

**Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia
Programa de Pós Graduação em Oceanografia**

Mercúrio total em *Cathorops spixii* Agassiz, 1829 (Actinopterygii - Ariidae) no estuário do Rio Goiana: variações espaciais e sazonais.

Scheyla Cristina Tinoco Barbosa

**Recife-PE
2010**

Scheyla Cristina Tinoco Barbosa

Mercúrio total em *Cathorops spixii* Agassiz, 1829 (Actinopterygii - Ariidae) no estuário do Rio Goiana: variações espaciais e sazonais.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Oceanografia, na área de Oceanografia Química.

Orientadores: Monica Ferreira da Costa e Mário Barletta

**Recife-PE
2010**

B238m **Barbosa, Scheyla Cristina Tinoco**

Mercúrio total em *Cathorops spixii* Agassiz, 1829 (Actinopterygii-Ariidae) no estuário do Rio Goiana: variações espaciais e sazonais / Scheyla Cristina Tinoco Barbosa. – Recife: O Autor, 2010.

x, 35 f.; il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2010.

Inclui referências bibliográficas.

1. Oceanografia. 2. Mercúrio Total. 3. *Cathorops spixii*. 4. Estuário do Rio Goiana. I. Título.

UFPE

551.46 CDD (22.ed.)

BCTG/2010-052

**Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia
Programa de Pós Graduação em Oceanografia**

**Mercúrio total em *Cathorops spixii* Agassiz, 1829 (Actinopterygii -
Ariidae) no estuário do Rio Goiana: variações espaciais e sazonais.**

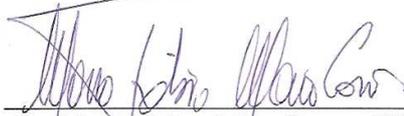
por

Scheyla Cristina Tinoco Barbosa

Dissertação defendida e aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada:



Dra. Monica Ferreira da Costa (UFPE)



Dr. Marco Fábio Maia Corrêa (UFPR)



Dra. Isabel Maria Neto da Silva Moreira (PUC-Rio)

Recife, 25 de fevereiro de 2010.

À minha irmã, Gláucia Tinoco, a quem tanto admiro e me espelho, com todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq), pela bolsa de mestrado N° 130653/2008-0, ao projeto Universal N° 474736/2004-0 “Contaminação de peixes por metais traço no estuário do Rio Goiana e suas relações com as fontes poluidoras” e ao projeto Universal N° 482921/2007-2 “Mercúrio e outros elementos-traço em peixes e outros compartimentos ambientais bióticos e abióticos do estuário do Rio Goiana”.

Ao professor Dr. Olaf Malm, líder do grupo de pesquisa do Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca (Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - UFRJ) e seus integrantes que participaram deste trabalho: Dra. Helena A. Kehrig e Ricardo Thomaz.

À Dra. Isabel Maria Neto da Silva Moreira e ao Dr. Marco Fábio Maia Corrêa, por terem aceito fazer parte da banca examinadora e por suas colaborações para amadurecimento deste trabalho.

Ao doutorando David V. Dantas, pela ajuda nas coletas e identificação dos peixes.

Aos meus avós, Artur e Lila, sempre presentes na minha memória, por todos os ensinamentos.

Ao meu marido Marcio Cintra, pela força, incentivo, carinho, amor, compreensão e companheirismo. Por estar sempre ao meu lado.

Aos meus pais, Gláucio e Fátima pelo amor incondicional, amizade, confiança e apoio.

Às minhas tias Elza e Marlene Vasconcelos que junto com os meus pais proporcionaram o alicerce para a construção do meu desenvolvimento pessoal.

À minha tia Lourdes Vasconcelos pela amizade e força.

À família Walter Tinoco, especialmente a minha avó Juraci, por torcer sempre por mim.

Ao meu irmão Arthur pela amizade e sentimento que temos um pelo outro, mesmo estando tão longe.

Às minhas queridas amigas do Colégio São Luís, Renata Sarmento, Tacianna Godoy, e em especial a grande amiga Wanessa Lima.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Estuarinos e Costeiros (LEGECE) pela ajuda prestada, em especial a André Lima, Fernanda Possatto, Flávia Guebert, Jonas Ramos, Juliana Sul e Jacqueline Silva meu mais sincero agradecimento pelos momentos de carinho, confiança e aprendizagem.

Aos meus queridos amigos, Christina Araújo, Ângela Spengler, Nilson Sant'Anna, Catarina Araújo, Débora Lucatelli, Gaby Torreiro e Carol Costa pessoas que estarão sempre no meu coração.

Agradecimentos Especiais

Aos meus orientadores, professora Dra. Monica Costa e o professor Dr. Mário Barletta pelos seis anos de orientação durante toda graduação e mestrado, pelo apoio intelectual, incentivo, intervenções inteligentes no desenvolvimento desse trabalho. Pessoas que eu admiro e respeito.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODO	7
2.1. ÁREA DE ESTUDO	7
2.2. COLETAS E ANÁLISES QUÍMICAS.....	10
2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	14
3. RESULTADOS	15
4. DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÃO.....	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Cathorops spixii</i> Agassiz, 1829 (bagre-amarelo). Retirado de FAO, 1978.	7
Figura 2: Estuário do Rio Goiana. Onde A1, A2 e A3, correspondem respectivamente às porções superior, intermediária e inferior do estuário.	9
Figura 3: Precipitação total mensal (mm) da região durante o período de coleta (www.inmet.gov.br).	10
Figura 4: Fluxograma da metodologia utilizada para a) Etapas realizadas no campo e na UFPE; b) Procedimento analítico para determinação de Hg-T em amostras de músculos realizadas na UFRJ. Modificado de Baêta (2004) e Kehrig et al. (2006).	13
Figura 5: Relação entre comprimento padrão (cm) e peso (g) para os <i>Cathorops spixii</i> coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).	17
Figura 6: Relação entre concentração de mercúrio total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) e peso (g) para os <i>Cathorops spixii</i> coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).	17
Figura 7: Relação entre concentração de mercúrio total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) e comprimento padrão (cm) para os <i>Cathorops spixii</i> coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).	18
Figura 8: Média e desvio padrão do (a) comprimento padrão (cm); (b) peso (g); (c) $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$ no músculo, considerando as estações (início e final da seca, início e final da chuvosa) e áreas (A1, A2 e A3).	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores certificados e os valores encontrados no presente trabalho para Hg total ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) do material certificado de referência TORT-2 (hepatopâncreas de lagosta). ...	12
Tabela 2: Média e desvio padrão do comprimento (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) dos 155 <i>Cathorops spixii</i> coletados nas três áreas do estuário durante quatro estações.....	16
Tabela 3: Resultados da ANOVA para o peso, comprimento padrão e concentração de mercúrio total. Os dados foram transformados pelo box cox. Diferenças entre áreas e estações foram determinadas pelo teste <i>post hoc</i> de Bonferroni. Quando * $p < 0,05$; NS, diferenças não significativas; IS, início da estação seca; FS, final da estação seca; IC, início da estação chuvosa; FC, final da estação chuvosa; EI, parte inferior do estuário; EM, parte média do estuário; ES, parte superior do estuário.	20
Tabela 4: Comparação dos comprimentos (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total em peso seco ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) em músculos de três espécies de níveis tróficos diferentes (<i>Cathorops spixii</i> , <i>Trichiurus lepturus</i> , <i>Centropomus undecimalis</i> e <i>Achirus lineatus</i>) no estuário do rio Goiana (PE/PB).	24
Tabela 5: Comparação entre comprimento padrão (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total em peso seco e peso úmido ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) em músculo de <i>Cathorops spixii</i> no estuário do Rio Goiana (PE/PB) e outros trabalhos publicados na literatura (Rio Jaguaribe-CE, Baía de Santos-SP e Cananéia-SP).	25

RESUMO

A bacia hidrográfica do Rio Goiana, localizada na divisa dos estados de Pernambuco e Paraíba, abriga uma população de aproximadamente 500.000 habitantes, distribuídos em 25 municípios. O sistema estuarino desse rio possui 475.000 m² e uma extensão de 17 km, da altura da cidade de Goiana até a foz, onde a cobertura vegetal predominante nas margens é a floresta de manguezal e no entorno a cana. As fontes de mercúrio para esse estuário são a lixiviação do solo, o esgoto doméstico, a carcinicultura, a agroindústria da cana de açúcar e os efluentes das indústrias. A quantificação do mercúrio total foi feita no músculo dorso lateral de 155 indivíduos da espécie *Cathorops spixii* durante 12 meses (dezembro 2005 a novembro 2006), divididos em 4 estações (início da seca – setembro a novembro; final da seca – dezembro a fevereiro; início da chuvosa – março a maio; final da chuvosa - junho a agosto) e 3 áreas do estuário (A1- estuário superior; A2- estuário intermediária; A3- estuário inferior). O peso médio dos indivíduos amostrados foi de 66,7±20,8 g com menor valor no início da estação chuvosa na parte inferior do estuário (48,3±14,8 g) e maior no final da estação seca na parte inferior (101,8±21,2). A média do comprimento padrão desses indivíduos foi de 15,6±1,8 cm, sendo maior no início da estação chuvosa na parte inferior do estuário (17,8±1,7 cm) e menor no final da estação seca na parte inferior (14,1±1,7 cm). A média de concentração de mercúrio total no músculo foi 454,5±265,4 µgHg-T.kg⁻¹ (durante os doze meses). A correlação entre as variáveis biológicas, comprimento e peso em relação à concentração de mercúrio sugere que esse metal está sendo bioacumulado. Diferenças na concentração do metal em relação as estações do ano foram detectadas: 476,8±220,2 µgHg-T.kg⁻¹ (início da estação seca), 617,6±525,0 µgHg-T.kg⁻¹ (final da estação seca), 310,4±144,6 µgHg-T.kg⁻¹ (início da estação chuvosa) e 607,3±284,1 µgHg-T.kg⁻¹ (final da estação chuvosa). Também se observou diferenças em relação às três áreas do estuário.

Palavras-chave: Oceanografia, mercúrio total, *Cathorops spixii*, Estuário do Rio Goiana

ABSTRACT

The Goiana River basin, located on the border of Pernambuco and Paraíba States, had a population of about 500 000 hab., distributed in 25 cities. The estuarine system has 75.000 m² and 17 km of main channel from its mouth to Goiana City where the vegetation cover predominant is the mangrove forests. The sources of mercury to this estuary are land run-off, municipal sewage, carciniculture, sugar-cane agro-industry and industrial effluents. The measurement of total mercury was made in the back dorso-lateral muscle of 155 individuals of species *Cathorops spixii* during 12 months (December 2005 to November 2006) divided in 4 seasons (early dry-September to November; late dry- December to February; early rainy-March to May; late rainy- June to August) and 3 estuarine areas (A1- upper estuary; A2- middle estuary; A3-lower estuary). The average weight of the individuals sampled was 66.7±20.8 g with lowest value in the early rainy season in the lower estuary (48.3±14.8 g) and highest in the late dry season in the lower estuary (101.8±21.2). The average standard length of the individuals was 15.6±1.8 cm, with highest value in the early rainy season in the lower estuary (17.8±1.7 cm) and lowest in the late dry season in the lower estuary (14.1±1.7 cm). The average total mercury in the muscle, in µgHg-T.kg⁻¹, was 454.5±265.4 (during 12 months). Correlations between the biological variables size and weight in relation to concentration of total mercury suggest that this metal is undergoing bioaccumulation. A difference in the concentration of metal in relation the seasons was detected 476.8±220.2 µgHg-T.kg⁻¹ (early dry season), 617.6±525.0 µgHg-T.kg⁻¹ (late dry season), 310.4±144.6 µgHg-T.kg⁻¹ (early rainy season) and 607.3±284.1 µg.kg⁻¹ (late rainy season). Also was observation difference in relation the 3 areas of the estuary.

