

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA**

**TALITA CRISTIANE MAIA SOARES**

**ACUMULAÇÃO DE Hg EM CAMARÕES *Litopenaeus vannamei* CULTIVADOS SOB  
DIFERENTES DIETAS ALIMENTARES**

**FORTALEZA – CE**

**2008**

**TALITA CRISTIANE MAIA SOARES**

**ACUMULAÇÃO DE Hg EM CAMARÕES *Litopenaeus vannamei* CULTIVADOS SOB  
DIFERENTES DIETAS ALIMENTARES**

Monografia apresentada ao Departamento de  
Química Analítica e Físico-Química do Centro de Ciências da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Químico Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

**FORTALEZA - CE**

**Novembro / 2008**

**TALITA CRISTIANE MAIA SOARES**

**ACUMULAÇÃO DE Hg EM CAMARÕES *Litopenaeus vannamei* CULTIVADOS SOB  
DIFERENTES DIETAS ALIMENTARES**

Monografia apresentada ao Departamento de  
Química Analítica e Físico-Química do Centro de Ciências da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Químico Industrial.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Francisco Audisio Dias Filho  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Lindomar Roberto Damasceno da Silva  
Universidade Federal do Ceará

*À minha Mãe: Rita Zilda Maia Soares*

*Mãe ,*

*Sempre amando sem nada pedir  
Mesmo com lágrimas nos olhos  
Sempre tem uma palavra amiga  
Um jeito certo para nos dominar  
Deixando-nos seguros na vida  
Embalando-nos com seu amor*

*Mãe, que dá a luz... Que faz luz  
Dá-nos a vida...  
E a ilumina com seu sorriso  
Com suas palavras doces  
Queria coroar-te...  
Com uma coroa de flores  
Agradecendo todo seu amor*

*Toda a sua força e coragem  
Dar-te o céu por merecimento  
Uma vida plena de felicidade  
Mas, o destino foi cruel demais.  
Levando-a do meu viver  
Deixando um rasgo em minha vida  
Uma fenda sem fim  
Quero deixar aqui expressa a minha gratidão  
Por tantas noites mal dormidas  
Pelas preocupações que lhe causei  
Tirando-lhe o sono, deixando-a aflita.  
Por todos seus carinhos espontâneos  
Quero te pedir perdão se não correspondi  
A todo seu amor por mim  
Mas, saiba que sempre te amei mais que tudo.  
Com toda a minha força  
E quando tive a oportunidade de coroar-te  
Foi com muita tristeza em meu coração  
E infelizmente a vida havia esvaído de ti  
Não consegui dar-te o céu aqui nesta vida...  
Deus antecedeu-me... Chamando-a para si  
Deixando-me triste, afligindo a minha alma  
Causando uma saudade imensa de ti  
Fazendo-me sofrer a cada dia  
Com a sua ausência que ninguém pode preencher  
E, é com muita saudade que te falo;  
Obrigada pela sua existência...*

*Obrigada pela minha existência*

*Por ter sido a minha Mãe!  
Por ter sempre me amado  
Enquanto aqui ficou...  
Obrigada por tudo...  
Porque aqui ainda estou...  
Até que chegue a minha hora  
E possa um dia te encontrar... Seja onde for.*

## AGRADECIMENTOS

*Ao nosso Deus, pelo dom da vida e paz de espírito que me conduziu até aqui.*

*À minha família: Minha mãe Rita Zilda Maia Soares, por seu amor incondicional, sua força eterna para sempre realizar as coisas, sua luta diária para nos dar sempre o melhor; ao meu pai Honório de Sousa Soares, em quem me espelho muito, por suas infinitas qualidades; aos meus irmãos Tatiana Cristina e Thales Nardel, pela nossa união, por todo apoio e incentivo; ao meu sobrinho, quase filho, Salomão Maia por toda alegria proporcionada e aos meus quase irmãos (Cunhados) Salomão Conrado e Cássia Torres por todo incentivo. A essa família que me estimula sempre a continuar, quando os momentos difíceis aparecem, Muito obrigada! Aos meus Tios e Tias, primos e primas e a todos os meus familiares pela torcida e por todo apoio prestado.*

*Ao Professor Luiz Drude de Lacerda, pela orientação, paciência, e apoio.*

*À professora Rozane Valente Marins pelo auxílio científico.*

*Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr Francisco Audisio Dias Filho, e Prof. Dr. Lindomar Roberto Damasceno da Silva pelas críticas e colaboração.*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa de Iniciação Científica.*

*À Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) e ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBC) pela concessão do espaço físico e estrutura.*

*Aos amigos da faculdade Cinthia Emmanuelle, Danielle Bráz, Danielle Monteiro, Edson Holanda, Elder Simplício, Elison Alexandre, Flávio Augusto, Ingrid Vanessa, Isabelle Karacas, Juliana Lima, Kerolene Ponte, Pablo Gordiano, Paula Marcelle, e em especial ao Paulo José que além de amigo sempre foi um irmão, por todos os momentos de descontração, apoio e amizade.*

*Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBC), Adriana.Nascimento, Breno Costa, Edvar Aguiar, Franzé Dias, Lincoln Davi, Louize Fonseca, Márcia Vanessa, Moisés Bezerra, Regina Oliveira, Roseline Torres, Samara Aranha, Tiago Farias, pelo coleguismo e convivência*

*Aos amigos Heloisa Paraquetti e Marcelo de Almeida por toda contribuição e ensinamento.*

*Aos grandes amigos Carlos Víctor, Dágylla França, Emanuelle Costa, Gustavo Neto, e Cristiane.*

*A quem mais não me recorde agora, mas que me tenha ajudado de alguma forma a manter sempre a cabeça erguida e seguir em frente! MEU SINCERO OBRIGADA!!*

## RESUMO

O Hg é reconhecidamente tóxico para organismos estuarinos, podendo se constituir em ameaça a criação desses animais. Em camarões cultivados, por exemplo, concentrações de Hg de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , resultam na inibição de 50% do consumo de oxigênio e um aumento de 217% na excreção de amônia. A principal fonte de metais para a carcinicultura é o uso de rações comerciais sem o necessário controle dessas substâncias. Desta forma, o objetivo deste estudo foi verificar a acumulação de Hg em *L. vannamei* (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) cultivado sob diferentes regimes de alimentação: cultivo intensivo controlado usando rações comerciais e cultivo semi-intensivos usando uma mistura de rações comerciais e fitoplâncton em áreas abertas. As concentrações de Hg medidas nas rações comerciais variaram de 15,3 a 90,3  $\text{ng.g}^{-1}$  no experimento intensivo e de 5,4 a 33,5  $\text{ng.g}^{-1}$  no experimento semi-intensivos. As concentrações de Hg medidas nos organismos analisados respondem proporcionalmente às concentrações de Hg medidas nas rações, com concentrações significativamente maiores naqueles organismos mantidos em condições controladas de cultivo intensivo em galpão. A distribuição de Hg nos diferentes compartimentos também sugere uma resposta às concentrações medidas nas rações. No experimento intensivo, as maiores concentrações foram observadas em hepatopâncreas, seguidas pelo exoesqueleto e musculatura. Por outro lado, no experimento semi-intensivo, as concentrações foram maiores na musculatura, embora não significativamente diferentes dos demais compartimentos. No experimento semi-intensivo, a utilização pelo camarão do fitoplâncton presente nos tanques e ingestão de rações com menores teores de Hg, contribuí para as menores concentrações de Hg nos tecidos. A ração é a principal fonte de Hg para o *L. vannamei*, particularmente sob cultivo intensivo, com uma maior incorporação do Hg ao músculo e possível transferência ao exoesqueleto. A contaminação por Hg não interferiu no crescimento dos camarões, pelo menos durante o período experimental de cultivo que foi de 70 dias, e as concentrações de Hg encontradas nos tecidos estão bem abaixo dos limites determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária ( $500 \text{ ng.g}^{-1}$ ) para consumo humano.

**Palavras-Chave:** mercúrio, *Litopenaeus vannamei*, ração.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Ciclo do mercúrio e acumulação nas teias alimentares. Os números 1-7 indicam a biomagnificação do Hg ao longo da teia alimentar (COUTINHO, 2008).....	16
Figura 2: O camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> , cultivado no Estado do Ceará. ....	19
Figura 3:Esquematização do experimento intensivo e semi-intensivo, com destaque para alocação de cada grupo de animais nos tanques.....	24
Figura 4: Espectrofotômetro de fluorescência atômica, PSA Millennium Merlin 10.025, utilizado na detecção de Hg.....	25
Figura 5: Concentração média de triplicatas de mercúrio em rações comerciais utilizadas no experimento INTENSIVO.....	27
Figura 6: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no músculo do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO.....	28
Figura 7: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no exoesqueleto do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO. ....	29
Figura 8: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) hepatopâncreas do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO.....	29
Figura 9: Correlação entre a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração com o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento INTENSIVO.....	30
Figura 10: Distribuição de $\text{Hg}^{2+}$ entre o hepatopâncreas e o músculo nos camarões do experimento INTENSIVO.....	31
Figura 11: Distribuição de $\text{Hg}^{2+}$ entre exoesqueleto e o músculo nos camarões do experimento INTENSIVO.....	31
Figura 12: Concentração média de triplicatas de mercúrio em rações comerciais utilizadas no experimento SEMI-INTENSIVO.....	32
Figura 13: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no músculo do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO.....	33
Figura 14: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no exoesqueleto do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO.....	33
Figura 15: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) hepatopâncreas do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO .....	34

Figura 16: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração com o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento SEMI-INTENSIVO.....	35
Figura 17: Distribuição de $\text{Hg}^{2+}$ entre o hepatopâncreas e o músculo nos camarões do experimento SEMI-INTENSIVO.....	35
Figura 18: Distribuição de $\text{Hg}^{2+}$ entre exoesqueleto e o músculo nos camarões do experimento SEMI-INTENSIVO.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos experimentos em laboratório .....	23
Tabela 2: Concentrações médias de triplicatas de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) medidas em diferentes rações e tecidos (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) do camarão ( <i>L. vannamei</i> ) ao fim de 70 dias de cultivo INTENSIVO (70 dias). .....	28
Tabela 3: Concentrações de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração e o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento INTENSIVO. ....	30
Tabela 4: Concentrações de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) medidas em diferentes rações e tecidos (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) do camarão ( <i>L. vannamei</i> ) ao fim de 70 dias de cultivo SEMI-INTENSIVO (70 dias). ....	32
Tabela 5: Concentrações de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração e o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento SEMI-INTENSIVO. ....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 Formas físico-químicas e suas transformações.....	14
1.2 Ciclo e ocorrência na natureza.....	16
1.3 Toxicologia e exposição humana ao mercúrio .....	17
1.4 Uso antrópico.....	17
1.5 Carcinicultura e Hg.....	18
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	21
2.1 Objetivo geral .....	21
2.2 Objetivos específicos .....	21
<b>3 MATERIAI E MÉTODOS</b> .....	22
3.1 Cultivo em laboratório .....	22
3.2 Manutenção do sistema, alimentação e amostragem .....	22
3.3 Determinação de Hg em tecidos e rações .....	25
3.4 Tratamento Estatístico .....	26
3.4.1 Correlação .....	26
3.4.2 “Teste <i>t de Student</i> ” .....	26
<b>4. RESULTADOS</b> .....	27
4.1 Experimento Intensivo: concentração de Hg <sup>2+</sup> nas rações e nos tecidos.....	27
4.2 Experimento Semi-intensivo: Concentração de Hg <sup>2+</sup> nas rações e nos tecidos.....	31
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	37
5.1 Ração .....	37
5.2 Tecidos.....	38

5.2.1 Hepatopâncreas .....	38
5.2.2 Músculo .....	40
5.2.3 Exoesqueleto .....	41
5.3 Crescimento .....	42
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O mercúrio, elemento químico de número atômico 80, tem o símbolo atômico Hg (derivado da palavra hidrargiro). Encontra-se no grupo 12 da Tabela Periódica de classificação dos elementos. Além do seu estado elementar ( $\text{Hg}^0$ ), ele pode existir em duas formas oxidadas: 1+ ( $\text{Hg}^{1+}$ ) e 2+ ( $\text{Hg}^{2+}$ ), nas quais o átomo perdeu um e dois elétrons, respectivamente. Além de inodoro, o mercúrio é o único metal conhecido que se apresenta no estado líquido em temperatura ambiente e a  $0^\circ\text{C}$ , é também o único elemento, além dos gases nobres, cujo vapor é monoatômico à temperatura ambiente e no estado sólido apresenta características de ser mole e dúctil.

