

**ANAIS DO**  
**IV SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS**  
**BRASILEIROS**

**2 a 7 de Abril de 1998**  
**Hotel Majestic**  
**Águas de Lindóia, SP, BRASIL**

**VOLUME II**

PATROCÍNIO DE:

ACIESP - Academia de Ciências do Estado de São Paulo



ABC - Academia Brasileira de Ciências

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos



VITAE - Apoio à Cultura, Educação e Promoção Social



Fundação O Boticário

**- 1998 -**

### *Comissão Organizadora*

Liliana Forneris  
Luiz Mauro Barbosa  
Odete Rocha  
Shiguo Watanabe  
Wellington Braz Delitti  
Yara Schaeffer-Novelli

- Dep. Zoologia - I. Biociências/USP
- Seção de Ecologia - I. Botânica
- Dep. Ecologia/UFSCar
- Coordenador
- Dep. Ecologia Geral - I. Biociências/USP
- Dep. Oceanografia Biológica - I. Oceanográfico/USP

### *Comissão de Programa*

Alice Michiyo Takeda  
Antonia Cecília Z. Amaral  
Ariane Luna Peixoto  
Carlos A. Klink  
Clarice Panitz  
Frederico Brandini  
Geraldo Wilson Fernandes  
Guiomar Johnscher Fornasaro  
Hortência Maria Pereira  
Kenitiro Suguio  
Liliana Forneris  
Luiz Mauro Barbosa  
Maryse Paranaguá  
Norton M. Gianuca  
Odete Rocha  
Olga Yano  
Paulo Yoshio Kageyama  
Reinaldo Monteiro  
Rogério Parentoni  
Sandro Menezes Silva  
Shiguo Watanabe  
Tânia Mara S. do Carmo  
Waldir Mantovani  
Winston Menezes Leahy  
Yara Schaeffer-Novelli

- Dep. Biologia - NUPELIA/UEM-PR
- Dep. Zoologia - IB/UNICAMP
- Dep. Botânica/UFRRJ
- Dep. Ecologia/UnB
- Dep. Biologia/UFSC - Florianópolis
- Diretor do Centro de Estudos do Mar/UFPR
- Dep. Biologia Geral - ICB/UFPR
- CETESB/SP
- Pró Reitoria de Graduação/UFSE
- Dep. Paleontologia e Estratigrafia - IG/USP
- Dep. Zoologia - I. Biociências/USP
- Seção de Ecologia - I. Botânica
- U. Fed. Rural de Pernambuco
- Dep. Oceanografia/FURG
- Dep. Ecologia/UFSCar
- Seção de Briologia - I. Botânica
- Dep. Ciências Florestais - ESALQ/USP
- Dep. Botânica/UNESP - Rio Claro
- Dep. Biologia Geral/UFMG
- Dep. Botânica/UFPR
- Coordenador
- Dep. Biologia/UFES - Vitória
- Dep. Ecologia Geral - I. Biociências/USP
- Diretor Executivo da FUNDEPES/UFAL
- Dep. Oceanografia Biológica - I. Oceanográfico/USP

MACRÓFITAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS COMO INDICADORES DE Hg  
A JUSANTE DO GARIMPO DO TARTARUGALZINHO, AP, BRASIL.

Lemos, R.M.A. <sup>(1,2)</sup>; Pinto, F.N. <sup>(2)</sup>; Guimarães, J.R.D. <sup>(2)</sup>; Bianchini  
Jr., I. <sup>(1)</sup>; Fostier, A.H. <sup>(3)</sup>; Forti, M.C. <sup>(4)</sup> & Melfi, J.A. <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Dep. Hidrobiologia - UFSCar - Via Washington Luiz Km 235 - São Carlos  
(SP) - Brasil - CEP 13565-905; e-mail: rmal@ibccf.blof.ufrj.br