Key-words: Oceanography, total mercury, *Cathorops spixii*, Goiana River Estuary

1. INTRODUÇÃO

Os estuários foram as primeiras áreas costeiras ocupadas por assentamentos humanos e, a seguir, por portos e complexos industriais. Sendo assim, dentre os ecossistemas costeiros, os estuários, são importantes locais para estudos envolvendo elementos-traço de caráter tóxico para a biota, pois, geralmente encontram-se historicamente contaminados por diversas fontes antrópicas de metais. Somado a isso, devemos também considerar que suas margens e as bacias hidrográficas que neles deságuam foram ocupadas por diversos usos do solo que mais recentemente, nas últimas décadas, passaram a fazer uso de produtos sintéticos, sobretudo para a agricultura que também podem comprometer a integridade ambiental desse ecossistema.

Através de efluentes e resíduos domésticos, industriais e agro-industriais grandes quantidades de metais-traços com potencial tóxico entram no ambiente estuarino (Laws 1993; Clark 2001) e daí podem ser transferidos às águas costeiras adjacentes.

A forma sob a qual os metais entram no estuário determina sua biodisponibilidade e atividade química e biológica (Laws 1993; Newman 1998). As condições ambientais predominantes (ex. temperatura da água, salinidade, qualidade e quantidade do material particulado em suspensão) também são determinantes para a atividade e a biodisponibilidade desses metais. Em sistemas aquáticos, a especiação química dos metais é determinada principalmente pela forma química introduzida, pelas condições físico-químicas do meio, pelas reações de complexação com minerais e compostos orgânicos nas fases particuladas e dissolvidas. Os resultados dessas reações são então passíveis de incorporação pelos organismos aquáticos via difusão pelas brânquias e, principalmente, ingestão de alimento previamente contaminado (Kitahara et al. 2000; Braga 2006; Kasper et al. 2007).

O mercúrio é um poluente ambiental que devido à alta mobilidade e toxicidade para todos os organismos vivos (Boening 2000) é um dos elementos-traço mais estudados

(McAloon & Mason 2003). Ele é conhecido por ser um poluente ambiental persistente e por sofrer um grande número de transformações no ambiente aquático, podendo ser introduzido de forma direta e/ou indireta (McAloon & Mason 2003). Esse elemento pode ter fontes naturais ou antrópicas (OSPAR 2004). Em regiões estuarinas as principais fontes são a deposição atmosférica, a lixiviação dos solos naturais ou cultivados e liberação direta de efluentes urbanos e industriais. Uma vez lançado no ambiente acumula-se nos sedimentos e também é transferido à teia alimentar aquática (Gonzalez et al. 1999), podendo retornar ao ambiente terrestre através de inundações das várzeas e por transferência via biomassa.

A presença e comportamento desse metal em sistemas aquáticos são de grande importância e interesse, pois além da toxicidade, ele é o único metal pesado que tanto se bioacumula quanto se biomagnifica em todos os níveis da cadeia alimentar aquática (Lindqvist et al. 1991; Kehrig et al. 1998, 2001). De forma geral, os níveis de mercúrio nos tecidos de organismos aquáticos tendem a aumentar com o aumento do nível trófico (Cronin et al. 1998; Power et al. 2002).

Nas regiões estuarinas empregam-se organismos aquáticos, como bioindicadores da qualidade da água e da poluição por mercúrio, a fim de se avaliar o grau de comprometimento do ecossistema e mais especificamente de seus recursos vivos (Sarger 2002; Kehrig et al. 2002, 2004; Weis & Ashley 2007) em relação a esse poluente.

Os peixes são considerados bons indicadores das condições ambientais e da qualidade geral dos ecossistemas estuarinos. Sendo assim, são frequentemente usados para a avaliação da poluição aguda e/ou crônica dessas áreas (Kasper et al. 2007), pois além de serem sensíveis a mudanças ambientais de curto prazo (e.g. níveis de oxigênio dissolvido, derrames de poluentes dissolvidos e na fase sólida), possuem vida relativamente longa, podendo acumular metais, inclusive o mercúrio.

Os peixes têm também grande diversidade de espécies, guildas ecológicas e tróficas; massa suficiente de tecidos (guelras, fígado, músculo e conteúdo estomacal etc.) que podem ser facilmente utilizadas em análises químicas como compartimentos indicadores da presença do mercúrio e suas diferentes formas químicas. Porém, o tecido muscular, sobretudo dorsal, é o principal tecido analisado para avaliação da biodisponibilidade de mercúrio nesses organismos (Suzuki et al. 1973), e é também a porção mais frequentemente consumida por pessoas em todo o mundo.

Nos peixes a concentração de mercúrio é controlada pelas variações sazonais das variáveis físico-químicas da água (Weis et al. 1986; Hylander et al. 2000; Dorea et al. 2006; Weis & Ashley 2007); fisiologia das espécies, ciclo de vida e disponibilidade e qualidade do alimento (Kim 1995; Beckvar et al. 1996; Goldstein et al. 1996).

Os peixes podem ser predadores e/ou presas, apresentando um grande potencial de descrição da contaminação ambiental ao longo de toda a teia trófica, e ainda podem servir de mediadores da contaminação por mercúrio entre o estuário e a zona costeira adjacente, como, por exemplo, no caso de espécies que entram no estuário para se alimentar e mais tarde são predadas no mar, como é o caso do *Trichiurus lepturus* (peixe espada) (Costa et al. 2009).

Peixes não migradores tendem a refletir melhor as características do ambiente aquático onde vivem, pois estão permanentemente expostos às variações ambientais que ali ocorrem. Com isso eles tanto refletem quanto registram as mudanças da qualidade ambiental local (Jahanbakht et al. 2002; Belger & Forsberg 2006). É o caso do *Cathorops spixii* (**Figura 1**), espécie alvo do presente estudo, que é estuarino residente (Dantas et al. 2010). Essa espécie pertence à classe Actinopterygii, ordem Siluriforme e à Família Ariidae. Essa família é a mais importante em canais de maré e no canal principal dos estuários tropicais e subtropicais, apresentando grande diversidade, ampla distribuição e abundância (Lowe-McConnell 1987; Nelson 1994; Barletta et al. 2005; Barletta & Blaber 2007; Barletta et al. 2008; Dantas et al.

2010). O grupo possui hábito principalmente estuarino, podendo ser encontrado tanto em ambientes marinhos quanto de água doce adjacentes aos estuários onde vive. Os bagres, incluindo *C. spixii*, ocorrem em águas pouco profundas de fundo lodoso ou arenoso (Menezes & Figueiredo 1985; Burgess 1989; Nelson 1994; Acero 2002; Marceniuk & Ferraris 2003).

C. spixii (Bagre amarelo) é a espécie de peixe mais comum nos estuários brasileiros em termos de densidade e biomassa (Figueiredo & Menezes 1978; Barletta et al. 2005, 2008; Dantas et al. 2010), e está distribuída por toda a costa Atlântica da América Central e do Sul, presente em rios e estuários do Caribe e da Colômbia até o Brasil (Carpenter 2002; Barletta et al. 2005, 2008; Froese & Pauly 2009).

Na época da reprodução os bagres amarelos sobem os estuários para desovar. A fêmea faz a desova, prendendo os ovos com suas nadadeiras pélvicas, e o macho a fertiliza (fecundação externa). Em seguida, os machos recolhem os ovos à boca e os guardam até o estágio final de larvas vitelínicas, o que constitui um hábito reprodutivo bastante especializado (Burgess 1989; Nelson 1994; Moyle & Cech Jr 1996; Marceniuk 1997). Durante o período de incubação e cuidado parental os adultos que se encontram com ovos e larvas vitelínicas na boca permanecem sem se alimentar, e talvez em condições ambientais desfavoráveis a fim de evitarem predadores e garantirem a sobrevivência da prole. Assim sendo, um ambiente com maior turbidez pode favorecer a sobrevivência nesse período, servindo como abrigo e proteção contra a predação (Dantas et al. 2010).

Quando juvenis os bagres se alimentam principalmente de presas bentônicas, como anfípodas, isópodas e copépodas (Acero 2002; Santos 2004). O adulto por sua vez, alimenta-se principalmente de crustáceos, moluscos e pequenos peixes (Acero 2002).

O *C. spixii* apresenta ainda grande importância na pesca de subsistência das populações ribeirinhas (Corrêa 2001) da costa do Brasil. O comprimento total médio dessa espécie é de 200 mm e chega até 300 mm (Froese & Pauly 2009). No estuário do Rio Goiana o

comprimento padrão médio é de 67 mm com o mínimo de 5 mm e máximo de 220 mm (Dantas et al. 2010).

Baseado nas características biológicas e ecológicas (Costa et al. 2004), na ampla ocorrência na costa brasileira e no Atlântico Ocidental (Lowe-McConnell 1987; Araújo 1988; Nelson 1994; Azevedo et al. 1999; Barletta et al. 2005; Barletta et al. 2008; Dantas et al. 2010), nos hábitos de vida, hábitos alimentares (Barletta & Blaber 2007), e importância para a pesca artesanal e de subsistência (Dantas et al. 2010), o *C. spixii*, foi sugerido como indicador dos níveis de poluição química para estuários. Azevedo et al. (2009), utilizou o *C. spixii*, como bioindicador de metais-traços na Baía de Santos (SP) (sistema impactado pelo esgoto industrial e doméstico) e no complexo estuarino-lagunar da Cananéia (SP) (local não poluído) durante um mês de verão. Costa (2009), também utilizou o bagre amarelo como bioindicador de mercúrio total ao longo de três locais do canal do Rio Jaguaribe (CE).