Conhecido desde a antiguidade, sua designação em latim, *hydrargyrum*, significa prata líquida, com a qual se assemelha. As diferentes formas químicas do mercúrio são comumente designadas por “espécies”, e o estudo dessas espécies no meio ambiente é conhecido como especiação. As espécies mais importantes do mercúrio são: mercúrio elementar ( $\text{Hg}^0$ ), as espécies de mercúrio inorgânico, principalmente  $\text{Hg}^{2+}$  e as espécies de mercúrio orgânico dos quais a mais tóxica é o metilmercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ). O mercúrio está presente em concentração traço, com mais frequência na forma inorgânica  $\text{Hg}^{2+}$ , em toda a crosta terrestre, na faixa de 50 a 80  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  (WHO, 2000; WHO, 1991; UNEP, 2002B; AZEVEDO, 2003).

O Hg pode ser considerado o metal mais tóxico, e por suas características físico-químicas, dos mais intrigantes. Várias de suas formas químicas de importante ocorrência ambiental são voláteis, permitindo tanto outras vias não usuais de exposição ao homem, como também, que seja transportado a grandes distâncias. Sua forma mais tóxica, o metil-mercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ), é um composto orgânico com grande estabilidade química, o que aliado à sua alta afinidade por lipídios (membranas biológicas) o conduz a um trânsito preferencial e estável pela biota (MALM, 1993). Sua toxicidade é definida pela elevada meia – vida biológica – 70 dias, levando a bioacumulação no organismo (KITAHARA *et al*, 2000).

O ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) apresenta a biomagnificação (aumento das concentrações ao longo dos níveis tróficos) de forma mais eficiente do que qualquer outro poluente metálico. As cadeias alimentares podem então amplificar as concentrações, com os maiores valores sendo encontrados nos organismos predadores, no topo das teias tróficas. Este fenômeno é muito

melhor documentado em sistemas aquáticos onde, dependendo do nível de poluição ambiental, podem ser contaminados vários níveis tróficos a partir de crustáceos e moluscos e não só os peixes carnívoros. Mamíferos aquáticos de longa vida ou grandes peixes carnívoros como tubarões, mesmo em águas não contaminadas, também apresentam níveis mais elevados de Hg (MALM, 1993).

Na coluna d'água o mercúrio associado ao material particulado em suspensão tende a sedimentar, enquanto o mercúrio dissolvido encontra-se mais biodisponível e pode ser incorporado pela biota. O processo de metilação do mercúrio, que aumenta significativamente sua biodisponibilidade e acumulação ao longo da cadeia alimentar, é favorecido em ambientes aquáticos anóxicos ou subóxicos, levemente ácidos, com concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida e atividade microbiológica intensa. Em áreas de remanso, lagos marginais e de inundação e em reservatórios artificiais, essas características biogeoquímicas estão mais propensas a ocorrer (LACERDA & MALM, 2008).

O interesse das autoridades sanitárias na determinação dos níveis de Hg está diretamente relacionado ao consumo de peixes e outros organismos, como o camarão, devido ao seu alto poder de bioacumulação e biomagnificação. Dentre outros organismos os camarões estão sujeitos à contaminação desse metal podendo o mesmo ser facilmente incorporado ao seu alimento e conseqüentemente ao organismo (RODRIGUES & CASTILHO, 2003).

### **1.1 Formas físico-químicas e suas transformações**

O Mercúrio se apresenta em vários estados de oxidação com números de valência, 0, 1+ e 2+, sendo que no meio ambiente podemos destacar as três formas químicas mais importantes que são:

a) A forma metálica sem carga ( $\text{Hg}^0$ ) é a dominante na atmosfera (>80%), onde pode ter um tempo de residência de pelo menos alguns meses ou até de um ou dois anos, tendendo a estar uniformemente distribuída na troposfera. O  $\text{Hg}^0$  é oxidado na atmosfera a formas solúveis que tendem a se depositar. Estes processos parecem ser substancialmente aumentados em situações de elevada umidade (LINDQVIST *et al*, 1984). Devido a sua lipossolubilidade e ausência de carga elétrica atravessa membranas biológicas muito mais facilmente do que a forma divalente ( $\text{Hg}^{2+}$ ). Em sistemas aquáticos, assume-se que fenômenos

relacionados não com a cinética de processos químicos, mas os biológicos, sejam os mais importantes no controle da concentração de  $Hg^0$  (HARRIS, 1989);

b) A forma divalente ( $Hg^{2+}$ ) possui extrema afinidade por ligantes inorgânicos e orgânicos em organismos, especialmente os radicais sulfidríla de enzimas, inativando-as. Quando dissolvido, apresenta-se em ambientes aquáticos, mais comumente nas formas de cloreto, hidróxido ou preferencialmente complexado a ácidos húmicos e fúlvicos. Sua mobilidade no ambiente está, como muitos outros metais, inversamente relacionada ao pH do sistema, quando se consideram fenômenos de adsorção a partículas minerais. Entretanto, em ambientes temperados, no que se refere à associação com matéria orgânica sua afinidade e associações ainda permanecem elevadas mesmo em pH's ácidos, apresentando-se então móvel quando associado a ácidos fúlvicos ou precipitado, na forma de ácidos húmicos, também considerados pouco disponíveis para transformações biológicas (LODENIUS, 1990);

c) O metil-mercúrio ( $CH_3Hg^+$  ou MeHg) é solúvel em água onde pode se apresentar na forma de um complexo aquoso  $CH_3-Hg-OH_2^+$ , sendo a formação de complexos com  $Cl^-$ ,  $Br^-$ , e  $OH^-$  muito rápida e controlada por processos de simples difusão. O metil-mercúrio é bastante estável em ambientes aquáticos, tem grande afinidade tanto por lipídios como por grupos sulfidríla com os quais forma fortes ligações covalentes, sendo rapidamente acumulado, mas lentamente eliminado de organismos biológicos. Pode ser formado a partir de  $Hg^{2+}$  por inúmeros processos biologicamente mediados, mas também abióticos, sendo que os primeiros têm maior importância, de uma forma global (STUMN *et al*, 1981).

## 1.2 Ciclo e ocorrência na natureza

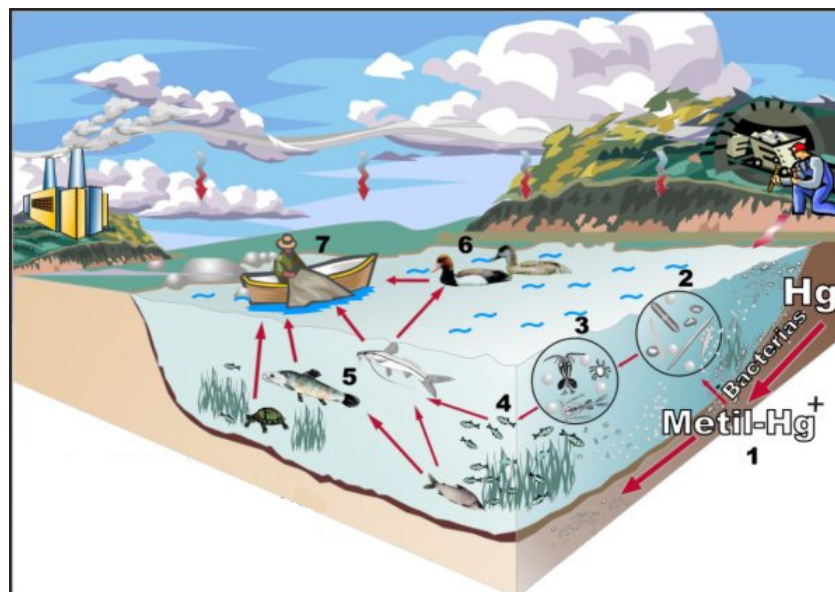


Figura 1. Ciclo do mercúrio e acumulação nas teias alimentares. Os números 1-7 indicam a biomagnificação do Hg ao longo da teia alimentar (COUTINHO, 2008).

O ciclo biogeoquímico do mercúrio é caracterizado por várias rotas que este composto pode seguir no ambiente. Dentre elas destacam-se a sua liberação do solo e da água para a atmosfera, transporte e deposição atmosférica. Quando em contato com o solo ou sedimento, pode ocorrer sorção do mercúrio na forma insolúvel seguida de metilação/demetilação. O ciclo é completado pelas rotas de precipitação, bioconversão em formas voláteis ou solúveis, reemissão desta para a atmosfera ou bioacumulação na cadeia alimentar aquática ou terrestre (BISINOT & JARDIM, 2004).

O Hg raramente é encontrado como elemento livre na natureza. Encontra-se amplamente distribuído, porém em baixas concentrações, por toda a crosta terrestre. Na forma de mercúrio elementar ( $\text{Hg}^0$ ), encontra-se na 16ª posição em relação à sua abundância na natureza e suas reservas são avaliadas em cerca de 30 bilhões de toneladas (NASCIMENTO & CHASIN, 2001).

As fontes naturais mais significativas de mercúrio são a vaporização natural da crosta terrestre, as emissões de vulcões e a evaporação de corpos aquáticos. As elevadas temperaturas do manto da Terra implicam em alta mobilidade e permanente difusão do metal para a superfície. Em zonas de fundas fraturas geológicas e em águas hidrotermais esse processo de mobilização e difusão acontece intensamente. Nesses locais estão localizados os cinturões geológicos mercuríferos, onde as concentrações de mercúrio na camada superior excedem seus valores médios na crosta da terra (WHO, 1991; AZEVEDO, 2003).

Em ambientes aquáticos não impactados, os níveis de  $Hg^{2+}$  são baixos, na faixa de nanogramas por litro (WHO, 1976 e 1990), porém, descargas pontuais resultantes de fontes antropogênicas aumentam as concentrações no ecossistema. A dispersão do mercúrio depende de vários fatores, entre eles, a solubilidade e a reatividade - estabilidade química e a presença de organismos. O fator que mais influencia na acumulação de  $Hg^{2+}$  pelos organismos aquáticos, é a concentração no ambiente aquático, no sedimento e no alimento (HUCHABEE *et al.*, 1979).

### **1.3 Toxicologia e exposição humana ao mercúrio**

A toxicologia de uma substância está principalmente associada à sua ação bioquímica, às alterações fisiológicas e metabólicas que provoca, mas também à estabilidade química e ao tempo de residência nos órgãos/organismos alvo. A meia vida biológica para eliminação de MeHg é das maiores entre quaisquer compostos metálicos (MOORE, & RAMAMOORTHY, 1984).

Ao ingerir alimentos contaminados com mercúrio, pode-se ter problemas de ordem neurológica, pois o composto metil-Hg apresenta uma seletividade em atacar o sistema nervoso central e suas estruturas mais evoluídas, tal como o córtex cerebral, causando problemas como distúrbios visuais, ataxia, perda de audição, deterioração mental, tremor muscular, hipertensão, distúrbios metabólicos e em casos de exposição grave, paralisia e morte. O composto ao ser ingerido por mulheres grávidas pode ocasionar problemas no feto, pois o metil-Hg tem a propriedade de ultrapassar a barreira da placenta e a hematoencefálica, ocasionando desta forma os mesmos efeitos antes mencionados no feto (WHO, 1991; UNEP, 2002a).

O mercúrio é o único metal que reconhecidamente causou óbitos em humanos em razão de contaminação pela via ambiental, particularmente via ingestão de organismos aquáticos contaminados (BARKAY *et al.*, 2003; DOREA *et al.*, 2003; LACERDA & MALM, 2008).

### **1.4 Uso antrópico**

O mercúrio tem sido utilizado ao longo da história da humanidade de diversas formas: nas escrituras nas paredes das cavernas, em objetos de argila e em pinturas faciais, através da utilização do mineral cinábrio (sulfeto de mercúrio  $HgS$ ). Posteriormente, também foi muito valorizado por hindus e chineses na pintura de estruturas decorativas, devido a sua

coloração vermelho-dourado. O primeiro uso não decorativo do mercúrio foi à amalgamação, devido a sua propriedade de dissolver metais como ouro e prata (AZEVEDO, 2003).