<sup>(2)</sup>IBCCF - Bloco G/CCS - UFRJ, Ilha do Fundão - RJ - CEP 21949-900

<sup>(3)</sup>CENA/USP, Av. Centenário 303, Piracicaba, SP, CEP 13416-000

<sup>(4)</sup>NUPEGEL/USP, IAG, Av. Miguel de Stéfano 4200, SP, CEP 04301-904

RESUMO

O rio Tartarugal Grande (TG) está situado no estado do Amapá e tem como um de seus principais afluentes o rio Tartarugalzinho (TZ), em cujas margens se desenvolve a atividade de garimpo de ouro desde 1984. Esse rio desemboca no lago Duas Bocas (DB), importante fornecedor de pescado para os vilarejos próximos e Macapá. Neste trabalho avaliamos a possibilidade de utilização de macrófitas aquáticas flutuantes para o monitoramento da contaminação por Hg e investigamos a existência de gradientes ambientais de contaminação na região, comparando os mesmos com aqueles obtidos a partir do sedimento de fundo. Para tanto, coletaram-se exemplares adultos de *Eichhornia azurea* em diferentes pontos dos rios TZ e TG e do lago DB, bem como do lago Pracuúba, não impactado (controle) nos períodos úmidos de 1996 e 1997, e amostras de sedimento nos mesmos locais. O limbo e as raízes de *E. azurea* foram separados (sem lavagem), secos a 60°C e triturados. Amostras foram submetidas à digestão ácida em microondas e determinação do Hg total por CVAAS, utilizando-se sistema de injeção de fluxo (FIMS). Os resultados indicam uma diminuição dos valores de Hg total, em limbo e raiz, desde o TZ até o rio TG, com novo aumento dos valores no lago DB, demonstrando que é possível detectar um gradiente de contaminação em amostras tanto de raiz, quanto de limbo, semelhante ao observado em amostras de sedimento de fundo da mesma região. Podemos supor que os valores encontrados estejam relacionados a fatores hidrodinâmicos, uma vez que a maior velocidade da corrente observada no rio TG dificulta o acúmulo de materiais em suspensão

nas raízes de *E. azurea*, diminuindo os teores totais de Hg. O aumento dos valores de Hg total no lago DB seria resultado da natureza acumuladora dos ambientes lênticos, que deixa seu registro na malha filtrante da raiz de *E. azurea*. Apesar dos baixos níveis de Hg em *E. azurea* em comparação aos do sedimento, esta planta pode ser um indicador útil de Hg no ambiente, além de fornecer indicações sobre sua biodisponibilidade.

#### ABSTRACT

The Tartarugal Grande river (TG) in the state of Amapá receives the Tartarugalzinho river, affected by gold mining activities since 1984, and flows into Duas Bocas lake (DB), an important fish source for the local and regional market. In this work we evaluate the possibility of using aquatic macrophytes for monitoring Hg contamination and compare them to the bottom sediments for the evaluation of environmental Hg gradients. Samples of sediments and of adult *Eichhornia azurea* plants were collected during the wet season in 1996 and 1997 in different points of TG, TZ and DB as well as in Pracuuba lake, not affected by goldmining. Roots and shoots of *E. azurea* were separated, dried at 60 C and grinded. Samples were acid digested in a microwave oven and Hg was determined by CVAAS, using a flow injection system. The results show a decreasing pattern in total Hg in sediment as well as in roots and shoots of *E. azurea* along TZ and TG. In macrophytes a slight increase is found in Hg in samples from DB, possibly related to hydrodynamic factors, as the higher flux in TG limits the retention of suspended particles in *E. azurea* roots, while in contrast the higher levels in DB may reflect the accumulative nature of lentic environments. Despite the lower Hg levels in *E. azurea* in comparison to sediments, it can be a useful Hg indicator in the environment, besides giving an indication of Hg bioavailability.