O estuário do Rio Goiana, objeto desse estudo, vem sendo alvo de diversos estudos ambientais sobre seus recursos vivos e sua ecologia. Barletta & Costa (2009) identificaram padrões de exploração dos recursos naturais ao longo do espaço e do tempo. A disponibilidade desses recursos, em termos de acesso, quantidade e qualidade segue o padrão de sazonalidade determinado pela chuva. O estuário foi dividido em diferentes habitats de acordo com o gradiente de salinidade e a geomorfologia do canal principal. Os principais habitats estuarinos se localizam nas porções superior, intermediária e inferior do estuário (canal principal, canal de maré, floresta de mangue, banco de areia e lama) e áreas costeiras adjacentes (praias arenosas, bancos de fanerógamas marinhas e recifes de coral). Os principais recursos vivos para esse ecossistema são peixes, crustáceos e moluscos. Em relação aos moluscos, destaca-se a *Anomalocardia brasiliana* (marisco pedra), alvo de uma das mais importantes atividades pesqueiras na região tanto para subsistência da população tradicional quanto para recurso financeiro. Silva-Cavalcanti & Costa (2009) demonstraram a diferença na

exploração da *A. brasiliiana* entre áreas protegidas (Unidade de Conservação) e não protegidas. Em áreas protegidas, mesmo com proteção incipiente, as características da pesca de subsistência da população tradicional e a baixa demanda de mercado pela carne processada ainda garantem uma exploração sustentável. Isso já não ocorre em áreas que não gozam de nenhum status de proteção. Dantas et al. (2010) relata que a Família Ariidae, representada principalmente por *C. spixii*, *Cathorops agassizi* e *Sciades hetzbergii*, é a família mais abundante em biomassa e densidade desse estuário. O comportamento espaço-temporal dessa família se dá ao longo do estuário, de acordo com o gradiente de salinidade e temperatura da água. A Família Ariidae utiliza regiões de baixa salinidade para reprodução e desova. Barletta & Costa (2009) observaram que *Trichiurus lepturus* (peixe-espada) era uma das principais espécies alvo para a pesca comercial e de subsistência no baixo estuário do Rio Goiana durante a estação seca e nas áreas costeiras durante a estação chuvosa. Costa et al. (2009) usaram essa espécie como bioindicadora de mercúrio total nesse estuário em diferentes estações do ano. A concentração de mercúrio nessa espécie relaciona-se inversamente com a chuva. Apesar dos níveis de mercúrio estarem dentro do permitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), mulheres grávidas e crianças pequenas devem evitar o consumo freqüente dessa espécie pois, para esses grupos, o nível de mercúrio total está próximo do limite tolerável para esses indivíduos (1,6 µHg-T/semana).

Esses trabalhos no estuário do Rio Goiana compõem juntamente com o presente estudo um conjunto de projetos que se propõem a estudar a ecologia local. Essa dissertação teve como objetivo determinar a distribuição da biodisponibilidade espaço-temporal do mercúrio total dentro do estuário do Rio Goiana (PE/PB) utilizando o *Cathorops spixii* (bagre amarelo) como bioindicador desse elemento traço. Este trabalho foi o primeiro no mundo a avaliar os níveis de mercúrio nessa espécie ao longo do espaço e tempo simultaneamente.

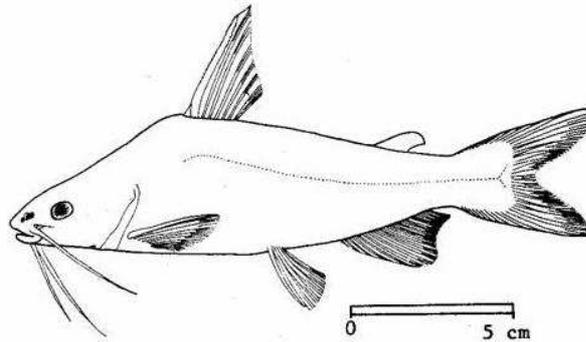


Figura 1: *Cathorops spixii* Agassiz, 1829 (bagre-amarelo). Retirado de FAO, 1978.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Rio Goiana (**Figura 2**), na divisa dos estados de Pernambuco e Paraíba ($7^{\circ}32'$ a $7^{\circ}35'$ S e $34^{\circ}50'$ a $34^{\circ}58'$ W), é formado pela confluência dos Rios Capibaribe Mirim e Tracunhaém, dando origem ao Rio Goiana. O sistema estuarino possui 475.000m^2 e uma extensão de 17km, da cidade de Goiana até a foz (FIDEM 1987). A área estuarina abriga uma fauna rica em peixes, crustáceos e moluscos, cuja coleta assegura o sustento de grande parte da população dos aglomerados urbanos circunvizinhos, a exemplo de Goiana, Tejucofapo, São Lourenço, Ponta de Pedras e Carne de Vaca (PE) assim como Caaporã, Acaú e Pitimbú (PB). A cobertura vegetal é predominantemente de florestas de manguezal, que vem sendo ameaçada pela lavoura de cana-de-açúcar e ocupação urbana. O clima é tropical úmido, do tipo As' segundo a classificação de Köppen. A temperatura média do ar é de 25°C , e oscila entre 27°C nos meses de verão e 24°C nos meses de inverno. A média da precipitação total mensal registrada de Janeiro de 1961 a Fevereiro de 1990 foi de $199,6\pm 126,5$ mm variando entre 42,8 e 383,8 mm e no período de Janeiro de 2000 a Junho de 2007 foi de $197,0\pm 142,6$ mm variando entre 43,3 e 533,1mm (Barletta & Costa, 2009).

A bacia hidrográfica do Rio Goiana abriga uma população de aproximadamente 500.000 habitantes, distribuídos em 25 municípios, sendo 7 sedes cortadas pelo rio. Em torno de 60% da população que ocupa ou utiliza a bacia, se concentra em áreas urbanas (CPRH, 2008). O uso e ocupação do solo incluem, além das vilas e cidades, instalações industriais (tintas e pigmentos, têxtil, couro, papel e papelão, alimentos), agroindústria canavieira, policulturas, pecuária e quatro Unidades de Conservação de Mata Atlântica. No seu estuário instalaram-se atividades como mineração de calcário e areia, usinas de cimento e cerâmica, aquicultura (carcinicultura e piscicultura) e conservação de florestas de manguezal e ambientes costeiros adjacentes (Barletta & Costa, 2009). A principal atividade econômica da bacia, principalmente em sua porção mais costeira onde as chuvas são mais intensas e frequentes, é a indústrias sucroalcooleira. A água dessa bacia destina-se também ao abastecimento público e industrial, assim como à recepção dos efluentes líquidos resultantes de todas as atividades econômicas e usos do solo citados acima (Barletta & Costa, 2009).

A qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Goiana é monitorada sistematicamente em sete pontos estratégicos [jusante da cidade de Macaparana, jusante da cidade de Timbaúba, propriedade de Alagamar (Timbaúba), jusante da Usina N. Sra. das Maravilhas (Goiana), jusante da Usina Matary, jusante da Usina Sta. Teresa (Goiana) e no Engenho Barreirinha (Goiana)] (CPRH 2008). Em todos eles os parâmetros monitorados (temperatura da água, pH, turbidez, cor, amônia, fósforo, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica e salinidade) podem ultrapassar os limites previstos em lei para a preservação da vida aquática (CPRH, 2008). O trecho da bacia do Rio Goiana, situado nas porções mais a montante do estuário, sob a influência da agroindústria canavieira, apresenta comprometimento da qualidade da água no período de estiagem (Setembro a Fevereiro), que coincide com o período de moagem da cana e necessidade de fertirrigação da lavoura.

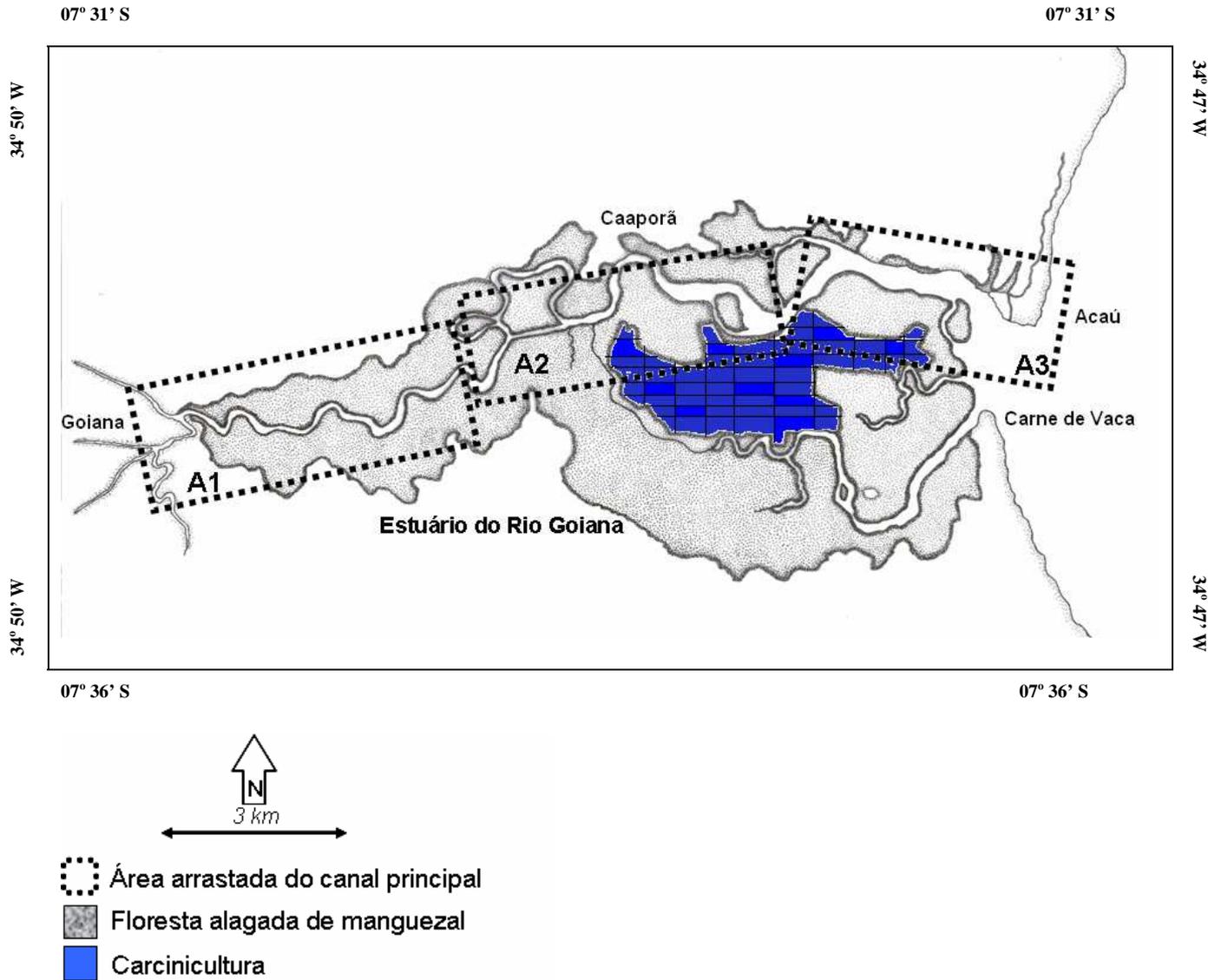
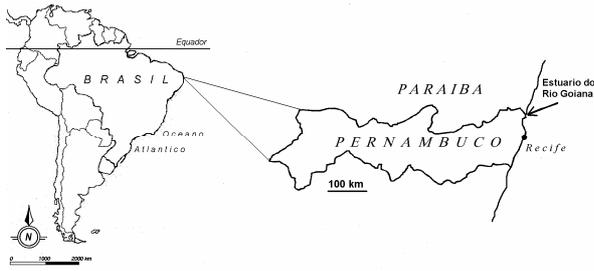


Figura 2: Estuário do Rio Goiana. Onde A1, A2 e A3, correspondem respectivamente às porções superior, intermediária e inferior do estuário.

2.2. COLETAS E ANÁLISES QUÍMICAS

As coletas foram feitas entre dezembro de 2005 e novembro de 2006. Esses doze meses foram divididos em quatro estações, de acordo com a pluviometria local (Figura 3) [início da seca (setembro a novembro); final da seca (dezembro a fevereiro); início da chuvosa (março a maio) e final da chuvosa (junho a agosto)] (Barletta & Costa, 2009), onde 155 exemplares de *C. spixii* foram capturados nas três diferentes regiões do canal principal do estuário do Rio Goiana [superior (A1), intermediário (A2) e inferior (A3)]. As três áreas desse estuário foram divididas de acordo o gradiente de salinidade e a geomorfologia do canal principal. Essa captura foi feita com rede de arrasto com portas (Barletta et al. 2005, 2008; Dantas et al. 2010).

