

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MÁIRA RENATA DIAS BALESTRI

**“AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE *Poecilia reticulata* E
Hypostomus ancistroides POR ELEMENTOS -TRAÇO NA BACIA DO
RIBEIRÃO CAFEZAL (MUNICÍPIO DE ROLÂNDIA - PR)”**

DISSERTAÇÃO

LONDRINA

2015

MÁIRA RENATA DIAS BALESTRI

**“AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE *Poecilia reticulata* E
Hypostomus ancistroides POR ELEMENTOS -TRAÇO NA BACIA DO
RIBEIRÃO CAFEZAL (MUNICÍPIO DE ROLÂNDIA - PR)”**

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana e Londrina, como requisito parcial para obtenção de título de “Mestre em Engenharia Ambiental”.

Orientador: Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Alessandra Furtado da Silva.

LONDRINA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

B184a Balestri, Máira Renata Dias

“Avaliação da contaminação de *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* por elementos – traço na Bacia do Ribeirão Cafezal (Município de Rolândia – PR)” / Máira Renata Dias Balestri. – Londrina: [s.n.], 2015.
37 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Alessandra Furtado da Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2015.

Bibliografia: f. 34-37.

1. Água - Poluição. 2. Peixe – Efeito da Poluição da Água. 3. Água - Teor de Elementos Traços. I. Oliveira, Edson Fontes de, orient. II. Silva, Alessandra Furtado, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

**“AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE *Poecilia reticulata* E *Hypostomus ancistroides* POR ELEMENTOS -TRAÇO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAFEZAL
(MUNICÍPIO DE ROLÂNDIA - PR)”**

por

Máira Renata Dias Balestri

Dissertação de mestrado apresentada no dia 08/09/2015 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira - Orientador
(UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná)

Prof. Dr. Cláudio Henrique Zawadzki - Membro Titular
(UEM - Universidade Estadual de Maringá)

Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Ueda- Membro Titular
(UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná)

Prof. Dr Edson Fontes de Oliveira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Para a versão impressa e digital inserir a frase a seguir:

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental

Dedico esta, como as demais conquistas em minha vida aos meus amados pais, Osnirido e Rosária (Que falta vocês me fazem), que sempre incentivaram minha educação formal.

E à minha sobrinha Marcela, que me mostra todos os dias que a vida mesmo em momentos difíceis continua valendo a pena.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu irmão Marcelo, pelo incentivo e por sempre estar presente nos momentos que precisei de ajuda no decorrer do curso, à minha cunhada Cláudia por me apoiar e incentivar a seguir em frente.

Ao meu irmão Rodrigo, pelo incentivo, dicas, e pelos auxílios essenciais para a conclusão desse trabalho, à minha cunhada Aline pelo apoio e por me ajudar com sua experiência em análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira, pelos ensinamentos, pelos conselhos, e por acreditar em mim sendo meu orientador, contribuindo ativamente em todos os momentos na realização desse trabalho.

À Profa. Dra. Alessandra Furtado da Silva, pela coorientação, contribuindo com sua experiência na realização desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental, por contribuírem em minha formação acadêmica.

Ao amigo Paulo Castro pelas contribuições na produção do mapa utilizado no presente trabalho.

Ao pesquisador Dr. Adilson de Oliveira Junior, do Laboratório de Fertilidade do Solo e Tecido Vegetal - Embrapa Soja, por autorizar que minhas análises fossem realizadas no laboratório e a técnica Mariana por me orientar em cada etapa no momento das análises.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia Teórica e Aplicada (LETA): Nathalia e Bruno, pela amizade e colaborações para o bom andamento do projeto, ao Lucas, Dominique, Victor, Loueverton, Thiego, Gabriel, Letícia e Bianca, pela ajuda nas coletas. E ao Laboratório de Monitoramento Ambiental (LAMA): Newmar e Nelissa.

À Luiza Teodoro Leite, pela amizade e contribuições ativas nas coletas e nos procedimentos laboratoriais que foram essenciais para elaboração dessa dissertação.

Aos amigos conquistados durante o curso, pelos bons momentos que passamos juntos e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o andamento e conclusão desse trabalho.

Muito obrigado!!

BALESTRI, Máira Renata Dias. Avaliação da contaminação de *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* por elementos-traço na bacia do Ribeirão Cafezal (Município de Rolândia – PR). 2015. 37f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana e Londrina. Londrina, 2015.

RESUMO

A qualidade da água é um fator importante para o bem-estar do ser humano, e equilíbrio dos ecossistemas naturais. Com o aumento populacional e a consequente industrialização, se intensificou a produção de esgoto doméstico e de efluentes industriais, os quais podem conter metais e acentuar a poluição ambiental. Alguns elementos-traço são considerados essenciais para o desenvolvimento e manutenção dos organismos, porém, se forem ingeridos em concentrações acima das recomendadas, podem ser tóxicos. O objetivo desse estudo foi avaliar o grau de contaminação de duas espécies de peixes (*Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides*) abundantes do Ribeirão Cafezal (Rolândia - PR) pelos elementos Zn, Cd, Cr e Pb. A coleta dos peixes foi realizada em três pontos ao longo do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal, utilizando os métodos de pesca elétrica e manual, com esforço amostral de 40 min para cada método. Para a detecção dos elementos-traço no material coletado, as amostras foram devidamente preparadas para emprego da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). As concentrações apresentadas pelos indivíduos da espécie *Poecilia reticulata* (pontos 1 e 2) amostrados do ribeirão foram: Zn (107,63; 91,89 mg/kg) , Cd (0,12; 0,42 mg/kg), Cr (2,17; 4,96 mg/kg) e Pb (0,71; 0,44 mg/kg); enquanto que para a espécie *Hypostomus ancistroides* (pontos 2 e 3) foram: Zn (93,11; 76,97 mg/kg), Cd (2,22; 0,10 mg/kg), Cr (16,05; 2,23 mg/kg) e Pb (2,83; não determinado mg/kg). Todos os valores estão acima dos limites permitidos pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Não houve diferenças significativas nas concentrações dos metais entre os pontos de amostragem avaliados. Como se trata de um Ribeirão onde as pessoas utilizam a água para recreação e se alimentam dos peixes que colonizam o local, é preciso continuar a atividade de monitoramento, bem como realizar análises sistemáticas com diferentes espécies de peixes, água e sedimento.

Palavras-chave: Peixes neotropicais. Metais. Ecotoxicidade. Cyprinodontiformes. Siluriformes. Bacia do Rio Tibagi.

BALESTRI, Maira Renata Dias. Contamination evaluation of *Poecilia reticulata* and *Hypostomus ancistroides* for trace elements in Ribeirão Basin Cafezal (City of Rolândia-PR). 2015. 37f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana e Londrina. Londrina, 2015.

ABSTRACT

Some trace elements are considered essential for the development and maintenance of living organisms. However, if those trace elements are ingested in higher concentrations than recommended can be toxic. The aim of this study was to evaluate the degree of contamination for two abundant species of fish from Ribeirão Cafezal (*Poecilia reticulata* and *Hypostomus ancistroides*) with Zn, Cd, Cr and Pb elements. The fish collection was performed at three points along the upper stretch of the basin of Ribeirão Cafezal using electric and manual fishing methods, with sampling effort of 40 minutes for each method. In order to detect the trace elements in the collected material, the samples were properly prepared to the Inductively Coupled Plasma by Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES). The concentrations presented by the species *Poecilia reticulata* in the two first points of the stream were: Zn (107.63; 91.89 mg / kg), Cd (0.12, 0.42 mg / kg), Cr (2.17; 4.96 mg / kg) and Pb (0.71, 0.44 mg / kg), sampled in 1 and 2 respectively. And individuals of *Hypostomus ancistroides* species sampled in points 2 and 3 had the following values: Zn (93.11; 76.97 mg / kg), Cd (2.22, 0.10 mg / kg), Cr (16.05; 2.23 mg / kg) and Pb (2.83; nd mg / kg). All values are higher than the limits allowed by ANVISA. There were no significant differences in the metals concentrations among the sampling points assessed. In consideration for Ribeirão Cafezal being a stream where people use water for recreation and feed on the existing fish, we need to continue monitoring it, as well as performing systematic analysis with different species of fish, sediment and water.

Keywords: Neotropical fish. Metals. Ecotoxicity. Cyprinodontiformes. Siluriformes. Tibagi Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta ao longo do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.....	13
Figura 2 – Fotografias dos pontos de coleta ao longo do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.....	14
Figura 3 – (A) <i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1859; (B) <i>Hypostomus ancistroides</i> (Ihering, 1911)	15
Figura 4 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de <i>Poecilia reticulata</i> coletadas nos pontos 1 e 2 do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR).....	22
Figura 5 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de <i>Hypostomus ancistroides</i> coletadas nos pontos 2 e 3 no Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR).....	23
Figura 6 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de <i>Poecilia reticulata</i> e <i>Hypostomus ancistroides</i> coletadas no ponto 2 do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR).....	24
Figura 7 – Distribuição dos centroides dos três pontos de amostragem ao longo dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP 1 e ACP 2), aplicada sobre a matriz de correlação de Pearson formada pelas concentrações dos elementos-traço em <i>Poecilia reticulata</i> e <i>Hypostomus ancistroides</i> e pelos parâmetros limnológicos e da estrutura da assembleia de peixes do Ribeirão Cafezal. As setas indicam distância dos centroides do ponto central do espaço multivariado. Os escores dos parâmetros foram multiplicados por 10 para otimizar a visualização das suas distribuições no espaço multivariado	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros limnológicos analisados nos pontos de coleta no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR)	199
Tabela 2. Número de indivíduos e parâmetros da estrutura da assembleia de peixes (riqueza de espécies, equitabilidade, índices de diversidade de Shannon-Wiener e de Simpson) dos pontos amostrados no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.	20
Tabela 3. Concentrações de elementos-traço detectados em amostras de <i>Poecilia reticulata</i> e <i>Hypostomus ancistroides</i> no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR).....	21
Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre parâmetros ecológicos da assembleia de peixes (riqueza, equitabilidade e índices de diversidade) e parâmetros limnológicos (concentrações de Zn, Cd, Cr e Pb em amostras de <i>Poecilia. reticulata</i> e <i>Hypostomus. ancistroides</i> , pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água) do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal com os dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP), aplicada sobre a matriz de correlação formada pelos três pontos de amostragem analisados. No final da tabela estão descritos os autovalores dos eixos 1 e 2 da ACP, os autovalores preditos pelo modelo de <i>broken stick</i> e a proporção da variabilidade explicada. Os coeficientes com valores em negrito foram retidos para interpretação por apresentarem maiores correlações com os eixos significativos da ACP.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1. ÁREA DE ESTUDO	12
2.2. PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS E ESTRUTURA DA ASSEMBLEIA DE PEIXES LOCAL.....	14
2.3. COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PEIXES.....	16
2.4. ELEMENTOS-TRAÇO.....	17
2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	17
3. RESULTADOS	19
4. DISCUSSÃO	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