O mercúrio é usado principalmente como catalisador na produção eletrolítica do cloro e da soda cáustica na indústria de cloro-álcali. É também usado na indústria de polpa de papel, em baterias domésticas, em vários tipos de lâmpadas elétricas, incluindo as fluorescentes e as de descarga de alta densidade, em interruptores, retificadores e termostatos elétricos, em bombas de difusão a vapor de mercúrio, manômetros, barômetros, e outros tipos de instrumentos de pressão, medição e calibração usados, inclusive em laboratórios analíticos, de pesquisas químicas, físicas e biológicas, tubos de raios-X, válvulas de rádio, dispositivos de navegação, em amálgamas dentários, em pigmentos, como catalisador em reações poliméricas, em explosivos, em medicamentos e aplicações químicas, no tratamento de minérios de ouro e prata e para refino de metais, na produção de ácido acético e acetaldeído a partir do acetileno, em fotografia, na pintura e na produção de seda artificial (NASCIMENTO & CHASIN, 2001).

Na Amazônia a preocupação com mercúrio se dá pela sua utilização na mineração. A utilização de mercúrio na exploração do ouro é conhecida como processo de rotina, onde as partículas mais pesadas no sedimento são separadas com bateia e então é acrescido o mercúrio. Este se fixa nas partículas de ouro, formando um amálgama que é facilmente separado por queima, onde o Hg se volatiliza e se separa do ouro, afetando principalmente os garimpeiros e trabalhadores locais (HOLFFMAN *et al.*, 2003).

## 1.5 Carcinicultura e Hg

O cultivo de camarão é uma das atividades econômicas que mais crescem em vários países do mundo. No Brasil, a associação do clima favorável e o domínio das novas tecnologias de produção, colocam o País como um dos principais produtores de camarão das Américas (POERSCH, 2004). Este setor do agronegócio é relativamente novo, mas já apresenta grande expansão, cujo crescimento registrado na última década foi de 20% ao ano (LACERDA *et al.*, 2006). Entretanto, apesar das vantagens econômicas e de tradicionalmente ser considerada uma das atividades do setor primário de baixo impacto ambiental, danos ambientais têm sido reportados em decorrência desta atividade (ALONSO-RODRÍGUES & PÁEZ-OZUNA, 2003).



Figura 2: O camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei*, cultivado no Estado do Ceará.

As águas oriundas dos cultivos têm alta concentração de material orgânico em suspensão e nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (JONES *et al.*, 2001; BURFORD *et al.*, 2003), além de metais pesados como o Hg. Resultado basicamente, dos restos de alimento fornecido aos camarões (ração), excreção, fitoplâncton e fertilizantes, que geram um potencial para a eutrofização das águas costeiras (JACKSON *et al.*, 2004).

Além da contaminação proveniente de atividades humanas como indústrias e garimpos, os peixes e crustáceos cultivados estão expostos a poluentes através da ração fornecida. Isso ocorre devido ao uso de ingredientes na formulação dessas rações, os quais podem ser potenciais fontes de contaminação, como por exemplo, a farinha de peixe. Este ingrediente é de excelente qualidade nutricional e tem sido usada amplamente em rações para peixes (KASPER, 2006).

A farinha de peixe pode ser proveniente de duas fontes: a de pescado capturado somente para a produção desse ingrediente e a de subprodutos da pesca (DOREA, 2006). Assim, altos níveis de mercúrio têm sido encontrados em farinhas de peixe, por não haver fiscalização da matéria prima utilizada. Além do local de coleta e espécie de peixe, deve ser considerado que partes deste peixe são utilizadas para a fabricação da farinha, visto que os diferentes órgãos e tecidos dos peixes têm concentrações de Hg diferentes dependendo da espécie (KASPER, 2006).

O Hg é reconhecidamente tóxico para organismos estuarinos. Em camarões cultivados, por exemplo, concentrações de Hg de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , resultam na inibição de 50% do consumo de oxigênio e um aumento de 217% na excreção de amônia (BARBIERE *et al.*, 2005)

Hepatopâncreas, músculo e exoesqueleto são tecidos conhecidos por acumular metais traço, o hepatopâncreas é reconhecidamente um tecido que acumula metais não-essenciais como o mercúrio (PAES-OSUNA & RUIZ-FERNANDEZ, 1995). Além de possuir características de estocar e acumular metais traço, localiza-se dentro do cefalotórax, sendo um

sistema glandular que tem funções de fígado, de pâncreas e também de estômago. Em *L. vannamei*, foi demonstrado, que seguido do hepatopâncreas, o músculo é o tecido que mais acumula  $Hg^{2+}$  (RUELAS-INZUNZA *et al* 2004). O exoesqueleto é o tecido que menos acumula mercúrio dos três tecidos citados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Determinar a acumulação e distribuição corporal de mercúrio total (Hg) em camarões cultivados, *Litopenaeus vannamei*, sob diferentes condições de cultivo.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar a concentração de Hg nas rações utilizadas na carcinicultura.
- Determinar a concentração de Hg em diferentes tecidos de camarões (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas), da espécie *Litopenaeus vannamei*.
- Descrever a relação entre Hg nas fontes e na dieta.
- Avaliar se os níveis de Hg encontrados nos indivíduos estão abaixo do permitido pela legislação brasileira ( $500 \text{ ng.g}^{-1}$ ).
- Avaliar se o crescimento dos camarões foi afetado pela contaminação por Hg.

### 3 MATERIAI E MÉTODOS

#### 3.1 Cultivo em laboratório

Com o objetivo de realizar um experimento em condições controladas, grupos de indivíduos foram submetidos durante 70 dias a alimentação com diferentes marcas de ração. O estudo foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Nutrição de Camarão, localizado na cidade de Eusébio, Estado do Ceará, Brasil. O referido laboratório faz parte do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará.

O trabalho foi feito em 40 tanques localizados na parte externa e 30 na parte interna do laboratório, apresentando uma área total de 1.02m<sup>2</sup> e 0.57m<sup>2</sup>, por tanque respectivamente. O sistema externo esteve integralmente associado e sujeito as variantes naturais de água do corpo d'água que o alimentava, um mangue que fica ao lado do centro de pesquisa da Universidade Federal do Ceará. Comparativamente, os internos possuíam água filtrada (zero de alimentação natural), passando também por processos periódicos de limpeza de resíduos sólidos. Ambos os sistemas eram aerados mecanicamente. Pelo fato de que trabalhos anteriores já haviam identificado a contaminação das rações por metais traço (LACERDA *et al.*, 2006), utilizamos as diferentes rações como fonte de Hg<sup>2+</sup>. O objetivo do experimento em laboratório foi simular dois tipos de cultivo, sendo o primeiro em moldes intensivos e outro semi-intensivo.

#### 3.2 Manutenção do sistema, alimentação e amostragem

Durante o período, apenas animais encontrados mortos foram removidos e suprimidos do número de população inicial. Em ambos os sistemas os parâmetros de qualidade de água (pH, temperatura e salinidade) foram monitorados uma vez ao dia em cada tanque. No sistema interno, as máquinas que filtravam a areia, trabalhavam apenas no período noturno. Quando a pressão nas bombas aumentava, a água do tanque era rebombeada, retirando a matéria orgânica sólida. Nos primeiros dias de aeração, os animais eram alimentados duas vezes ao dia. A ração foi imersa no tanque por 2,5 h para cada período de alimentação. Aos domingos, eles eram alimentados apenas uma vez ao dia, de manhã, com uma oferta de 50% da quantidade diária. A cada oferta, as redes eram checadas para

verificação de possíveis restos de ração, e quando encontradas, eram pesadas e descartadas. No experimento semi-intensivo os indivíduos eram alimentados duas vezes durante o dia. Durante o processo de experimentação, os camarões eram expostos a ração 24 h, e quando necessários ajustes nas rações eram feitos respeitando cada período de alimentação. Aos domingos, não era estimada a quantidade de resquícios de alimentos e os camarões eram alimentados com 100% do total diário.

Os indivíduos foram cultivados por um período de 70 dias. Na amostragem, todos os camarões foram individualmente medidos e pesados para possibilitar assim a determinação da biomassa final e sacrificados para a retirada dos tecidos. O processo de agrupamento e armazenagem se deu em pools de 5 indivíduos para cada tecido. Foram testadas 10 das 11 rações nos tanques extensivos, sendo alocadas em 30 tanques, incluindo 3 replicatas cada.

Tabela 1: Características dos experimentos em laboratório

Particularidades	INTENSIVO	SEMIINTENSIVO
Tempo de Experimento	70 Dias	70 Dias
Origem da Água nos Tanques	Filtrada	Manguezal
Fatores Ambientais	Protegido	Exposto
Alimentação	Apenas Ração	Ração + Nutrientes Naturais (fitoplâncton)

### Experimento INTENSIVO



### Experimento SEMI-INTENSIVO



Figura 3: Esquematização do experimento intensivo e semi-intensivo, com destaque para alocação de cada grupo de animais nos tanques.

### 3.3 Determinação de Hg em tecidos e rações

A digestão das amostras dos tecidos direcionadas para as análises de concentração de  $\text{Hg}^{2+}$  foi realizada segundo ADAIR & COBB (1999), diretamente nos tubos eppendorf com a adição de 1,0 mL de uma solução ácida de  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3$  (1:1) e repouso durante 16 horas à temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados 50 $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrado para evitar a recomplexação do  $\text{Hg}^{2+}$  à gordura existente nas amostras, permanecendo em repouso por mais uma hora à temperatura ambiente. As amostras de rações foram digeridas com uma solução de água-régia 50% ( $4\text{H}_2\text{O}:3\text{HCl}:1\text{HNO}_3$ ).

Após esta etapa, as amostras foram aquecidas em banho-maria por uma hora à temperatura de 70-80° C. Após o procedimento de extração, as amostras foram diluídas 11 vezes com água deionizada e a determinação de  $\text{Hg}^{2+}$  foi feita por espectroscopia de fluorescência atômica, em um equipamento PSA Millennium Merlin 10.025, utilizando a técnica de geração de vapor a frio através da redução com solução ácida de  $\text{SnCl}_2$  2 %. As curvas de calibração foram feitas na faixa entre 0-1000  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$  a partir de diluições sucessivas de um padrão comercial de  $1000 \pm 1$  ppm de  $\text{Hg}^{2+}$  (MERCK). O limite de detecção médio alcançado foi de 2,5  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$  calculado a partir de 3 vezes o desvio estimado por  $\text{Sy}/\text{x}$  dividido pela inclinação da reta, obtida a partir da regressão linear da curva de calibração, sendo  $\text{Sy}/\text{x} = \{\Sigma(\text{y}_i - \text{y})^2 \cdot (\text{n}-2)^{-1}\}^{1/2}$  (MILLER & MILLER, 1993).



Figura 4: Espectrofotômetro de fluorescência atômica, PSA Millennium Merlin 10.025, utilizado na detecção de Hg.

### 3.4 Tratamento Estatístico

#### 3.4.1 Correlação

Para a determinação das relações existentes entre as variáveis, utilizou-se o teste estatístico de correlação, tendo como objetivo determinar até que ponto os valores de uma variável estão correlacionados com os de outra variável, sendo o grau de aderência indicado pelo coeficiente de correlação também conhecido como “*r de Pearson*”, sendo determinado pela fórmula:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) - \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

Onde y e x são respectivamente, as variáveis dependente e independente e n é o número de pares ordenados (x, y). Os valores de “r” variam na amplitude de  $-1,0 \leq r \leq +1,0$ , sendo a correlação tanto mais perfeita quanto mais próxima destes limites “r” estiver. Um valor de  $r = 0$  (Zero) indica uma total ausência de correlação. Valores positivos de “r”, indicam que a variável dependente (y) apresenta uma relação direta com a variável independente (x). Valores negativos de “r” indicam que a variável dependente apresenta uma relação inversa com a variável independente.