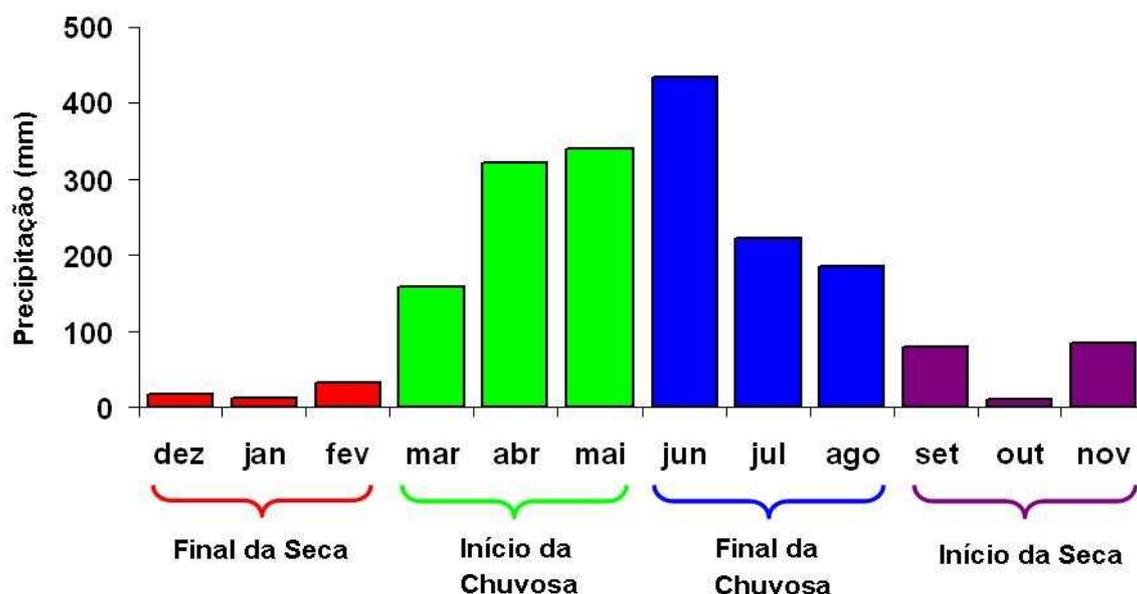


Figura 3: Precipitação total mensal (mm) da região durante o período de coleta (www.inmet.gov.br).

O critério de seleção dos espécimes a serem utilizados neste estudo foi o comprimento padrão, onde foram escolhidos os maiores exemplares possíveis de cada área do estuário em cada mês. A identificação dos animais capturados foi realizada de acordo com Barletta & Corrêa (1987), Carpenter (2002) e Figueiredo & Menezes (2000). Em seguida, os indivíduos foram medidos com um ictiômetro (comprimento padrão - cm) e pesados (g) em balança digital (**Figura 4a**).

Posteriormente, com auxílio de bisturi e pinça, retirou-se o tecido muscular dorso-lateral de todos os peixes amostrados (FAO/SIDA 1983). O tecido foi colocado em tubos de centrífuga descartáveis de 15mL, devidamente codificados e congelados em freezer (-18°C) para serem preservados até a análise. Para preservar melhor as amostras e analisá-las em peso seco todas elas foram liofilizadas (**Figura 4a**).

As análises do mercúrio total foram feitas no Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho no Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Foram pesados 0,05 g de peso seco do músculo dorso-lateral de cada indivíduo (em duplicata). Essa massa foi colocada em tubo de ensaio e digerida em banho-maria a uma temperatura de 60°C por 1 hora, ou até a digestão completa, em sistema aberto (**Figura 4b**), com uma solução ácida 3,0 mL de $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ (1:1) e 1,0 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Em seguida adicionou-se permanganato de potássio (KMnO_4) como agente oxidante e voltou-se ao banho-maria por mais 15 minutos. Após 24 horas, e momentos antes da leitura, adicionou-se cloridrato de hidroxilamina à solução, avolumando-a a um volume final de 12 mL. Todas as bateladas foram acompanhadas de análises de brancos e de padrões certificados de referência (CRM) (**Figura 4b**). Foi utilizado o TORT-2 (hepatopâncreas de lagosta) como material certificado de referência (**Tabela 1**). A determinação do mercúrio foi feita através da espectrometria de absorção atômica usando a técnica do vapor frio em um sistema de injeção

em fluxo FIMS (Flow Injection Mercury System), equipado com um mostrador automático Perkin-Elmer AS 90. O borohidreto de sódio (NaBH_4) a 2% em meio alcalino (NaOH) e HCl 3% foi o agente redutor empregado (**Figura 4b**) (Baêta 2004; Kehrig et al. 2006).

Tabela 1: Valores certificados e os valores encontrados no presente trabalho para Hg total ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) do material certificado de referência TORT-2 (hepatopâncreas de lagosta).

	Valor certificado	Presente trabalho
	média \pm d.p.	média \pm d.p. (n=9)
TORT-2	0,27 \pm 0,06	0,29 \pm 0,02

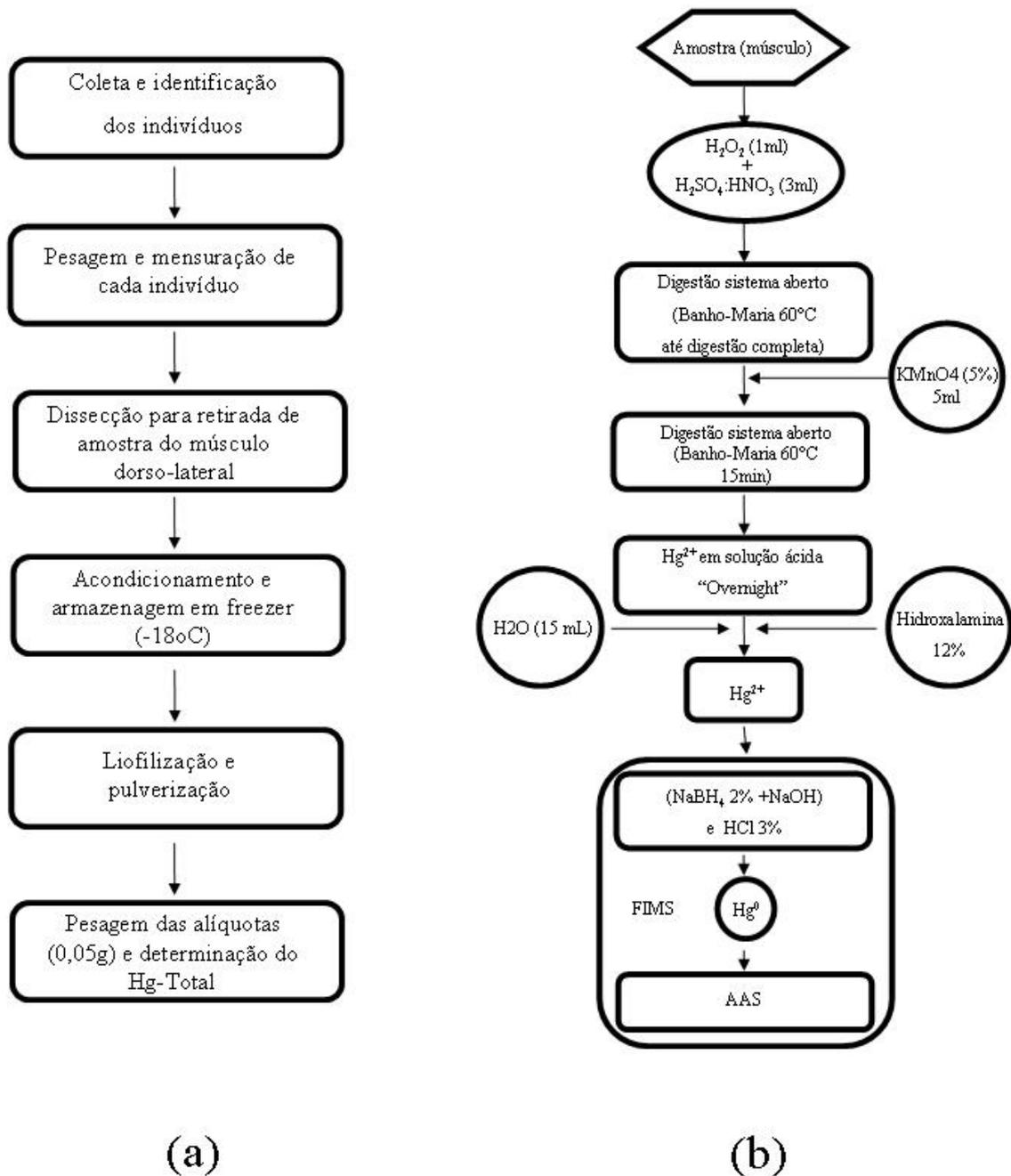


Figura 4: Fluxograma da metodologia utilizada para a) Etapas realizadas no campo e na UFPE; b) Procedimento analítico para determinação de Hg-T em amostras de músculos realizadas na UFRJ. Modificado de Baêta (2004) e Kehrig et al. (2006).

2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A correlação de Pearson foi utilizada para testar a existência de associação entre as variáveis biológicas (peso e tamanho) e a concentração de mercúrio total no músculo (peso e concentração de mercúrio total; tamanho e concentração de mercúrio total). Todos os dados foram log-transformados.

Para testar a existência de diferença significativa no peso, comprimento e concentração de mercúrio total em *C. spixii* em relação às quatro estações do ano (início e final das estações seca e chuvosa) e áreas do estuário (superior, intermediário e inferior) foi feito o teste da ANOVA.

Para aumentar a normalidade dos dados, foram aplicados aos mesmos, a transformação Box-Cox (Box & Cox, 1964). Foram testadas as normalidades e homocedasticidades dos dados, a última pelo teste de Cochran (Underwood 1997). Nos testes em que a ANOVA apresentou diferença significativa foi utilizado o teste à posteriori, de Bonferroni.

3. RESULTADOS

Ao final dos doze meses de coleta foram selecionados 155 indivíduos de *C. spixii* (**Tabela 2**), foi observada uma média geral para o peso de $66,7 \pm 20,8$ g, com a menor média no início da estação chuvosa na parte inferior do estuário ($48,3 \pm 14,8$ g) e a maior média no final da estação seca na porção inferior ($101,8 \pm 21,2$ g). A média geral do comprimento padrão foi de $15,6 \pm 1,8$ cm, onde os indivíduos variaram de $14,1 \pm 1,7$ cm, no início da estação chuvosa na parte inferior do estuário a $17,8 \pm 1,7$ cm, no final da estação seca na porção inferior. Todos os indivíduos usados no presente estudo fazem parte da mesma classe ontogenética, adultos >10 cm, comprimento da primeira maturação sexual. Essa divisão de classe de tamanho foi feita no laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos -UFPE.