A utilização indiscriminada dos recursos naturais nos dias atuais, bem como o descarte incorreto dos resíduos industriais e do esgoto doméstico, constituem fatores que contribuem para a rápida deterioração ambiental (SILVA, 2013). A população humana consome os recursos naturais muito mais rapidamente do que são regenerados pela biosfera, ao mesmo tempo em que libera elevada quantidade de rejeitos. Desta forma, o ambiente, na maior parte das regiões, sofre alterações que muitas vezes leva à sua degradação (MARENGONI, 2013). Nesse contexto, quaisquer alterações físicas, químicas ou biológicas que produzam modificações no ciclo biológico natural, interferindo na composição e manutenção da flora e fauna do meio, são chamadas de poluição (AGUIAR *et al.*, 2002).

A qualidade da água é um fator determinante para o bem-estar do ser humano, sendo sua poluição um dos impactos ambientais mais graves, pois provoca mudanças nas características químicas, físicas e biológicas dos corpos hídricos, interferindo na sua qualidade e impossibilitando o seu consumo (AGUIAR *et al.*, 2002). A diminuição da qualidade do recurso hídrico também contribui para a degradação do ecossistema como um todo, refletindo na qualidade de vida dos organismos ali presentes (POMPEO *et al.*, 2015).

O ambiente aquático está suscetível à ação de contaminantes atmosféricos que ocorre por deposição, além de contaminantes terrestres que escoam por ocasião das chuvas até os corpos d'água (DOMINGOS, 2006), ou ainda por poluentes diretamente lançados sem prévio tratamento. A poluição química de natureza orgânica ou inorgânica pode ser decorrente dos despejos domésticos, industriais ou agrícolas. A toxicidade de um agente químico depende da sua interação com o organismo, da via de absorção, da dose ingerida, do tempo de exposição e da sua persistência no ambiente. A forma química ou física que esse elemento se apresenta também é um fator importante em relação à sua toxicidade.

Os elementos-traço são definidos como aqueles que estão no ambiente em concentrações médias menores que 100 µg/g, comumente constituintes naturais, estando presentes nos solos, águas e nos próprios organismos vivos (IUPAC, 2014).

Nesse contexto, a análise dos elementos-traço nos ambientes aquáticos, também reconhecidos como metais pesados, têm se revelado importante, tendo em vista seu potencial de degradação e efeito tóxico sobre os organismos.

Alguns elementos-traço podem ser bioacumuladores ou biomagnificadores, podendo ser transmitidos ao longo da cadeia trófica, sendo responsáveis pela contaminação de diferentes espécies da biota (BAIRD; CANN, 2011). Dentre elementos-traço que podem apresentar esses efeitos tóxicos diretos sobre os organismos estão o Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Estanho (Sn), dentre outros (TAVARES *et al.*, 1992; BAIRD; CANN, 2011; REPULA *et al.*, 2012).

Caso esses elementos interajam com macromoléculas e com receptores existentes na membrana celular e sejam bioacumulados, poderão interferir no metabolismo dos seres vivos. Esses processos são responsáveis por transformar concentrações consideradas normais em concentrações tóxicas para diversas espécies e para o homem. Os peixes, por exemplo, podem ser armazenadores dessas substâncias nocivas, sendo utilizados como indicadores de contaminação para avaliar a qualidade do ambiente aquático em que se encontram (TAVARES *et al.*, 1992; REPULA *et al.*, 2012).

Embora alguns elementos-traço sejam essenciais à vida, e as quantidades necessárias para a manutenção saudável do ciclo vital sejam normalmente obtidas do ambiente circunvizinho ou pela dieta, outros elementos não exercem funções claramente reconhecidas no ciclo biológico (BRUNO, 2005). Alguns elementos-traço, por exemplo, são muito tóxicos e sua presença em efluentes prejudica a maioria dos tratamentos biológicos existentes (AGUIAR *et al.*, 2002). Esses elementos podem ocorrer no ambiente aquático sob várias formas: complexos solúveis orgânicos ou inorgânicos, ficando retidos no sedimento, em solução na forma iônica ou incorporados à biota (AGUIAR *et al.*, 2002). Portanto, a contaminação aquática por elementos-traço afeta diretamente o ciclo geoquímico dos elementos e a qualidade desse ecossistema.

Dessa forma, diante da pressão urbana exercida sobre os ecossistemas aquáticos, o objetivo do presente estudo foi avaliar o grau de contaminação de peixes das espécies *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* coletados no Ribeirão Cafezal (Município de Rolândia – PR), pelos elementos-traço Zinco (Zn), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) e, as possíveis interações com as

estruturas limnológica do ambiente aquático e da assembleia (*sensu* FAUTH *et al.*, 1996), de peixes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Cafezal nasce na cidade de Rolândia, Estado do Paraná e é um dos responsáveis pelo abastecimento de água da cidade de Londrina (Barros *et al.* 2008), a qual superou os 500.000 habitantes em 2010 (IBGE, 2010).

De acordo com os critérios de qualidade estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005), o Ribeirão Cafezal pertence à Classe II – Águas Doces. Sua bacia corta a porção sul do município de Londrina, estendendo-se por aproximadamente 72 km, delineando um relevo mais acidentado em relação ao restante da bacia e concentrando maior número de tributários a jusante da zona urbana, delineando um relevo mais acidentado em relação ao restante da bacia (BARROS *et al.*, 2008).

A formação geológica da bacia do Cafezal é bastante homogênea, com origem basáltica e predomínio dos solos tipo Latossolos, Argissolos e Nitossolos (EMBRAPA, 2001). Como apresenta solos com grande fertilidade, favorece a exploração agrícola, sendo indicadas lavouras de ciclo curto e longo, podendo haver dois cultivos ao longo do ano. Estudos mostram que se a atividade agrícola extrapolar o limite do potencial de uso apropriado em função das características do solo, pode ocorrer erosões aceleradas, as quais ocorrem no Ribeirão Cafezal, e deficiência nutricional, dentre outros problemas que podem ocasionar sérios impactos ambientais (SILVA, 2006).

As amostragens foram realizadas em três pontos de coleta ao longo do trecho superior do Ribeirão Cafezal, no Município de Rolândia (PR; Figura 1). Para a escolha dos pontos levou-se em consideração a proximidade com a zona urbana do Município supracitado, bem como a acessibilidade. O Ponto 1 (Figura 2A) se localiza próximo à nascente do Ribeirão na zona urbana da cidade de Rolândia. Trata-se de um trecho arborizado, porém com elevada densidade da espécie exótica (*Pinnus* sp) no entorno em meio a várias trilhas de deslocamento de pedestres e motocicletas. Nesse ponto há registro de deposição frequente de resíduos da construção civil e significativo escoamento de águas pluviais, associados com as áreas de erosão e

assoreamento detectadas ao longo desse trecho. O Ponto 2 (Figura 2B) está localizado em área adjacente à cidade de Rolândia, às margens de uma rodovia estadual com intenso fluxo de veículos, revelando-se intensamente assoreado e delimitado por uma floresta ciliar desestruturada. O Ponto 3 (Figura 2C) está localizado em uma área rural no município de Rolândia, inserida em uma matriz predominantemente agrícola, com presença de floresta ciliar e um longo trecho de corredeira.

