê foram armazenados em caixas de isopor com gelo, até seu envio ao laboratório, onde foi efetuada a retirada do tecido muscular, livre de escamas e pele, destinado às quantificações de mercúrio total.

Os teores de mercúrio foram medidos em amostras compostas de acordo com o seguinte critério: para cada grupo de 10 peixes, fragmentos do tecido muscular foram macerados em gral de porcelana até completa homogeneização, totalizando 3 amostras compostas por período de coleta. Do material homogeneizado foram retiradas alíquotas de 2,5g para a quantificação do metal, no Setor de Análises Químicas da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Os resultados foram expressos em ng/g p.f.

4.2- Procedimento Analítico para as Quantificações do Mercúrio Total e Carbono Orgânico no Sedimento

Para a quantificação dos teores de mercúrio total, sub-amostras de 1,0 g de sedimento previamente seco em estufa de ventilação forçada à 40°C, foram submetidas à lixiviação com 10 mL de água-régia e mantidas em banho-maria a uma temperatura de 55 °C. Para a oxidação do metal foi utilizado KmnO_4 5%, e para a redução, SnCl_2 10%. O método adotado seguiu o proposto no procedimento 7471 da Environmental Protection Agency, com modificações. O limite de detecção calculado para o método usado, foi 20 $\mu\text{g/Kg}$ da amostra. Brancos adicionados do analito, foram analisados para o controle dos níveis quantificados. A precisão dos resultados foi verificada através de material de referência certificado pelo NIST, cujos valores foram 1,4 $\mu\text{g/g} \pm 0,08 \mu\text{g/g}$ (n=5) e 3,4 $\mu\text{g/g} \pm 0,05 \mu\text{g/g}$ (n=7), além de ensaios de recuperação do metal em amostras naturais, com as recuperações das digestões situadas na faixa de 90 a 96%.

As quantificações do mercúrio foram feitas em espectrômetro de absorção atômica Analyst 100/Perkin Elmer, acoplado a sistema de geração de vapor frio MHS-20. Todas as leituras foram feitas em duplicata e os resultados foram expressos em ng/g do peso seco do material analisado.

Para o carbono orgânico foi adotado o método volumétrico do bicromato de potássio, com a utilização de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ para a oxidação do carbono a CO_2 e de sulfato de amônia para a titulação

do excesso do cromo, conforme descrito em Walkey e Black (1943) modificado por Frattini e Kalckman (1967). Os resultados foram expressos em % PS das amostras.

4.3- Procedimento Analítico para as Quantificações do Hg_T no Peixe

As quantificações dos teores de mercúrio total dos peixes capturados, foram feitas em alíquotas de 2,5g de tecido muscular, digeridas em 20 mL de mistura sulfonídrica (H₂SO₄; HNO₃; 2:1), acrescidas de 30 mL de KMnO₄ 5% para oxidação do metal. SnCl₂ 10% foi utilizado para redução do mercúrio iônico à forma elementar. A metodologia utilizada seguiu o proposto em A.O.A.C./Association Official Analytical Chemists (1990). As quantificações do metal foram feitas em espectrômetro de absorção atômica, como citado para as amostras do sedimento.

O limite de detecção do método utilizado para a quantificação de mercúrio total no tecido muscular do peixe, foi de 4,0 ng/g. Todas as quantificações foram feitas em duplicata e o controle de qualidade para validação do método, foi obtido através de testes de recuperação de padrões de mercúrio (89±3,3%) em amostras naturais. Os resultados foram expressos em ng/g de peso fresco do tecido muscular dos peixes analisados.

4.4 – Tratamento Estatístico

Todos os dados foram testados para normalidade. O teste de Friedman foi aplicado para comparar: 1) as variáveis limnológicas, assim como os teores de carbono e mercúrio do sedimento, entre os quatro pontos amostrais do rio, 2) verificar diferenças significativas entre os valores mensais para cada variável limnológica, além dos teores mensais de carbono e mercúrio do sedimento 3) verificar diferenças significativas entre os teores bimestrais de mercúrio dos peixes. Comparações posteriores foram feitas pelo método das Diferenças Mínimas Significativas (DMS). One-Way ANOVA foi utilizado para testar a sazonalidade das variáveis limnológicas, ao longo do ano de estudo. As inter-relações existentes entre a lâmina d'água (variáveis limnológicas) e o sedimento (carbono e mercúrio) em cada ponto amostral, foram avaliadas pelo teste de correlação de Pearson. Em alguns testes foram utilizados valores médios dos pontos de coleta.

As diferenças foram consideradas significativas, quando $P < 0,05$. Os pacotes estatísticos utilizados foram MINITAB 14, SPSS 11 e R (DMS), versão para aluno.

5- RESULTADOS

5.1 – Variação Espacial e Temporal de Variáveis Limnológicas para um Trecho Médio do Rio Piracicaba

Os resultados da variação espacial e temporal das variáveis limnológicas, assim como dos teores de carbono orgânico e mercúrio total do sedimento, no segmento estudado do rio Piracicaba, são apresentados nas Figuras 3 a 12, nas Tabelas 1, 2 e I a X em Anexo.

A profundidade do rio medida nos pontos amostrais (Figura 3) foi pequena revelando uma diferença significativa entre os pontos de coleta ($P=0,034$; teste de Friedman) e entre os meses amostrados ($P=0,000$; Tabela 1). Os pontos 1 e 4 se destacaram dos demais (teste das Diferenças Mínimas Significativas), por apresentarem os maiores valores medidos (2,62m/abril e 2,58m/novembro, Ponto 1; 1,80m/janeiro e 2,45m/dezembro, ponto 4), o que lhes conferiu as maiores médias anuais (1,36m/Ponto 1; 1,27m/Ponto 4) do período amostral (Tabela I, Anexo).

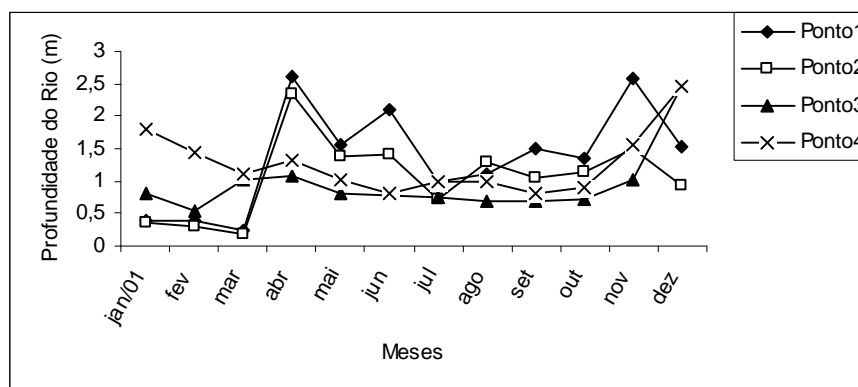


Figura 3 - Variação dos valores da profundidade nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

A temperatura da água (Figura 4) apresentou valores semelhantes entre os quatro pontos amostrados. Porém, a comparação entre os meses revelou uma diferença significativa entre eles (Tabela 1), com um comportamento sazonal ($P=0,000$) demonstrado pelos maiores valores obtidos durante a estação chuvosa ($26,5^{\circ}\text{C}$ = média do período), em contraposição aos da estação seca, cuja média foi de $22,5^{\circ}\text{C}$ (Tabela 2).

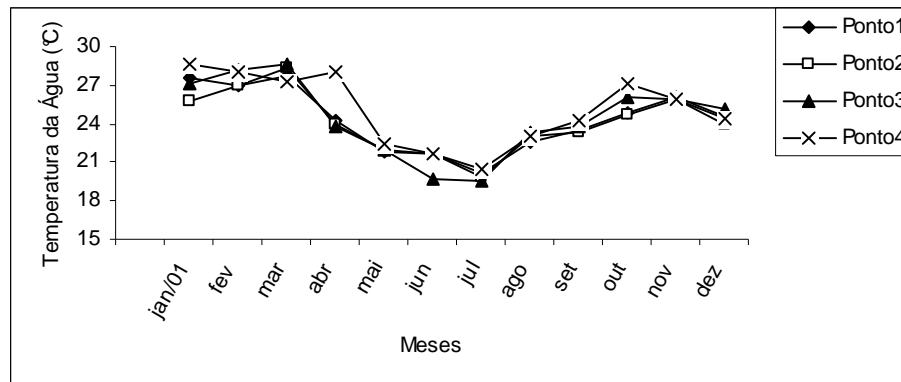


Figura 4 - Variação dos valores da temperatura da água nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

A transparência da água (Figura 5) foi semelhante nos quatro pontos de coleta, mas diferiu significativamente ($P=0,001$), entre os meses amostrados (Tabela 1), evidenciando um comportamento sazonal definido ($P=0,000$; Tabela 2). De modo geral, a transparência da água apresentou um comportamento oposto ao sólido total em suspensão (Tabela III, Anexo).