#### INTRODUÇÃO

O mercúrio e muitos dos seus compostos são extremamente tóxicos. Como fontes potenciais deste metal resultantes de intervenções antrópicas existem diversos tipos de indústrias, queima de lixo, fundições e garimpos. Estima-se que esta última atividade tenha lançado no ecossistema Amazônico cerca de 100 t ano

em vinte anos (Pfeiffer *et al.*, 1993). Embora a atividade garimpeira tenha se reduzido, em tempos recentes, o mercúrio já lançado no ambiente não pode ser recuperado e circula entre os diversos compartimentos existentes (atmosfera, solo, água, biota). A atmosfera possui importante papel na dispersão do Hg, sendo que podemos encontrar contaminação por este metal mesmo em áreas muito distantes das fontes pontuais de emissão, sendo assim, torna-se bastante difícil determinar quais seriam os níveis naturais ("background") de cada região.

O mercúrio lançado na Amazônia, proveniente do garimpo, tem sua origem na queima do amálgama com o ouro (50-75%) ou pode ser lançado diretamente nos corpos d'água da região (Malm *et al.*, 1995). O  $Hg^0$  é oxidado na atmosfera a  $Hg^{+2}$  que se liga facilmente às partículas atmosféricas e pode ser carregado com as chuvas ou sofrer deposição seca retornando aos solos e daí, também, ser lixiviado ao ambiente aquático. Em águas ácidas, como as encontradas em áreas alagáveis, bactérias (sobretudo sulfato redutoras) transformam o  $Hg^{+2}$  em MeHg (metilmercúrio), composto extremamente perigoso por ser neurotóxico e sofrer biomagnificação através da cadeia trófica aquática, podendo trazer danos ao ecossistema e ao homem. Guimarães *et al.* (1997a), Lemos *et al.* (1998) e Mauro *et al.* (1998) mostraram que em ambientes aquáticos tropicais, os *stands* flutuantes de macrófitas são sítios preferenciais de formação de MeHg a partir de  $Hg^{2+}$ .

No ambiente aquático o  $Hg^{+2}$  é veiculado principalmente associado ao material em suspensão que pode ser depositado no fundo em áreas de remanso, ou ser transportado à distância. As macrófitas aquáticas flutuantes que se acumulam nestas regiões de menor correnteza dos rios ou em lagos podem, através da malha filtrante de suas raízes, captar materiais suspensos na água antes que se depositem, ou materiais que sejam mobilizados do fundo para a coluna d'água em eventos de cheias. Além disto, parte deste mercúrio pode ser assimilado pelas raízes e transportado aos outros órgãos vegetais, como rizomas e folhas. Segundo Chigbo *et al.* (1982), plantas aquáticas são organismos particularmente importantes para se estudar, uma vez que a análise deste material pode fornecer indicativos da qualidade do meio ambiente, além disto, podem acumular metais numa concentração muito superior à da água, facilitando portanto sua detecção

Neste sentido, avaliamos através deste trabalho a possibilidade de utilização de macrófitas aquáticas flutuantes para o monitoramento da contaminação ambiental por Hg e investigamos a existência de gradientes ambientais de contaminação na região do garimpo do rio Tartarugalzinho (TZ), Amapá. Foram efetuadas comparações dos dados de Hg total em *Eichhornia azurea* e sedimentos da bacia e de ambos os dados da região contaminada com um lago controle (Lago Pracuúba), próximo à área de estudos .

## ÁREA DE ESTUDO

O rio Tartarugal Grande (TG) está situado no estado do Amapá e tem como um de seus principais afluentes o rio Tartarugalzinho (TZ), em cujas margens desenvolve-se a atividade de garimpo de ouro, bastante antiga na região, na cidade de mesmo nome. Esse rio desemboca no lago Duas Bocas (DB), importante fornecedor de pescado para os vilarejos próximos e para Macapá. A pesca é uma das atividades mais importantes da região, junto com o garimpo e a criação de gado.