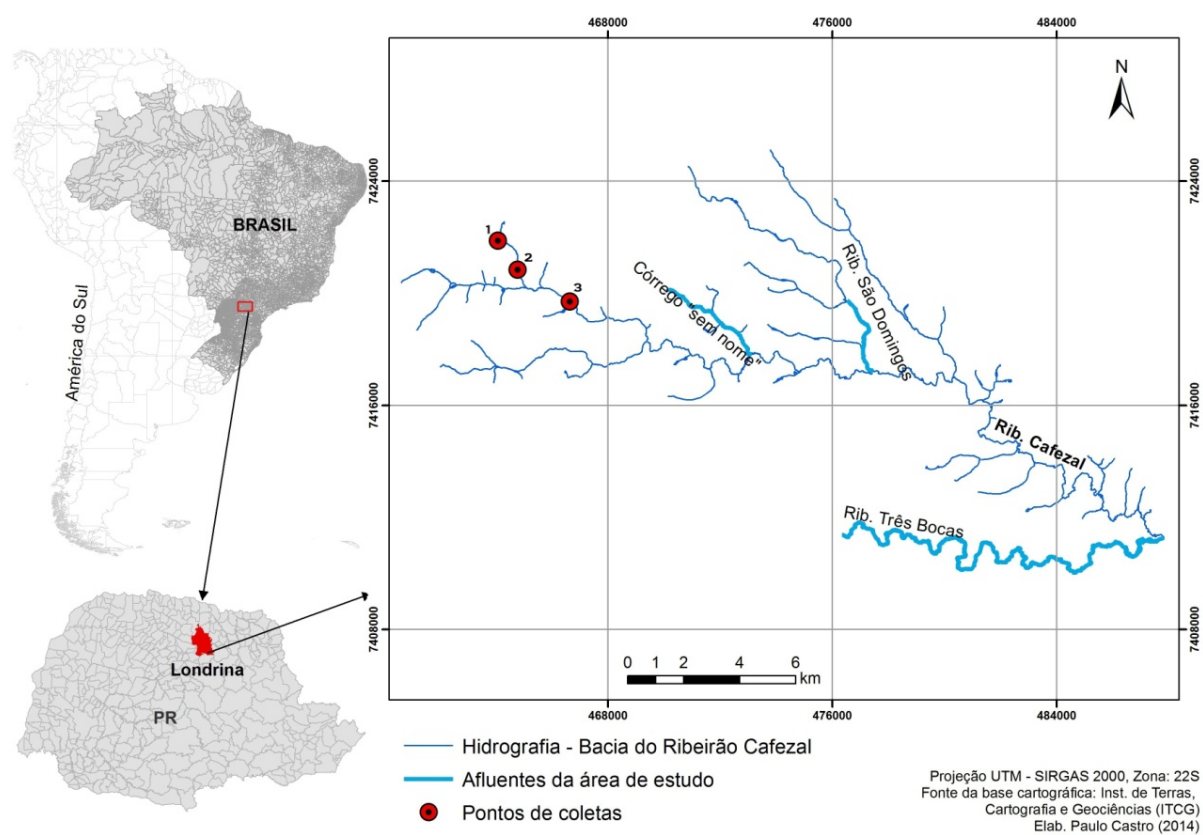


Figura 1 – Localização dos pontos de coleta ao longo do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.

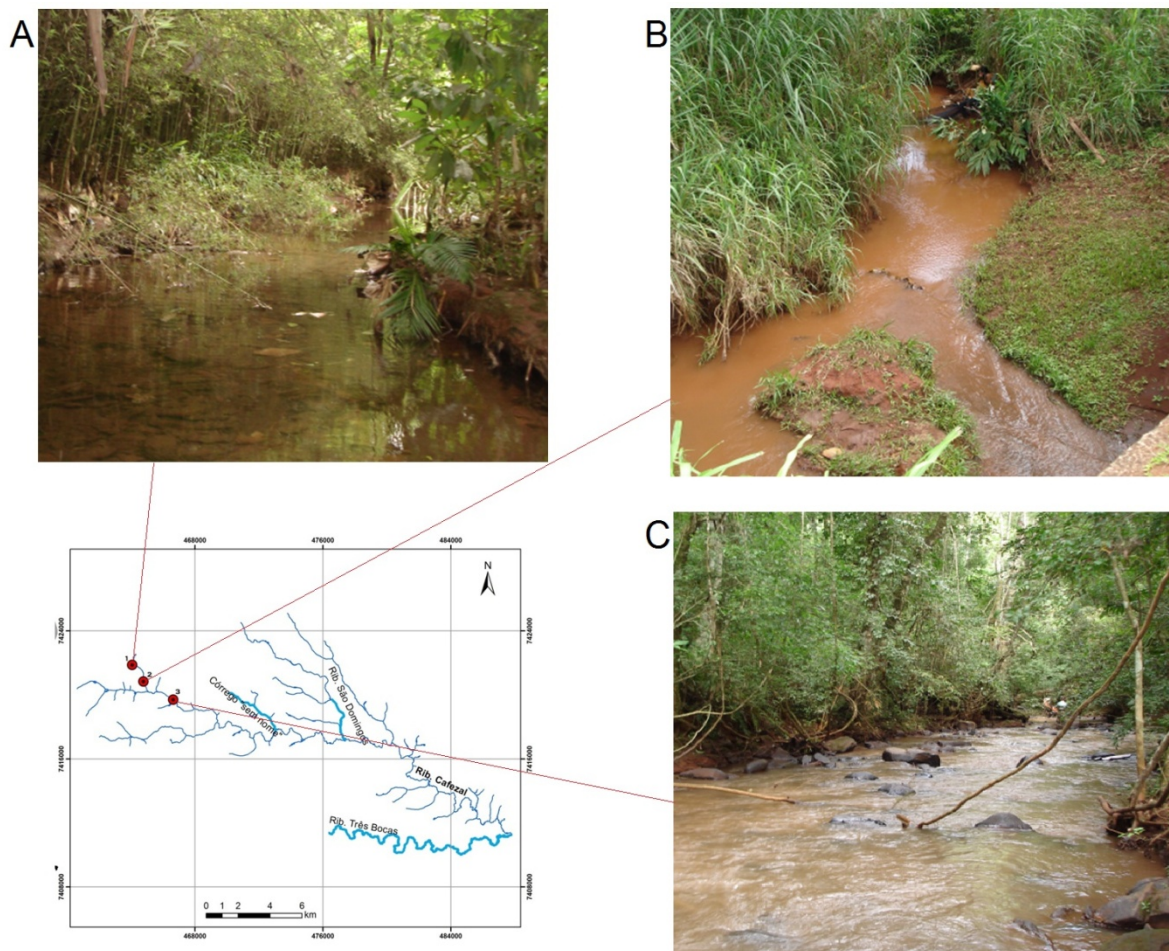


Figura 2 – Fotografias dos pontos de coleta ao longo do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.

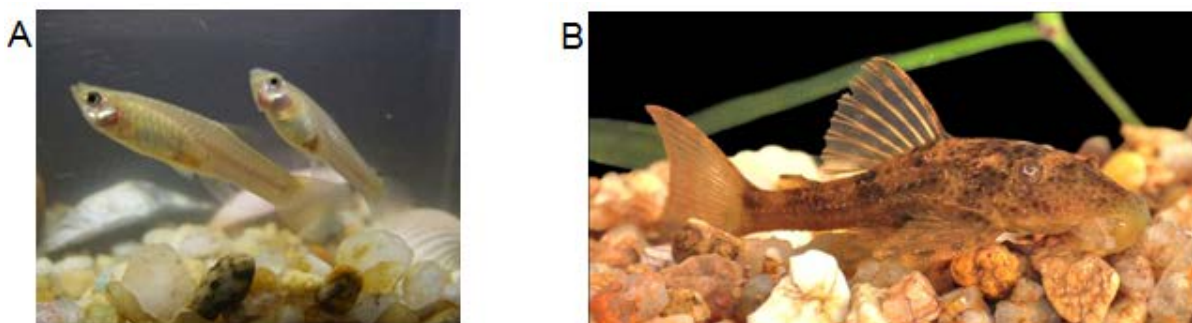
Fonte: Autoria própria.

2.2. PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS E ESTRUTURA DA ASSEMBLEIA DE PEIXES LOCAL

Foram realizadas duas amostragens de água para a análise dos parâmetros limnológicos, juntamente com a coleta dos indivíduos das espécies de peixes estudadas para análise de contaminação por elementos-traço, sendo uma na estação chuvosa (março) e outra na estação seca (junho) de 2014. Quatro parâmetros limnológicos foram aferidos nos pontos de coleta: temperatura da água (termômetro, Politem, modelo POL-60), pH (pHmetro, TECNOPON Modelo MPA210P), turbidez (turbidímetro TECNOPON, Modelo TB 1000P), oxigênio

dissolvido (oxímetro, Politerm, modelo POL-60) e condutividade elétrica (condutivímetro portátil INSTRUTHERM, Modelo CD-860).

As espécies de peixes estudadas pertencem às ordens Ciprinodontiformes (lebiste, *Poecilia reticulata* Peters, 1859; Fig. 3A; coletadas nos pontos 1 e 2), e Siluriformes (cascudo, *Hypostomus ancistroides* (Ihering, 1911); Fig. 3B; coletadas nos pontos 2 e 3). As duas espécies foram selecionadas para avaliação de contaminação por elementos-traço na bacia do Ribeirão Cafezal por apresentarem, principalmente, maior abundância nesse trecho da bacia (GAMBAROTTO, 2014).



**Figura 3 – (A) *Poecilia reticulata* Peters, 1859; (B) *Hypostomus ancistroides* (Ihering, 1911).
Fonte: Laboratório de Ecologia Teórica e Aplicada – LETA – UTFPR/Câmpus Londrina.**

A captura dos peixes foi realizada utilizando pesca manual, com redinha e puçá, e pesca elétrica, com gerador portátil de corrente alternada, 2,5 kW, 400 V, e aplicando esforço amostral de 40 min para cada método. Após a coleta, os indivíduos foram colocados em sacos plásticos esterilizados e conservados em caixa térmica com gelo até o retorno ao laboratório.

No laboratório, os indivíduos foram identificados por meio de chaves de identificação (GRAÇA; PAVANELLI, 2007) e contados para avaliação dos seguintes parâmetros da estrutura da assembleia de peixes (MAGURRAN, 2013): abundância (N; número de indivíduos de uma espécie em uma amostra), riqueza de espécies (S; número de espécies diferentes em uma amostra), equitabilidade (E; equitabilidade na distribuição de indivíduos entre as espécies de uma amostra; $E = H'/\log S$), índices de diversidade de Shannon-Wiener (H' ; mede o quanto uma amostra é mais diversa que outra a partir da seguinte fórmula: $H' = -\sum (n_i/N) \cdot \log(n_i/N)$, na qual n_i = abundância relativa da espécie i e N = abundância total das espécies amostradas), e

de Simpson (D; mede a probabilidade de um dois indivíduos amostrados ao acaso pertencerem à mesma espécie; $D = 1 - \sum p_i^2$). Após a identificação e contagem dos indivíduos, os mesmos foram congelados em refrigerador para preservação das amostras.