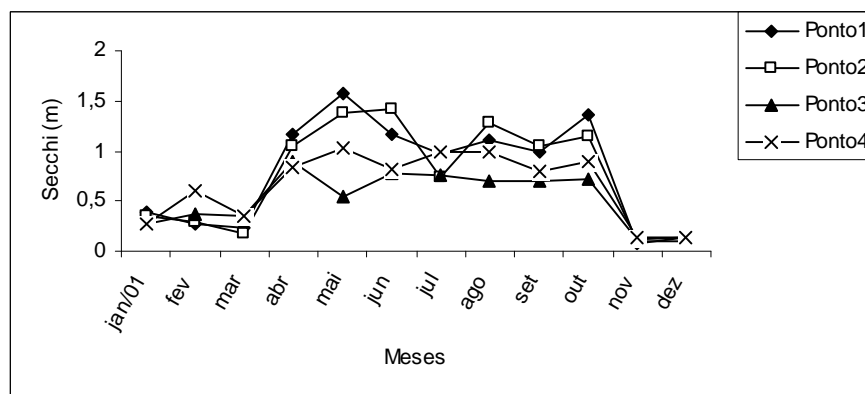


Figura 5 - Variação dos valores da penetração de luz na coluna d'água dos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

Tabela 1 - Média mensal e desvio padrão das variáveis limnológicas dos quatro pontos amostrais do rio Piracicaba, durante o ano de estudo.

Variável Limnológica	Período Amostral												P
	jan/01	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Profundidade (m)	83,3 (±67,7)	66,5 (±52,6)	63,5 (±74,6)	184,0 (±62,9)	120,0 (±24,6)	128,0 (±27,5)	86,8 (±74,9)	102,0 (±8,6)	101,0 (±45,2)	103,0 (±14,2)	167,0 (±16,2)	184,0 (±2,2)	0,000
Temperatura (°C)	27,3 (±1,2)	27,7 (±0,5)	28,0 (±0,6)	25,0 (±2,1)	22,0 (±0,3)	21,1 (±1,0)	20,0 (±0,4)	23,0 (±0,3)	23,7 (±0,4)	25,7 (±1,1)	25,9 (±0,1)	24,5 (±0,4)	0,000
Secchi(m)	32,3 (±5,0)	38,5 (±50,5)	27,1 (±34,2)	98,5 (±14,2)	113,0 (±35,6)	104,0 (±65,3)	86,8 (±14,7)	102,0 (±14,4)	88,5 (±30,4)	103,0 (±24,6)	10,8 (±27,5)	12,3 (±1,5)	0,001
Sólido Total Dissolvido (mg/L)	44,6 (±11,6)	57,5 (±10,0)	57,8 (±9,5)	60,8 (±9,4)	45,1 (±9,5)	39,0 (±3,1)	47,5 (±6,7)	51,0 (±9,3)	54,2 (±12,7)	54,9 (±1,7)	32,2 (±1,6)	29,1 (±5,8)	0,000
Condutividade Elétrica (µS/cm)	28,8 (±6,9)	36,5 (±9,2)	38,1 (±6,1)	39,6 (±6,1)	29,7 (±6,8)	28,3 (±6,9)	31,3 (±4,4)	33,5 (±6,2)	38,8 (±3,2)	36,2 (±1,3)	21,1 (±1,1)	19,0 (±3,8)	0,000
Sólido Total Suspenso (mg/L)	15,8 (±6,9)	20,0 (±11,5)	31,6 (±4,3)	15,0 (±4,3)	13,3 (±6,1)	11,6 (±4,3)	15,8 (±9,2)	13,3 (±2,7)	10,8 (±5,0)	15,0 (±3,3)	29,1 (±5,0)	22,5 (±9,2)	0,016
pH	7,31 (±0,1)	6,9 (±0,9)	6,1 (±0,1)	7,2 (±0,3)	6,5 (±0,3)	6,6 (±0,8)	6,6 (±0,3)	6,01 (±0,1)	6,4 (±0,3)	6,1 (±0,2)	6,3 (±0,2)	5,5 (±0,1)	0,001
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,9 (±0,3)	6,4 (±0,4)	6,6 (±0,3)	6,5 (±1,1)	7,3 (±1,2)	4,7 (±0,6)	7,5 (±0,4)	6,0 (±1,3)	5,0 (±0,5)	4,4 (±0,4)	5,3 (±0,4)	5,1 (±0,0)	0,001

P < 0,05

Tabela 2 - Variação sazonal das variáveis limnológicas do segmento estudado do rio Piracicaba, durante o período de janeiro a dezembro de 2001.

Variável Limnológica	Período Amostral *		P
	Chuvoso	Seco	
Profundidade (m)	111,0	120,3	0,613
Temperatura (°C)	26,5	22,5	0,000
Secchi (m)	37,3	98,8	0,000
Sólido Total Dissolvido (mg/L)	46,0	49,6	0,277
Condutividade Elétrica (µS/cm)	30,0	33,5	0,103
Sólido Total Suspenso (mg/L)	22,3	13,3	0,000
pH	6,4	6,5	0,324
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,8	6,2	0,277

(*) média do período; $P < 0,05$.

Os sólidos totais suspensos (Figura 6) foram semelhantes entre os pontos amostrais no segmento estudado, apesar de terem demonstrado diferenças significativas (0,016) entre os meses amostrados (Tabela 1). Um comportamento sazonal foi observado ao longo do ano ($P=0,000$; Tabela 2). A comparação das médias anuais, revelou valores semelhantes para todos os pontos, apesar das maiores quantificações terem sido obtidas no ponto 4 ($19,96 \pm 6,23$ mg/L; Tabela IV em Anexo).

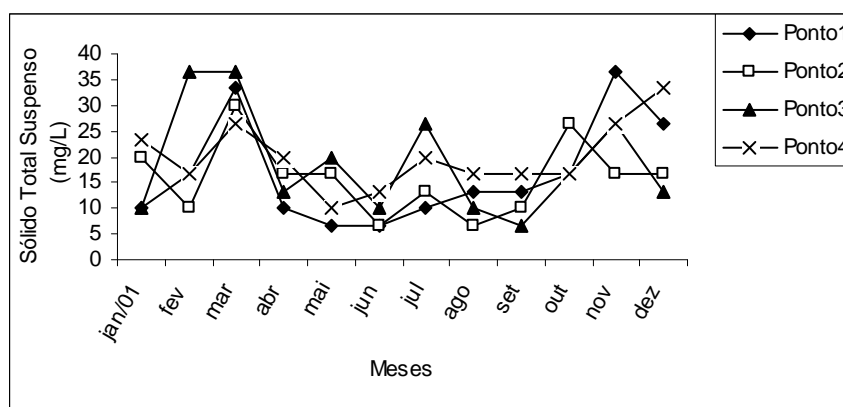


Figura 6 - Variação dos valores do sólidos totais suspensos (mg/L) nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

Os resultados dos sólidos totais dissolvidos (Figura 7) revelaram diferença significativa entre os pontos ($P=0,000$) e os meses amostrados ($P=0,000$; Tabela 1), com o ponto 1 se sobressaindo dos demais (teste das Diferenças Mínimas Significativas), pelos

maiores valores apresentados ao longo do ano amostral ($55,7 \pm 12,98\text{mg/L}$; Tabela V, Anexo).

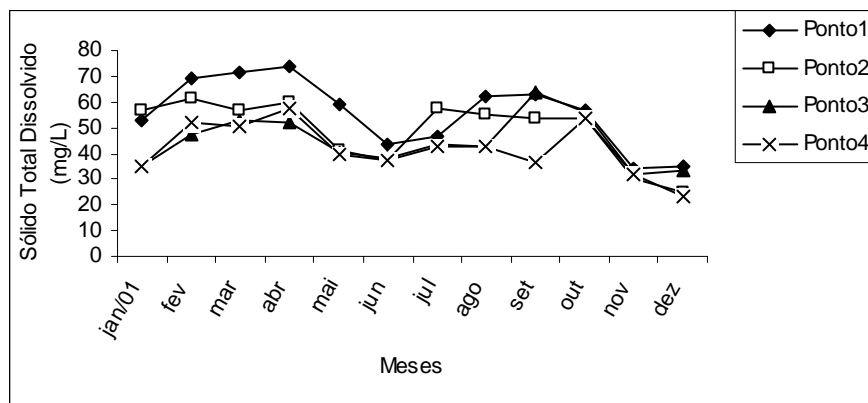


Figura 7 - Variação dos valores do sólido total dissolvido nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

As medidas de condutividade elétrica (Figura 8) foram diferentes entre os quatro pontos (0,001) e entre os meses de coleta ($P=0,000$; Tabela 1). Apesar das oscilações demonstradas pelos resultados, uma variação sazonal, não foi observada para o período estudado. As médias anuais revelaram valores relativamente baixos (Tabela VI, Anexo) ao longo do segmento e do ano amostrado.

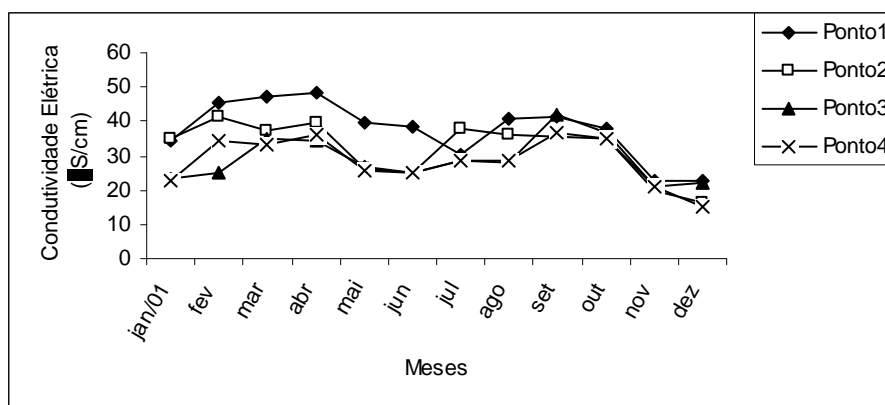


Figura 8 - Variação dos valores da condutividade elétrica nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

O pH da água no segmento estudado (Figura 9), variou de ácido (5,35/dezembro, ponto 4) a levemente básico (7,59/abril, ponto 4), com médias anuais de 6,34 a 6,62 entre os pontos amostrados (Tabela VII, Anexo). Os resultados revelaram um comportamento

decrecente ao longo do ano, com diferenças significativas entre os meses analisados ($P=0,001$; Tabela 2).