O lago Pracuúba (PB), situado a aproximadamente 15 km ao norte do TZ, é bastante similar ao lago DB em aspectos tais como fisiografia, geoquímica, população e dieta, mas não possui fontes de emissão de Hg em sua bacia hidrográfica e nenhuma comunicação com o sistema do lago DB, mesmo durante a cheia (Guimarães *et al.*, 1997b).

Os ventos dominantes na região vêm do nordeste o que reduz a possibilidade de uma contaminação do lago PB via transporte atmosférico originado do garimpo no rio TZ, o que justifica a escolha deste lago controle para os estudos efetuados.

A Figura 1 mostra a localização da área de estudo no estado do Amapá e a Figura 2 apresenta os detalhes da área de estudo com a localização da zona de garimpo e dos corpos d'água estudados.

## METODOLOGIA

Foram coletados nos períodos úmidos de 1996 (maio) e 1997 (março), exemplares adultos de *Eichhornia azurea* em diferentes

pontos dos rios TZ, TG e do lago DB, bem como do lago PB, não impactado. Os exemplares foram congelados e armazenados em sacos de polietileno. Posteriormente, o limbo e as raízes/rizoma de *E. azurea* foram separados (sem lavagem), secos a 60°C e triturados em moinho. As amostras foram submetidas à digestão ácida em microondas CEM (MDS-2000) utilizando-se 6 mL de uma solução de HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2:1) e 4 mL de KMnO<sub>4</sub> a 5 % por aproximadamente 20 minutos. Após digestão foram acrescentadas algumas gotas de NH<sub>2</sub>OH.HCl 12 % para diminuição da oxidação do meio. A determinação do Hg total foi realizada por CVAAS (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry), utilizando-se sistema automático de injeção em fluxo (FIMS-400, da Perkin Elmer). Para garantir a precisão e reprodutibilidade das análises, junto às amostras foram analisadas as amostras certificadas de referência Hay (capim) da IAEA ou padrões secundários de macrófita aquática de concentração estabelecida por comparação com as amostras de referência.

A coleta de sedimento foi efetuada com uma draga de Ekman ou manualmente. As amostras foram congeladas até tratamento.

Uma vez descongeladas, as amostras de sedimento foram peneiradas para separação da fração < 62 µm, secas a 50°C e armazenadas em frasco de borosilicato. As amostras foram digeridas em meio ácido e oxidante (HNO<sub>3</sub> e KMnO<sub>4</sub>, 5%), em sistema aberto a 60°C, a fim de obter todo o mercúrio na forma Hg<sup>+2</sup>. O mercúrio foi reduzido a Hg<sup>0</sup>, em sistema de injeção em fluxo, pelo cloreto estano. Depois de uma separação da fase gasosa e líquida, o vapor de mercúrio é levado, pelo gás de arraste, até uma célula de quartzo colocada na frente do feixe de luz emitido pela lâmpada de mercúrio. A leitura da absorção, proporcional à concentração, é feita a 253,7 nm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de macrófitas aquáticas absorverem e acumularem em sua biomassa grande quantidade de poluentes, como os metais pesados, torna-as especialmente importantes para utilização como bioindicadoras de qualidade ambiental.

Os metais associados aos materiais em suspensão podem ser capturados pela malha filtrante das raízes destes vegetais, em plantas

flutuantes, e serem absorvidos e translocados entre os diversos órgãos vegetais ou, em plantas enraizadas no sedimento, serem diretamente absorvidos deste substrato.

Nossos resultados demonstraram a possibilidade de utilização de *E. azurea* na monitoração ambiental, e detectaram a existência de um gradiente na concentração de Hg tanto em raiz como em limbo, ao longo da bacia.

Seidel (1973) obteve altas taxas de absorção de cobre, chumbo, manganês e zinco em *Scirpus lacustris*. Espécies flutuantes como *Eichhornia crassipes* e *E. azurea* podem ser utilizadas como bons monitores biológicos da contaminação por metais (Pb, Cu, Cr e Zn), como indicaram investigações realizadas por Pfeiffer *et al.* (1986) no rio Paraíba do Sul, em que o conteúdo de metais destas plantas seguiu o padrão de distribuição da concentração de metais neste ambiente.