2.3. COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PEIXES

O número de indivíduos coletados para análise de contaminação por elementos-traço foi relativamente baixo, o que conduziu à análise dos indivíduos inteiros. Nessa análise os espécimes foram inicialmente secos inteiros em estufa a 60 °C durante 72 h e macerados em um gral de porcelana. Posteriormente, as amostras foram peneiradas usando malha de poliéster de 75 µm de diâmetro para obtenção de uma amostra com tamanho homogêneo de partícula. As amostras foram digeridas em forno de microondas (CEM, Matthews, NC, EUA, modelo Mars Xpress), a partir de aproximadamente 0,25 g de amostra pesada em balança analítica e transferida para o tubo de teflon do digestor, com adição de 6 mL de ácido nítrico (HNO₃) suprapuro (Sigma - Aldrich) e 2 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂, 30% v/v). Após 30 minutos de repouso, os tubos foram tampados e colocados no digestor. As condições de digestão em microondas foram: 10 minutos de rampa (aquecimento), manutenção da temperatura em 170°C (por 15 minutos) com potência de 1600 w e resfriamento por 20 minutos até temperatura ambiente (protocolo executado de acordo com o fabricante do microondas).

Após o processo de digestão, as amostras foram transferidas para tubos de polipropileno, completando o volume final de 15 mL com água deionizada para análise no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado - ICP-OES (Perkin Elmer, Optima 8300DV EUA). As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Tecido Vegetal da Embrapa Soja (Londrina – PR).

2.4. ELEMENTOS-TRAÇO

Os elementos-traço analisados no presente estudo (mg/kg) foram Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Cromo (Cr) e Chumbo (Pb). As concentrações especificadas pela ANVISA (Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965 e Resolução nº 42 de 29 de agosto de 2013) foram adotadas como parâmetros regulamentares de limites de tolerância dos elementos-traço nas amostras analisadas.

2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As possíveis diferenças estatísticas entre os parâmetros limnológicos foram analisadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, aplicando o procedimento de comparação múltipla de amostras independentes (ZAR, 1999). Por outro lado, as diferenças estatísticas entre as concentrações médias dos elementos-traço analisados nas amostras dos espécimes de peixes estudados entre si e entre os diferentes pontos de coleta foram testadas pelo teste *t* de *Student* para amostras independentes (ZAR, 1999). Ambas as análises foram realizadas no software STATISTICA, 7.1 (STATSOFT, 2005). As figuras foram elaboradas no software GraphPad Prism 6 (GraphPad Software Inc., La Jolla, California, USA). O nível de significância estatística utilizado para todos os testes foi de 5%.

A Análise de Componentes Principais (ACP; JOHNSON; WICHERN, 1998) foi aplicada para avaliar a diversificação no espaço multivariado dos pontos de amostragem quando à contaminação pelos elementos-traço analisados (Zn, Cd, Cr e Pb), aos parâmetros limnológicos do trecho da bacia estudado (temperatura da água, pH, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica) e às características estruturais da assembleia de peixes (riqueza de espécies, equitabilidade e índices de diversidade de Shannon-Wiener e de Simpson).

A ACP foi aplicada sobre a matriz de correlação de Pearson formada pelos dados de contaminação das amostras de peixes, parâmetros limnológicos e da estrutura na assembleia de peixes para os três pontos de coleta, utilizando o software PC-Ord 5 (MCCUNNE; MEFFORD, 1999). A seleção dos eixos da ACP

para interpretação foi realizada de acordo com o modelo *broken stick* (JACKSON, 1993), o qual cria uma distribuição nula de autovalores e a compara com o autovalor observado. Somente autovalores maiores do que aqueles esperados ao acaso foram retidos para interpretação, ou seja, indicando eixos com padrões significativamente diferentes daqueles tipicamente aleatórios.

3. RESULTADOS

O trecho superior da bacia Ribeirão Cafezal analisado não revelou diferenças estatísticas significativas entre os pontos estudados. Entretanto a temperatura média e a turbidez da água se apresentam maiores no ponto 2 e menores no ponto 1 (Tabela 1). Com relação ao pH, o trecho apresentou leve alcalinidade ($>8,0$), com maiores concentrações no ponto 3. As concentrações de oxigênio dissolvido estiveram dentro do padrão aceitável para um corpo hídrico Classe II ($>5,0$ mg/L) nos três pontos, bem como a condutividade elétrica ($<0,2$ mS/cm), que apresentou maiores valores nos pontos 1 e 2 da bacia (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros limnológico analisados nos pontos de coleta no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR).

Pontos de coleta	PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS				
	Temperatura Água (T°C)	pH	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Condutividade Elétrica (mS/cm)
P1	19,96±3,22	8,01±1,06	3,45±5,05	8,24±0,72	0,101±0,003
P2	21,94±1,90	8,02±0,92	43,84±33,50	8,22±1,06	0,096±0,008
P3	20,59±3,40	8,57±0,98	17,47±5,60	7,77±1,88	0,084±0,005

Dados foram apresentados em média ± desvio padrão.

O Ponto 1, localizado próximo à nascente e inserido na zona urbana da cidade de Rolândia – PR apresentou dominância total com a ocorrência exclusiva de *P. reticulata* (624 indivíduos; Tabela 2). Por outro lado, o Ponto 3, localizado na zona rural e cercado por vegetação ripária, a despeito de registrar o mesmo número de espécies do Ponto 2, revelou maior equitabilidade, ou seja, distribuição mais equilibrada do número de indivíduos entre as espécies, o que lhe conferiu maiores índices de diversidades.

Tabela 2 - Número de indivíduos e parâmetros da estrutura da assembleia de peixes (riqueza de espécies, equitabilidade, índices de diversidade de Shannon-Wiener e de Simpson) dos pontos amostrados no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal.

Espécies	Pontos de coleta		
	P1	P2	P3
<i>Poecilia reticulata</i>	624	223	-
<i>Hypostomus ancistroides</i>	-	26	16
<i>Astyanax aff. Paranae</i>	-	16	-
<i>Astyanax bockmanni</i>	-	3	-
<i>Cyprinus carpio</i>	-	4	-
<i>Hoplias sp</i>	-	2	-
<i>Hypostomus nigromaculatus</i>	-	4	41
<i>Imparfinis borodini</i>	-	1	-
<i>Imparfinis mirini</i>	-	54	24
<i>Imparfinis sp</i>	-	-	1
<i>Rhandia quelen</i>	-	11	9
<i>Trichomycterus sp</i>	-	1	3
<i>Trichomycterus diabolus</i>	-	-	1
<i>Rineloricaria pentamaculata</i>	-	-	2
<i>Neoplecostomus yapo</i>	-	-	48
<i>Hypostomus sp</i>	-	-	7
<i>Gymnotus inaequilabiatus</i>	-	-	1
Riqueza (S)	1	11	11
Equitabilidade (E)	0	0,51	0,75
Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H')	0	1,22	1,81
Índice de Diversidade de Simpson (D)	0	0,54	0,79

Ao todo foram coletados cerca de 150 indivíduos de *Poecilia. reticulata*, e cerca de 30 indivíduos de *Hypostomus. ancistroides*.

Os resultados revelaram que concentrações dos elementos-traço Zn, Cd, Cr e Pb estavam acima dos valores permitidos pela ANVISA em praticamente todas as amostras analisadas de ambas as espécies, considerando as médias e desvios-padrões (Tabela 3).

Tabela 3 - Concentrações de elementos-traço detectados em amostras de *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* no trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR)

Elemento-traço (mg/kg)	<i>P.</i> <i>reticulata</i> (P1)	<i>P.</i> <i>reticulata</i> (P2)	<i>H.</i> <i>ancistroides</i> (P2)	<i>H.</i> <i>ancistroides</i> (P3)	Limites de concentração ANVISA (mg/kg)
Zn	107,63±19,24	91,89±2,02	93,11±8,08	76,97±1,34	50,00
Cd	0,12±0,06	0,42±0,01	2,22±0,72	0,10±0,01	0,05
Cr	2,17±0,39	4,96±0,08	16,05±3,01	2,23±0,06	0,10
Pb	0,71±0,03	0,44±0,10	2,83±1,93	n.d.*	0,30

*n.d.: não determinado.

Os dados foram apresentados em média ± desvio padrão; P1, P2 e P3 são os pontos de coleta.

As concentrações dos elementos-traço analisados no presente estudo revelaram diferenças significativas entre os pontos analisados ao longo do Ribeirão Cafezal (Figuras 4 e 5). *P. reticulata* demonstrou médias expressivamente maiores da concentração de Cr ($t = -11,92$; $p < 0,01$) e Cd ($t = -11,92$; $p < 0,01$) no ponto 2 e o inverso foi observado para Pb ($t = 4,24$; $p = 0,01$) (Tabela 3 e Figura 4). No que se refere à *H. ancistroides*, as concentrações médias foram maiores no ponto 2 em relação ao ponto 3, para o Zn ($t = 3,41$; $p = 0,02$), Cd ($t = 5,10$; $p < 0,01$) e Cr ($t = 7,94$; $p < 0,01$) (Tabela 3 e Figura 5).