Quanto à concentração total de mercúrio a média foi $454,5 \pm 265,4$ $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$, onde a menor concentração ocorreu nos indivíduos coletados no final da seca, na porção superior do estuário ($302,7 \pm 90,5$ $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) e a maior no final da seca, na parte inferior ($1246,3 \pm 225,2$ $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$).

A relação entre as variáveis, peso e tamanho (**Figura 5**), peso e concentração de mercúrio total (**Figura 6**), tamanho e concentração de mercúrio total (**Figura 7**), resultou em correlações positivas e significativas ($p < 0,05$). Através do r de Pearson, $r = 0,85453$, $r = 0,31489$ e $r = 0,27009$, dentro da classificação de Callegari-Jacques (2003) as correlações foram consideradas, forte, regular e fraca, respectivamente.

Tabela 2: Média e desvio padrão do comprimento (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) dos 155 *Cathorops spixii* coletados nas três áreas do estuário durante quatro estações.

Estação	Área	N	Comprimento (cm)	Peso (g)	$\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$
			Média±desvpad (min. – max.)	Média±desvpad (min. – max.)	Média±desvpad (min. – max.)
INÍCIO DA SECA	A1	15	15,9±1,9 (12,0-19,0)	68,4±16,3 (39,7-95,0)	379,8±110,8 (234,4-596,1)
	A2	10	15,1±1,2 (13,0-17,0)	62,6±11,7 (47,7-83,9)	316,5±59,6 (232,0-414,2)
	A3	3	15,3±1,1 (14,3-16,5)	76,1±12,8 (63,7-89,2)	672,1±269,3 (378,1-906,8)
FINAL DA SECA	A1	20	14,5±1,4 (12,2-17,0)	59,8±15,1 (39,0-95,0)	302,7±90,5 (146,1-579,1)
	A2	5	14,4±0,7 (13,5-15,2)	55,4±6,5 (49,0-65,0)	507,7±366,0 (280,8-1148,3)
	A3	4	17,8±1,7 (15,4-18,9)	101,8±21,2 (73,0-124,0)	1246,3±225,2 (1063,7-1560,8)
INÍCIO DA CHUVA	A1	15	17,5±1,1 (16,0-19,5)	81,9±20,2 (55,0-129,0)	428,6±184,4 (203,2-839,3)
	A2	15	16,0±1,2 (14,8-19,0)	70,4±14,7 (43,0-100,0)	428,5±187,5 (264,5-1025,8)
	A3	28	14,1±1,7 (10,0-17,5)	48,3±14,8 (22,0-80,0)	472,5±305,9 (94,7-1313,7)
FINAL DA CHUVA	A1	14	16,2±1,1 (14,5-18,0)	68,0±14,0 (51,1-91,7)	369,9±113,4 (171,7-622,7)
	A2	15	15,6±1,1 (14,0-17,0)	70,5±18,6 (50,9-116,7)	470,7±209,9 (188,8-1082,8)
	A3	11	17,1±1,2 (15,8-19,0)	84,1±31,2 (44,9-145,8)	697,1±345,8 (292,7-1254,7)
		155	15,6±1,8 (10,0-19,5)	66,7±20,8 (22,0-145,8)	454,5±265,4 (94,7-1560,8)

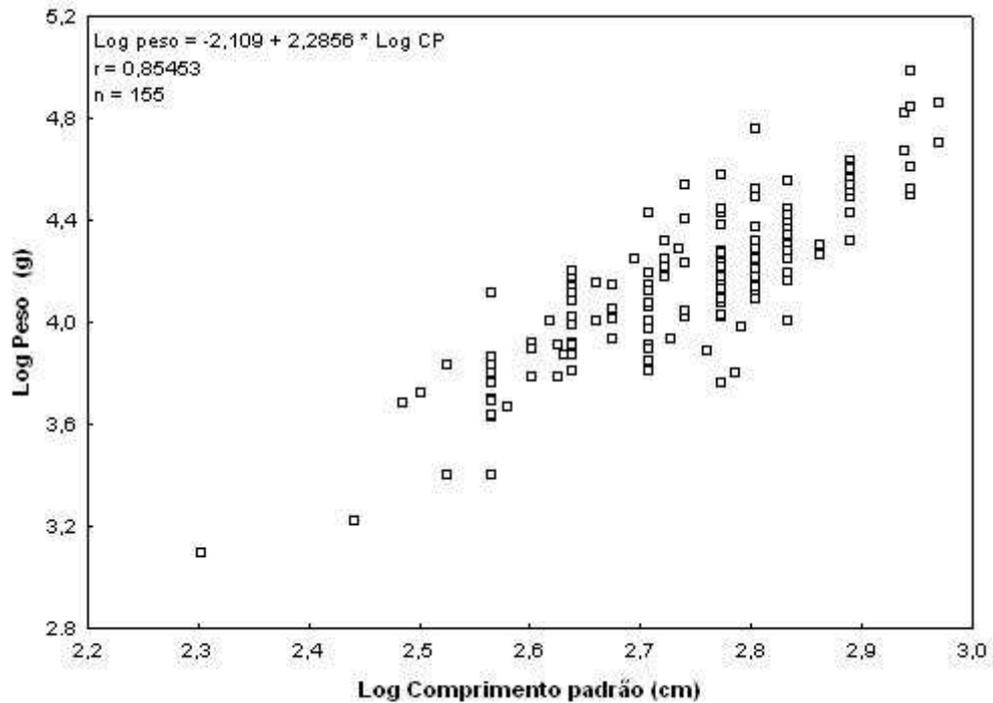


Figura 5: Relação entre comprimento padrão (cm) e peso (g) para os *Cathorops spixii* coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).

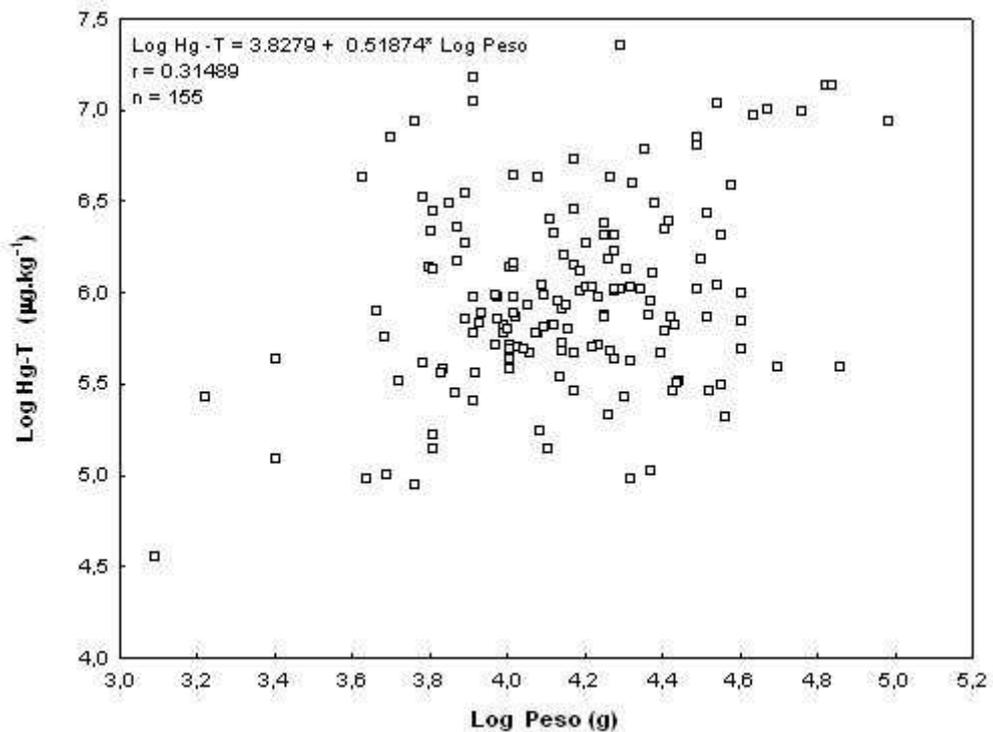


Figura 6: Relação entre concentração de mercúrio total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) e peso (g) para os *Cathorops spixii* coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).

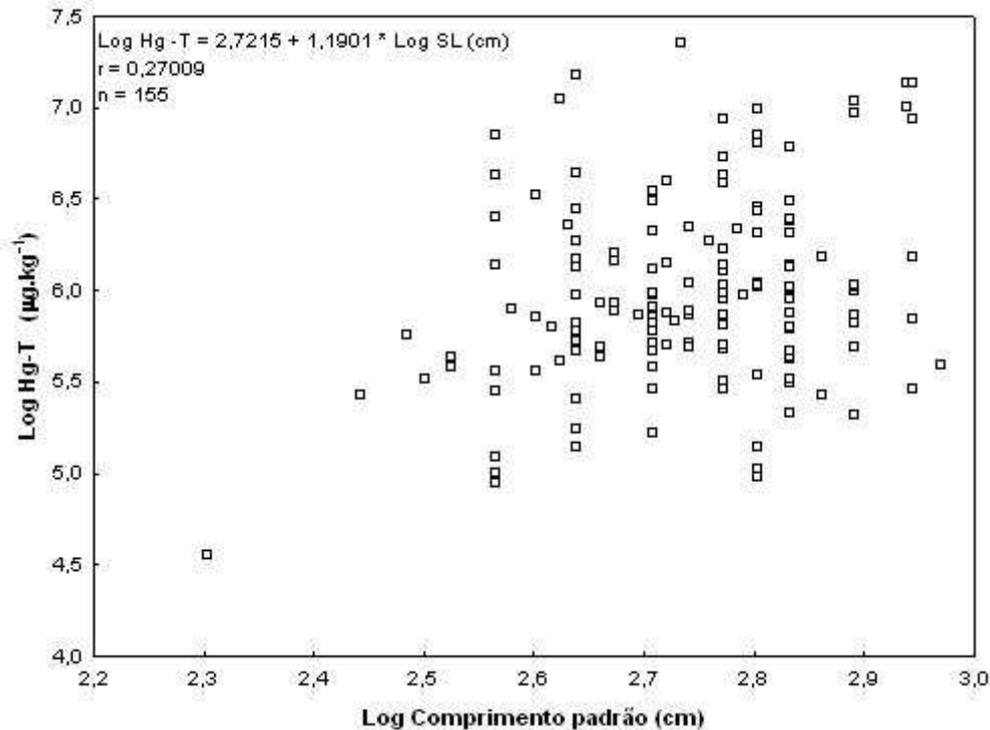
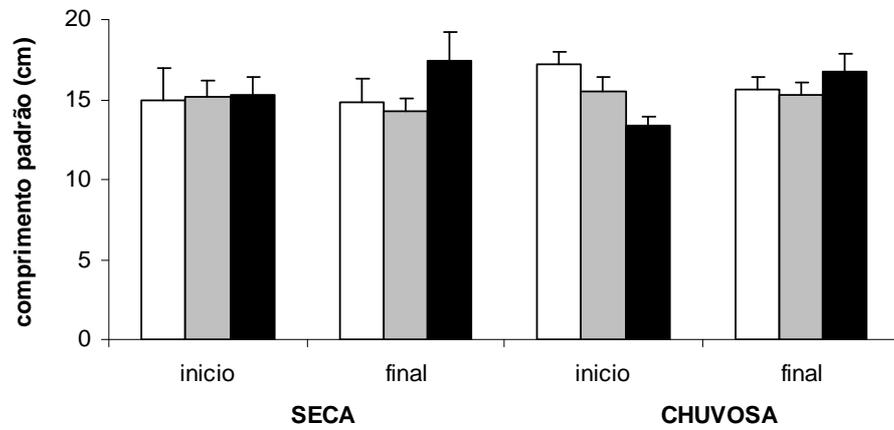