Coquery & Welbourn (1994) concluíram em seus estudos que *Eriocaulon septangulare*, macrófita que vive enraizada no sedimento, pode ser usada como monitor da contaminação deste por Hg, em vista das altas concentrações deste metal encontrada em suas raízes, em sedimentos artificialmente contaminados, comparados ao sedimento natural.

Manny *et al.* (1991) testaram a utilização de macrófitas flutuantes submersas para monitoração da contaminação por metais em sistemas aquáticos através da comparação de áreas poluídas e não poluídas, observando que as concentrações de metais em macrófitas de áreas poluídas eram maiores que em áreas não poluídas.

Em nossos estudos, os valores de Hg em raiz são comparáveis àqueles observados em sedimento de fundo, e sempre superiores aos observados no limbo.

O fato de podermos observar um gradiente de Hg tanto em amostras de limbo como em raiz foi importante, pois indicou a existência de uma efetiva absorção de Hg pela planta. Não podemos afirmar se a absorção em *E. azurea* ocorre a partir do Hg em solução e/ou das partículas associadas à raiz, mas o resultado sugere a existência de um gradiente de Hg dissolvido. *E. azurea* não é, portanto, apenas um filtrador de partículas em suspensão: a análise de Hg em seus tecidos fornece uma indicação da biodisponibilidade deste metal.

Coquery & Welbourn (1995) observaram que a macrófita *E. septangulare* possuía concentrações de Hg, Pb e Cd em raízes significativamente menores do que as encontradas em suas folhas.

De forma geral, os valores de Hg total em *E. azurea* tendem a diminuir até o rio TG, novamente aumentando no lago DB (Figura 3A). Os valores encontrados para o sedimento de fundo têm um padrão similar (Figura 3B), embora o decréscimo na concentração de Hg total a partir da fonte seja mais regular.

Acreditamos que boa parte do Hg encontrado nas raízes seja proveniente da captura das partículas em suspensão na água. Logo, os resultados obtidos podem estar relacionados a fatores hidrodinâmicos. Uma vez que a maior velocidade da corrente observada no rio TG dificultaria o acúmulo de materiais em suspensão nas raízes de *E. azurea*, diminuindo os teores totais de Hg. Em contrapartida, no lago DB os valores de Hg voltaram a aumentar.

Ambientes lânticos têm como uma de suas principais características a função acumuladora, devido à redução de correntes e turbulências, que favorecem a deposição de partículas. Nestes ambientes, há maior desenvolvimento de plantas aquáticas, que capturam materiais diversos em suas raízes, tanto de origem aquática como terrestre. É provável que o aumento dos valores de Hg em *E. azurea* no lago DB reflita tanto a maior acumulação de partículas em suspensão na coluna d'água, facilitada pelo menor hidrodinamismo, como também a retenção de partículas de menor tamanho, normalmente mais ricas em Hg. Uma vez que as coletas foram realizadas em épocas chuvosas, os resultados refletem também a ressuspensão de sedimento de fundo acumulado no período seco.

Bidone *et al.* (1997), em estudos na mesma região, encontraram altos valores de Hg no sedimento nas áreas de garimpo (até 10 mg.kg<sup>-1</sup>) e observaram correlação positiva entre as concentrações de Hg na água e a quantidade de sólidos em suspensão, tanto no rio TZ, quanto no lago DB, o que reforça nossas idéias sobre a captura de metais associados aos materiais em suspensão pelas raízes de *E. azurea*.