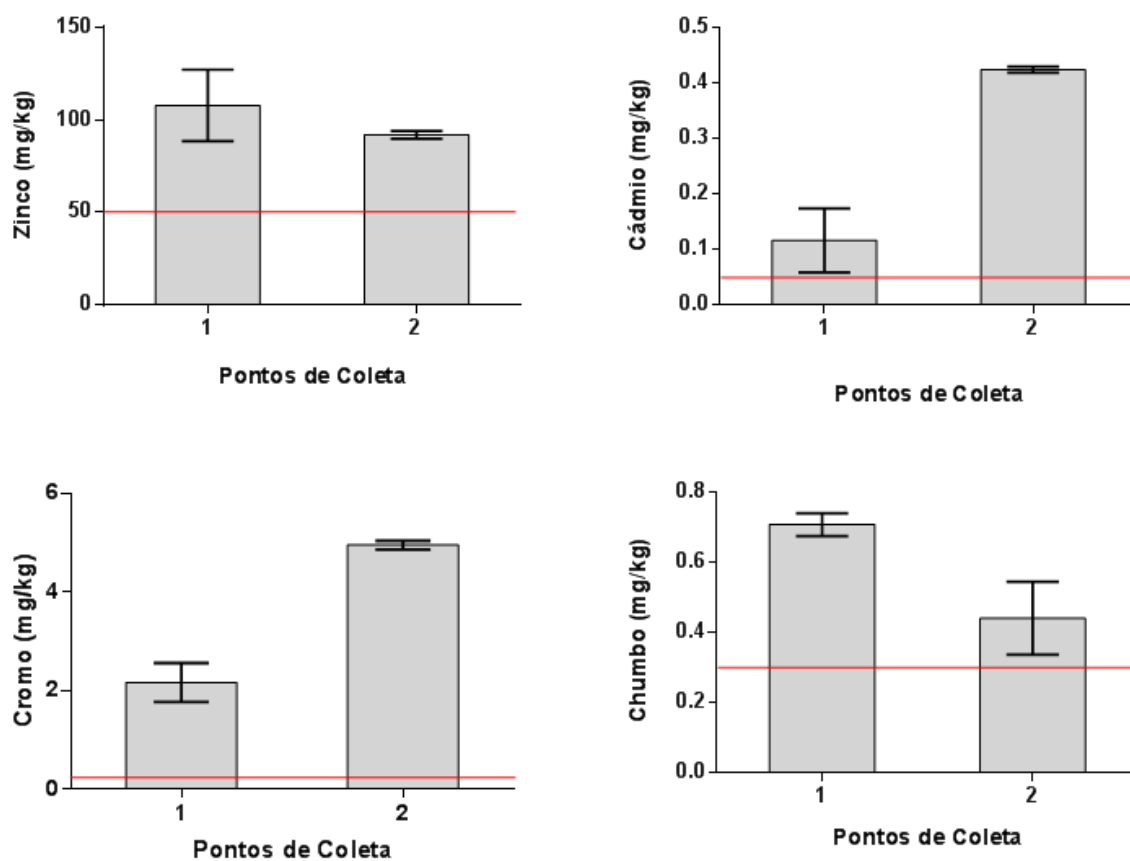


Figura 4 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de *Poecilia reticulata* coletadas nos pontos 1 e 2 do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR). A linha em vermelho indica os valores máximos permitidos pela ANVISA (mg/kg). (Zn 50,00; Cd 0,05; Cr 0,10; Pb 0,30).

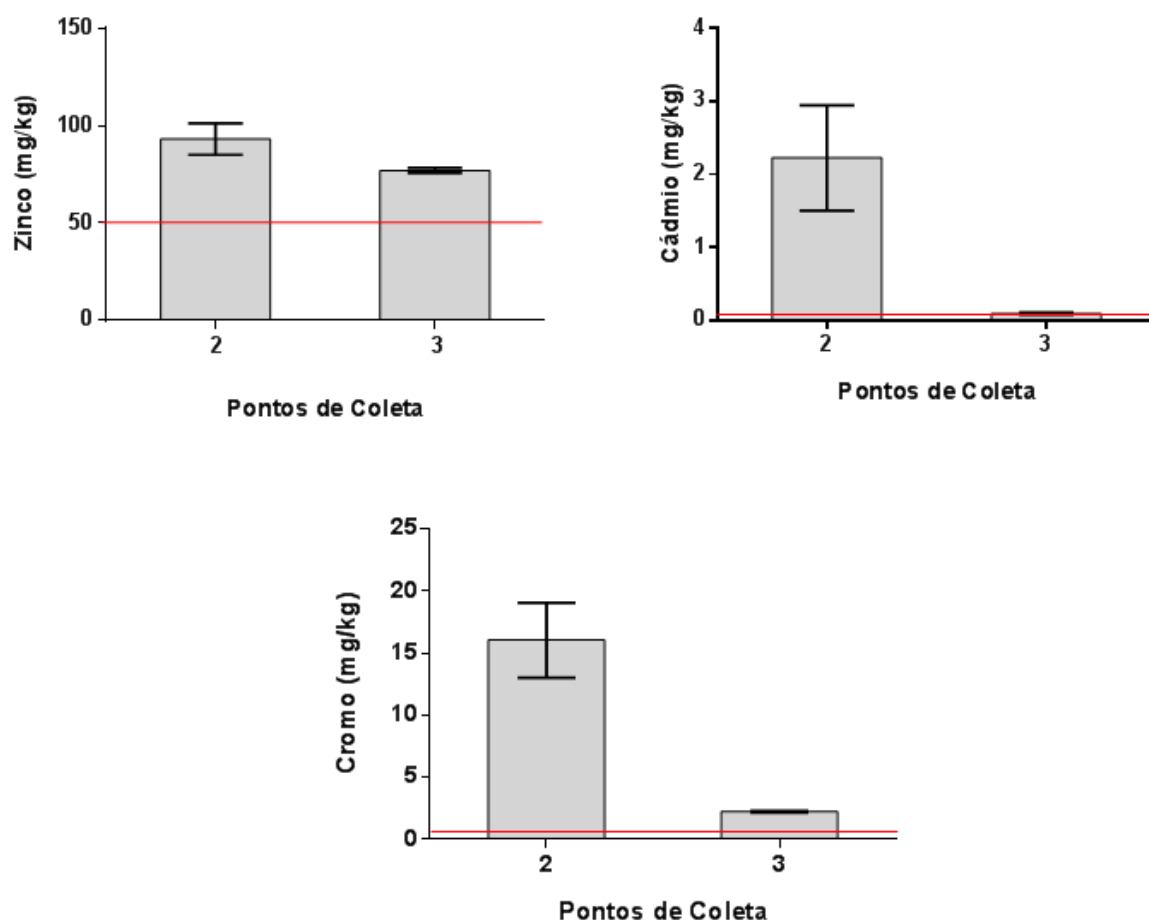


Figura 5 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de *Hypostomus ancistroides* coletadas nos pontos 2 e 3 no Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR). A linha em vermelho indica os valores máximos permitidos pela ANVISA (mg/kg). (Zn 50,00; Cd 0,05; Cr 0,10).

Quando às concentrações médias dos elementos-traço foram comparadas entre as espécies no ponto 2, *H. ancistroides* apresentou concentrações de Cd ($t = 4,31$; $p = 0,01$) e Cr ($t = -6,37$; $p < 0,01$) significativamente maiores do que *P. reticulata*, enquanto para Zn e Pb não foram significativas ($t = -0,25$; $p = 0,81$ e $t = -2,14$; $p = 0,09$, respectivamente; Figura 6). Cabe ressaltar que as concentrações detectadas para as duas espécies estavam acima dos valores máximos permitidos pela ANVISA.

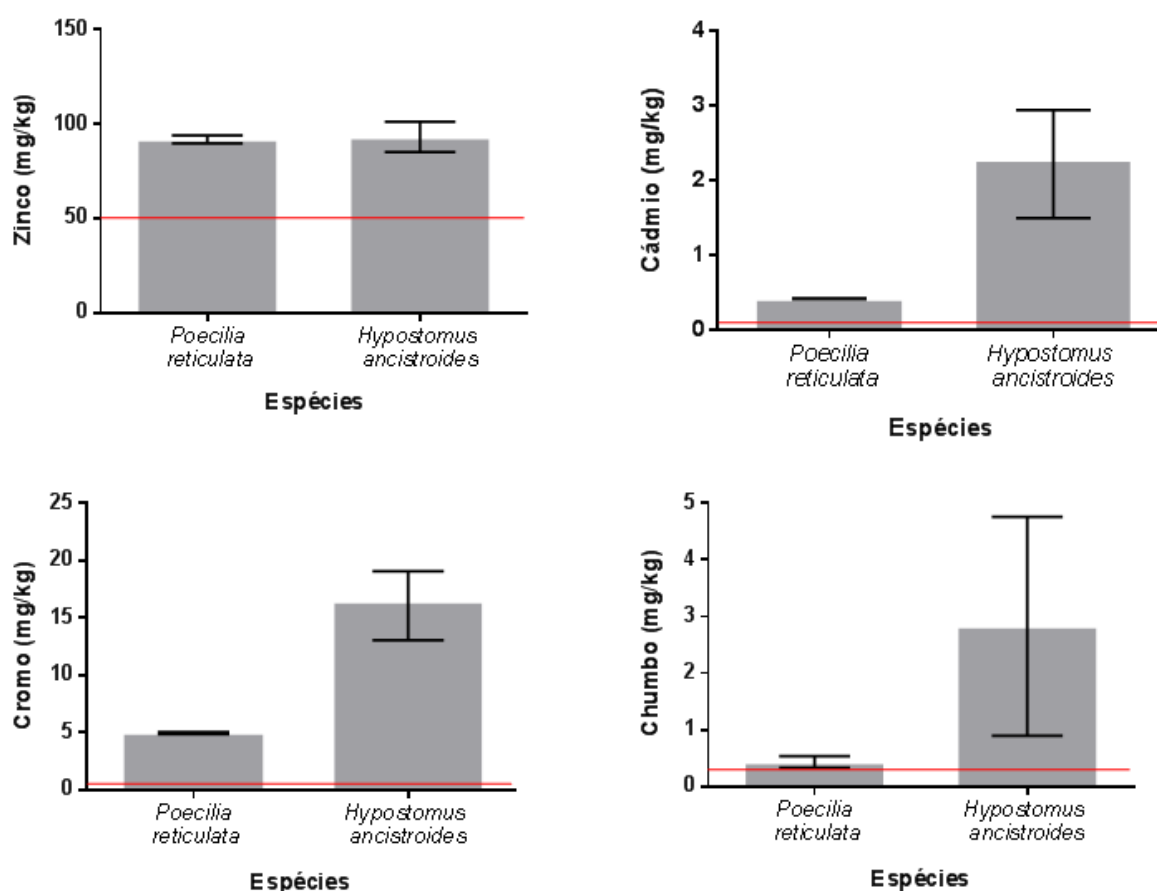


Figura 6 – Concentração média e desvio padrão de elementos-traço em amostras de *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* coletadas no ponto 2 do Ribeirão Cafezal (Rolândia – PR). A linha em vermelho indica os valores máximos permitidos pela ANVISA (mg/kg). (Zn 50,00; Cd 0,05; Cr 0,10; Pb 0,30).