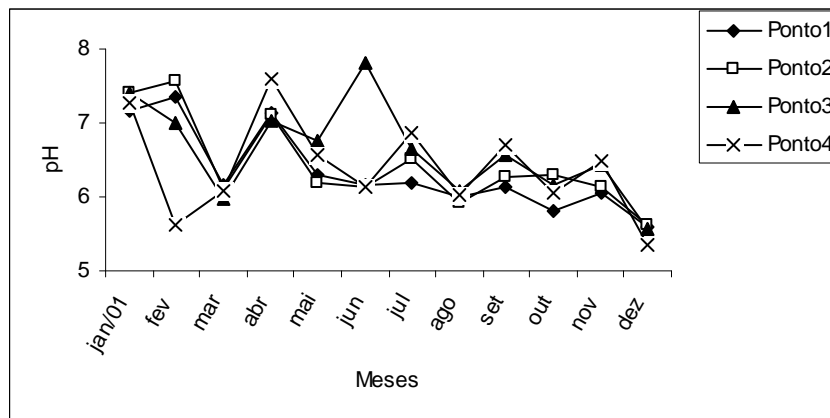


Figura 9 - Variação dos valores de pH nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

Os teores de oxigênio dissolvido na água (Figura 10), foram relativamente baixos e semelhantes nos quatro pontos amostrais, como revelado pelos valores extremos das médias anuais (mínimo=5,61 mg/L no ponto 1; máximo= 6,15 mg/L no ponto 3; Tabela VIII em Anexo).

A comparação entre os meses revelou diferenças significativas dos teores quantificados ($P=0.001$; Tabela 1), assim como uma tendência decrescente dos mesmos, ao longo do período de estudo.

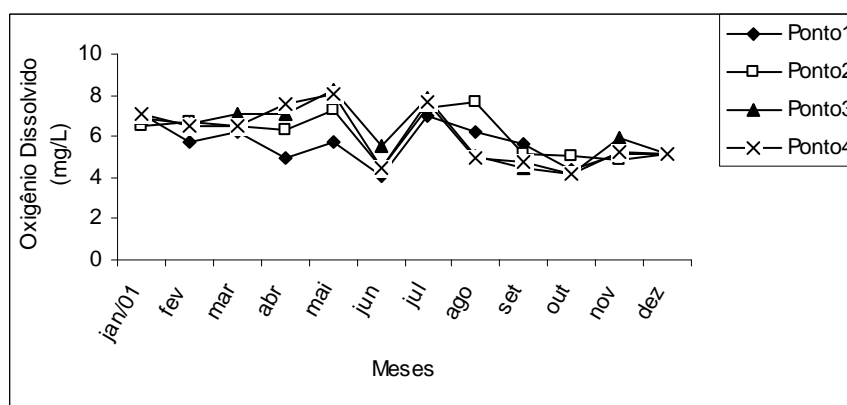


Figura 10 - Variação dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

Os teores de carbono orgânico do sedimento (Figura 11) foram diferentes entre os quatro pontos amostrais ($P=0,000$; teste de Friedman). O ponto 4 se destacou dos demais por conter os menores valores para o período estudado ($0,38 \pm 0,23$; Tabela IX, em Anexo).

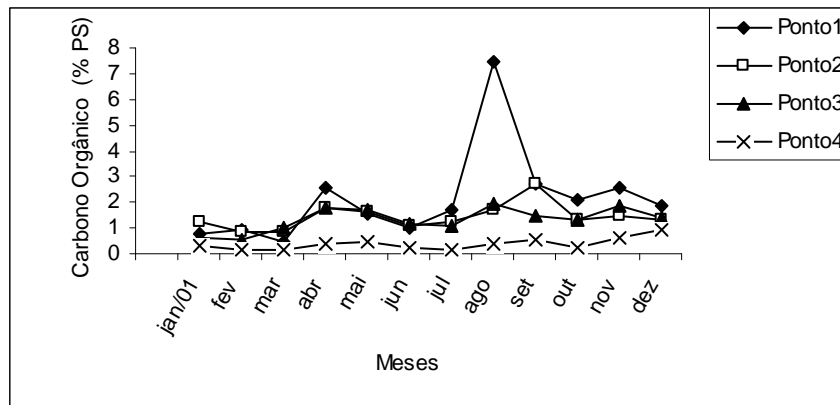


Figura 11 - Variação dos valores de carbono orgânico (% P.S.) no sedimento dos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

Os teores de mercúrio total no sedimento do rio (Figura 12) revelaram uma tendência decrescente dos valores, ao longo do ano amostral. A comparação dos valores entre os pontos revelou diferença significativa ($P=0,000$) entre eles. Assim como para o carbono orgânico, o ponto 1 apresentou as maiores oscilações dos resultados (Tabela X, Anexo), a maior média anual ($0,11 \pm 0,04$), tendo sido o único ponto estatisticamente diferente dos demais (teste das Diferenças Mínimas Significativas). De maneira geral, os valores obtidos foram baixos.

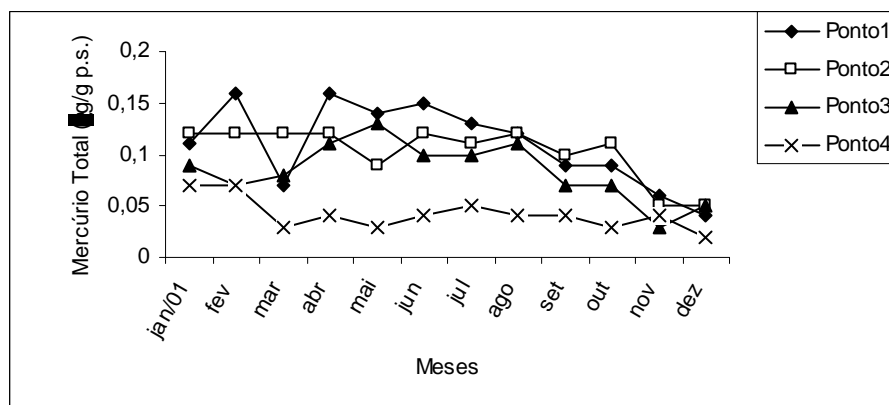


Figura 12 - Variação dos teores de mercúrio total do sedimento nos pontos de coleta do rio Piracicaba, ao longo do ano amostral.

5.2- Interação entre a Coluna D'água e o Sedimento do Rio Piracicaba

As interrelações existentes entre a coluna de água e o sedimento do rio, em cada ponto amostral, foram avaliadas através dos valores obtidos para as variáveis limnológicas, os teores de carbono orgânico e os de mercúrio total no sedimento. Os resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

A comparação entre as variáveis limnológicas (Tabela 3) revelou uma forte correlação ($P=0,000$) entre os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica nos quatro pontos amostrais ($r=0,940$ /ponto1; $r=0,996$ /ponto2; $r=0,963$ /ponto3; $r=0,850$ / ponto 4; teste de correlação de Pearson) e uma correlação mais fraca entre a luz (Secchi) e a profundidade, no ponto 4 ($r=0,775$; $P=0,003$). Uma relação inversa foi observada entre os sólidos totais suspensos e o Secchi, nos pontos amostrais 1 ($r=-0,775$; $P=0,005$), e 4 ($r=-0,843$; $P=0,001$), revelando a concentração de material suspenso na coluna d'água do segmento lêntico (local de acumulação) e lótico (local de despejo) do rio, em especial, no início e no final da estação chuvosa (Figura 6; Tabela IV, Anexo). De modo geral, o ponto 4 foi o local do rio que apresentou o maior número de interações entre as características limnológicas da coluna d'água. Dentre as variáveis amostradas, os sólidos totais suspensos e a penetração de luz (Secchi) bem como a condutividade elétrica mostraram mais fortes correlações, seguidos da profundidade e ao fazê-lo, revelaram o aporte de material orgânico e inorgânico na água e seu deslocamento para as camadas mais profundas do rio (STS x profundidade; $r=0,778$; $P=0,003$), ainda que sua dinâmica química pudesse ser percebida nas camadas mais superficiais da coluna d'água, através das quantificações de cátions e ânions (condutividade elétrica e profundidade: $r=-0,667$; $P=0,018$; Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas medidas nos quatro pontos amostrais do rio Piracicaba, no período de estudo.

Ponto 1						Ponto 2					
Variável	STS	STD	COND	PROF	SECCHI	Variável	STS	STD	COND	PROF	SECCHI
STS	1,000	-0,248	-0,370	-0,015	-0,755*	STS	1,000	-0,327	-0,351	-0,058	-0,472
STD		1,000	0,944*	-0,336	0,281	STD		1,000	0,996*	-0,249	0,162
COND			1,000	-0,254	0,382	COND			1,000	-0,230	0,170
PROF				1,000	0,286	PROF				1,000	0,545
SECCHI					1,000	SECCHI					1,000

Ponto 3						Ponto 4					
Variável	STS	STD	COND	PROF	SECCHI	Variável	STS	STD	COND	PROF	SECCHI
STS	1,000	0,996	-0,125	-0,130	-0,372	STS	1,000	0,198	-0,478	0,778*	-0,843*
STD		1,000	0,963*	-0,385	0,233	STD		1,000	0,850*	-0,506	0,488
COND			1,000	-0,307	0,593*	COND			1,000	-0,667*	0,539
PROF				1,000	-0,477	PROF				1,000	-0,775*
SECCHI					1,000	SECCHI					1,000

STS= Sólido total suspenso (mg/L); STD= Sólido total dissolvido (mg/L); CE= condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

PROF= Profundidade (m).