## CONCLUSÕES

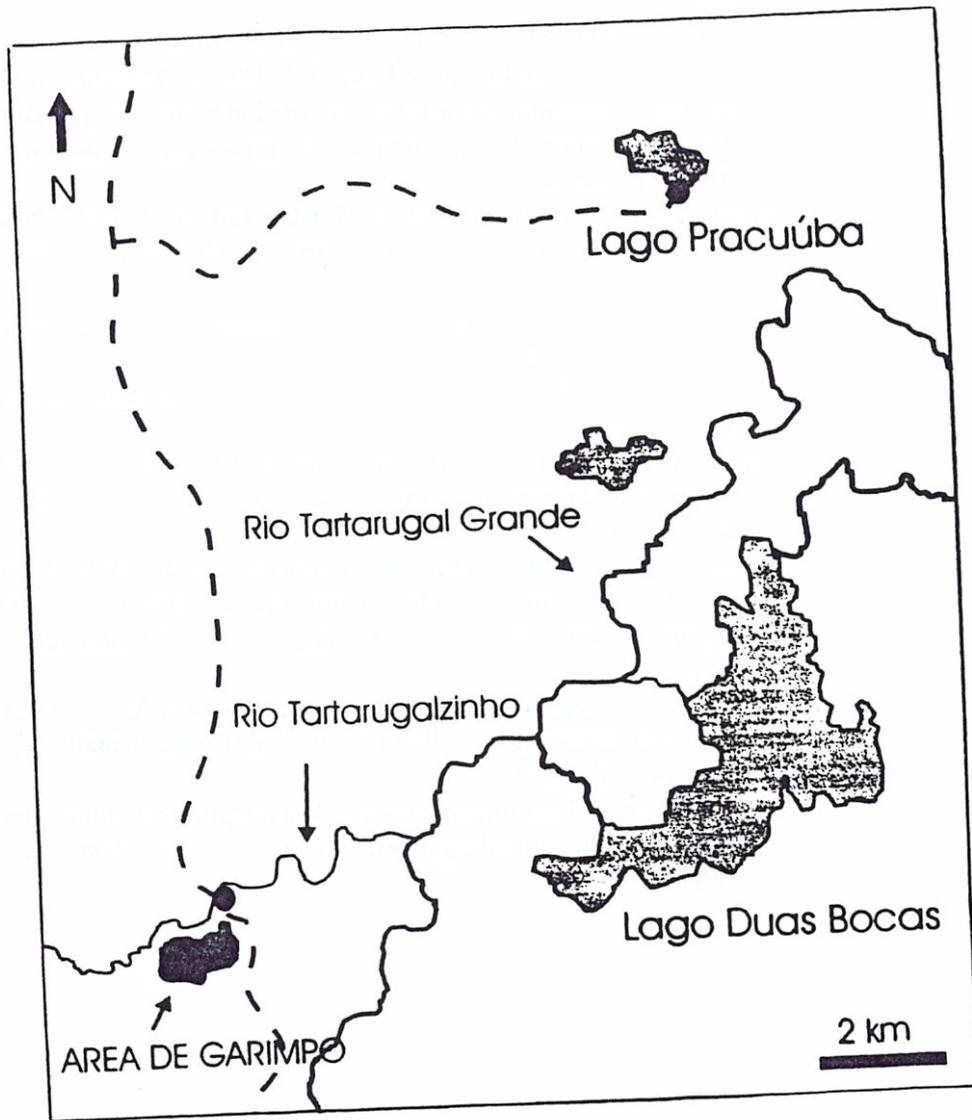
É possível detectar um gradiente de concentração de Hg em raiz e limbo de *E. azurea* desde a fonte pontual de emissão deste metal, através da bacia, até o lago DB. Este gradiente reflete provavelmente tanto a diluição do Hg a partir da fonte, como as variações das condições hidrodinâmicas ao longo da bacia, e foi bastante similar àquele encontrado para o Hg no sedimento de fundo. O aumento dos valores de Hg total em *E. azurea* no lago DB seria resultado da natureza acumuladora dos ambientes lênticos, que deixa seu registro na malha filtrante da raiz desta espécie. *E. azurea* e outras macrófitas podem, portanto, ser utilizadas como monitores de contaminação de Hg em ambientes aquáticos, complementando ou mesmo substituindo o sedimento de fundo para esta finalidade.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq e PRONEX pelo apoio financeiro, à Secretaria de Meio Ambiente do Amapá, ao IBAMA e à Prefeitura Municipal de Tartarugalzinho pelo apoio logístico.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bidone, E.D., Castilhos, Z.C., Santos, T.J.S., Souza, T.M.C. & Lacerda, L.D. 1997. Fish Contamination and Human Exposure to Mercury in Tartarugalzinho River, Amapá State, Northern Amazon, Brazil. A Screening Approach. *Water, Air, Soil Pollut.*, 97: 9-15.
- Chigbo, F.E., Smith, R.W. & Shore, F.L. 1982. Uptake of Arsenic, Cadmium, Lead and Mercury from Polluted Waters by the Water Hyacinth *Eichhornia crassipes*. *Environ. Pollut. (Ser. A)*, 27: 31-36.
- Coquery, M. & Welbourn, P.M. 1994. Mercury Uptake from Contaminated Water and Sediment by Rooted and Submerged Aquatic Macrophyte *Eriocaulon septangulare*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 26:335-341.
- Coquery, M. & Welbourn, P.M. 1995. The Relationship between Metal concentrations and Organic Matter in Sediments and Metal Concentration in the Aquatic Macrophyte *Eriocaulon septangulare*. *Wat. Res.*, 29: 2094-2102.
- Guimarães, J.R.D., Meili, M., Malm, O. & Brito, E.M.S. 1997a. Mercury Methylation in Sediments and Floating Meadows of a