A análise de componentes principais revelou a formação de dois eixos significativos de acordo com o modelo de *broken stick* (autovalor do eixo observado maior do que o autovalor predito pelo modelo, Tabela 4). Os dois primeiros eixos explicaram 100% da variabilidade total dos dados e os parâmetros com maiores valores de correlação de Pearson com os eixos 1 e 2 foram separadamente selecionados para interpretação.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre parâmetros ecológicos da assembleia de peixes (riqueza, equitabilidade e índices de diversidade) e parâmetros limnológicos (concentrações de Zn, Cd, Cr e Pb em amostras de *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides*, pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água) do trecho superior da bacia do Ribeirão Cafezal com os dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP), aplicada sobre a matriz de correlação formada pelos três pontos de amostragem analisados. No final da tabela estão descritos os autovalores dos eixos 1 e 2 da ACP, os autovalores preditos pelo modelo de *broken stick* e a proporção da variabilidade explicada. Os coeficientes com valores em negrito foram retidos para interpretação por apresentarem maiores correlações com os eixos significativos da ACP.

Parâmetros	Eixos da ACP	
	r ACP 1	r ACP 2
Riqueza de Espécies (S)	-0,906	-0,424
Equitabilidade (E)	-0,993	-0,119
Índice de Diversidade de Shannon- Wiener (H')	-0,994	-0,112
Índice de Diversidade de Simpson (D)	-0,992	-0,123
Zinco – <i>P. reticulata</i>	0,890	-0,456
Cádmio – <i>P. reticulata</i>	0,194	-0,981
Cromo – <i>P. reticulata</i>	0,358	-0,934
Chumbo – <i>P. reticulata</i>	0,975	-0,221
Zinco – <i>H. ancistroides</i>	-0,825	-0,565
Cádmio – <i>H. ancistroides</i>	-0,125	-0,992
Cromo – <i>H. ancistroides</i>	-0,213	-0,977
Chumbo – <i>H. ancistroides</i>	-0,086	-0,996
pH	-0,829	0,559
Condutividade elétrica	0,949	-0,314
Turbidez	-0,421	-0,907
Oxigênio Dissolvido	0,841	-0,541
Temperatura da água	-0,393	-0,919
Autovalor	9,07	7,94
Autovalor predito pelo modelo <i>broken-stick</i>	3,44	2,44
Variância explicada (%)	53,32	46,68

A Figura 7 apresenta a distribuição dos centroides dos parâmetros limnológicos e ecológicos do trecho superior do Ribeirão Cafezal no espaço multivariado ordenado pelos eixos 1 e 2 da ACP. O eixo 1 da ACP demonstra que as concentrações de Pb e Zn em *P. reticulata*, além da condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido, foram os parâmetros que mais contribuíram para a segregação do ponto 1 (com escores mais positivos). Por outro lado, com escores mais negativos para o eixo 1, os parâmetros de estrutura da assembleia, pH e as concentrações de Zn no *H. ancistroides* foram os parâmetros mais importantes para a segregação do ponto 3. O eixo 2 da ACP segregou principalmente o ponto 2 dos

demais, demonstrando que a turbidez e a temperatura, além de Pb para *H. ancistroides* e Cr e Cd para ambas as espécies, também foram importantes na sua segregação no espaço multivariado. Além disso, o eixo 2 também reforçou a importância do pH na caracterização do ponto 3.

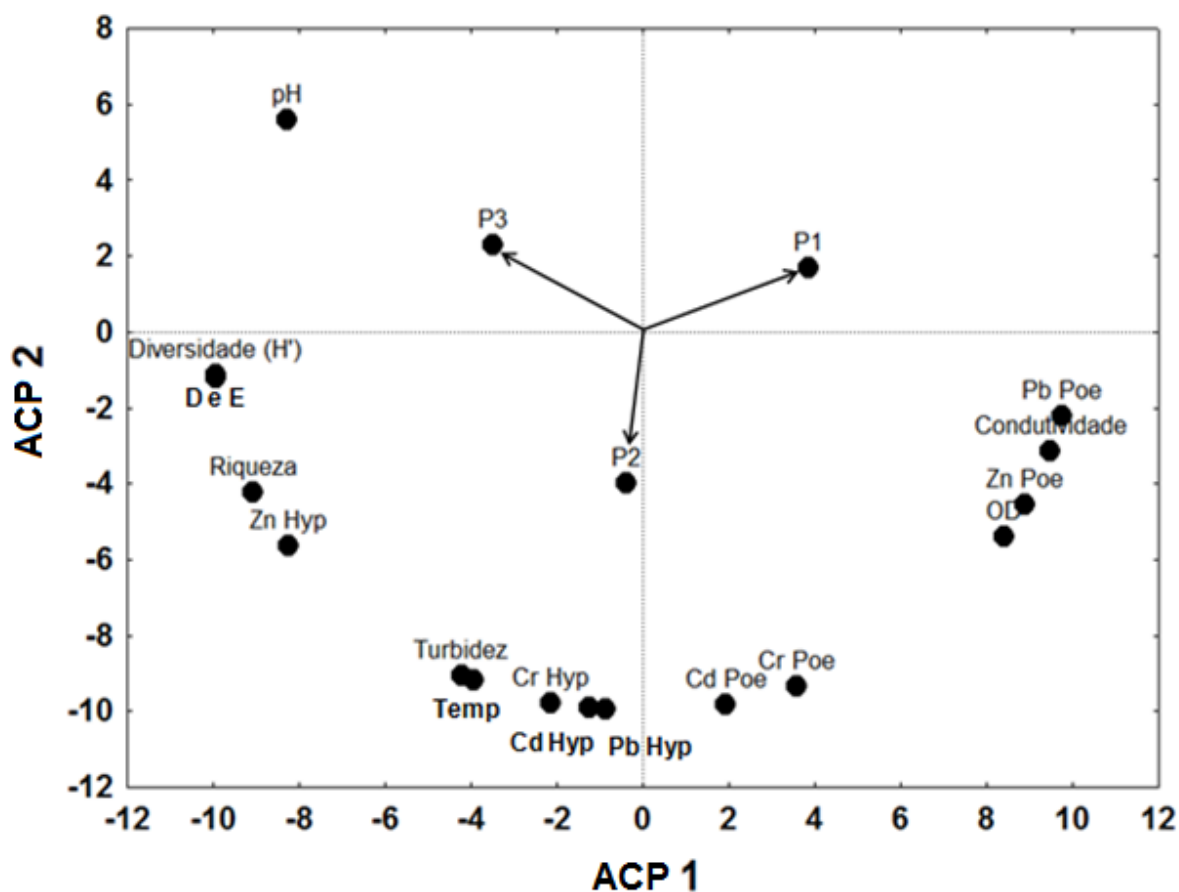


Figura 7 - Distribuição dos centroides dos três pontos de amostragem ao longo dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP 1 e ACP 2), aplicada sobre a matriz de correlação de Pearson formada pelas concentrações dos elementos-traço em *Poecilia reticulata* e *Hypostomus ancistroides* e pelos parâmetros limnológicos e da estrutura da assembleia de peixes do Ribeirão Cafezal. As setas indicam a distância dos centroides do ponto central do espaço multivariado. Os escores dos parâmetros foram multiplicados por 10 para otimizar a visualização das suas distribuições no espaço multivariado.

4. DISCUSSÃO

As duas espécies analisadas no presente estudo revelaram-se contaminadas por Zn, Cd, Cr e Pb. Em razão de serem espécies abundantes nesse trecho da bacia (GAMBAROTTO, 2014), esse resultado indica que o potencial de contaminação do ecossistema com esses elementos-traço pode ser elevado. *Poecilia reticulata* é uma espécie de pequeno porte e tem sido comumente utilizada como presa de espécies de maior porte, portanto possibilitando a ocorrência de biomagnificação (PERERA *et al.*, 2015; REPULA *et al.*, 2012). Por outro lado, *Hypostomus ancistroides* é uma espécie nativa de maior porte e pode ser consumidas por pescadores amadores, podendo representar uma fonte de contaminação para a população humana (LABARRÈRE *et al.*, 2012).

Poecilia reticulata foi introduzida no Brasil para o controle de natalidade de mosquitos, e acabou persistindo com sucesso em ambientes com condições limnológicas relativamente instáveis (VALÉRIO *et al.*, 2015). Essa espécie tem sido comumente encontrada em ambientes degradados, podendo utilizar uma concentração mínima de oxigênio para manter seu metabolismo (ARAÚJO, 1998; VALÉRIO *et al.*, 2015). Trata-se de uma espécie generalista e seus indivíduos podem ser encontrados em diversos habitats, como lagoas, canais, córregos, regiões de baixa e alta altitudes e, geralmente, colonizam ambientes com baixa densidade de predadores, como os trechos superiores das bacias, nos riachos de pequena ordem, como no caso do Ribeirão Cafezal. Bonato *et al.* (2012) ressaltam sua condição onívora, podendo se alimentar de zooplâncton, pequenos insetos e detritos orgânicos, além de algas, protistas, larvas de díptera, ninfas de Ephemeroptera, bem como de outros fragmentos de invertebrados aquáticos. Os autores supracitados apresentam a espécie como generalista e tolerante às mudanças ambientais, o que pode explicar sua dominância absoluta no ponto 1, considerando o mais impactado de todos os pontos analisados no trecho superior do Ribeirão Cafezal (GAMBAROTTO, 2014), onde revelou elevada contaminação por Pb.

Os poecilídeos apresentam estratégias reprodutivas que auxiliam na sobrevivência em ambientes degradados, tais como, desenvolvimento direto e viviparidade com fecundação e desenvolvimento interno. Além disso, as fêmeas

dessa espécie tendem a transportar os ovos e os embriões até que ocorra a eclosão, permitindo variações no intervalo e períodos de gestação da prole, na duração do período reprodutivo e na própria duração da vida reprodutiva, mudando e adaptando assim as estratégias reprodutivas utilizadas no ambiente em que se encontram (MENDONÇA; ANDREATA, 2001; PEREIRA; ANDREATA, 2003; VALÉRIO *et al.*, 2015).