#### 3.4.2 “Teste t de Student”

Para realizar o cálculo do valor de “t”, foi utilizada equação:

$$t_{calc} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2 * (n_1 - 1) + s_2^2 * (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Onde:  $\bar{X}_1$  é a média da variável 1;  $\bar{X}_2$ , média da variável 2,  $S_1^2$ , variância da variável 1,  $S_2^2$ , variância da variável 2,  $n_1$ , número amostras da variável 1 e  $n_2$ , número de amostras da ocorrência da variável 2.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Experimento Intensivo: concentração de Hg<sup>2+</sup> nas rações e nos tecidos

A análise do Hg<sup>2+</sup> na ração é importante para determinar as doses do poluente as quais os camarões estavam expostos. Os resultados para as concentrações de Hg<sup>2+</sup> em cada ração estão apresentados na Figura 5. A concentração de Hg<sup>2+</sup> nas rações analisadas variou de 15,3 a 90,3 ng.g<sup>-1</sup>, Apesar de cada tanque ter recebido ração de um fabricante diferente, podemos perceber que houve um gradiente de contaminação, com alguns tanques (T1, T2, T4 e T7) recebendo doses maiores que os outros ( T3, T5, T6, T8, T9 e T10).

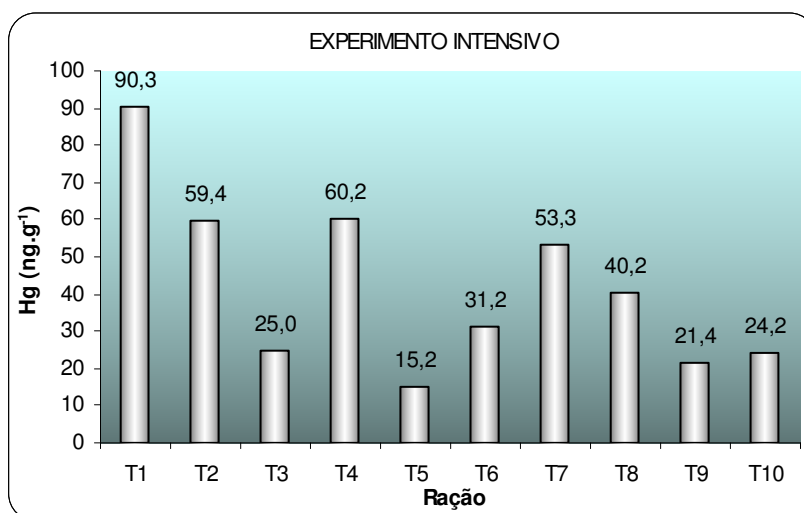


Figura 5: Concentração média de triplicatas de mercúrio em rações comerciais utilizadas no experimento INTENSIVO.

A Tabela 2 apresenta os resultados das concentrações de Hg<sup>2+</sup> nos tecidos (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) dos camarões e na ração utilizada em cada tanque. Houve acúmulo de Hg<sup>2+</sup> em todos os tecidos, mas não houve um tecido preferencial para acúmulo em todos os tanques. A variação da concentração de Hg<sup>2+</sup> no músculo foi de 1,5 a 36,4 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $15,9 \pm 11,2$  ng.g<sup>-1</sup>, no exoesqueleto foi de 8,0 a 23,5 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $16,2 \pm 6,9$  ng.g<sup>-1</sup> e no hepatopâncreas foi de 9,7 a 39,5 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $22,0 \pm 11,3$  ng.g<sup>-1</sup>. As concentrações de Hg<sup>2+</sup> mais elevadas foram medidas no músculo dos camarões do tanque T1 (36,4 ng.g<sup>-1</sup>) e no hepatopâncreas dos camarões do tanque T8 (39,5 ng.g<sup>-1</sup>).

Tabela 2: Concentrações médias de triplicatas de Hg ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) medidas em diferentes rações e tecidos (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) do camarão (*L. vannamei*) ao fim de 70 dias de cultivo INTENSIVO (70 dias).

Tanque	Hg Ração ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Hg Músculo ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Hg Exoesqueleto ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Hg Hepatopâncreas ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Tanque 1	90,3	<b>36,4</b>	NA	25,7
Tanque 2	59,4	25,3	NA	30,7
Tanque 3	25,0	10,3	17,0	13,4
Tanque 4	60,2	10,3	22,9	15,2
Tanque 5	15,2	1,5	8,0	9,2
Tanque 6	31,2	8,0	10,4	11,2
Tanque 7	53,3	26,3	23,5	14,2
Tanque 8	40,2	23,8	22,6	<b>39,5</b>
Tanque 9	21,4	7,4	13,2	39,1
Tanque 10	24,2	9,3	12,0	22,0

As concentrações de mercúrio das amostras em triplicata de músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas foram utilizadas para construção de gráficos para demonstrar a distribuição do metal nos tecidos em relação à concentração do mercúrio observada nas rações (Figuras 6 - 8).

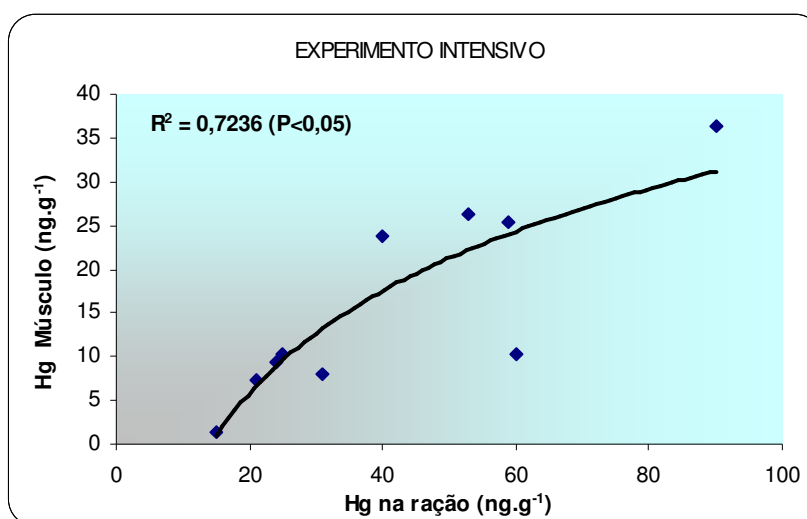


Figura 6: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) no músculo do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO.

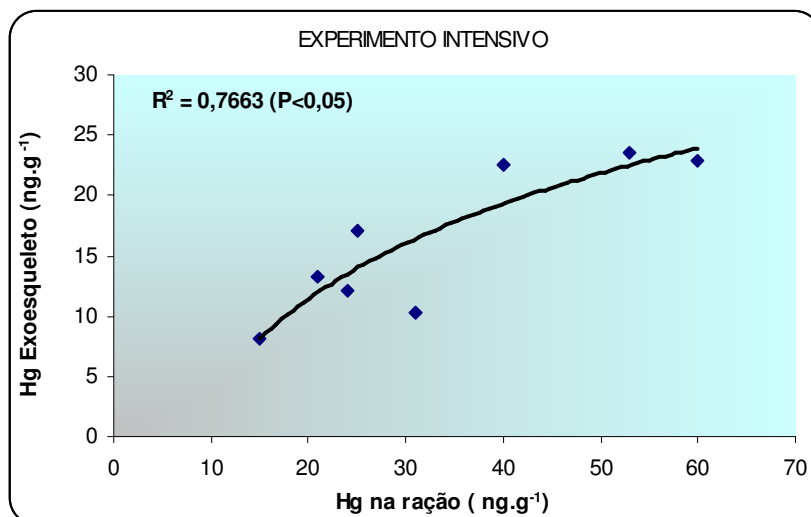


Figura 7: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no exoesqueleto do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO.

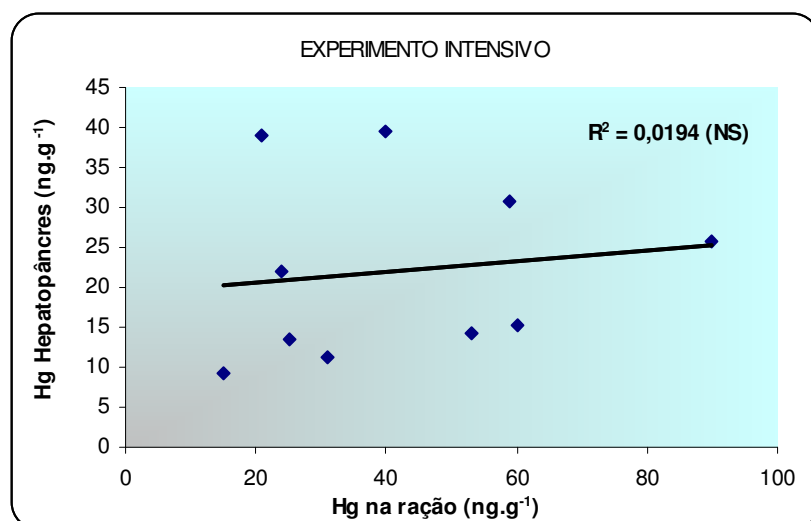


Figura 8: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) hepatopâncreas do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento INTENSIVO.

Os camarões cultivados em condições intensivas apresentaram correlação significativa entre as concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$  na ração e no músculo, com  $R^2 = 0,723$   $P < 0,05$  (Figura 6); e entre as concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$  na ração e no exoesqueleto, com  $R^2 = 0,766$   $P < 0,05$  (Figura 7). Entretanto nenhuma correlação significativa foi observada entre as concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$  na ração e no hepatopâncreas (Figura 8).

A Tabela 3 apresenta as concentrações de  $Hg^{2+}$  na ração e o peso dos camarões ao final do experimento.

Tabela 3: Concentrações de Hg ( $ng.g^{-1}$ ) na ração e o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento INTENSIVO.

Tanque	Hg ração ( $ng.g^{-1}$ )	Peso médio (g) dos camarões ao fim 70 dias
Tanque 1	90,3	3,24
Tanque 2	59,4	6,50
Tanque 3	25,0	4,80
Tanque 4	60,2	3,77
Tanque 5	15,2	3,77
Tanque 6	31,2	3,84
Tanque 7	53,3	3,06
Tanque 8	40,2	5,13
Tanque 9	21,4	4,95
Tanque 10	24,2	5,96

Não foi observada nenhuma correlação entre  $Hg^{2+}$  na ração e o peso ganho dos camarões até o final do experimento (Figura 9).

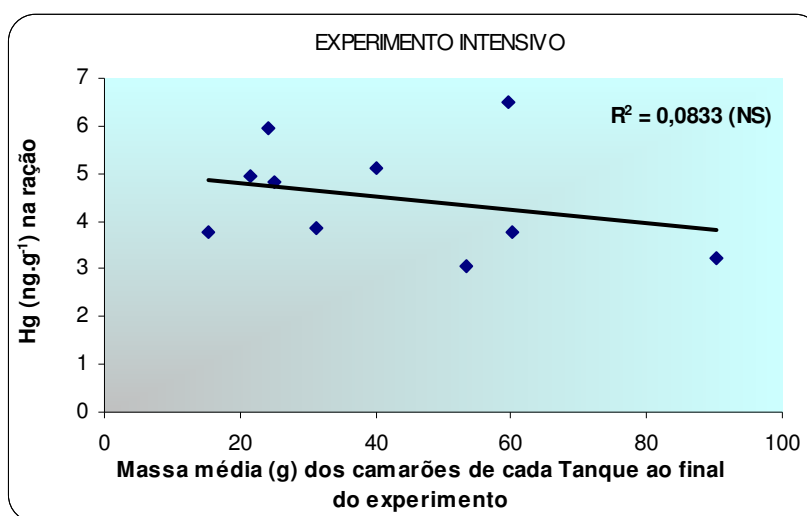


Figura 9: Correlação entre a concentração de Hg ( $ng.g^{-1}$ ) na ração com o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento INTENSIVO.

Analisamos as correlações das concentrações de  $Hg^{2+}$  de alguns tecidos para estudar a transferência do metal entre eles. A concentração de  $Hg^{2+}$  no hepatopâncreas e músculo não apresentaram correlação significativa (Figura 10), enquanto entre exoesqueleto e músculo apresentaram, com  $R^2: 0,6711$   $P < 0,05$  (Figura 11).