- Tropical Lake, Pantanal Wetland, Brazil. *Sci. Tot Environ.*, in press.
- Guimarães, J.R.D., Fostier, A.H., Forti, M.A., Melfi, J.A., Kehrig, H., Mauro, J.B.N., Malm, O. & Krug, F.J. 1997b. Mercury in Human and Environmental Samples from two Lakes in Amapá, Brazilian Amazon: Natural Background and Anthropogenic Contamination. *Ambio*, (in press)
- Lemos, R.M.A., Guimarães, J.R.D. & Bianchini Jr., I. 1998. Potencial de Metilação do Mercúrio no Detrito de *Eleocharis sellowiana*. (em preparação)
- Malm, O., Castro, M.B., Bastos, W.R., Branches, F.J.P., Guimarães, J.R.D., Zuffo, C.E. & Pfeiffer, W.C. 1995. An Assesment of Hg Pollution in Different Goldmining Areas, Amazon Brazil. *Sci. Tot. Environ.*, 175: 127-140.
- Manny, B.A., Nichols, S.J. & Schloesser, D.W. 1991. Heavy Metals in Aquatic Macrophytes Drifting in a Large River. *Hydrobiologia*, 219: 333-344.
- Mauro, J.B.N., Lemos, R.M.A. & Guimarães, J.R.D. 1998. Metilação do Mercúrio em Raiz de *Eichhornia crassipes* e Sedimento Orgânico sob Diferentes Condições de Oxigenação. (em preparação)
- Pfeiffer, W.C., Fiszman, M., Malm, O. & Azcue, J.M. 1986. Heavy Metal Pollution in the Paraíba do Sul River, Brazil. *Sci. Tot. Environ.*, 58: 73-79.
- Seidel, K. 1973. Leistungen höherer Wasserpflanzen unter heutigen extremen Umweltbedingungen. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 1395-1405.