Os peixes do gênero *Hypostomus* são abundantes e amplamente distribuídos em sistemas lóticos e lênticos. Apresentam importantes adaptações funcionais, tais como, boca ventral e lábios modificados em forma de ventosa, dentes que se assemelham a espículas para raspar seu alimento em uma variedade de substratos, além de longos intestinos (CARDONE, 2006). Essa estrutura morfo-anatômica permitiu que os indivíduos desse grupo desenvolvessem hábitos alimentares detritívoros, acessando com eficiência o sedimento e explorando o detrito orgânico associado. Nesse contexto, a morfologia e o comportamento alimentar que conferem ao *H. ancistroides* um hábito estritamente detritívoro podem ter sido os responsáveis pelo fato dessa espécie ter revelado maior concentração de Cd, Cr e Pb no ponto 2, localizado próximo a uma rodovia, caracterizado por intensa entrada de sedimentos alóctones transportados pelas galerias de águas pluviais.

O comportamento bentônico do grupo *Hypostomus* o caracteriza como consumidor primário, explorando a cobertura vegetal e colônias de algas do fundo do rio, dessa forma, podendo ser encontrados em bancos de areia ou rios rochosos, a maioria com comportamento crepuscular passando o dia embaixo de rochas (LABARRÈRE *et al.*, 2012). Portanto, considerando o hábito alimentar e as estratégias de exploração dos recursos naturais por *H. ancistroides*, em um ambiente contaminado com elementos-traço, é provável que ela mantenha constante contato com os metais, ingerindo-os por meio do alimento, aumentando a chance de bioacumulação em seus tecidos e órgãos, o que em parte também pode explicar as concentrações elevadas detectadas para essa espécie no presente estudo.

A comunidade de peixes tem sido comumente utilizada em programas de biomonitoramento por apresentar algumas vantagens específicas. Por exemplo, as assembleias de peixes apresentam grande número de espécies de diversos níveis tróficos, compreendendo alimentos de origem aquática e terrestre (ARAÚJO, 1998). É importante também a posição desses animais na cadeia alimentar em relação a

outros indicadores de qualidade da água, como os macroinvertebrados, pois em razão de explorarem ampla diversidade de recursos alimentares, tendem a possibilitar uma visão integrada do ambiente aquático (LINS *et al.*, 2010).

Dentre os elementos-traço estudados, o zinco é um elemento essencial aos organismos, pois está intimamente relacionado com o sistema imunológico, sendo fundamental para os processos de crescimento, divisão celular, síntese de DNA, entre outros (DEL CIAMPO; DEL CIAMPO, 2014). Porém, pode se tornar nocivo quando ingerido em concentrações elevadas. Os efeitos deletérios do zinco quando acumulados em grande quantidade nos peixes estão relacionados principalmente ao desenvolvimento do organismo, tais como, retardo na maturação sexual e decréscimo na taxa de crescimento (LINS *et al.*, 2010), além de alterações histopatológicas nas brânquias e produção excessiva de muco (LABARRÈRE *et al.*, 2012).

Labarrère *et al.* (2012) analisaram a concentração de zinco em *Hypostomus sp.* coletados no Rio São Francisco (Minas Gerais), especificamente nas brânquias, fígado, carcaça e musculatura. Os autores encontraram valores acima do permitido pela ANVISA na carcaça indicando que o zinco pode estar se acumulando gradativamente no animal, possivelmente decorrente de altos valores presentes na água do Rio São Francisco, e no fígado, que é o principal local de armazenagem de metais em virtude da sua alta atividade metabólica (LABARRÈRE *et al.*, 2012).

O cádmio provoca nos peixes uma carência de cálcio, provavelmente por atuar como inibidor da absorção do cálcio da água. Uma exposição prolongada a esse metal pode levar à mortalidade das larvas e a redução temporária do crescimento de juvenis (LINS *et al.*, 2010). Há estudos que mostram que a temperatura é um fator importante na toxicidade desse metal, pois quanto maior a temperatura, mais acentuada será sua toxicidade (DAMATO; BARBIERI, 2012). No presente estudo, as maiores concentrações de Cd foram detectadas para ambas as espécies analisadas exatamente no ponto que revelou maior média de temperatura da água ao longo do período estudado (Ponto 2). Cabe ressaltar, que a dureza é um fator importante que também influencia na toxicidade desse elemento. Nos peixes, as principais fontes de absorção de cádmio são pela mucosa intestinal e pelo epitélio branquial (DAMATO; BARBIERI, 2012).

O cromo pode ocorrer naturalmente no ambiente, porém, diversas vezes é encontrado em águas naturais devido a descargas de efluentes industriais. As formas mais importantes é o Cr^{3+} (cromo trivalente) que é essencial ao metabolismo e o Cr^{6+} (cromo hexavalente), o qual é tóxico, sendo carcinogênico e mutagênico. Esse elemento dissolvido, suspenso na água ou contido no sedimento pode ser absorvido pelos peixes através das brânquias e trato digestório (MIRANDA FILHO, 2011). No geral, os efeitos deletérios do cromo sobre os peixes são brandos, se revelando mais preocupante para as formas biológicas relativamente mais simples de vida aquática, como alguns invertebrados, pois apresentam grande sensibilidade a esse elemento, principalmente em relação ao sistema reprodutivo (LINS *et al.*, 2010). Da mesma forma foi detectado com o Cd no presente estudo, o Cr também apresentou maiores concentrações no Ponto 2.

Nos peixes o chumbo tende a ser acumulado nas brânquias, fígado, rim e ossos. Também já foi demonstrado o acúmulo de chumbo na superfície dos ovos, mas não no embrião (MOBARAK; SHARAF, 2011). A exposição ao chumbo pode causar secreção excessiva de muco e pode interferir no funcionamento das brânquias, dificultando a difusão dos gases. Mobarak e Sharaf (2011) verificaram que quando diversas espécies de peixes são expostas a 0,48 ppm de Pb ocorre a inibição da incubação de ovos. Em um experimento realizado por esses autores, no qual *Poecilia latipinna* foi exposta a diferentes concentrações de chumbo, observou-se que houve alterações histopatológicas nas brânquias, fígado, pâncreas, estômago e intestino. Os peixes que foram submetidos às concentrações mais altas do experimento por 96 h (1,1 mg/L e 1,2 mg/L) apresentaram 50% e 100% de mortalidade, respectivamente.

Os elementos-traço tendem a apresentar maior facilidade em se associar à matéria orgânica ou a se depositar no sedimento quando expostos a valores elevados de pH, tornando-se menos biodisponíveis (BAIRD; CANN, 2011). Essa influência do pH, pode ter contribuído para os Pontos 1 e 2 que apresentaram menores médias de pH, revelarem maiores concentrações médias de metais para ambas as espécies em relação ao ponto 3.

Os metais associados à matéria orgânica podem ser ingeridos e absorvidos por endocitose através do intestino do animal (PERERA *et al.*, 2015). Considerando que tanto *P. reticulata* como *H. ancistroides* tendem a consumir detritos orgânicos

em suas dietas, esse pode ser um dos fatores responsáveis pela alta concentração encontrada de elementos-traço nessas espécies.

Os elementos-traço podem apresentar diversas fontes no ambiente natural. Gambarotto (2014) classificou a integridade ambiental desse mesmo trecho do Ribeirão Cafezal como de intermediária a pobre, com indicativos de forte estresse ambiental causado pela pressão urbana, o que naturalmente tende a promover mudanças estruturais no ambiente, selecionando as espécies que melhor se adaptarem. O Ponto 1, inserido no fundo de vale próximo a nascente do ribeirão, apresentou maiores concentrações de oxigênio dissolvido, além de temperaturas mais amenas, nesse ponto observou-se a presença de vegetação ripária secundária e desestruturada. É um local que possui o agravante de estar inserido em uma zona urbana, recebendo constantemente grande quantidade de resíduos via sistema de coleta de água pluvial, o que pode explicar a maior média de condutividade elétrica detectada e, mesmo de forma indireta, estar associado às maiores concentrações de Pb e Zn encontradas em *P. reticulata*. Em razão dessas características estressantes, apenas *P. reticulata* tem conseguido colonizar esse ponto, revelando boa adaptabilidade, como pode ser avaliada pela elevada abundância que apresentou.

Por outro lado, o Ponto 2 está localizado à margem de uma rodovia com intenso fluxo de veículos, na periferia da cidade de Rolândia (PR), portanto, constituindo um local propício ao derramamento de óleos, combustíveis, insumos agrícolas e outras substâncias químicas que podem ter metais em suas composições químicas. Soma-se a esses efeitos a poluição atmosférica comumente emitida pelos veículos e que podem ser depositada nas águas superficiais. Nesse ponto foram detectadas as maiores concentrações de Cd e Cr em *P. reticulata* e de todos os metais estudados em *H. ancistroides*. Esse ponto apresentou maior temperatura média da água, o que pode estar relacionado à menor densidade de vegetação ripária ao longo do trecho, o que também tende a aumentar as taxas de assoreamento via escoamento superficial a partir do entorno, indicada pelo expressivo valor médio de turbidez registrado.

O Ponto 3, por sua vez, é rodeado por plantações agrícola, mais largo e com presença de trechos de correnteza. Dos três pontos estudados, foi aquele com maior probabilidade de despejos de insumos agrícolas, podendo chegar ao ambiente aquático por escoamento superficial, erosão das margens ou pelo ar.

Deve-se considerar também a concentração natural de metais existente no solo que compõe a região estudada, além da possibilidade de mobilização dos metais no perfil natural do solo. Também é importante ressaltar que solos submetidos a cultivos intensivos por longos períodos de tempo tendem a apresentar níveis mais elevados de metais (FILIZOLA *et al.*, 2002). Esse solo pode chegar ao rio devido às erosões e intemperismos, causados por eventos naturais ou antrópicos.