(*) $P < 0,05$

O carbono orgânico do sedimento interagiu com a água, somente no ponto 4 (Tabela 4), revelando uma correlação negativa com os sólidos totais dissolvidos ($r=-0,732$) e a condutividade elétrica ($r= -0,602$) e uma relação direta, fraca, com a profundidade ($r=0,623$).

Tabela 4 - Correlação das variáveis limnológicas das amostras de água com o mercúrio total e carbono orgânico do sedimento nos pontos amostrais do rio Piracicaba.

Variável	Hg _T		C _{ORG}	
	r	P	r	P
Profundidade	-	-	0,623 ⁽⁴⁾	0,030
STS	0,779 ⁽¹⁾	0,003	-	-
STD	0,843 ⁽²⁾	0,001	-0,732 ⁽⁴⁾	0,007
CE	0,839 ⁽²⁾	0,001	-0,602 ⁽⁴⁾	0,038
pH	0,654 ⁽¹⁾	0,021	-	-

P<0,05; nos parênteses: número de identificação do ponto amostral.

STS= sólido total suspenso; STD= sólido total dissolvido; CE= Condutividade elétrica.

Somente os pontos amostrais 1 e 2 apresentaram correlações entre o mercúrio do sedimento e as variáveis limnológicas (Tabela 4). Uma forte correlação positiva foi obtida entre o mercúrio e os sólidos totais dissolvidos ($r=0,843$) e entre o mercúrio e a condutividade elétrica da água ($r=0,839$) no ponto 2, enquanto somente uma fraca correlação foi medida entre o metal e o pH água ($r=0,654$) no ponto 1, que revelou também uma relação inversa do mercúrio com os sólidos totais suspensos ($r= -0,779$).

5.3 - Teores de Mercúrio no Bagre

Os teores de mercúrio total, quantificados nos exemplares de *Rhamdia quelen* capturados no segmento do rio, ao longo do ano amostral, são apresentados na Tabela 5.

A observação dos resultados revelou uma oscilação dos valores entre os bimestres amostrados, com os maiores teores medidos no mês de maio ($106,9 \pm 26,1$ ng/g p.f.; n=30) e os menores ($37,7 \pm 13,4$ ng/g p.f.; n=30) em dezembro, situando-se ambos abaixo do limite máximo estipulado pela Organização Mundial de Saúde ($0,05 \mu\text{g/g}$ p.f.), para o consumo humano. Chamou a atenção o pequeno número de peixes (n=10/bimestre) contaminados pelo metal, capturados na estação chuvosa do início do experimento (janeiro e março), cujos baixos valores ($4,7$ ng/g p.f. em janeiro e $7,1$ ng/g p.f. em março) se aproximaram do limite de detecção do método utilizado.

Tabela 5 - Teores de Hg_T (ng/g p.f.) do tecido muscular dos exemplares de *Rhamdia quelen* capturados no segmento estudado do rio Piracicaba, ao longo do ano de estudo.

Amostra	Período Amostral					
	Jan/01	Mar	Mai	Jul	Set	Nov
Composta *						
1	-	-	120,10	102,10	65,20	25,60
2	-	-	123,80	90,90	47,30	34,90
3	4,70	7,10	76,90	37,40	51,62	52,50
Media			106,93	76,80	54,71	37,70
Desvio Padrão			26,08	34,58	9,34	13,66

(*) Cada amostra composta conteve 10 peixes; n=30 peixes/bimestre;

(-) Teor não quantificado pelo método utilizado ($<4,0$ ng/g p.f. = limite de detecção do método).

6 – DISCUSSÃO

6.1 - O Ambiente Abiótico do rio Piracicaba

A distribuição das diversas espécies de mercúrio que entram no sistema aquático é regulada por processos físicos, químicos e biológicos, os quais ocorrem nas interfaces ar/água e água/sedimento (CANELA e JARDIM, 1997).

A profundidade do rio Piracicaba durante o período amostral revelou para os pontos 1 e 4 os maiores valores, o que poderia ser explicado, em parte, pela estratégia utilizada para sua medição, acrescida do volume de água armazenada nestes locais, durante o verão. No ponto 4, o rio corre encaixado, com características tipicamente lóxicas, enquanto no ponto 1, de aspecto predominantemente lêntico, o barramento da água pelo meandro (barramento natural) e pela barragem da Usina Hidrelétrica de Piracicaba (barramento artificial), ambos localizados a jusante, favorecem sua acumulação neste ponto.

A relação dos sólidos totais suspensos na água com a profundidade do rio no ponto 4 (local de lançamento de dejetos) pareceu denotar o deslocamento do material orgânico e inorgânico lançado em sua calha, para as camadas mais profundas, o que poderia ser corroborado pela relação direta verificada entre o carbono orgânico do sedimento (matéria orgânica) e a profundidade do rio, medida neste local. A ausência de vegetação ciliar favorecendo a erosão do solo marginal, assim como a localização deste trecho do rio em uma área de terreno mais acidentado, favorecem o escoamento de material orgânico e inorgânico do solo do entorno e das encostas para sua calha, neste ponto de seu curso. A relação inversa com a condutividade confirma as relações citadas acima. Tal correlação, deveu-se em parte, à quantidade de material em suspensão na coluna d'água, capaz de originar uma zona onde a penetração da luz seria reduzida (camadas mais profundas). Nestes locais a degradação da matéria é realizada por bactérias anaeróbias. Nesta região de baixa luminosidade, as reações de degradação de matéria orgânica (que liberariam cátions e ânions para o sistema) seriam reduzidas, diminuindo, conseqüentemente, a condutividade elétrica aí registrada. Da mesma forma, foi observada uma relação inversa do mercúrio do sedimento, com a profundidade medida neste ponto, o que concordou com o citado por Moraes et al., (1997), para quem os maiores acúmulos do metal nos rios, ocorrem nos trechos mais rasos de seus cursos.

Para a temperatura da água, os maiores registros obtidos durante a estação chuvosa (verão) frente aos mais baixos registrados na estação seca, revelaram uma variação sazonal marcada, acompanhando as oscilações da temperatura do ar, nestas épocas do ano.

A transparência da água medida nos quatro pontos amostrais diferiu significativamente entre os meses amostrados, apresentando uma variação tipicamente sazonal. Os maiores valores registrados no período de seca, em detrimento do chuvoso, estiveram relacionados à menor turbidez da água, assim como a precipitação do material em suspensão na coluna d'água, para o sedimento do fundo. A ausência de mata ciliar, a erosão do solo do entorno, a topografia acidentada, acrescidas das atividades agropecuárias e mineradoras da bacia, teriam contribuído para a elevada turbidez do rio durante o período chuvoso, propiciando uma maior lixiviação do solo do entorno e, conseqüentemente, que uma grande quantidade de material orgânico e inorgânico alcançasse sua calha, via escoamento superficial, como descrito por Barbosa (1997), para a bacia.

Os sólidos suspensos na água apresentaram valores semelhantes entre os pontos amostrais, além de um comportamento sazonal, com os maiores registros obtidos na estação chuvosa, devido em parte, ao maior aporte de material dissolvido e em suspensão despejado na calha do rio pelo escoamento superficial ("runoff"). Nos pontos de menor profundidade, tal fato poderia estar relacionado à ressurgência do sedimento do fundo, o que poderia explicar sua correlação negativa com a penetração de luz na coluna d'água. A comparação das médias anuais, revelou valores igualmente baixos para todos os pontos no segmento estudado, apesar da maior quantificação ter sido medida no ponto 4, devido a erosão do solo em conseqüência às atividades canavieiras, pastagens, reflorestamentos de eucaliptos (Figura 2) para a produção de carvão e da mineração (atividades antrópicas), como citado por Arantes (2002), para o trecho médio do rio Piracicaba. A tais ações se acresceria o garimpo do ouro nas margens do rio em toda a extensão da bacia, importante fonte secundária de fornecimento de sedimentos para os corpos d'água, através da destruição das suas margens e da remoção dos sedimentos de fundo (COOPERAÇÃO BRASIL - FRANÇA, 1996). A correlação inversa dos sólidos totais suspensos na água com o mercúrio do sedimento no trecho lântico do rio (ponto 2), sugere que os fatores controladores do transporte de material em suspensão também controlam as concentrações de mercúrio na água e posteriormente no sedimento pela precipitação do material em suspensão (ROULET et al., 2001). Uma relação semelhante do mercúrio total com a matéria particulada nos rios também foi documentada por Babiartz e Andren (1995) e Babiartz et al., (1998) para rios de Wisconsin, por Balogh et al., (1997, 1998) para os rios Minnesota e Mississippi nos Estados Unidos. No Brasil, ela foi documentada por Bidone et al., (1997) para o rio Tartarugalzinho, no estado do Amapá e por Mascarenhas et al., (2004) para o rio Acre, no estado do Acre. O mercúrio tem uma alta tendência a adsorver

às superfícies. Desta maneira, nas águas naturais ele se encontra predominantemente ligado aos sedimentos ou às partículas suspensas na água (ANDREN e HARRISS *apud* ULLRICH, 2001).