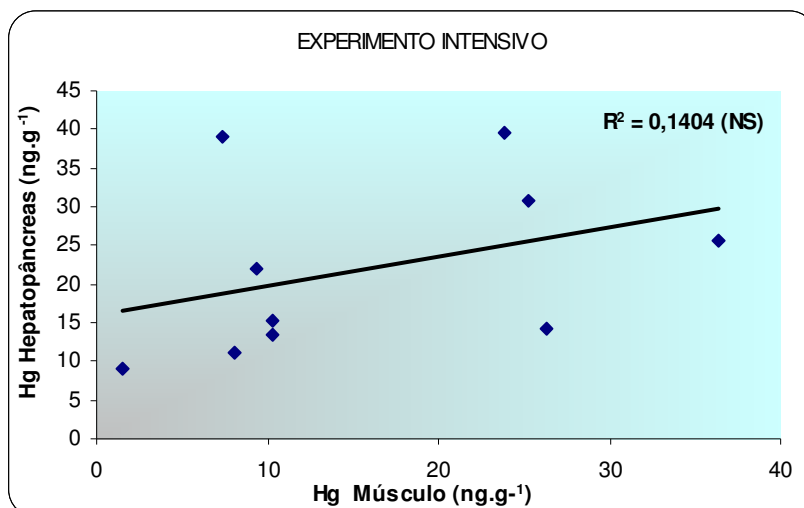


Figura 10: Distribuição de Hg<sup>2+</sup> entre o hepatopâncreas e o músculo nos camarões do experimento INTENSIVO.

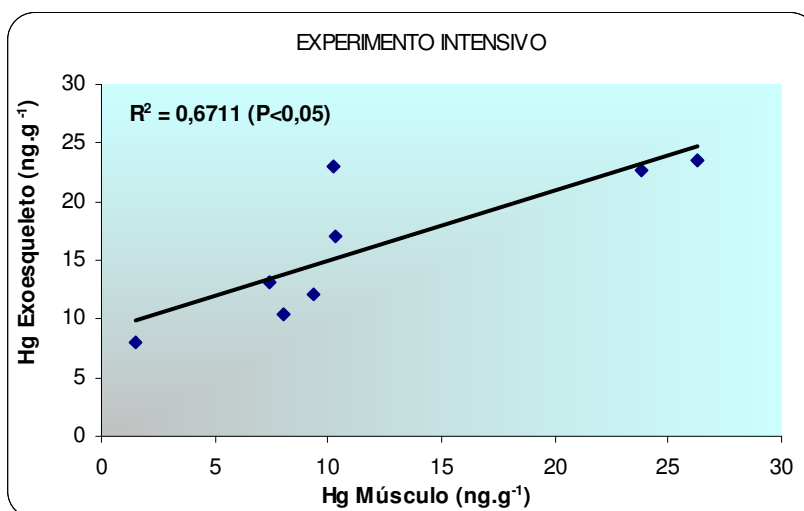


Figura 11: Distribuição de Hg<sup>2+</sup> entre exoesqueleto e o músculo nos camarões do experimento INTENSIVO.

#### 4.2 Experimento Semi-intensivo: Concentração de Hg<sup>2+</sup> nas rações e nos tecidos

As concentrações de Hg<sup>2+</sup> das amostras referentes ao segundo lote (mesmas marcas) de rações usadas no experimento semi-intensivo variaram de 5,4 a 33,5 ng.g<sup>-1</sup> e apresentaram menores concentrações de Hg<sup>2+</sup> que as utilizadas no experimento intensivo. Portanto, os camarões foram submetidos a menores concentrações de Hg<sup>2+</sup>.

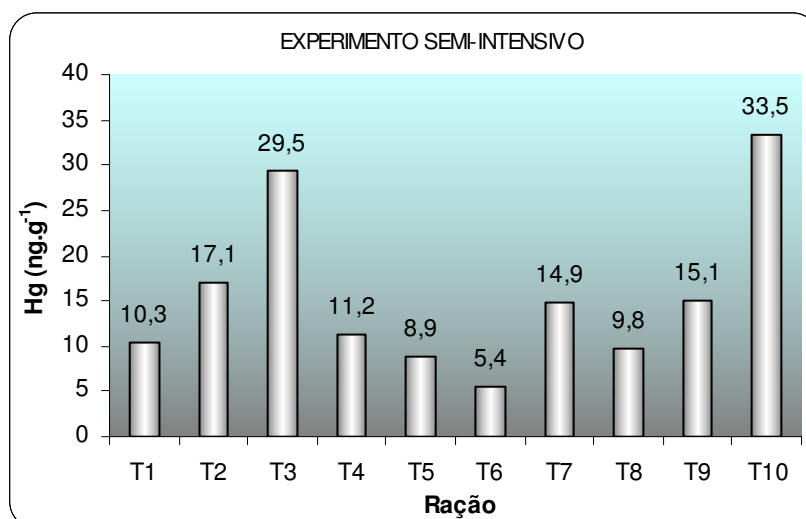


Figura 12: Concentração média de triplicatas de mercúrio em rações comerciais utilizadas no experimento SEMI-INTENSIVO.

A variação da concentração de Hg<sup>2+</sup> no músculo foi de 1,4 a 18,9 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $6,3 \pm 5,2$  ng.g<sup>-1</sup>, no exoesqueleto foi de 0,9 a 6,2 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $3,0 \pm 1,7$  ng.g<sup>-1</sup> e no hepatopâncreas foi de 1,1 a 12,5 ng.g<sup>-1</sup> com média de  $5,1 \pm 3,8$  ng.g<sup>-1</sup>. As concentrações de Hg<sup>2+</sup> mais elevadas foram medidas no músculo e no hepatopâncreas dos camarões do tanque T10 (18,9 ng.g<sup>-1</sup> e 12,5 ng.g<sup>-1</sup> respectivamente).

Tabela 4: Concentrações de Hg (ng.g<sup>-1</sup>) medidas em diferentes rações e tecidos (músculo, exoesqueleto e hepatopâncreas) do camarão (*L. vannamei*) ao fim de 70 dias de cultivo SEMI-INTENSIVO (70 dias).

Tanque	Hg Ração (ng.g <sup>-1</sup> )	Hg Músculo (ng.g <sup>-1</sup> )	Hg Exoesqueleto (ng.g <sup>-1</sup> )	Hg Hepatopâncreas (ng.g <sup>-1</sup> )
<b>Tanque 1</b>	10,3	2,1	1,1	1,2
<b>Tanque 2</b>	17,1	4,8	2,5	4,2
<b>Tanque 3</b>	29,5	11,7	6,2	10,8
<b>Tanque 4</b>	11,2	1,4	0,9	1,1
<b>Tanque 5</b>	8,9	5,0	3,2	3,6
<b>Tanque 6</b>	5,4	3,6	2,0	2,8
<b>Tanque 7</b>	14,9	4,8	2,6	3,8
<b>Tanque 8</b>	9,8	5,0	3,4	3,9
<b>Tanque 9</b>	15,1	5,7	3,4	6,5
<b>Tanque 10</b>	33,5	<b>18,9</b>	5,2	<b>12,5</b>

A partir desses valores foram gerados gráficos para demonstrar a correlação entre a concentração do metal em cada tecido e nas rações (Figuras 13 -15).

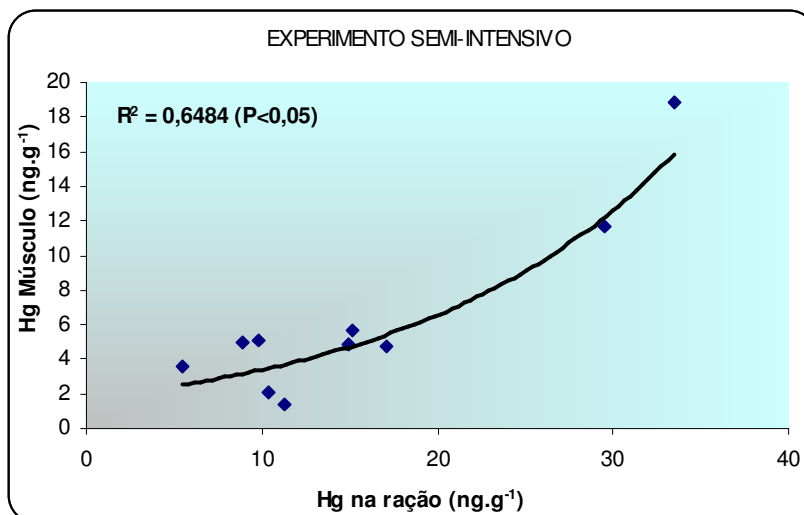


Figura 13: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no músculo do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO.

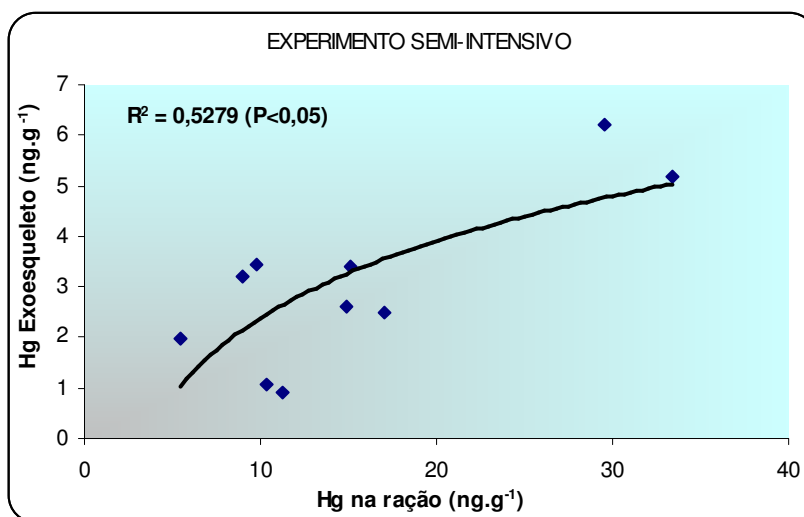


Figura 14: Correlação existente entre concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) no exoesqueleto do camarão e a concentração de Hg ( $\text{ng.g}^{-1}$ ) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO.

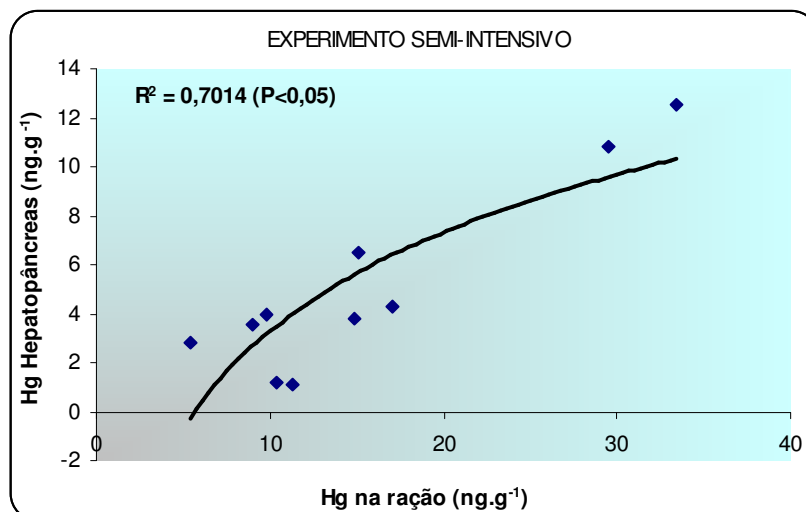


Figura 15: Correlação existente entre concentração de Hg (ng.g<sup>-1</sup>) hepatopâncreas do camarão e a concentração de Hg (ng.g<sup>-1</sup>) na ração no experimento SEMI-INTENSIVO

No experimento em condições de cultivo semi-intensivas, as correlações entre a concentração de mercúrio na ração e nos tecidos, exoesqueleto e hepatopâncreas apresentaram ajuste logarítmico com  $R^2 = 0,527$   $P < 0,05$  para o exoesqueleto (Figura 14); e  $R^2 = 0,701$   $P < 0,05$  para o hepatopâncreas (Figura 15). Já o músculo apresentou um ajuste exponencial com  $R^2 = 0,6484$   $P < 0,05$  sugerindo que a partir de concentrações de  $20 \text{ ng.g}^{-1}$  de Hg nas rações o acúmulo de Hg no músculo é muito maior. De uma forma exponencial

A Tabela 5 apresenta os resultados das concentrações de Hg nas rações e o peso dos camarões de cada tanque ao fim de 70 dias.

Tabela 5: Concentrações de Hg (ng.g<sup>-1</sup>) na ração e o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento SEMI-INTENSIVO.