Os parâmetros abióticos analisados no presente estudo, incluindo a contaminação por elementos-traço, indicaram a intensidade com que alguns fatores físicos e químicos estão interferindo indiretamente sobre o ecossistema. Desse modo, a integração desses indicadores físicos e químicos com as características biológicas das espécies estudadas demonstram com maior clareza os efeitos de eventos impactantes sobre o ecossistema. Portanto, o uso combinado dessas ferramentas tende a aumentar a eficiência dos sistemas de detecção de impactos ambientais, sendo possível implementar biomonitoramentos mais focados e realistas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ribeirão Cafezal está exposto a contaminantes domésticos, industriais, agrícolas e atmosféricos. Com as análises realizadas nesse estudo, podemos perceber indicativos de contaminação ao longo da cabeceira desse sistema lótico. À medida que se trata de um Ribeirão que fornece água à população para consumo e recreação, além de disponibilizar peixes como fonte de proteína animal, é preciso continuar o monitoramento e realizar análises sistemáticas com diferentes espécies de peixes, bem como análises do sedimento e da própria água.

Mesmo necessitando de mais informações sobre a possível contaminação de toda a bacia pelos elementos-traços analisados, os resultados das análises desse estudo podem fornecer subsídios para a implementação de políticas públicas relacionadas ao uso da água e a conservação do Ribeirão Cafezal. Além disso, atividades como essa podem se constituir em ferramentas complementares de estudos de impactos ambientais em sistemas hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. R. M. PALERMO de; NOVAES, A. C; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quím. Nova** [online]. 2002, vol. 25, n. 6b, pp. 1145- 1154.
- ARAÚJO, F. G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o Rio Paraíba do Sul. **Rev. Brasil. Biol.** n. 58. 1998. p. 547-548. Disponível em: <http://www.scielo.br/readcube/epdf.php?doi=10.1590/S0034-71081998000400002&pid=S0034-71081998000400002&pdf_path=rbbio/v58n4/v58n4a1.pdf&lang=pt>. Acesso em 13 jun. 2015.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BARROS, M. V. F.; ARCHELA, R. S.; BARROS, O. N. F.; THÉRY, H.; MELLO, N. A.; GRATÃO, H. B. Cursos e (per) curso das águas. **Atlas Ambiental da Cidade de Londrina**, 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/CURSODASAGUAS.htm>> Acesso em 01 jun. de 2015.
- BONATO, K. O.; DELARIVA, R. L.; SILVA, J. C da. Diet and trophic guilds of fish assemblages in two streams with diferente anthropic impacts in the northwest of Paraná, Brazil. **Zoologia**. vol. 29, n. 1, pp. 27-38, 2012.
- BRASIL. **ANVISA**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/414d248047458a7d93f3d73fbc4c6735/DECRETO+N%C2%BA+55.871,+DE+26+DE+MAR%C3%87O+DE+1965.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em 28 maio de 2015.
- BRASIL. **ANVISA**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. 2013. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/8100bb8040eac2e8b590b79cca79f4cf/RDC+n%C2%BA+42_2013_final.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 28 maio de 2015.
- BRASIL. **CONAMA**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/2005, 17 de Março de 2005. Dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

- BRUNO, A. P. S. Concentração de Metais Pesados e Elementos-Traço em dois trechos da planície de inundação do baixo curso Rio Jaboatão. Pernambuco, Brasil. Recife, PE. 66f. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal de Pernambuco, 2005.
- CARDONE, I. B.; LIMA-JUNIOR, S. E.; GOITEIN, R. Diet and capture of *Hypostomus strigaticeps* (Siluriformes, Loricariidae) in a small brazilian stream: relationship with limnological aspects. **Brazilian Journal of Biology**. [online]. 2006, vol. 66, n. 1a, pp. 25-33.
- DAMATO, M.; BARBIERI, E. Estudos da toxicidade aguda e alterações metabólicas provocadas pela exposição do cádmio sobre o peixe *Hyphessobrycon callistus* utilizado como indicador de saúde ambiental. **O Mundo da Saúde**. São Paulo, 2012, vol. 36, n. 4, pp. 574-581.
- DEL CIAMPO, L. A.; DEL CIAMPO, I. R. L. A importância do zinco para a saúde do adolescente. **Revista Adolescência & Saúde**. Rio de Janeiro, 2014, vol. 11, n. 2, pp. 80-86.
- DOMINGOS, F. X. V. Biomarcadores de contaminação ambiental em peixes e ostras de três estuários brasileiros e cinética de derivados solúveis do petróleo em peixes. Curitiba, 2006. 118f. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal do Paraná, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPI, 2001.
- FAUTH, J. E.; BERNARDO, J.; CAMARA, M.; RESETARITS, W. J.; VAN BUSKIRK, J.; MCCOLLUM, S. A. Simplifying the Jargon of Community Ecology: A Conceptual Approach. **The american Naturalist**. vol. 147. n. 2. 1996. pp. 282-286.
- FILIZOLA, H. F.; PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D de. Contaminação dos solos em áreas agrícolas. In: MANZATO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E de; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.
- GAMBAROTTO, B. L. Proposta de índice de integridade ambiental aplicado a riachos de mata atlântica e aplicação de teste de validação com parâmetros da assembleia de peixes. 2014. 110 folhas. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.
- GRAÇA, W. J.; PAVANELLI, C. S. **Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes**. Maringá: EDUEM, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010, Paraná**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=0>>. Acessado em: 05 ago. 2015.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology Gold Book**. 2014. Disponível em: < <http://goldbook.iupac.org/PDF/goldbook.pdf>>. Acesso em 01 jun. 2015.

JACKSON, D. A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of euristical and statistical approaches. **Ecology**, 74(8). 1993. pp. 2204-2214.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1998.

LABARRÈRE, R. C.; MENEZES, B. D.; MELO, M. M. Avaliação do teores de zinco em brânquias, carcaça, fígado e musculatura de diferentes espécies de peixes capturados no Rio São Francisco (MG, Brasil). **Geonomos**. v. 20. 2012. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/20121/11_Labarrere%20_et_al.pdf> . Acesso em 28 maio 2015.

LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; QUEIROZ, V. S.; CIRIO, S. M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient**. Curitiba, v. 8. n. 4. 2010.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2013.

MARENGONI, N. G.; KLOSOWSKI, E. S.; OLIVEIRA, K. P.; CHAMBO, A. P. S.; GONÇALVES, A. C. J. Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional. **Quim. Nova** [online]. 2013, vol. 36. n. 3. pp. 359-363.

MCCUNNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD - Multivariate analysis of ecological data**, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, 1999.

MENDONÇA, J. P.; ANDREATA, J. V. Aspectos reprodutivos de *Poecilia vivípara* (Bloch & Schneider) (Poeciliidae) da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista brasileira de Zoologia**. n. 18. 2001. p. 1041-1047. Disponível em: < http://www.scielo.br/readcube/epdf.php?doi=10.1590/S0101-81752001000400001&pid=S0101-1752001000400001&pdf_path=rbzool/v18n4/v18n4a01.pdf&lang=pt>. Acessado em: 14 jun. 2015.

MIRANDA FILHO, A. L.; MOTA, A. K. M.; CRUZ, C. C.; MATIAS, C. A. R.; FERREIRA, A. P. Cromo hexavalente em peixes oriundos da Baía de Sepetiba no Rio de Janeiro, Brasil: uma avaliação de risco à saúde humana. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3. 2011. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.568>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

MOBARAK, Y. M. S.; SHARAF, M. M. Lead acetate-induced histopathological changes in the gills and digestive system of silver sailfin molly (*Poecilia latipinna*). **International Journal of Zoological Research**. Academic Journals Inc. v. 7. 2011. Disponível em:< <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/ijzr/2011/1-18.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

PEREIRA, R. C.; ANDREATA, J. V. Aspectos reprodutivos de *Phalloptychus januarius* (Hensel, 1868) (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) da Laguna Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista brasileira de Zoociências**. Juiz de Fora. v. 5. n. 1. 2003. p. 79-87. Disponível em: <<http://zoociencias.ufjf.emnuvens.com.br/zoociencias/article/view/225/213>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

PERERA, P. A. C. T.; KODITHUWAKKU, S. P.; SUNDARABARATHY, T. V.; EDIRISINGHE, U. Bioaccumulation of cadmium in freshwater fish: na environmental perspective. **Insight Ecology**. v. 4, 2015. pp. 01-12.

POMPEO, M.; et al (Orgs.) **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Cap._22_Ecotoxicologia.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2015.

REPULA, C. M. M.; CAMPOS, B. K.; GANZAROLLI, E. M.; LOPES, M. C.; QUINAIA, S. P. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Quim. Nova** [online]. 2012, vol. 35, n. 5, pp. 905-909.

SILVA, J. A. da. Tendência do Novo Rural na Bacia do Ribeirão Cafezal. Londrina, PR. 116f. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Estadual de Londrina, 2006.

SILVA, M. T. P. Avaliação da toxicidade e caracterização de hidrocarbonetos presentes em águas de rios impactados por efluentes de indústria petroquímica. 115f. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”- Instituto de Biociências: Rio Claro, 2013.

STATSOFT. 2005. **Statistica for Windows** (computer program manual). Version 7.1. Tulsa, StatSoft, Inc.

TAVARES, T. M; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. **Quim. Nova** [online].1992, vol.15, n.2, pp. 147-154.

VALÉRIO, S. B.; SUAREZ, Y. R.; LIMA-JUNIOR, S. E. **Aspectos da biologia populacional de *Poecilia reticulata* (Peters, 1859) (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) no riacho Paragem, Dourados – MS**. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Centro Integrado de Análise e Monitoramento Ambiental, Laboratório de Ecologia. Disponível em: <http://www.academia.edu/7871555/Aspectos_da_Biologia_populacional_de_Poecilia_reticulata_Peters_1859_Cyprinodontiformes_Poecilidade_no_Riacho_Paragem_Dourados_-_MS>. Acesso em: 13 jun. 2015.

ZAR, J. H., 1999, **Biostatistical analysis**. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey, 663p.