Ao contrário do registrado para os sólidos em suspensão na água do rio Piracicaba, os sólidos dissolvidos foram significativamente diferentes entre os pontos amostrais, com o ponto 1 se sobressaindo dos demais pelos maiores valores apresentados. Por estar localizado no segmento meândrico do rio e imediatamente a jusante da barragem da UHP, e, conseqüentemente por apresentar aspecto lântico, o ponto 1 se comportou como um ambiente deposicional, estocando grande parte do material particulado e em suspensão produzido e carregado a montante. Ao se decompor, a matéria orgânica aí acumulada liberaria cátions e ânions para o sistema (água e sedimento), o que explicaria o aumento da condutividade e sua inter-relação com essa variável, também neste ponto.

Uma relação inversa entre os sólidos dissolvidos na água foi verificada com o carbono orgânico do sedimento no ponto 4, local de maior vazão do segmento estudado, corroborando a precipitação da matéria orgânica em direção às camadas mais profundas do rio, como verificado pela correlação medida entre o carbono do sedimento e a profundidade ($r=0,623$), neste local. Ao se relacionar com o mercúrio do sedimento na porção lântica do sistema (ponto 2), os sólidos dissolvidos na água indicaram uma possível capacidade de complexação com o metal. Segundo Babiartz et al., (1998) os níveis do metal na água e nos sedimentos dos rios variam de acordo com o tipo de água e podem ter seu transporte e sua complexação alterados, dependendo da quantidade e qualidade da matéria particulada, coloidal e dissolvida (BABIARZ et al., 1998), com as formas químicas do metal nestes ecossistemas, sendo fortemente influenciadas pelas concentrações dos agentes complexantes, orgânicos e inorgânicos aí presentes (ULLRICH et al., 2001).

A condutividade elétrica, que é a medida da quantidade de sólidos totais dissolvidos, foi igualmente baixa entre os pontos amostrais e ao longo do ano amostrado. Situação semelhante foi descrita por Barbosa (1997) para o rio Piracicaba, cujos valores, entretanto, apresentaram-se mais baixos que os do presente estudo. A relação inversa com o carbono orgânico do sedimento no ponto 4, poderia ter decorrido da menor taxa de decomposição dos microorganismos presentes no sedimento, capaz de produzir baixas concentrações iônicas neste compartimento do rio, dependendo das condições de potencial redox e pH do meio (ULLRICH et al., 2001).

O pH da água revelou um comportamento decrescente ao longo do ano e os valores coincidiram com os citados por Cooperação Brasil França (1996) e Oberdá (1996) em trechos

do rio Piracicaba, localizados na região de estudo. Conforme Arantes (2002), tais valores podem estar associados aos resíduos metálicos das mineradoras da região, bem como a presença e dinâmica química da matéria orgânica de origem domiciliar e industrial, ambas lançadas diretamente na calha do rio.

Os teores de oxigênio dissolvido na água foram semelhantes aos obtidos por Barbosa (1997) para a bacia. Segundo o autor, tais resultados indicariam uma poluição generalizada do rio, por material dissolvido e em suspensão na água.

As quantificações dos teores de mercúrio total no sedimento do rio revelaram valores acima do permitido pela Organização Mundial de Saúde ($0,1\mu\text{g/g}$ p.s.; 1990) sugerindo a contaminação do ecossistema e a dispersão do elemento no ambiente, através de seu deslocamento para a coluna d'água e desta para a biota. A comparação dos valores entre os pontos revelou diferença significativa entre eles, com o ponto 1 apresentando os maiores resultados, provavelmente em decorrência da sua localização no meandro do rio, seguido por um barramento artificial, responsáveis pela característica lântica e a baixa vazão observadas no local.

Os teores de carbono orgânico do sedimento foram diferentes entre si nos quatro pontos amostrais, com o ponto 1, também se destacando dos demais por apresentar os valores mais elevados, em consequência a deposição no local, de grande parte do material lançado e carregado a montante, assim como descrito para os teores de mercúrio no sedimento.

6.2 - Os Teores de Mercúrio em Bagre

Os teores de mercúrio total quantificados nos exemplares de *Rhamdia quelen* capturados no segmento estudado do rio Piracicaba, revelaram uma oscilação dos valores entre os bimestres amostrados, com os maiores resultados medidos no meses de maio e julho (estação seca) e os menores em janeiro e março (estação chuvosa), permanecendo entretanto, ao longo de todo o período amostrado, inferiores ao estabelecido pela legislação brasileira (1998) para consumo humano, de pescado contaminado pelo metal. De modo geral, os valores foram baixos, com alguns deles apresentando-se inferiores ao limite de detecção do método utilizado.

Tais resultados poderiam estar associados ao hábito alimentar da espécie, na bacia estudada. Segundo Akielaszek e Haines (1981), MacCrimmon et al., (1983) e Mathers e Johansen (1985), a dieta do peixe é capaz de afetar a acumulação de mercúrio nos seus tecidos. Para a espécie *Rhamdia quelen*, omnívora com tendência piscívora (GOMES et al.,

2000), cuja dieta é composta por itens variados (animais e vegetais) frente a disponibilidade do recurso no meio, tal fato poderia explicar os teores de Hg medidos no tecido muscular dos indivíduos capturados na bacia do rio Piracicaba, nas duas estações do ano.

No verão, apesar da disponibilidade dos recursos ser maior, favorecendo uma estratégia alimentar mais generalista, os indivíduos se alimentam preferencialmente de peixes de pequeno porte (GOMES et al., 2000), o que favoreceria a maior bioacumulação do metal no seu organismo, verificada ao longo da estação seca subsequente. No inverno, a ingestão de peixes ocorre em menor proporção, e é feita por um menor número de indivíduos (DEUS e PETRERE-JUNIOR, 2003). Nesta época do ano, os peixes são substituídos pelas sementes dos frutos, que passam a dominar a dieta dos bagres, podendo atingir valores próximos a 100% do seu conteúdo estomacal (DEUS e PETRERE-JUNIOR, 2003). A ingestão predominante de itens alimentares de origem vegetal nessa estação do ano levaria a uma menor contaminação dos indivíduos, o que justificaria os baixos teores do metal quantificados no tecido muscular dos peixes capturados na estação chuvosa seguinte, como verificado para os exemplares de *Rhamdia quelen* do rio Piracicaba, avaliados pelo presente estudo.

Tal dinâmica de contaminação dos peixes pelo Hg seria influenciada pelas condições físicas, químicas e físico-químicas do sistema aquático, no qual os peixes estão inseridos. Vários estudos evidenciaram uma correlação direta entre os teores de mercúrio total medidos nos peixes com os quantificados no ambiente (água e sedimento). Este fato evidencia a complexidade do ecossistema aquático, que varia de acordo com as oscilações das condições limnológicas, terminando por influenciar a concentração do metal nos organismos aí presentes, embora nos trópicos os fatores que determinam a distribuição das espécies de mercúrio nos peixes, ainda sejam pobremente entendidos (HYLANDER et al., 2000).

Nos peixes, a maior parte do mercúrio quantificado, apresenta-se na forma de metilmercúrio (90% a 95%; MICARONI et al., 2000), que entra na cadeia alimentar através da rápida difusão pelas membranas celulares e forte ligação com as moléculas de proteína (HORVAT, 1996).

A metilação do mercúrio mediada por bactérias pode ser influenciada pela temperatura, sendo que a faixa ideal para a produção microbiana responsável pelo processo é de 33°C a 45°C (SILVA et al., 1993; PARKS et al., 1994), com picos nos meses de verão, como demonstrado por Watras et al., (1995) e Hintelmann e Wiken (1995), em ecossistemas aquáticos temperados. Ainda que a água no segmento estudado do rio Piracicaba não tivesse apresentado temperaturas tão elevadas, oscilando em torno de 24,5 °C, durante o verão, tal

fato poderia ter contribuído para os teores do metal quantificados nos exemplares de bagre analisados.

As variações sazonais na concentração do mercúrio nos ecossistemas aquáticos, têm sido atribuídas aos efeitos da temperatura, além de outros fatores relacionados à metilação do metal, considerada o primeiro passo nos processos de bioacumulação do metal nos organismos (HORVAT, 1996). De modo geral, estudos relativos à dinâmica do mercúrio nesses ambientes tendem a associar os valores de sólido total dissolvido e de condutividade elétrica da água aos teores do metal, uma vez que eles favorecem sua complexação com os íons presentes na coluna d'água e a sua metilação no sedimento (PARKS et al., 1994; MORAES et al., 1997). Os valores medidos de sólido total dissolvido e de condutividade elétrica no trecho analisado do rio Piracicaba, apresentaram forte correlação com o mercúrio total do sedimento, ambos no ponto amostral 2, sugerindo a existência de condições favoráveis neste local à transformação do mercúrio em formas químicas compatíveis com sua absorção pela biota aquática.