Tanque	Hg ração (ng/g)	Peso médio (g) dos camarões ao fim 70 dias
Tanque 1	10,3	10,64
Tanque 2	17,1	11,89
Tanque 3	29,5	12,38
Tanque 4	11,2	10,88
Tanque 5	8,9	10,21
Tanque 6	5,4	12,28
Tanque 7	14,9	11,72
Tanque 8	9,8	10,83
Tanque 9	15,1	11,95
Tanque 10	33,5	10,63

Assim como no experimento intensivo não foi observada correlação entre  $Hg^{2+}$  e o peso ganho dos camarões até o final do experimento (Figura 16).

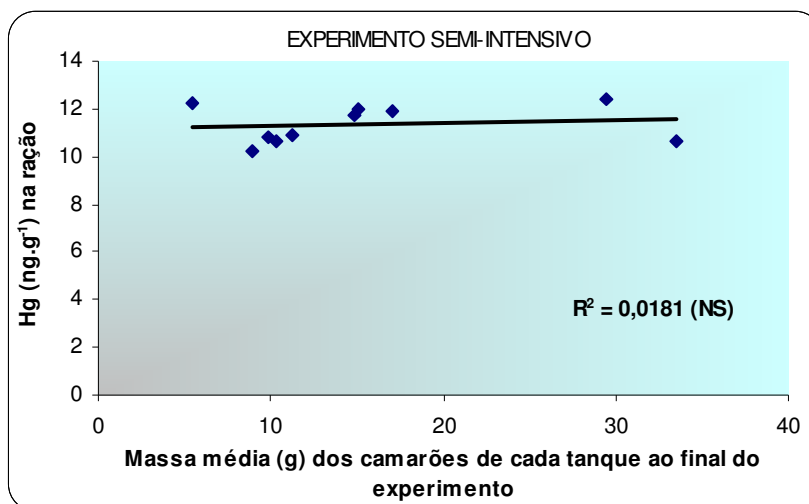


Figura 16: Correlação existente entre concentração de Hg ( $ng.g^{-1}$ ) na ração com o peso médio (g) dos camarões de cada tanque ao final do experimento SEMI-INTENSIVO.

As correlações entre as concentrações de  $Hg^{2+}$  no músculo e no hepatopâncreas foram significativas, com  $R^2 = 0,9168$   $P < 0,05$  (Figura: 17); assim como entre o músculo e o exoesqueleto, com  $R^2 = 0,7171$   $P < 0,05$  (Figura 18).

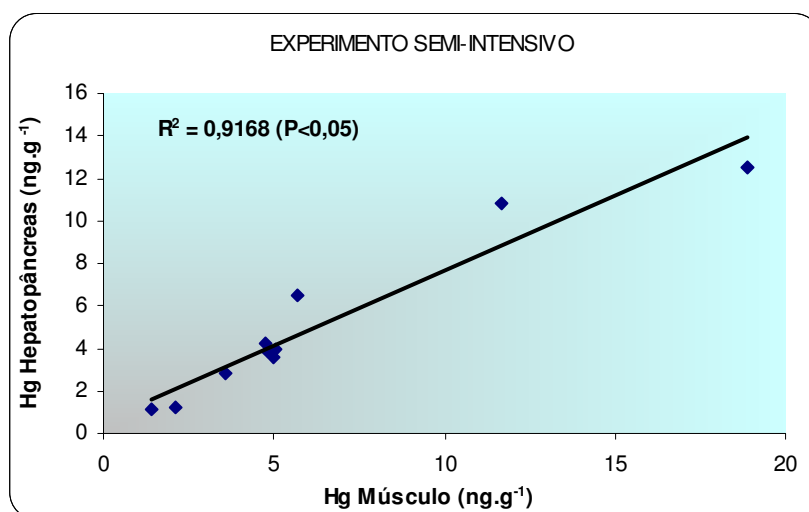


Figura 17: Distribuição de  $Hg^{2+}$  entre o hepatopâncreas e o músculo nos camarões do experimento SEMI-INTENSIVO.

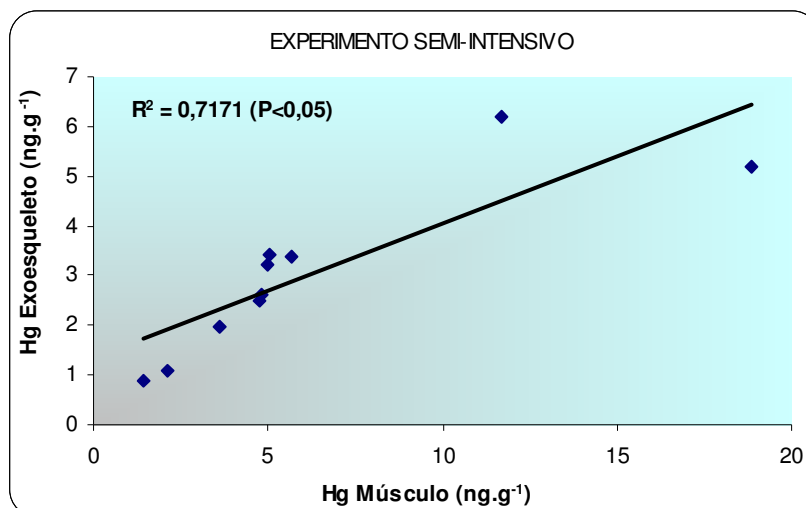


Figura 18: Distribuição de Hg<sup>2+</sup> entre exoesqueleto e o músculo nos camarões do experimento SEMI-INTENSIVO.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Ração

Existem rações específicas para cada etapa do desenvolvimento dos camarões criados em cativeiro, desde a fase de náuplio até a fase final de engorda. As rações podem ser produzidas por diferentes fabricantes, que usam farinha de peixe como principal insumo. A farinha de peixe é um produto seco, moído, obtido pela cocção do peixe integral, de seus cortes ou de ambos, com ou sem extração de parte do óleo. A legislação nacional diz que a farinha deve ser “Isenta de materiais estranhos a sua composição, bem como microorganismos patogênicos” (COUTINHO, 2008).

A principal fonte de metais para a carcinicultura é o uso de rações comerciais sem o necessário controle dessas substâncias (LACERDA *et al* 2006). Essa fonte de contaminação pode ser evitada utilizando ingredientes alternativos na formulação dessas rações. Farelos e óleos de soja e milho são os exemplos mais comumente utilizados para substituir a farinha de peixe e óleos de origem animal em rações comerciais para peixes. Para não comprometer o desempenho e nem diminuir o crescimento dos peixes, a utilização de aminoácidos sintéticos tem sido uma alternativa para o uso desses farelos, visto que estes possuem qualidade nutricional inferior à farinha de peixe (BOTARO *et al.* 2007).

Nas rações utilizadas neste estudo, verificamos que, entre diferentes marcas ou entre diferentes lotes de uma mesma marca, as concentrações de mercúrio chegaram a variar até 9 vezes. Uma das marcas apresentou 10,3 ng.g<sup>-1</sup> de Hg<sup>2+</sup> em um lote, enquanto em outro a concentração era de 90,3 ng.g<sup>-1</sup> de Hg<sup>2+</sup>. As outras marcas também apresentaram diferenças entre os lotes.

A portaria nº 07 de 9 de novembro de 1988 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) determina que é obrigatória a informação das matérias primas empregadas na alimentação animal. A Instrução Normativa nº 04 de 23 de fevereiro de 2007 do MAPA obriga a utilização de boas práticas na fabricação das rações. Entretanto, não há obrigatoriedade da informação da presença de substâncias contaminantes nas rações. A autoridade europeia de segurança alimentar (EFSA - European Food Safety Authority), estabeleceu limites para a concentração de Hg<sup>2+</sup> em rações utilizadas na alimentação de animais criados em cativeiro (COUTINHO, 2008).

Nas rações que são produzidas com farinha de peixe em sua composição, o limite é de 100 ng.g<sup>-1</sup>. Já os peixes, ou outro animal marinho utilizado para a fabricação de farinha de peixe, não podem apresentar mais de 500 ng.g<sup>-1</sup>. Dentro das amostras de ração utilizadas em nossos experimentos, apenas uma ração apresentou concentração próxima do limite máximo permitido pela EFSA que foi de 90,3 ng.g<sup>-1</sup>. No entanto, a variabilidade nos lotes mostra a importância de monitorar a concentração de Hg<sup>2+</sup> e outros metais tanto na ração, quanto no principal insumo (farinha de peixe) com base nos parâmetros Europeus até que tenhamos parâmetros estabelecidos pelo MAPA.

## 5.2 Tecidos

### 5.2.1 Hepatopâncreas

Por possuir função de fígado, estômago e intestino e ainda ser o primeiro órgão ser exposto a quaisquer substâncias obtidas pela dieta, o hepatopâncreas sempre apresenta altas concentrações de contaminantes, e não é diferente com o mercúrio (COUTINHO, 2008).

No experimento intensivo, a ração que possuía a maior concentração de Hg<sup>2+</sup> (90,3 ng.g<sup>-1</sup>), levou ao acúmulo de 25,7 ng.g<sup>-1</sup> de Hg<sup>2+</sup> no hepatopâncreas, enquanto outra marca com 21,4 ng.g<sup>-1</sup>, levou a concentrações maiores (39,1 ng.g<sup>-1</sup>). O hepatopâncreas foi o tecido que apresentou maior variabilidade de acúmulo nos animais expostos a concentrações mais altas de mercúrio.

As concentrações de Hg<sup>2+</sup> encontradas no hepatopâncreas de animais do experimento semi-intensivo mostraram que os camarões são capazes de acumular o metal exponencialmente quando submetidos a concentrações de até 40 ng.g<sup>-1</sup> de Hg<sup>2+</sup> no alimento (Figura 15)

Essa alta variabilidade, nos camarões do experimento intensivo, e concentrações de Hg<sup>2+</sup> no hepatopâncreas menores que nos músculos, nos camarões do experimento semi-intensivo, nos surpreenderam já que é descrito na literatura que o hepatopâncreas é o principal tecido para acúmulo de Hg<sup>2+</sup>. RUELAS-INZUNZA *et al.*, (2004) demonstraram que além do músculo, o hepatopâncreas dos camarões *Peneideos* também é considerado alvo para acumulação de metais. No mesmo artigo, em comparação com outras espécies, o *L. vannamei* foi a espécie que acumulou concentrações mais altas de Hg<sup>2+</sup> no hepatopâncreas (720 ng.g<sup>-1</sup>).

Sem um estudo especial para avaliar os principais mecanismos de destoxificação nesse órgão, a versatilidade do hepatopâncreas acaba sendo a melhor explicação para as amplitudes das concentrações observadas. ANDRES *et al.*, (2002), mostram que no siri azul, *Callinectes sapidus*, a ação de bombas dependentes de ATP nos intestinos, órgão similar aos hepatopâncreas dos camarões, favorece o acúmulo de mercúrio nesse órgão. Esse tipo de atividade apresenta maior variação de um indivíduo para outro, podendo levar a variabilidade observada.

Alguns autores sugerem que uma exposição anterior a metais traço, pode influenciar na subsequente exposição, tanto na parte de ingestão quanto na bioacumulação (BOISSON *et al.*, 1998; RAINBOW *et al.*, 1999; WANG, 2002). WANG & RAINBOW (2005) revisaram estudos recentes na influência do histórico de exposição a metal pesado numa subsequente assimilação de metais em invertebrados marinhos. Os autores verificaram que geralmente, a absorção de mercúrio dissolvido é reduzida após exposição a outros metais como  $\text{Ag}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ . ROSIJADI & FELLINGHAM, (1987) indicam que a exposição do mexilhão *M. edulis* a  $\text{Cu}^{2+}$  aumenta a tolerância a  $\text{Hg}^{2+}$ , que pode ser causada pela redução de absorção de  $\text{Hg}^{2+}$  da solução.