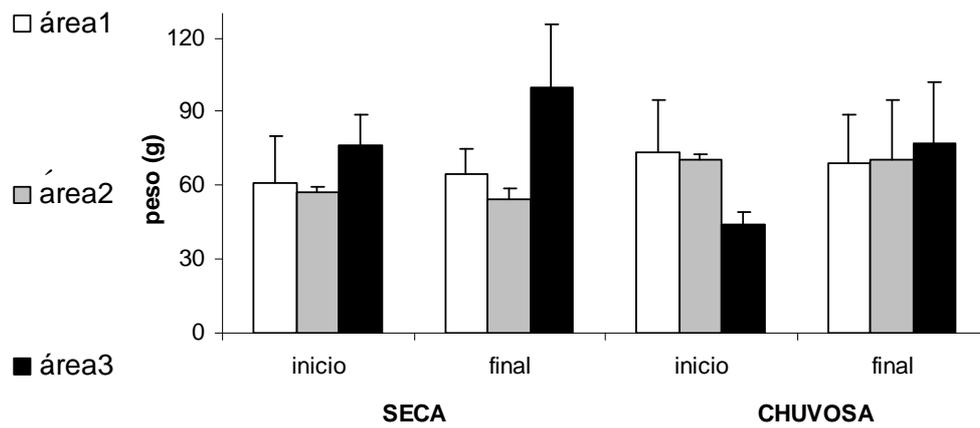
Figura 7: Relação entre concentração de mercúrio total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) e comprimento padrão (cm) para os *Cathorops spixii* coletados durante quatro estações, entre dezembro de 2005 e novembro de 2006 (início e final da seca e chuvosa) nas três áreas do estuário do Rio Goiana (A1, A2 e A3).

Utilizando-se a ANOVA (n=36) foi observado que não houve diferença significativa para as variáveis comprimento padrão e peso, considerando a relação entre estações e áreas (**Figura 8a,b**). Entretanto, houve interação significativa entre os fatores estações e áreas em relação ao comprimento padrão e o peso (**Tabela 3**). Em relação à concentração de mercúrio total, observou-se diferença significativa entre as estações e entre as áreas ($p < 0,05$) (**Tabela 3**). A concentração do mercúrio no final da estação seca foi maior do que no final da estação chuvosa, início da estação seca e início da estação chuvosa, respectivamente (**Figura 8c**). Em relação à área, a concentração do metal, apresentou maior resultado na A3 seguida da A2 e da A1 (**Figura 8c**). Também houve interação significativa para o parâmetro concentração de mercúrio entre as estações e áreas (**Tabela 3**). O fator estação do ano foi fortemente influenciado pelo fator área do estuário, mais precisamente a área 3 (**Figura 8c**).

a)



b)



c)

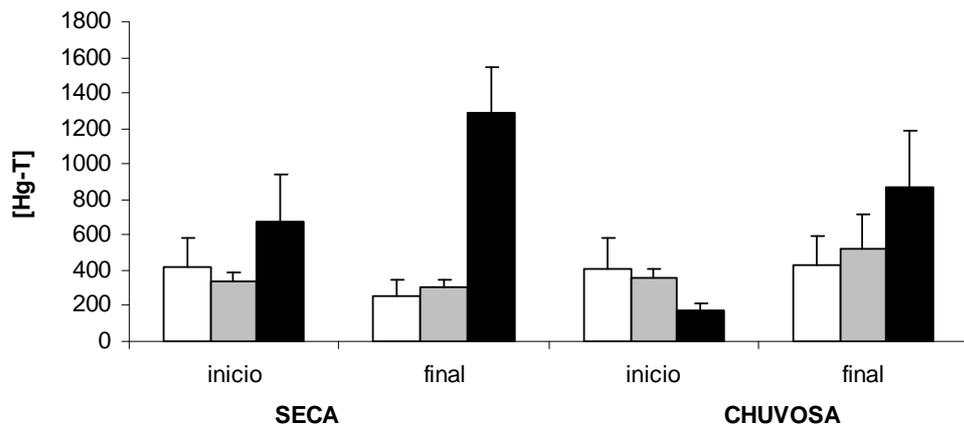


Figura 8: Média e desvio padrão do (a) comprimento padrão (cm); (b) peso (g); (c) $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$ no músculo, considerando as estações (início e final da seca, início e final da chuvosa) e áreas (A1, A2 e A3).

Tabela 3: Resultados da ANOVA para o peso, comprimento padrão e concentração de mercúrio total. Os dados foram transformados pelo box cox. Diferenças entre áreas e estações foram determinadas pelo teste *post hoc* de Bonferroni. Quando * $p < 0,05$; NS, diferenças não significativas; IS, início da estação seca; FS, final da estação seca; IC, início da estação chuvosa; FC, final da estação chuvosa; EI, parte inferior do estuário; EM, parte média do estuário; ES, parte superior do estuário.

Parâmetros	Fontes de variação		
	Estação (1)	Área (2)	Interação
Comprimento padrão (cm)	NS	NS	1 X 2*
Peso (g)	NS	NS	1 X 2*
Hg-T ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	* <u>FC IS FS IC</u>	* <u>EI EM ES</u>	1 X 2*

4. DISCUSSÃO

Os peixes são bons bioindicadores da poluição ambiental por sua capacidade de acumular poluentes em seus tecidos, podendo transferir os contaminantes para níveis tróficos locais (Boon et al, 2002). O processo de bioacumulação não é influenciado somente pela razão idade/crescimento e disponibilidade de alimento (quantidade e qualidade) mas também pela estação do ano (Huchabee et al. 1979; Kehrig et al. 1998; Costa et al 2009).

A relação entre o comprimento padrão e a concentração de mercúrio total nos indivíduos selecionados de *C. spixii* foi fraca, provavelmente pelo fato de nesse estudo só terem sido analisados indivíduos de uma mesma classe de tamanho e fase de vida, adultos. Certamente se essa relação tivesse sido feita com indivíduos de todas as classes de tamanho e fases de vida, inclusive antes da primeira maturação sexual (10 cm), essa correlação se apresentaria

mais forte, pois nessa etapa da vida *C. spixii* se alimentam (acumulando mercúrio) e crescem mais rapidamente. Apesar disso, sugere-se que esse metal está sofrendo bioacumulação nessa espécie e, possivelmente em outras espécies de peixes do estuário do Rio Goiana da mesma guilda trófica, como o *Mugil curema*, *Achirus lineatus*, *Eucinostomos argenteus*, *Eucinostomos melanopterus*. O aumento na concentração de mercúrio total em relação ao comprimento padrão e ao peso, também foi observado para outros peixes estuarinos e marinhos de regiões tropicais, subtropicais e temperadas (Pinho et al. 2002; Adams & Onorato 2005; Weis & Ashley 2007).

Apesar de existirem poucos estudos usando *C. spixii* como bioindicador de poluição, essa espécie é recomendada para avaliação e entendimento da contaminação e poluição estuarina e biodisponibilidade de metais-traços (Costa et al. 2004; Azevedo et al. 2009). E este trabalho realmente foi capaz de demonstrar que o bagre amarelo responde a mudanças ambientais como, por exemplo, a variação da biodisponibilidade espaço-temporal do mercúrio.

Foi verificada a existência de diferença significativa entre as três áreas do estuário em relação à concentração de mercúrio total. A maior concentração desse elemento foi detectada na porção inferior do estuário, e as outras duas áreas representam um único grupo.

A maior concentração desse elemento na porção inferior do estuário pode ser explicada pela maior biodisponibilidade de cloreto de mercúrio (HgCl_2), já que essa espécie se encontra mais disponível na coluna d'água com o aumento da salinidade (Cl). O HgCl_2 é o principal composto inorgânico do mercúrio que é assimilado pelos organismos vivos presentes em águas marinhas ricas em oxigênio (Morel et al. 1998).

Foi observado, no mesmo estuário e no mesmo período do presente trabalho, que os valores de oxigênio dissolvido nas porções superior e intermediária do estuário apresentaram valores abaixo do mínimo para uma boa qualidade da água, de acordo com as resoluções do

CONAMA (2006) de 5 mg.L^{-1} , podendo, assim, esse ambiente estar eutrofizado (Dantas et al, 2010). Segundo Kehrig et al. (1998 e 2001), ambientes eutrofizados tendem a possuir baixa disponibilidade de mercúrio para a biota o que pode resultar em baixa concentração do metal no peixe. Isto ocorre porque nesses ambientes existem uma grande quantidade de biomassa e de material particulado em suspensão que possibilitam a diminuição do tempo de residência de mercúrio na coluna d'água indisponibilizando o mercúrio para a biota (Kehrig et al. 2001). Ou ainda, em ambientes eutrofizados, microorganismos podem reduzir o íon sulfato a sulfeto de mercúrio particulado, que por ter uma constante de solubilidade baixa, precipita, fazendo com que exista uma baixa disponibilidade de mercúrio para a coluna d'água e consequentemente diminuindo a disponibilidade desse elemento para os organismos (Morel et al. 1998).

Segundo Pinho (1998), os animais presentes em ambientes com grande aporte de poluentes provenientes de rios, emissários e esgotos domésticos e industriais, estão mais sujeitos à contaminação por mercúrio. Por outro lado nesses ambientes serão encontrados uma maior quantidade de organismos, que terão como resultado uma grande concentração de biomassa. Isso vai resultar numa diluição biológica, podendo reduzir as concentrações de mercúrio no músculo do peixe. Outra explicação seria que os peixes perdem mercúrio pelas gônadas no período reprodutivo (Capelli et al. 1983; Beckvar et al. 1996; Kasper 2006; Kasper et al. 2007; Vera et al. 2007). É nas porções superior e intermediária do estuário do Rio Goiana, devido à baixa salinidade, que os indivíduos de *C. spixii* mais se reproduzem (Dantas et al. 2010), apresentando assim as menores concentrações de Hg. Durante o período de maior desenvolvimento gonadal, os peixes apresentam a menor atividade alimentar assimilando assim uma menor quantidade de mercúrio em seu músculo (Gurgel et al. 2000).

Em relação às estações do ano, também foi verificada a existência de diferença significativa entre elas, em relação à concentração de mercúrio total no músculo do bagre

amarelo. A maior concentração deste elemento no músculo do peixe foi encontrada no final da estação seca, quando a concentração do mercúrio foi maior pois o fluxo do rio foi menor e houve menor diluição biológica (Costa et al. 2009). Nesse período o estuário encontrava-se predominantemente em condições oligotróficas (Costa et al. 2009), com menos material particulado em suspensão entrando no sistema e maior biodisponibilidade do mercúrio. A segunda maior concentração de mercúrio, encontrada no final da estação chuvosa, pode ser explicada pelo fato do peixe nesse período ter passado pela três áreas do estuário, bioacumulando o elemento (Dantas et al. 2010). A terceira maior concentração desse metal é encontrada no início da estação seca. Isso pode ser explicado pelo fato dessa estação anteceder o final da seca, pico da reprodução do *C. spixii*, onde os indivíduos comem mais, pois precisam de energia para reprodução. Segundo Gurgel et al. (2000), o período que antecede a reprodução do *C. spixii* é o que deve apresentar as melhores condições alimentares, ou seja, quando eles mais se alimentam para acumular reservas, e assim acumulam mais mercúrio. Já a menor concentração do metal foi encontrada no início da estação chuvosa, estação subsequente ao final da seca, onde os indivíduos dessa espécie perdem uma grande concentração de mercúrio pelas gônadas durante a reprodução e como eles perderam muito metal no final da seca, no início da chuvosa essa concentração é menor ainda.