A acidificação da coluna d'água destaca-se como um dos fatores abióticos de relevante importância no processo de interconversão entre formas inorgânicas e orgânicas do mercúrio nos ecossistemas aquáticos, influenciando as transformações do metal de diferentes maneiras. O decréscimo do pH da água acarreta um aumento da dissociação de mercúrio das partículas em suspensão, tornando-o mais disponível para as reações de metilação (PARKS et al., 1994). Xun et al., (1987) sugerem que a redução do pH aumenta a produção do metilmercúrio tanto na coluna d'água quanto nos sedimentos oxigenados, com o predomínio de monometil mercúrio (MEILI, 1991; WREN et al., 1991; MEILI, 1997; FORSBERG et al., 1999; NAKAZONO et al., 1999) a espécie mais facilmente transferida dentro da cadeia alimentar. O pH levemente ácido da água do segmento estudado do rio Piracicaba criaria condição favorável a complexação do mercúrio no local, culminando com o aparecimento e acumulação nos exemplares de *Rhamdia quelen*, capturados. Assim como a relação inversa do mercúrio com o carbono orgânico do sedimento ($r=-0,0507$; $P=0,092$) na porção lótica do rio (ponto 4), o acúmulo de carbono orgânico, bem como o pH levemente ácido, a concentração de matéria em suspensão e dissolvida, a condutividade elétrica, as temperaturas elevadas da água e a fisiografia do rio na porção lântica de seu curso, tornam o local ideal para a contaminação da ictiofauna do rio Piracicaba pelo mercúrio, uma vez que para lá convergem os peixes, atraídos pela grande quantidade de alimento (matéria orgânica e inorgânica) que aí se acumula vinda de montante. O adensamento da ictiofauna neste ponto leva os pescadores

artesanais da região a elegerem esta parte do rio como ideal para a pesca esportiva, que apesar de ocasional, é capaz de contaminá-los pelo consumo do pescado, impregnado com o metal.

7 – CONCLUSÕES

- A caracterização do rio Piracicaba feita através da medição de variáveis limnológicas nos pontos amostrais, mostrou que o segmento estudado apresenta diferenças físicas, químicas e físico-químicas ao longo de seu curso. Sob este aspecto, o rio apresentou diferenças significativas da coluna d'água nos pontos amostrados e ao longo dos meses avaliados. Um comportamento semelhante foi observado para as quantificações dos teores de carbono orgânico e mercúrio do sedimento.

- Somente a temperatura da água e a penetração de luz, apresentaram comportamento sazonal. Enquanto a temperatura da água acompanhou a temperatura atmosférica, os sólidos totais suspensos, ao apresentarem os maiores valores no verão (estação chuvosa), o fizeram em consequência ao maior escoamento superficial do solo, nesta época do ano.

- Uma relação direta entre os sólidos totais suspensos e o pH da água com o mercúrio do sedimento, foi verificada no ponto 1, enquanto no ponto 2 esta correlação com o metal, ocorreu entre os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica revelando que a localização destes pontos no curso d'água tornaria estes ambientes propícios à especiação do mercúrio em formas químicas assimiláveis pelos organismos da ictiofauna.

- Os teores de mercúrio total no sedimento apresentaram-se estáveis ao longo do ano e na maioria deles, acima do limite permitido pela Organização Mundial de Saúde (1990), demonstrando a contaminação deste compartimento do rio, pelo metal.

- Os teores de mercúrio quantificados no tecido muscular dos exemplares de *Rhamdia quelen*, foram maiores no inverno (estação seca) e menores no verão, indicando uma correlação da contaminação dos animais com a sua dieta. Todos os valores estiveram abaixo do limite permitido para consumo humano pela Legislação Brasileira.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. **Paleoclimas quaternários e pré-história da América Tropical I.** Revista Brasileira de Biologia, n° 50, v.4, p. 805 – 820. 1990
- AKAGI, H.; MALM, O. e BRANCHES, F.J.P. **Human exposure to mercury due to mining in the amazon, Brazil – A review.** Environ. Sci., n° 4 , v.3, p.199 – 211. 1996.
- AKIELAZEK, J.J. e HAINES, T.A.. **Mercury in the muscle tissue of fish from three northern Maine lakes.** Bull. Environ. Contam. Toxicol., n° 27, p. 201 – 208. 1981.
- ARANTES, I.A. **Teor de mercúrio na água, sedimento e peixe (*Geogagus brasiliensis* Quoy & Gaimard, 1842) do rio Piracicaba, MG.** 2002. 52 f. Programa de Pós graduação em Zoologia de Vertebrados, PUC.Minas, Belo Horizonte.
- ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, 15th ed. Association Analytical Chemists, Arlington, p. 263 - 264. 1990.
- AZEVEDO, F.A. **Toxicologia do mercúrio.**São Carlos: Editora Rima. 272p. 2003.
- BALOGH, S.J.; MEYER, M.L. e JOHNSON, D.K. **Mercury and suspended sediment loadings in the Lower Minnesota River.** Environ. Sci. Tech., n° 31, p. 198 – 202. 1997.
- BALOGH, S.J.; MEYER, M.L. e JOHNSON, D.K. **Transport of mercury in three contrasting river basins.** Environ. Sci. Tech.,n°32, p. 456 – 462. 1998.
- BARBIAZ, C.L. e ANDREN, A.W. **Concentrations of mercury in Wisconsin (USA) lakes and rivers.** Water, air and Soil Pollut., n° 83, p. 173 – 183. 1995.
- BARBIAZ, C.L.; HURLEY, J.P.; BENOIT, J.M.; SHAFER, M.M. e ANDREN, A.W. **Seasonal influences on partitioning and transport of total and methylmercury in rivers from contrasting watersheds.** Biogeochemistry., n° 41, p. 237 – 257. 1998.
- BARBIERI, A.F. e RUIZ, R.M. (Coords.). Estrutura Econômica Regional e Meio Ambiente. In: PADCT/CIAMB. **Biodiversidade, população e economia: uma região da Mata Atlântica.** Belo Horizonte. 1997. p. 155 – 198.
- BARBOSA, F.A.R.; TUNDISI, J.G. e HENRY, R. **Diel variation in a shallow tropical brazilian lake II. Primary production, photosynthetic efficiency and chlorophyll-a content.** Arch. Hydrobiol., n° 116, v. 4, p. 435-448. 1989.
- BARBOSA, F.A.R. (Coord.) Impactos Antrópicos e Biodiversidade Aquática. In: PADCT/CIAMB. **Biodiversidade, população e economia: uma região da Mata Atlântica.** Belo Horizonte. 1997. p. 345 – 454.
- BIDONE, E.D.; CASTILHOS, Z.C.; SANTOS, T.J.S.; SOUZA, T.M.C. e LACERDA, L.D. **Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho River, Amapá State, Northern Amazon, Brazil. A creening approach.** Water, Air and Soil Pollut., n° 97, p. 9 – 15. 1997.

- BISINOTI, M.C. e JARDIM, W.F. **Production of organic mercury from Hg⁰: experiments using microcosms.** J. Braz. Chem. Soc., n°14, p. 244 - 248. 2003.
- BLOOM, N.S.; WATRAS, C.J. e HURLEY, J.P. **Impact of acidification on the methylmercury cycle of remote seepage lakes.** Water, Air and Soil Pollut., n°56, p. 477 – 483. 1991.
- BRASIL Ministério da Saúde, Portaria n° 685/98 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. In: **Diário Oficial da União.** Brasília, 28 de Agosto de 1998. Seção I, p. 28 - 29.
- CANELA, M.C. e JARDIM, W.F. **The fate of Hg⁰ in natural waters.** J. Braz. Chem. Soc., n° 8, v. 4, p. 421 – 426. 1997.
- CLARKSON, T. **Mercury – an element of mystery.** N. Engl. J. Med., n°323, p. 1137-1139. 1990.
- CLARKSON, T. **Mercury: Major Issues in Environmental Health.** Environmental Health Perspectives, n° 100, p. 31-38. 1992.
- CLECKNER, L.B.; GARRISON, P.J.; HURLEY, J.P.; OLSON, M.L. e KRABBENHOHT, D.P. **Trophic Transfer of Methylmercury in the Northern Florida Everglades.** Biogeochemistry., n° 40, p. 347 – 361. 1998.
- CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Levantamento da poluição hídrica da bacia do rio Piracicaba: Relatório final.** Belo Horizonte. 1988. 34p.
- CETESB. **Estudos ecológicos da região do complexo Lagunar Iguape – Cananéia.** Rel. Tec. Comp. Est. Tecnol. San. Bas. São Paulo, 1985. 19p.
- CIZDIZIEL, J.V.; HINNERS, T.A. e HEITHMAR, E.M. **Determination of total mercury in fish tissues using combustion atomic absorption spectrometry with gold amalgamation.** Water, Air and Soil Pollut., n°135, p. 355 – 370. 2002.
- COOPERAÇÃO BRASIL – FRANÇA. **Projeto Rio Doce: gerenciamento integrado da bacia do rio Doce.** Belo Horizonte, 1996. 293p.
- DEUS, C.P. e PETRERE – JUNIOR, M. **Mudanças sazonais na dieta de sete espécies de peixes de um riacho de Mata Atlântica no Sudeste do Brasil.** Braz. J. Biol., n° 63, p.579 – 588. 2003.
- DRISCOLL, C.T.; BLETTE, V.; YAN, C.; SCHOFIELD, C.L. e MUNSON, R. **The role of dissolved organic carbon in the chemistry and bioavailability of mercury in remote Adirondack lakes.** Water, Air and Soil Pollut., n° 80, p. 499 – 507. 1995.
- ECODINÂMICA – ECO. **Relatório do monitoramento da estação meteorológica da Usina Hidrelétrica Guilman Amorim.** Belo Horizonte, 2002. p. 1 – 23.

- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Enquadramento dos cursos d'água da bacia do rio Piracicaba, In: **II Encontro do Projeto Rio Doce: sub-bacia Piracicaba**, Belo Horizonte, 1995. 48p.
- FORSBERG, M.; FORSBERG, B. e ZEIDERMANN, V. **Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon Basin**. *Ambio*, n° 28, p. 519-521. 1999.
- FINK, L. **Mercury Special Studies: Interim Report**. Everglades Consolidated Report. Appendix 2B-6, 130p. 2004.
- FITZGERALD, W.F. e CLARKSON, T.W. **Mercury and monomethyl mercury: present and future concerns**. *Environmental Health Perspectives*, n° 96, p.159-166. 1991.
- FRATTINNI, C.T.A. e KALCKMAN, R.E. **Correlação entre alguns métodos de determinação do carbono**. *Pesquisa Agropecuária*, n° 2, p. 259 – 261. 1967.
- GOMES, L.C.; GOLOMBIESKI, J.I.; GOMES, A.R.C. e BALDISSEROTO, B. **Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae)**. *Revista Ciência Rural*, n° 30, p.179. 2000.
- GONÇALVES, A. Saúde, garimpagem e mercúrio entre os Kaiapó – Gorotire. In: MATHIS, A. e REHAAG, R. (Orgs.) **Consequências da Garimpagem no âmbito Social e Ambiental da Amazônia**. Editora Cejup. Belém, 1993. p. 61 – 63.
- GUERRA, C.B. **Impactos ambientais na bacia do rio Piracicaba**. Belo Horizonte: F.M.V. Editora Gráfica, 1993. 77p.
- HEISKARY, S.A. e HELWIG, D.D.. **Mercury levels in Northern Pike, *Esox Lucius*, relative to water chemistry in Northern Minnesota Lakes**. *Lake and Reserv. Manage*, n° 2, p. 33 – 37. 1986.
- HINTELMANN, H. e WILKEN, R.D. **Levels of total mercury and methylmercury compounds in sediments of the polluted Elbe River: influence of seasonally and spatially varying environmental factors**. *Sci. Total. Environ.*, n°166, p.1 – 10. 1995.
- HORVAT, M. Mercury analysis and speciation in environmental samples. In: BAEYENS, P.M.; EBINGHAUS, W.R.; VASILIEV, O. (Eds.). **Global and regional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances**. *Environment*, n° 21, p.1–31. 1996.
- HYLANDER, L.D.; PINTO, F.N.; GUIMARÃES, J.R.D.; MEILI, M.; OLIVEIRA, L.J. e CASTRO E SILVA, E. **Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and water parameters**. *Sci. Total Environ.*, n° 261, p. 9 – 20. 2000.
- KITAHARA, S.E.; OKADA, I.A. e SAKUMA, A. M. **Mercúrio total em pescado de água-doce**. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, n°20, p. 267 – 273. 2000.
- LINDQVIST, O. **Mercury in the swedish environment global and local sources**. *Natl. Environm. Protec. Board: Salno*, 1984. 101p.

- MACCRIMMON, H.R.; WREN, C.D. e GOTS, B.L. **Mercury up-take by lake trout, *Salvelinus namaycush*, relative to age, growth and diet in Tadenac Lake with comparative data from other Precambrian Shield lakes.** Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 40, p. 114 – 120. 1983.
- MALM, O. e GUIMARÃES, J.R. Avaliação da contaminação dos peixes nos corpos hídricos. In: **Contaminação ambiental por mercúrio metálico na região amazônica: subsídios para um programa de vigilância das populações expostas.** Mato Grosso, 1996. p. 1 – 32.
- MASCARENHAS A.F.S.; BRABO, E.S.; SILVA, A.P., FAYAL, K.F.; JESUS, I.M. e SANTOS, E.C.O. **Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil.** Acta Amazônica., n° 34, v. 1, p. 61 – 68. 2004.
- MATHERS, R.A. e JOHANSEN, P.H. **The effects of feeding ecology on mercury accumulation in walleye (*Stizostedion vitreum*) and pike (*Esox lucius*) in Lake Simcoe.** Can. J. Zool., n° 63, p. 2006 – 2012. 1985.
- MEILI, M. **Mercury in boreal forest lake ecosystems.** Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science, n° 336. Uppsala University: Sweden, 1991.
- MEILI, M. Mercury in lakes and rivers. In: SIGEL A., SIGEL H., (Eds.) **Mercury and its effects on environment and biology. Metal ions in biological systems.** New York, USA Marcel Dekker Inc, n° 34, p. 21 – 51. 1997.
- MICARONI, R.C.C.M.; BUENO, M.I.M.S. e JARDIM, W.F. **Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte.** Quím. Nova, n° 23, p. 487 - 495. 2000.
- MORAES, L.A.F.; LENZI, E. e LUCHESE, E.B. **Relação entre o mercúrio total e algumas variáveis em três subsistemas da planície de inundação do rio Paraná.** Arq. Biol. Tecnol., n° 40, v. 3, p. 536 – 547. 1997.
- NAKAZONO, E.M.; FORSBERG, B.R.; MARTINS, A.E. e PADOVANI, C.R. Factors controlling mercury contamination in Tucunarés (*Cichla* sp.) from the Negro and Tapajós River Basins, Brazilian Amazon. In: BARBOSA.J., MELAMED, R., VILLAS BÔAS, R. (Eds.). **Mercury as a global pollutant – Fifth International Conference, 23 – 27 May 1999, Rio de Janeiro, Brazil.** v. 1999, p.212. 1999.
- OBBERDÁ, S.M. **Estudo de metais pesados presentes na bacia do Piracicaba e sugestões biotecnológicas de descontaminação.** 1996.109 f. Tese de Mestrado. UFMG. Belo Horizonte.

- PARKS, J.W.; CRAIG, P.C. e OZBURN, G.W. **Relationships between mercury concentrations in walleye (*Stizostedion vitreum*) and northern pike (*Esox lucius*): implications for modeling and biomonitoring.** Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 51, p. 2090 – 2104. 1994.
- PAULA, J.A. (Coord.). Dinâmica capitalista, divisão Internacional do Trabalho e Meio ambiente.. In: PADCT/CIAMB. **Biodiversidade, população e economia: uma região da Mata Atlântica.** Belo Horizonte, 1997. p. 27 – 89.
- ROULET, M.; GUIMARÃES, J.R.D. e LUCOTTE, M. **Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of na Amazonian floodplain – affect of seasonal inundation.** Water, Air and Soil Pollut., n° 128, p. 41 – 60. 2001.
- SILVA, A.P. Coleta de amostras em solos, sedimentos e águas de ambientes impactados por mercúrio para monitoramento ambiental. In: CÂMARA, V.M. (Ed.). **Mercúrio em áreas de garimpo de ouro.** Metepec, México: Centro Panamericano de Ecologia Humana e Saúde (ECO/OPS), Série Vigilância, n° 12, p. 107 – 114. 1993.
- SILVA, A.P. e CÂMARA, V.M. **Contaminação ambiental por mercúrio metálico na região amazônica: subsídios para um programa de vigilância das populações expostas.** Mato Grosso, 1995. p. 1 – 23.
- SPRY, D.J. e WIENER, J.G. **Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review.** Environ. Pollut., n° 71, p. 243 – 304. 1991.
- TEIXEIRA, C. e KUTNER, M.B. **Plankton studies in a mangrove environment II. The standing stock and some ecological factors.** Boletim Inst. Oceanorg., n° 12, v. 3, p. 101 – 124. 1962.
- THOMPSON, D.R. Mercury in birds and terrestrial animals. In: BEYER, W.N.; HEINZ, G.H. e REDMON- NORWOOD, A.W. (Eds.). **Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations.** Clemson, SC: Lewis Publisher. p. 341 – 355. 1996.
- ULLRICH, S.M.; TANTON, T.W. e SVETLANA, A.A. **Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, n°31, v.3, p. 241 – 293. 2001.
- WALKEY, A. e BLACK, J.A. **An examination of the the Degtjareff method for determing soil organic matter, and proposed modification of the chronic acid titration method.** Soil science, n° 37, p. 29 – 38. 1943.
- WATRAS, C.J.; MORRISON, K.A. e BLOOM, N.S. **Chemical correlates of Hg and methylHg in Northern Wisconsin lake waters under ice cover.** Water, Air and Soil Pollut., n° 84, p. 247 – 253. 1995.
- WHO (World Health Organization). **Environmental Health Criteria 101: Methylmercury, international program on chemical safety,** Geneva. 1990.

WIENER, J.G. e SPRY, D.J. Toxicological significance of mercury in freshwater fish, in environmental contaminants in wildlife. In: BEYER, W.N.; HEINZ, G.H. e REDMON-NORWOOD, A.W. (Eds.). **Interpreting tissue concentrations**. Boca Raton, Fla., Lewis Publishers, p. 297–339. 1996.

WREN, C.D. **Mammals as biological monitors of environmental metal levels**. Environ. Monitoring and Assess., n° 6, p.127-144. 1986.

WREN, C.D.; SCHEIDER, W.A.; WALES, D.L.; MUNCASTER, B.W. e GRAY, I.M. **Relation between mercury concentrations in walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) and northern pike (*Esox lucius*) in Ontario lakes and influence of environmental factors**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 48, p. 132 – 139. 1991.

XUN, L.; CAMPNELL, N.E.R. e RUDD, J.W.M. **Measurement of specific rates of net methyl mercury production in the water column and surface sediments of acidified and circumneutral lakes**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 44, p. 750 – 757. 1987.