Além do mercúrio, outros metais aparecem como contaminantes nas rações comerciais para camarões. LACERDA *et al.*, (2004) verificaram concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  consideradas elevadas nas rações ( $\text{Cu}^{2+}$ - 13 a 79  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ;  $\text{Zn}^{2+}$ - 45 a 63  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) e insumos ( $\text{Cu}^{2+}$ - 0,7 a 3  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ;  $\text{Zn}^{2+}$ - 0,7 a 3  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) usados normalmente por produtores de camarão da Bacia do rio Jaguaribe, sujeitando os camarões a longos períodos de exposição a esses metais, podendo então estar influenciando os sistemas de acúmulo no hepatopâncreas desses indivíduos. SANTOS *et al.*, (2005) mostraram que *L. vannamei* coletados nas fazendas do Rio Jaguaribe apresentavam concentrações relativamente elevadas de  $\text{Cu}^{2+}$ , um metal que pode competir com sítios de ligação e vias de entrada com o  $\text{Hg}^{2+}$ , resultando em alta variabilidade. Pelo fato de não ter apresentado correlações com as concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$ , provavelmente o hepatopâncreas não seria o tecido adequado para ser utilizado como um sentinela da contaminação por mercúrio.

A análise de regressão, para o experimento semi-intensivo, considerando as concentrações de mercúrio no hepatopâncreas e as concentrações no músculo, foi significativa, sugerindo que há transferência entre os dois tecidos, e o que é acumulado no músculo, teve origem no hepatopâncreas.

## 5.2.2 Músculo

Em todas as amostras, observou-se um acúmulo proporcional de  $\text{Hg}^{2+}$  no músculo. Foram encontradas correlações significativas com o  $\text{Hg}^{2+}$  presente nas rações e no tecido muscular nos dois experimentos, intensivo e semi-intensivo. Os dados sugerem que os camarões acumulam mercúrio no tecido muscular ao longo de todo ciclo de engorda, pelo menos a partir de concentrações em torno de  $20 \text{ ng.g}^{-1}$  nas rações. Porém as concentrações de mercúrio encontradas nos camarões estão bem abaixo dos limites determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária que é de  $500 \text{ ng.g}^{-1}$  para consumo humano (ANVISA, 1998).

EVANS *et al.*, (2000) observaram que camarões e siris expostos a ração com  $1000 \text{ ng.g}^{-1}$  de  $\text{Hg}^{2+}$  durante 28 dias também apresentaram acúmulo no músculo da ordem de 72% e 76% do encontrado na ração. Mas esses valores ainda estão muito abaixo daqueles encontrados para camarões selvagens. RUELAZ-INZUNZA *et al.*, (2004) encontraram concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$  no músculo de *L. vannamei* selvagem da ordem de  $200 \text{ ng.g}^{-1}$ . O tecido muscular é um dos principais alvos das espécies orgânicas de mercúrio em muitos organismos, especialmente em peixes (AMLUND *et al.*, 2007).

A grande afinidade do  $\text{Hg}^{2+}$  pela bomba de sódio potássio não é necessariamente a razão para esse grande acúmulo, mas representa um grande risco, já que pode prejudicar a transmissão do impulso nervoso e a contração muscular. De fato, esse é um dos principais sintomas da intoxicação por  $\text{Hg}^{2+}$ , por exemplo, em humanos. GORDON *et al.*, (1987) mostraram que raramente os metais são encontrados em solução no sangue, estando sempre associados a proteínas.

Com a ração como principal via de exposição, podemos supor que o metal está sendo absorvido via trato digestivo e a partir do hepatopâncreas sendo redistribuído pelas vias sistêmicas e alcançando os outros tecidos, e o músculo. As correlações significativas com as concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$  na ração (compartimento ambiental) indicam que esse tecido é capaz de representar a situação ambiental, podendo funcionar como sentinela da contaminação ambiental.

A análise de regressão, para o experimento semi-intensivo, considerando as concentrações de mercúrio no músculo como variável independente e as concentrações no hepatopâncreas como variável dependente, foi significativa, sugerindo que há transferência entre os dois tecidos, e o que é acumulado no músculo, teve origem no hepatopâncreas.

### 5.2.3 Exoesqueleto

No experimento semi-intensivo, o exoesqueleto apresentou as menores concentrações de  $\text{Hg}^{2+}$ . Neste estudo, a maior concentração no exoesqueleto de *L. Vannamei* foi  $22,9 \text{ ng.g}^{-1}$  de  $\text{Hg}^{2+}$ , abaixo daquelas encontradas por RUELAS-INZUNZA *et al.*, (2004) em *L. vananmei* selvagens que apresentavam até  $90 \text{ ng.g}^{-1}$  de  $\text{Hg}^{2+}$  no exoesqueleto, concentrações essas que ainda foram consideradas baixas pelos autores (já que os camarões haviam sido coletados em locais reconhecidamente contaminados por efluentes residuais de agricultura intensiva e esgoto urbano).

Na literatura, as informações referentes a capacidade do exoesqueleto estar atuando como acumulador no período pré-muda e contribuir na destoxificação na muda propriamente dita, são ambíguas. REINFELDER & FISHER, (1994); BERTINE & GOLDBERG, (1972); KHAN *et al.*, (1989) E SMOKOROWSKI *et al.*, (1998), propuseram que o exoesqueleto dos crustáceos pode seqüestrar metais e contribuir para a depuração pelo mecanismo da muda. WEEKS *et al.*, (1992) propuseram que a muda seria uma etapa preponderante na transferência do metal pesado dos tecidos moles para o exoesqueleto, com um papel importante na destoxificação dos crustáceos.

No entanto, FOWLER *et al.*, (1971) mostraram que apesar de camarões destoxicarem pela muda 41% do  $\text{Zn}^{2+}$  corpóreo acumulado após exposição na fase dissolvida, o contaminante estava na verdade aprisionado nos espaços intersticiais do exoesqueleto. Quando o  $\text{Zn}^{2+}$  era acumulado através da dieta, era depositado na camada mais interna do exoesqueleto e, em experimentos longos, apenas 1% do que foi acumulado pela alimentação foi eliminado pela muda. Essa baixa depuração é corroborada por autores que encontram quantidades irrisórias de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  na exuvia (exoesqueleto liberado) de anfípodas (WEEKS *et al.*, 1992) e do siri *C. sapidus* (ENGLE, 1987).

Outro aspecto importante na determinação da importância da muda como mecanismo de destoxificação, é a definição do período exato da ocorrência da muda e da quantidade de vezes que um organismo muda ao longo da vida, uma vez que esse fenômeno é afetado por uma série de características do ambiente, como salinidade, temperatura e pH. Apesar dessa dificuldade, a ABCC (2002), sugere que no primeiro ano de vida os camarões sofrem muda em torno de 25 vezes.

Nos nossos experimentos, os valores de  $\text{Hg}^{2+}$  encontrados para exoesqueleto estiveram sempre mais baixos do que nos outros tecidos, sugerindo que a destoxificação via

muda era pouco significativa, se ocorrer. O grande interesse da muda como mecanismo de destoxificação passa pela forma de como esses metais estariam sendo transportados de um compartimento a outro por ATPases transportadoras de metais. O gasto energético dessas proteínas, que consomem ATP para transportar cátions contra gradientes químicos ou elétricos, poderiam inclusive afetar o crescimento dos animais. Como sugerido por (SANTOS *et al*, 2006) para camarões coletados na região do Rio Jaguaribe.

A análise de regressão, para os dois experimentos, dessa vez considerando as concentrações de mercúrio no músculo e as concentrações no exoesqueleto, também foram significativas, sugerindo que há transferência entre os dois tecidos, e o que chega ao exoesqueleto teve origem no músculo.

### 5.3 Crescimento

Nos dois experimentos, não foi verificado nenhuma associação entre as concentrações de mercúrio encontradas nas rações com o ganho de peso dos camarões. Provavelmente a contaminação de mercúrio nas rações não foi suficiente para afetar o desenvolvimento dos camarões. Rações com 29,5 ng.g<sup>-1</sup> e 33,5 ng.g<sup>-1</sup> de Hg<sup>2+</sup>, promoveram ganho de massa elevados de 12,38 g e 10,63 g, respectivamente. Esses dados sugerem que o valor nutricional da ração pode estar compensando efeitos adversos da presença do Hg<sup>2+</sup> no balanço energético do animal e contribuindo efetivamente para o crescimento dos camarões.

Os indivíduos do experimento em condições de cultivo intensivo apresentaram ganho de massa significativamente menor do que os que foram submetidos às condições extensivas. Ainda que a massa dos animais no início do experimento intensivo fosse menor que a massa dos camarões do semi-intensivo, os primeiros apresentaram ganho de peso máximo de 6,5 g, enquanto os do semi-intensivo chegaram a dobrar esse valor ao final dos 70 dias. É possível que as maiores concentrações de mercúrio nas rações do experimento intensivo (59, 60 e 90 ng.g<sup>-1</sup>) tenham sido um fator complementar para esse pequeno ganho de peso, mas certamente o contato com a ração por menos tempo e a ausência de outras fontes de alimento, foram os fatores decisivos para o ganho de massa inferior aos dos animais do experimento semi-intensivo.

A redução da concentração de Hg<sup>2+</sup> no músculo também pode ser atribuída ao fenômeno de diluição biológica (NIMMI, 1983). O aumento da massa muscular é superior ao aumento da contaminação, que acaba por diluir o contaminante presente no tecido. Dessa

forma, uma ração com grande valor nutricional, poderia influenciar na concentração de  $Hg^{2+}$  nos tecidos, por promover grande aumento de massa. KARIMI *et al.*, (2007) viram que quando o microcrustáceo *Daphnia pulex* era alimentado com algas contaminadas com mesmas concentrações de metil mercúrio (MeHg), mas um grupo com alto e outro com baixo valor nutricional, os animais apresentavam concentrações de  $Hg^{2+}$  diferentes nos tecidos. As que se alimentaram das algas com melhor qualidade nutricional apresentavam menores concentrações de mercúrio, justamente porque cresceram 3,5 vezes mais, resultando no fenômeno diluição biológica.

## 6. CONCLUSÃO

- As rações apresentaram concentrações variáveis de mercúrio, de 5 a 90 ng.g<sup>-1</sup>. As concentrações variaram até 10 vezes entre lotes de uma mesma marca.
- A contaminação dos tecidos dos indivíduos se correlacionou diretamente com a concentração de mercúrio nas rações oferecidas durante o experimento. Demonstrando uma possível transferência do Hg entre os tecidos.
- As concentrações de mercúrio encontradas nos camarões estão bem abaixo dos limites determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (500 ng.g<sup>-1</sup>) para consumo humano.
- O crescimento dos camarões nos experimentos em laboratório, não teve influência da contaminação de Hg nas rações.

## 7. REFERÊNCIAS

ABCC. O agronegócio do camarão marinho cultivado. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. AGN Grafica. Recife- PE. 20pp. 2002.

ADAIR. B. M. & COOB. G. P. Improved preparation of small biological samples for mercury analysis using cold atomic absorption spectroscopy. *Chemosphere*, v.38, n. 12, pp2951-2958, 1999.

ALONSO-RODRÍGUEZ, R.; PÁEZ-OSUNA, F. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp A review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*, v.219, p.317-336, 2003.

AMLUND H, LUNDEBYE A. K, BERNTSSEN M. H. Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology* 83(4):323-30. 2007.

ANDRES, S., JEAN-MICHEL, J-M. & MASON, R. P. Mercury accumulation and flux across the gills and the intestine of the blue crab (*Callinectes sapidus*). *Aquatic Toxicology*. v.56: 303-320, 2002.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685, de 27 de Agosto de 1998. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm)  
Acesso em: Outubro de 2008.

AZEVEDO, F. A. Toxicologia do Mercúrio. Editora RiMa/InterTox. 292p, 2003.

BARBIERE, E; PASSOS, E.A; GARCIA,C.A.B.Use of metabolism to evaluate the sublethal toxicity of mercury on *Farfantepaneus brasiliensis* larvae (Latreille 1817, Crustacean). *Shellfish Research*, 24 (4):1229-1233, 2005.

BARKAY, T. et al. Bacterial mercury resistance from atoms to ecosystems. *FEMS Microbiology Review*, v.27, p.355-84, 2003.

BERTINE, K. K. & GOLDBERG, E. D. Trace elements in clams, mussels, and shrimps. *Limnology and Oceanography*. v.72a: 877-884. 1972.

BISINOT, M. C. & JARDIM, W. F. O comportamento do mercúrio (metilHg) no ambiente. *Química Nova*, v. 27, n. 4, pp. 593-600, 2004.