Os peixes têm um amplo espectro alimentar e o nível trófico que eles ocupam na teia pode influenciar no potencial de bioacumulação e biomagnificação do mercúrio total. Comparando-se as concentrações de mercúrio total em *C. spixii* (onívoro e demersal) do estuário do Rio Goiana com outras espécies do mesmo local e níveis tróficos diferentes, nota-se uma tendência a biomagnificação. *Trichiurus lepturus* (carnívoro e pelágico) (Barletta & Blaber 2007; Costa et al. 2009), *Achirus lineatus* (onívoro e bentônico) (Barletta & Blaber 2007; Barbosa et al. 2007) e *Centropomus undecimalis* (carnívoro e epi-pelágico) parecem ter bioacumulação diferenciada de acordo com suas guildas tróficas e ecológicas. Peixes

carnívoros apresentam maiores concentrações de mercúrio no tecido muscular que os onívoros, herbívoros e detritívoros (Malm et al. 1995; Zhou & Wong 2000; Parlemo et al. 2002 e 2004; Vieira et al. 2004). Essa mesma tendência foi encontrada no estuário do Rio Goiana. *C. undecimalis* desviou-se um pouco dessa tendência, possivelmente por ter uma dieta bastante diversificada, capturada tanto dentro quanto fora do estuário, e assim diluir seu “intake” de mercúrio e outros metais (**Tabela 4**).

Tabela 4: Comparação dos comprimentos (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total em peso seco ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) em músculos de três espécies de níveis tróficos diferentes (*Cathorops spixii*, *Trichiurus lepturus*, *Centropomus undecimalis* e *Achirus lineatus*) no estuário do rio Goiana (PE/PB).

Espécies	Habitat Guilda trófica	N	Comprimento padrão (cm) (min. – max.)	peso (g) (min. – max.)	$\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$ (peso seco) (min. – max.)
<i>C. spixii</i>	demersal onívoro	155	(10,0-19,5)	(22,0-145,8)	454,5 \pm 265,4 (94,7-1560,8)
<i>T. lepturus</i>	pelágico carnívoro	104	(26,0-79,6)	(18,6-424,0)	501,0 \pm 247,5 (154,3-1283,4)
<i>C. undecimalis</i>	Epi-pelágico carnívoro	5	(34,3-56,5)	(59,5-148,8)	294,8 \pm 225,6 (59,8-539,2)
<i>A. lineatus</i>	bentônico onívoro	32	(12,0-18,0)	(58,0-221,0)	249,4 \pm 180,8 (25,7-787,0)

Os resultados da concentração média de mercúrio total no músculo de *C. spixii* no estuário do Rio Goiana (454,5 \pm 265,4 $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$), foi comparado com os medidos no Rio Jaguaribe (127,2 \pm 57,6 $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) (Costa 2009), Baía de Santos (250,0 \pm 80,0 $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) (Azevedo et al 2009) e Cananéia (290,0 \pm 40,0 $\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) (Azevedo et al. 2009) (**Tabela 5**). Observa-se que a concentração no estuário do Rio Goiana é a maior dentre os estuários comparados. Esse estuário recebe os efluentes de indústrias de papel, papelão, têxtil, química, mineração e couro; agroindústrias da cana-de-açúcar, efluentes urbanos e carcinicultura. Em relação aos estuários da Cananéia e da Baía de Santos, os valores encontrados foram baixos,

segundo Azevedo et al. (2009), pela pequena entrada desse elemento nesses compartimentos.

O estuário do Rio Jaguaribe foi descrito por Costa (2009) como receptor de mercúrio oriundo da carcinicultura.

Tabela 5: Comparação entre comprimento padrão (cm), peso (g) e concentração de mercúrio total em peso seco e peso úmido ($\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$) em músculo de *Cathorops spixii* no estuário do Rio Goiana (PE/PB) e outros trabalhos publicados na literatura (Rio Jaguaribe-CE, Baía de Santos-SP e Cananéia-SP).

Estuários	N	Comprimento padrão (cm) (min. – max.)	peso (g) (min. – max.)	$\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$ (peso seco) (min. – max.)	$\mu\text{gHg-T.kg}^{-1}$ (peso úmido) (min. – max.)
Rio Goiana ^a	155	15,6±1,8 (10,0-19,5)	66,7±20,8 (22,0-145,8)	454,5±265,4 (94,7-1560,8)	113,6±66,3 (23,7-390,2)
Rio Jaguaribe ^b	36	19,0±2,8 (14,2-24,0)	71,1±31,7 (29,5-137,7)	127,2±57,6 (38,8-264,4)	31,8±14,4 (9,7-66,1)
Baía de Santos ^c	23	18,8-29,0	(59,5-148,8)	250,0±80,0 (40,0-460,0)	60,0±20,0 (10,0-110,0)
Cananéia ^d	5	17,5-29,6	(55,3-152,6)	290,0±40,0 (250,0-330,0)	70,0±10,0 (60,0-80,0)

(a) este trabalho; (b) Costa 2009; (c,d) Azevedo et al. 2009.

5. CONCLUSÃO

A concentração de mercúrio total em *C. spixii* do estuário do Rio Goiana sugere bioacumulação, pois no geral indivíduos maiores e mais pesados apresentaram maiores concentrações do metal.

As concentrações do metal variaram em relação às áreas do estuário e as estações do ano. Essas variações estão relacionadas aos movimentos, biologia reprodutiva e ecologia da espécie estudada e também as variáveis ambientais, como o fluxo do rio e os níveis de eutrofização do ambiente.

Devido à sua ampla distribuição geográfica e sua grande abundância nos estuários do Atlântico Ocidental, o *C. spixii*, apresenta um grande potencial como uma espécie

bioindicadora de mercúrio e provavelmente de outros elementos-traço. No futuro ainda será interessante investigá-la como compartimento biológico indicador da contaminação estuarina por compostos orgânicos persistentes. É um importante recurso alimentar para outras espécies de peixes, como o *Trichiurus lepturus*, *Bairdiella ronchus*, *Centropomus undecimalis*, *Cynoscion acoupa* entre outros, tendo uma grande importância no equilíbrio trófico de ecossistemas estuarinos e devendo estar assim em uma posição prioritária na lista de espécies estudadas. Apesar de ter pouco valor comercial ela é uma importante fonte de proteína para populações ribeirinhas.

Sendo assim, este trabalho pode ser utilizado como base para outras pesquisas em estuários tropicais e sub-tropicais sobre a distribuição espaço temporal de mercúrio, usando o *C. spixii* como compartimento reservatório e dispersor desse elemento traço, podendo assim comparar os níveis de contaminação ou preservação desses estuários.

A concentração de mercúrio encontrada no estuário do Rio Goiana foi maior do que a encontrada em outros estuários do Brasil onde o mesmo tipo de medida foi realizada. Provavelmente, o mercúrio desse estuário, é oriundo de efluentes industriais e urbanos, da carcinicultura e da agroindústria da cana-de-açúcar localizados em torno da bacia hidrográfica desse rio. Ou seja, de fontes difusas, mas ainda assim detectáveis e de consequências ecológicas e de saúde ainda desconhecidas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero A (2002) Ariidae. In: Carpenter KE (ed) The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication N° 5, Rome, FAO.
- Adams DH, Onorato GV (2005) Mercury concentrations in red drum, *Sciaenops ocellatus*, from estuarine and offshore waters of Florida. Mar Pollut Bull 50: 291-300.
- Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos CPRH (2008) Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco em 2008. Recife, pp 96. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br>.
- Araújo FG (1988) Distribuição, abundância relativa e movimentos sazonais de Bagres Marinhos (Siluriformes, Ariidae) no estuário da Lagoa dos Patos (RS), Brasil. Revista Brasileira de Zoologia 5: 509 –543.
- Azevedo JS, Fernandez WS, Farias LA, Fávaro DTI, Braga ES (2009) Use of *Cathorops spixii* as bioindicator of pollution of trace metals in the Santos Bay, Brazil. Ecotoxicology, 18: 577-586.
- Azevedo MCC, Araújo FG, Cruz Filho AG, Gomes ID, Pessanha ALM (1999) Variação espacial e temporal de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) na Baía de Sepetiba, RJ. Revista Brasileira de Biologia, 59(3): 443-454.
- Baêta AP (2004) Mercúrio e metilmercúrio em tecidos de peixes de diferentes organismos marinhos da Baía de Guanabara. Dissertação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

- Barbosa SCT, Costa M, Barletta M, Dantas DV, Kehrig HA, Guedes TS, Malm O (2007) Mercúrio total em peixes *Centropomus undecimalis* (Centropomidae), *Mugil curema* (Mugilidae) e *Achirus lineatus* (Achiridae) do estuário do Rio Goiana (Nordeste do Brasil). In: XII COLACMAR, 2007, Florianópolis, p. 1-4.
- Barletta M, Correa MFM (1987) Guia para identificação de peixes da costa do Brasil. UFPR, Curitiba.
- Barletta M, Barletta-Bergan A, Saint-Paul U, Hubold G (2005) The role of salinity in structuring the fishing assemblages in a tropical estuary (Caeté River – East Amazon – Brazil). J Fish Biol 66: 45-7.
- Barletta M, Blaber SJM (2007) Comparison of fish assemblages and guilds in tropical habitats of the Enbley (Indo-West Pacific) and Caeté (Western Atlantic) estuaries. Bull Mar Sci 80(3): 647-680.
- Barletta M, Amaral CS, Corrêa MFM, Guebert FM, Dantas DV, Lorenzi L, Saint-Paul U (2008) Factors affecting seasonal variations in demersal fish assemblages at an ecocline in a tropical-subtropical estuary. J Fish Biol 73: 1314-1336.
- Barletta M, Costa M (2009) Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. J Coast Res 56: 371-375.
- Braga TMB (2006) Aspectos preliminares da contaminação de mercúrio em peixes comercializados na praia do Mucuripe, Fortaleza e no estuário do Rio Jaguaribe, CE. Monografia, Universidade Federal do Ceará.
- Beckvar N, Field J, Salazar S, Hoff R (1996) Contaminants in Aquatic Habitats at Hazardous Waste Sites: Mercury. National Ocean Service.
- Belger L; Forsberg BR (2006) Factors controlling Hg levels in two predatory fish species in the Negro river basin, Brazilian Amazon. Sci Total Environ 367: 451-459.