Anexo

Tabela I – Profundidade do rio (m) Piracicaba nos pontos de coleta, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrao
Ponto1	0,38	0,38	0,23	2,62	1,57	2,11	0,98	1,1	1,5	1,35	2,58	1,53	1,36	(0,77)
Ponto2	0,35	0,3	0,17	2,33	1,38	1,41	0,73	1,29	1,04	1,14	1,5	0,92	1,05	(0,58)
Ponto3	0,8	0,54	1,02	1,09	0,81	0,77	0,76	0,7	0,7	0,72	1,03	2,45	0,95	(0,48)
Ponto4	1,8	1,44	1,12	1,33	1,03	0,81	1	1	0,8	0,9	1,55	2,45	1,27	(0,46)
Media	0,83	0,67	0,64	1,84	1,20	1,28	0,87	1,02	1,01	1,02	1,67	1,84		
Desvio Padrão	(0,68)	(0,53)	(0,50)	(0,75)	(0,34)	(0,63)	(0,14)	(0,25)	(0,36)	(0,28)	(0,65)	(0,75)		

Tabela II – Temperatura da água (°C) nos pontos amostrais do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	27,6	27	27,8	24,2	21,8	21,6	20,1	22,6	23,5	24,8	26	24,6	24,30	(2,39)
Ponto2	25,8	27	28,4	24	21,9	21,6	19,9	23	23,3	24,7	25,9	24	24,13	(2,31)
Ponto3	27,1	28,2	28,6	23,8	21,9	19,7	19,5	23,4	23,8	26	25,9	25,1	24,42	(2,87)
Ponto4	28,7	28	27,2	28,1	22,4	21,6	20,4	23	24,2	27,1	25,9	24,4	25,08	(2,69)
Media	27,3	27,6	28	25	22	21,1	20	23	23,7	25,7	25,9	24,5		
Desvio Padrão	(1,2)	(0,64)	(0,63)	(2,06)	(0,27)	(0,95)	(0,38)	(0,33)	(0,39)	(1,13)	(0,05)	(0,46)		

Tabela III – Penetração de luz (m) na coluna d'água dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostrал	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	0,38	0,28	0,23	1,16	1,57	1,16	0,98	1,1	1	1,35	0,08	0,13	0,79	(0,50)
Ponto2	0,35	0,3	0,17	1,04	1,38	1,41	0,73	1,29	1,04	1,14	0,1	0,1	0,75	(0,50)
Ponto3	0,28	0,36	0,34	0,9	0,54	0,77	0,76	0,7	0,7	0,72	0,12	0,13	0,53	(0,26)
Ponto4	0,28	0,6	0,34	0,84	1,03	0,81	1	1	0,8	0,9	0,13	0,13	0,66	(0,33)
Media	0,32	0,39	0,27	0,99	1,13	1,04	0,87	1,02	0,89	1,02	0,11	0,13		
Desvio Padrão	(0,05)	(0,15)	(0,08)	(0,15)	(0,45)	(0,30)	(0,14)	(0,25)	(0,16)	(0,28)	(0,02)	(0,02)		

Tabela IV – Sólido total suspenso (mg/L) na água dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostrал	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	10	16,6	33,3	10	6,6	6,6	10	13,3	13,3	16,6	36,6	26,6	16,63	(9,71)
Ponto2	20	10	30	16,6	16,6	6,6	13,3	6,6	10	26,6	16,6	16,6	15,79	(6,96)
Ponto3	10	36,6	36,6	13,3	20	10	26,6	10	6,6	16,6	26,6	13,3	18,85	(10,01)
Ponto4	23,3	16,6	26,6	20	10	13,3	20	16,6	16,6	16,6	26,6	33,3	19,96	(6,23)
Media	15,8	20	31,7	15	13,3	9,1	17,5	11,6	11,6	19,1	26,6	22,5		
Desvio Padrão	(6,86)	(11,53)	(4,30)	(4,30)	(6,10)	(3,20)	(7,40)	(4,30)	(4,30)	(5,00)	(8,16)	(9,18)		

Tabela V – Sólido total dissolvido (mg/L) na água dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	52,5	69,4	71,5	74,1	59,3	43,5	46,8	62	63,3	56,9	34,2	34,9	55,70	(12,98)
Ponto2	56,6	61,6	56,5	59,7	41,1	37,2	57,1	55,5	53,4	53,7	30,3	25,1	48,98	(11,76)
Ponto3	34,6	47	52,9	52,4	40,6	37,9	43,4	43,1	63,6	55,7	32	33,2	44,70	(9,46)
Ponto4	34,6	52,1	50,4	57,1	39,4	37,2	42,6	43,1	36,6	53,3	32,1	23,3	41,82	(9,53)
Media	44,6	57,5	57,8	60,8	45,1	39	47,5	51	54,2	54,9	32,2	29,1		
Desvio Padrão	(11,64)	(9,96)	(9,45)	(9,35)	(9,49)	(3,05)	(6,67)	(9,4)	(12,67)	(1,70)	(1,60)	(5,78)		

Tabela VI – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água nos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	34,6	45,7	46,9	48,2	39,8	38,7	30,4	40,8	41,4	37,7	22,6	22,7	37,46	(8,18)
Ponto2	35	41,4	37,2	39,5	26,4	24,8	37,7	36,4	35,4	35	19,8	16,4	32,08	(7,79)
Ponto3	23,1	24,8	35,1	34,5	26,6	25	28,6	28,1	41,7	36,9	21	21,9	28,94	(6,33)
Ponto4	22,5	34,1	33,3	36,1	25,9	24,8	28,3	28,5	36,6	35,2	21,1	15,1	28,46	(6,54)
Media	28,8	36,5	35,1	39,6	29,7	28,3	31,3	33,5	38,8	36,2	21,1	19,0		
Desvio Padrão	(6,93)	(9,15)	(6,06)	(6,11)	(6,76)	(6,92)	(4,4)	(6,21)	(3,24)	(1,31)	(1,12)	(3,8)		

Tabela VII – pH da água nos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	7,17	7,36	6,16	7,13	6,31	6,15	6,2	5,99	6,13	5,82	6,06	5,6	6,34	(0,54)
Ponto2	7,41	7,56	6,11	7,12	6,2	6,14	6,51	5,92	6,26	6,29	6,13	5,61	6,44	(0,58)
Ponto3	7,41	6,99	5,97	7,04	6,75	7,8	6,65	6,09	6,58	6,17	6,43	5,58	6,62	(0,60)
Ponto4	7,26	5,62	6,07	7,59	6,57	6,14	6,87	6,03	6,69	6,05	6,48	5,35	6,39	(0,62)
Media	7,31	6,88	6,08	7,22	6,46	6,56	6,56	6,01	6,42	6,08	6,28	5,54		
Desvio Padrão	(0,12)	(0,87)	(0,08)	(0,25)	(0,25)	(0,83)	(0,28)	(0,07)	(0,26)	(0,20)	(0,21)	(0,12)		

Tabela VIII – Oxigênio dissolvido (mg/L) na água dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	7,08	5,73	6,25	4,96	5,69	4,1	7,01	6,25	5,62	4,4	5,1	5,12	5,61	(0,90)
Ponto2	6,54	6,7	6,48	6,33	7,25	4,5	7,36	7,69	5,18	5,06	4,9	5,1	6,09	(1,05)
Ponto3	6,85	6,62	7,05	7,06	8,21	5,5	7,83	5,02	4,48	4,13	5,9	5,1	6,15	(1,26)
Ponto4	7,07	6,48	6,55	7,61	8,09	4,5	7,71	4,96	4,78	4,14	5,25	5,11	6,02	(1,33)
Media	6,89	6,38	6,58	6,49	7,31	4,65	7,48	5,98	5,02	4,43	5,29	5,11		
Desvio Padrão	(0,25)	(0,44)	(0,33)	(1,14)	(1,16)	(0,59)	(0,36)	(1,28)	(0,49)	(0,43)	(0,43)	(0,01)		

Tabela IX – Teores de carbono orgânico (% PS) no sedimento dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	0,75	0,93	0,49	2,55	1,52	1,04	1,71	7,48	2,72	2,07	2,58	1,88	2,14	(1,76)
Ponto2	1,26	0,84	0,89	1,8	1,65	1,11	1,21	1,67	2,7	1,29	1,49	1,3	1,43	(0,48)
Ponto3	0,62	0,52	1	1,81	1,7	1,14	1,08	1,91	1,47	1,29	1,87	1,42	1,32	(0,45)
Ponto4	0,33	0,12	0,19	0,36	0,46	0,2	0,15	0,41	0,54	0,23	0,62	0,95	0,38	(0,23)
Media	0,74	0,6	0,64	1,63	1,33	0,87	1,04	2,87	1,84	1,22	1,64	1,39		
Desvio Padrão	(0,39)	(0,37)	(0,37)	(0,92)	(0,59)	(0,45)	(0,65)	(3,14)	(1,06)	(0,76)	(0,82)	(0,38)		

Tabela X - Teores de mercúrio total ($\mu\text{g/g}$ p.s.) no sedimento dos pontos de coleta do rio Piracicaba, durante o período amostral.

Ponto Amostr	Período Amostral												Desvio	
	jan/01	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Media	Padrão
Ponto1	0,11	0,16	0,07	0,16	0,14	0,15	0,13	0,12	0,09	0,09	0,06	0,04	0,11	(0,04)
Ponto2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,09	0,12	0,11	0,12	0,1	0,11	0,05	0,05	0,10	(0,03)
Ponto3	0,09	0,07	0,08	0,11	0,13	0,1	0,1	0,11	0,07	0,07	0,03	0,05	0,08	(0,03)
Ponto4	0,07	0,07	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	(0,01)
Media	0,10	0,11	0,08	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,05	0,04		
Desvio Padrão	(0,019)	(0,04)	(0,03)	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,03)	(0,03)	(0,02)	(0,03)	(0,01)	(0,01)		

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)