BOISSON, F., HARTL, M. G. J., FOWLER, S. W. & AMIARD-TRIQUET, C. Influence of chronic exposure to silver and mercury in the field on the bioaccumulation potential of the bivalve *Macoma balthica*. *Marine Environmental Research*. 45: 325-340. 1998.

BOTARO, D.; FURUYA, W.M.; SILVA, L.C.R.; SANTOS, L.D.; SILVA, T.C.S. & SANTOS, V.G. Redução da proteína da dieta, com base no conceito de proteína ideal, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), criada em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2007.

BURFORD, M. A.; COSTANZO, S. D.; DENNISON, W. C.; JACKSON, C. J.; JONES, A. B.; MCKINNON, A. D.; PRESTON, N. P.; TROTT, L. A. A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. *Marine Pollution Bulletin*, v.46, p.1456-1469, 2003

COUTINHO, D. A. Aspectos da toxicocinética do mercúrio em camarões de cultivo *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro-IBCCF, 120p, 2008.

DOREA, J. G. et al. Mercury in hair and in fish consumed by Riparian women of the Rio Negro, Amazon, Brazil. *International Journal of Environmental Health Research*, v.13, p.239-48, 2003.

DOREA, J.G. Fish meal in animal feed and human exposure to persistent bioaccumulative and toxic substances. *Journal of Food Protection*, v. 69, No 11pp. 2777-2785, 2006.

ENGLE, D. W. Metal regulation and molting in the blue crab, *Callinectes sapidus*: copper, zinc, and metallothionein. *Biological Bulletin*, 172: 69-82. 1987.

EVANS, D. W., KATHMAN, R. D. & WALKER, W. W. Trophic accumulation and depuration of mercury by blue crabs (*Callinectes sapidus*) and pink shrimp (*Penaeus duorarum*). *Marine Environmental Research*, 49: 419-434. 2000.

FOWLER, S. W., SMALL, L. F. & DEAN, J. M. Experimental studies on elimination of zinc-65, cesium-137 and cerium-144 by euphausiids. *Marine Biology*, 8: 224-231. 1971.

GORDON, D. T., LEINART, A. S. & COUSINS, J. R. Portal copper transport in rats by albumin. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 252: 327- 333. 1987.

HARRIS, R.C. Snodgrass WJA mechanistic model to examine mercury concentration trends in aquatic systems. In: Proc. Heavy Metals Conf. Geneve, 1989.

HOLFFMAN, D. J.; RATTNER, B. A.; JR, G. A. B. & JR, J. C. Handbook of Ecotoxicology. Lewis Publishers. Ed. 2, 462p, 2003.

HUCHABEE, J. W., ELWOOD, J. W. & HILDEBRAND, S. C. The Biogeochemistry of Mercury in the Environment. In: J. Nriagu ed. Accumulation of mercury in freshwater biota. Elsevier, Amsterdam. p.277-302, 1979.

JACKSON, C.; PRESTON, N.; THOMPSON, P. J. Intake and discharge nutrient loads at three intensive shrimp farms. *Aquaculture Research*, v.35, n.11, p.1053-1061, 2004

SANTOS, J.A. Determinação de Cu e Zn em fazendas produtoras de camarão. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará – LABOMAR, 64p,2005.

JONES A. B.; DENNISON, W. C.; PRESTON, N. P. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: A laboratory scale study. *Aquaculture*, v.193, p.155-178, 2001.

KARIMI, R. CHEN, C. Y., PICKHARDT, P. C., FISHER, N. S. & FOLT. C. L. Stechiometric controls of mercury dilution by growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 194(18): 7477-7482. 2007.

KASPER, D. Avaliação das concentrações de mercúrio em diferentes tecidos de peixes com distintos hábitos alimentares. Monografia apresentada a Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

KHAN, A. T., WEIS, J. S. & D'ANDREA, L. Bioaccumulation of four heavy metals in two population of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 42: 339-343, 1989.

KITAHARA, S.E.; OKADA, I.A.; SAKUMA, A.M.; ZENEBON, O.; JESUS, R.S.; TENUTA FILHO, A Mercúrio Total em Pescado de Água-Doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.20, n.2, p.267-273, 2000.

LACERDA, L. D., SANTOS, J. A.; MARINS, R. V.; MAIA, S. R. R. & VAISMAN, A. G. Impacto potencial da emissão antrópica de Cu e Zn sobre a carcinicultura na bacia inferior do Rio Jaguaribe, CE. *Revista da ABCC*, 6(1): 30-36. 2004.

LACERDA, L. D., SANTOS, J. A., MADRID, R. M. Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1784-1832. 2006.

LACERDA, L. D.; VAISMAN, A. G.; MAIA, L. P.; RAMOS e SILVA, C. A.; CUNHA, E. M. S. Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. *Aquaculture*, v.253, p.433–446, 2006.

LACERDA, L. D.; and MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. *Estudos Avançados USP.*, v.22, no.63, p.173-190, 2008.

LINDQVIST, O.;JERNELOV, A.;JOHANSSON, K.; RODHE, H. Mercury in Swedish environmental. Global and local sources. Solna, Sweden, National Swedish Protection Board, 1984.

LODENIUS, M. *Environmental mobilization of mercury and cadmium*. Helsinki, University of Helsinki,. Publications of the Environmental Conservation at the University of Helsinki 13.1990.

MALM, O. Avaliação da Contaminação Ambiental por Mercúrio Através da Análise de Peixes, in Mercúrio em Áreas de Garimpo de Ouro, Série vigilância 12, ed. Câmara, V., Centro Panamericano de Ecologia e Saúde Humana, OPAS/OMS, Metepec, México D.F, México, p. 81-98, 1993.

MILLER, J. C. & MILLER, J. N.. *Statistics for Analytical Chemistry*, 3rd ed. New York: Prentice Hall. 1993.

MOORE, J.W.; RAMAMOORTHY, S. *Heavy Metals in Natural Waters*. New York, Springer-Verlag, 1984.

NASCIMENTO, E. S.; CHASIN, A. A. M. Série Cadernos de Referência Ambiental- Ecotoxicologia do Mercúrio e Seus Compostos, v.1, 176p, 2001.

NIMMI, A. J. *PHYSIOLOGICAL effects of contaminant dynamics in fish*. In: J. O. Nriagu eds. *Aquatic Toxicology*, New York, p. 206-246. 1983.

PAEZ-OSUNA, F. & RUIZ-FERNANDEZ, C. Trace metals in the mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. *Environmental Pollution*, 87: 243- 247. 1995.

POERSCH, L. H. S. Aquicultura no estuário da Lagoa dos Patos e sua influência sobre o meio ambiente. Tese Doutorado, Rio Grande: FURG, 146p, 2004.

RAINBOW, P. S.; AMIARD-TRIQUET, C.; AMIARD, J. C.; SMITH, B. D.; BEST, S. L.; NASSIRI, Y. & LANGSTON, W. J. Trace metal uptake rates in crustaceans (amphipods and crabs) from coastal sites in NW Europe differentially enriched with trace metals. *Marine Ecology Progress Series*, 183: 189-203. 1999.

REINFELDER, J. R. & FISHER, N. S. Retention of elements adsorbed by juvenile fish (*Menidia menidia*, *Menidia beryllina* from zooplankton prey. *Limnology and Oceanography*, 39: 1783-1789. 1994.

RODRIGUES, A.P.C e CASTILHOS, Z.C. Avaliação de Risco Ecológico em Ecossistemas Aquáticos Contaminados por Mercúrio, Estudo de caso: Ilha da Enxadas, Baía de Guanabara, RJ. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil, Fortaleza, 2003.

ROESIJADI, G., FELLINGHAM, G. W. Influence of Cu, Cd, and Zn pre-exposure on Hg toxicity in the mussel *Mytilus edulis*. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, 44: 680-684. 1987.

RUELAS- INZUNZA, J., GARCIA- ROSALES, S. B. & PAEZ- OSUNA, F. Distribution of mercury in adult penaeid shrimps from Altata- Ensenada del Pabellon lagoon (SE Gulf of California). *Chemosphere*, 57: 1567-1661. 2004.

SMOKOROWSKI, K. E., LASENBY, D. C. & EVANS, R. D. Quantifying the uptake and release of cadmium and copper by the opssum shrimp *Mysis relicta* preying upon the cladoceran *Daphnia magna* using stable isotope tracers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 55: 909-916. 1998.

STUMN, W.; MORGAN, J.J. Aquatic Chemistry. 2 nd Ed. New York, John Wiley & Sons, inc.,780p, 1981.

UNEP CHEMICALS. Current exposure and impacts of mercury on human health. In: Global mercury assessment. Switzerland: UNEP. 2002a. chap. 4. Disponível em: <<http://www.chem.unep.ch/mercury/WGmeeting/revreport-Ch4.pdf>>. Acesso em: setembro de 2008.

UNEP CHEMICALS. Impacts of mercury on the environment. In: Global mercury assessment. Switzerland: UNEP, 2002b. chap. 5. Disponível em: <http://www.chem.unep.ch/mercury/WGmeeting/revreport-Ch5.pdf>>. Acessado em: setembro 2008.

WANG, W. –X. Interaction of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, 243: 295-309, 2002.

WANG, W. –X. & RAINBOW, P. S. Influence of metal exposure history on trace metal uptake and accumulation by marine invertebrates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61: 145-149, 2005.

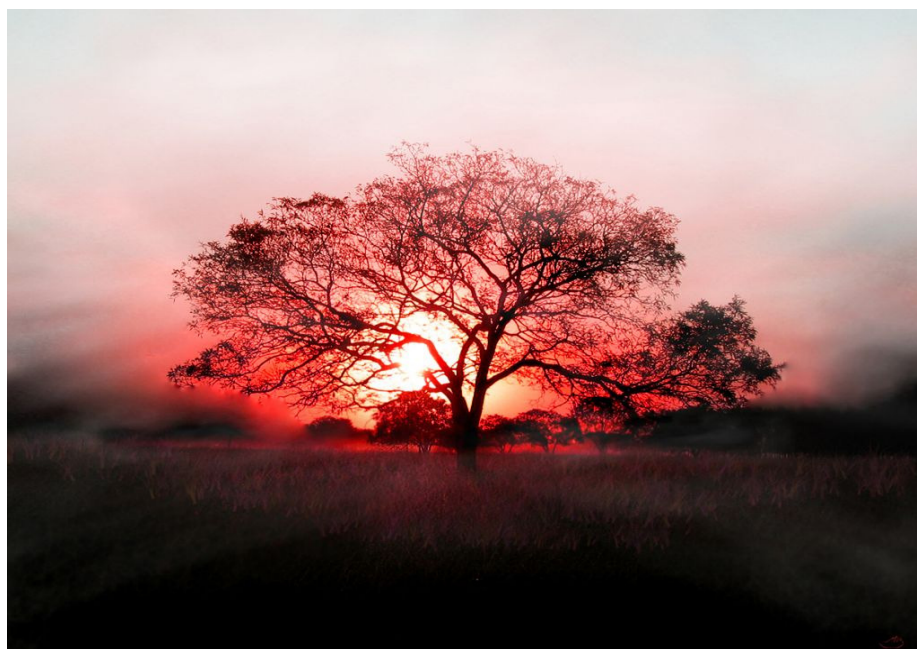
WEEKS, J. M., RAINBOW, P. S. & MOORE, P. G. The loss, uptake and tissue distribution of copper and zinc during the moult cycle in an ecological series of talitrid amphipods (Crustacea: Amphipoda). *Hydrobiologia*, 245: 15-25, 1992.

WHO Mercury, Environmental Health Criteria 1. World Health Organization. Geneva. <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc>>. 1976. Acesso em: Setembro de 2008.

WHO Methylmercury. Environmental Health Criteria 101. World Health Organization. Geneva. <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm#PartNumber:2>>. 1990. Acesso em: Setembro de 2008.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Inorganic mercury. Geneva, 1991. Environmental Health Criteria, n. 118. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm#PartNumber:3>>. Acesso em: Setembro de 2008.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air Quality Guidelines. Second Edition. Mercury. Chapter 6.9. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000 <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118>>. Acesso em: Outubro de 2008.



*A minha mãe foi o Sol da minha vida, e vi o meu mais triste pôr do Sol, o meu Sol irá nascer noutro mundo mas os seus raios continuarão a iluminar-me e a aquecer-me.*

*(Autor desconhecido)*