- Boening DW (2000) Ecological effects, transport and fate of mercury a general review. *Chemosphere* 40: 1335.
- Boon JP, Lewis WE, Choy MR, Allchin CR, Law RJ, de Boer J (2002) Levels of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants in animals representing different trophic levels of the North Sea food web. *Environ Sci Technol* 36: 4025–4032.
- Box G E P, Cox D R (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society* 26 (2): 211–252.
- Burgess WE (1989) An atlas of freshwater and marine catfishes. A preliminary survey of the Siluriformes. TFH, Neptune.
- Callegari-Jacques SM (2003) Bioestatística: princípios e aplicações. Artmed Editora 256 pp.
- Capelli R, Contardi V, Cosma B, Minganti V, Zanicchi G (1983) A four year study on the distribution of some heavy metals in five marine organisms of Ligurian Sea. *Mar Chem* 12: 281-293.
- Carpenter KE (2002) The living marine resources of the Western Central Atlantic . Volume 2 Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication n.5. Rome, FAO. pp.1375-2127.
- Clark RB (2001) Marine Pollution. Oxford University Press 248 pp.
- Corrêa MFM (2001) Ictiofauna Demersal da Baía de Guaraqueçaba (Paraná, Brasil). Composição, Estrutura, Distribuição Espacial, Variabilidade Temporal e Importância como Recurso. Tese, Universidade Federal do Paraná.

- Costa MF, Barletta M, Silva OCA (2004) Fish species as indicators of chemical pollution in a tropical estuary. Anais do IV International Congress on the Biology of Fish, Manaus-AM, Brazil.
- Costa M, Barbosa SCT, Barletta M, Dantas DV, Kehrig HA, Seixas TG, Malm O (2009) Seasonal differences in mercury accumulation in *Trichiurus lepturus* (Cutlassfish) in relation to length, weight in a Northeast Brazilian estuary. Environ Sci Pollut Res 16: 423-430.
- Costa BGB (2009) Distribuição de mercúrio (Hg) em sedimento, água e biota da região de influência dos efluentes da carcinicultura, na Gamboa do Cumbe-Rio Jaguaribe-Ceará-Brasil. Dissertação, Universidade Federal do Ceará.
- Cronin M, Davies IM, Newton A, Pirie JM, Topping G, Swan S (1998) Trace metal concentrations in deep-sea fish from the North Atlantic. Mar Environ Res 45: 225–238.
- Dantas DV, Barletta M, Costa MF, Barbosa-Cintra SCT, Possatto FE, Ramos JAA, Lima ARA, Saint-Paul U (2010) Movement patterns of catfishes in a tropical semi-arid estuary. J Fish Biol 76: 33-43.
- Dorea JG, Barbosa, AC, Silva GS (2006) Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon. Comp Biochem Physiol 142(C): 275–283.
- FAO/SIDA. (1983) Manual de Métodos de Investigación del Medio Ambiente Acuático. Parte 9. Análisis de Presencia de Metales y Organoclorados en los Peces. FAO, Doc. Téc. Pesca. 212:1-35.
- FIDEM (1987) Região Metropolitana do Recife. Recife, Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento do Estado de Pernambuco, Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife, 108 pp.

- Figueiredo JL, Menezes NA (1978) Manual de peixes marinhos do Sudeste do Brasil. II. Teleostei (1). Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Figueiredo JL, Menezes NA (2000) Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. VI. Teleostei (5). Museu de Zoologia, USP. São Paulo.
- Froese R and Pauly D (Eds) 2009 Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org.
- Goldstein M, Brigham E, Stauffer C (1996) Comparison of mercury concentrations in liver, muscle, whole bodies, and composites of fish from the Red River of the North. *Can J Fish Aquat Sci* 53: 244-252.
- Gonzalez H, Pomares M, Ramirez M, Torres I (1999) Heavy metals in organism and sediments from the discharge zone of the submarine sewage outfall of Havana City Cuba. *Mar Pollut Bull* 38: 1048-1105.
- Gurgel HCB, Albuquerque CQ, Souza DSL, Barbieri G (2000) Aspectos da biologia pesqueira em fêmeas de *Cathorops spixii* do estuário do rio Pontegi, Natal/RN, com ênfase nos índices biométricos. *Acta Scientiarum* 22(2): 503-505.
- Huchabee JW, Elwood JW, Hildebrand SC (1979) Accumulation of mercury in freshwater biota. In: J.O. Nriagu (ed) *The biogeochemistry of mercury in the environment*. Elsevier, Amsterdam, 277-302.
- Hylander LD, Pinto FN, Guimarães JRD, Meili M, Oliveira LJ, Silva EC (2000) Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and water parameters. *Sci Total Environ* 261: 9-20.
- Jahanbakht S, Livardjani F, Jaeger A (2002) An experimental ecotoxicological study and its application to the behavioural study of organic mercury (CH₃HgCl) in the environment: influence of temperature and pH. *Chemosphere* 49: 1399-1405.

- Kasper D (2006) Avaliação das concentrações de mercúrio em diferentes tecidos de peixes com distintos hábitos alimentares. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Kasper D, Botaro D, Palermo EFA, Malm O (2007) Mercúrio em peixes - fontes e contaminação. *Oecologia Brasiliensis* 11(2): 228-239.
- Kehrig HA, Malm O, Moreira I (1998) Mercury in a widely consumed fish *Micropogonias furnieri* (Demarest, 1823) from four main Brazilian estuaries. *Sci Total Environ* 213: 263-271.
- Kehrig HA, Costa M, Moreira I, Malm O (2001) Methylmercury and total mercury in estuarine organisms from Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Sci Pollut Res* 8(4): 275 – 279.
- Kehrig HA, Brito JL, Malm O, Moreira I (2002) Total and methylmercury in a Brazilian estuary, Rio de Janeiro. *Mar Pollut Bull* 44: 1018-1023.
- Kehrig HA, Brito JR JL, Malm O, Moreira I (2004) Methyl and total mercury in the food chain of a tropical estuary-Brazil. *RMZ-Mat Geoenv* 51:1099-1102.
- Kehrig HA, Costa M, Moreira I, Malm O (2006) Total and methyl mercury in different species of molluscs from two estuaries in Rio de Janeiro state. *J Braz Chem Soc* 17(7): 1409-1418.
- Kim P (1995) Methylmercury in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from lakes Okareka, Okaro, Rotomahana, Rotorua and Tarawera, North Island, New Zealand. *Sci Total Environ* 64: 209-219.
- Kitahara SE, Okada IA, Sakuma AM, Zenebon O, Jesus RS, Tenuta Filho A (2000) Mercúrio total em pescado de água doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 20 (2): 267-273.

- Laws EA (1993) Aquatic Pollution: An introductory text. In: John Wiley & Sons, New York, 611 pp.
- Lindqvist O, Johnasson K, Aastrup M, Andersson A, Bringmark L (1991) Mercury in the Swedish environment –recent research on causes, consequences and corrective methods. *Water Air Soil Pollut* 55: 1-251.
- Lowe-McConnell RH (1987) Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press 400 pp.
- Malm O, Branches FJPB, Akagi H, Castro MB, Pfeiffer WC, Harada M, Bastos WR, Kato H (1995) Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin. Brazil. *Sci Total Environ* 175(2): 141-150, 1995.
- Marceniuk AP (1997) Revisão Sistemática do Gênero *Cathorops* (Osteichthyes; Siluriformes. Ariidae). Dissertação, Universidade de São Paulo.
- Marceniuk AP, Ferraris CJJr Ariidae (Sea catfishes) (2003). In: R.E. Reis, S.O. Kullander and C.J. Ferraris, Jr. (eds.) Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Porto Alegre, pp 447-455.
- McAloon KM, Mason RP (2003) Investigations into the bioavailability and bioaccumulation of mercury and other trace metals to the sea cucumber, *Sclerodactyla briareus*, using *in vitro* solubilization. *Mar Pollut Bull* 46: 1600-1608.
- Menezes NA, Figueiredo JL (1985) Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. II. Teleostei (1). São Paulo, Musel de Zoologia USP, São Paulo.
- Morel FMM, Kraepiel AML, Amyot M (1998) The Chemical Cycle and Bioaccumulation of Mercury. *Annu Rev Ecol Syst* 29: 543-566.

- Moyle PB, Cech JR JJ Fishes (1996). An introduction to Ichthyology. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 590 pp.
- Nelson JS (1994). Fish of the World. In: John Wiley & Sons, New York, 600 pp.
- Newman MC (1998) Fundamentals of Ecotoxicology. Ann Arbor Press 402 pp.
- OSPAR Commission (2004) Mercury losses from the Chlor – Alkali Industry (1982-2002).
- Palermo EFA, Kehrig HA, Branco CWC, Malm O, Santos HSB (2002) *In: Estudos sobre contaminação ambiental na Península Ibérica. Mercúrio e Metilmercúrio em plâncton, peixe, material particulado em suspensão e sedimento superficial de um antigo reservatório tropical, Brasil. Piaget, Viseu.*
- Palermo EFA, Kasper D, Reis TS, Nogueira S, Branco CWC, Malm O (2004) Mercury level increase in fish tissues downstream the Tucuri Reservoir, Brazil. *RMZ- Mat Geoenv* 51: 1292-1295.
- Pinho AP (1998) Mercúrio Total em elasmobrânquios e teleósteos da costa leste do Brasil. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pinho AP, Guimarães JRD, Martins AS, Costa PAS, Olavo G, Valentin J (2002) Total mercury in muscle tissue of five shark species: effects of feeding habits, sex, and length. *Environ Res* 89: 250-258.
- Power M, Klein GM, Guiguer KRRA, Kwan MKH (2002) Mercury accumulation in the fish community of a sub-Artic lake in relation to trophic position and carbon sources. *J Appl Ecol* 39: 819–830.
- Santos AF (2004) Ecologia Alimentar do Bagre-Amarelo, *Arius spixii* (Agassiz, 1829) (SILURIFORMES: ARIIDAE), na Enseada de Caraguatatuba, São Paulo. Monografia, Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos São João da Boa Vista.

- Sager DR (2002) Long-term variation in mercury concentrations in estuarine organisms with changes in releases into Lavaca Bay, Texas. *Mar Pollut Bull* 44: 807-815.
- Silva-Cavalcanti JS, Costa M (2009) Fisheries in Protected and Non-Protected areas: is it different? The case of *Anomalocardia brasiliiana* at tropical estuaries of Northeast Brazil. *J Coast Res* 56: 1454-1458, 2009.
- Suzuki T, Miyama T, Toyama C (1973) The chemical form and bodily distribution of mercury in marine fish. *Bull Environ Contam Toxicol* 10: 347–355.
- Underwood AJ (1997) Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press 522 pp.
- Vera YM, Carvalho RJ, Castilhos ZC, Kurtz MJR (2007) Acumulação de mercúrio em Tucunarés da Amazônia. Série Gestão e Planejamento Ambiental. Centro de Tecnologia Mineral, 58 pp.
- Vieira LM, Nunes VS, Campos RC (2004) Níveis de mercúrio total na carne de peixes como indicadores de contaminação em sistemas aquáticos do Pantanal. In: IV SIMPAN, Corumbá-MS.
- Zhou HY, Wong MH (2000) Mercury accumulation in freshwater fish with emphasis on the dietary influence. *Water Res* 34(17): 4234-4242.
- Weis P, Weis JS, Bogden JD (1986) Effects of environmental factors on release of mercury from Berry's Creek (New Jersey) sediments and its uptake by killifish *Fundulus heteroclitus*. *Environ Pollut* 40(A): 303-315.
- Weis P & Ashley JTF (2007) Contaminants in fish of the hackensack meadowlands, New Jersey: size, sex, and seasonal relationships as related to health risks. *Arch Environ Contam and Toxicol* 52: 80-89.