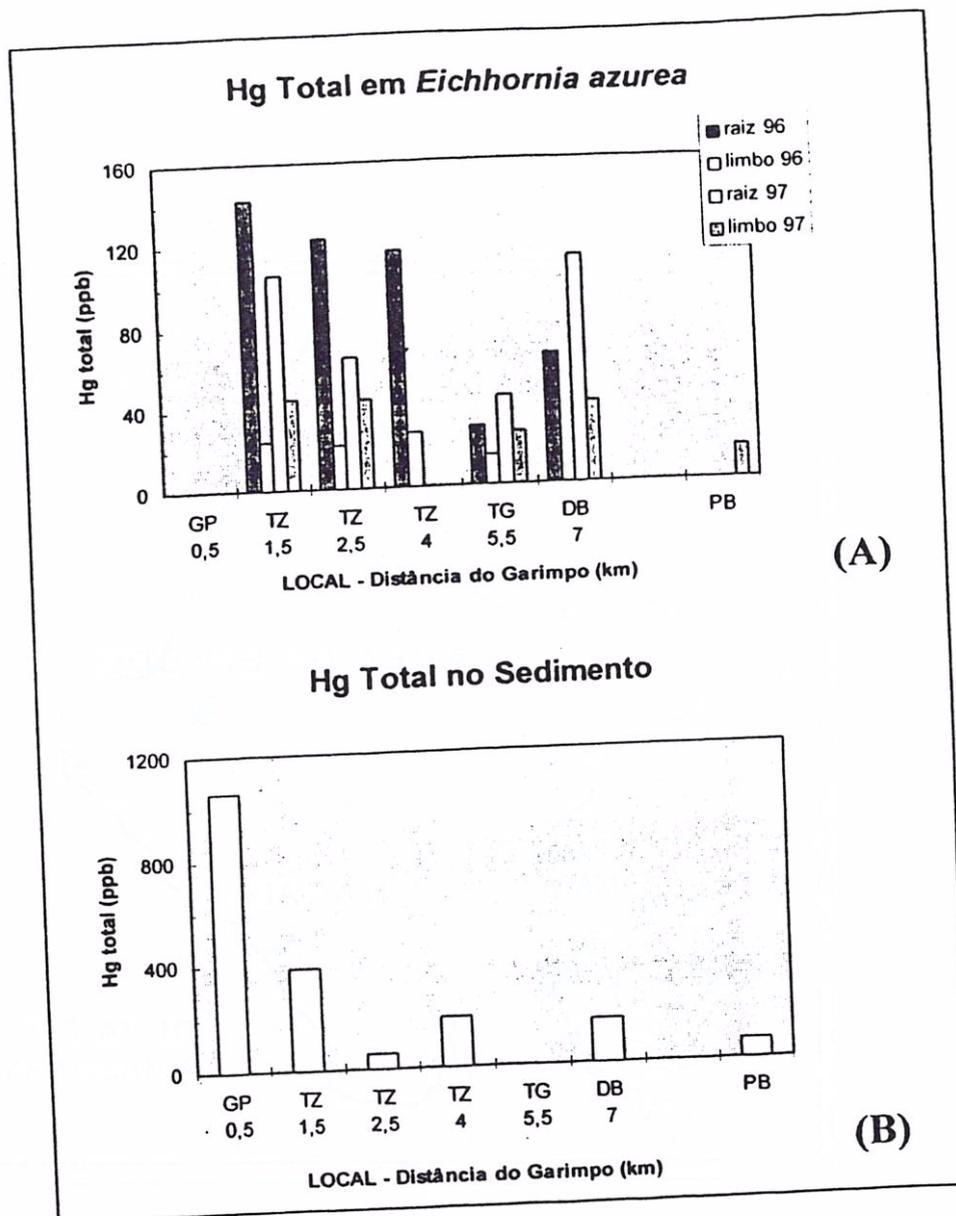


Figura 3 - Concentração de Hg total em *E. azurea* (raiz e limbo) (A) e no sedimento (B) na bacia do rio Tartarugalzinho ( GP = garimpo; TZ = rio Tartarugalzinho; TG = rio Tartarugal Grande; DB = lago Duas Bocas; PB = lago Pracuúba).