

Concentrações de mercúrio (Hg) e estimativa do risco humano à exposição pelo consumo de produtos da pesca e aquacultura continental no Estado do Ceará

Coordenador: João Felipe Oliveira Matias
Pesquisadores: Moisés Fernandes Bezerra
Isabelle Bezelga Caracas
Luiz Drude de Lacerda



Fortaleza, Novembro de 2024

FUNDAÇÃO CEARENSE DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
PROGRAMA CIENTISTA CHEFE
PESCA & AQUACULTURA

Instituição Executora	Universidade Federal do Ceará – Instituto de Ciências do Mar
Título do Projeto	Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquacultura no Estado do Ceará
Grande Área	Pesca & Aquacultura
Área	Segurança Alimentar
Sub-Área	Contaminação dos produtos da pesca e aquacultura
Coordenador Geral	João Felipe Nogueira Matias
Pesquisadores Principais	Moisés Fernandes Bezerra Luiz Drude de Lacera

Apresentação do Projeto:

A contaminação do pescado e produtos da aquacultura pode se revelar um óbice ao atingimento do potencial econômico do setor no Estado do Ceará e representar caso evidenciado, em fonte de risco à saúde pública e à segurança alimentar. Assim, é necessário formular cenários futuros de exposição à contaminantes e subsidiar medidas para melhorar em curto e médio prazo a sustentabilidade do setor pesqueiro. Em curto prazo, precisa fornecer dados ao setor e ao governo do estado em contraponto às recomendações constantes em auditorias de qualidade do pescado, que podem resultar em prejuízo às cadeias produtivas, como recente restrição imposta pela Comunidade Europeia. O projeto *“Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquacultura no Estado do Ceará”* fortalece a integração de pesquisas no âmbito do Programa Cientista Chefe na área de “Aquacultura e Pesca e Artesanal” e objetiva uma avaliação da contaminação dos produtos da pesca e da aquacultura por metais e sulfitos e da estimativa da exposição e do risco humano associado ao seu consumo. Estes objetivos integrarão os seguintes produtos: i) inventário regionalizado das concentrações de metais e sulfitos vis-à-vis o atendimento a guias nacionais e internacionais de segurança alimentar; ii) estimativa do risco humano à exposição à metais pelo consumo de produtos da pesca e aquacultura; iii) proposição de ações mitigadoras; iv) aumento da percepção pública sobre a temática. O produto i) é objeto do projeto.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
	1.1. Pesca e aquacultura continental no Estado do Ceará.....	4
	1.2. Segurança alimentar e contaminação do pescado por mercúrio.....	4
2	METODOLOGIA.....	5
	2.1. Quantificação de mercúrio (Hg) e cálculos de estimativa de exposição.....	5
	2.2. Estimativa de exposição ao Hg para os diferentes cenários de consumo de pescado.....	5
3	RESULTADOS.....	7
	3.1. Concentrações de mercúrio (Hg) em pescado de água doce do estado do Ceará.....	7
	3.2. Exposição ao Hg para os diferentes cenários de consumo de pescado.....	8
4	CONCLUSÃO.....	8
5	REFERÊNCIAS.....	13

1. INTRODUÇÃO

1.1. Pesca e aquacultura continental no Estado do Ceará

As áreas continentais do estado do Ceará não foram amostradas nas fases iniciais do presente projeto entre novembro de 2021 e outubro de 2023. Entretanto, historicamente, no semiárido do nordeste brasileiro a produção de peixes em açudes é uma importante atividade fornecedora de recursos alimentares e renda. O peixamento de açudes com espécies exóticas e nativas tem sido prática recorrente na região nordeste como alternativa à baixa produtividade agrícola e propiciando uma melhoria na dieta alimentar de populações nessas regiões. Dentre as principais espécies utilizadas nessa prática de peixamento estão a Curimatã (*Prochilodus brevis*), o Piau (*Leporinus* sp.), Traíras (*Hoplias malabaricus* e *H. brasiliensis*), Cará-tilápias (*Oreochromis niloticus* e *Tilapia rendalli*), a Pescada (*Plagioscion squamosissimus*) e o Tucunaré (*Cichla* sp.). Considerando a importância dessas espécies como subsistência para populações habitando regiões de entorno dos açudes públicos e rios do estado, julga-se importante realizar uma avaliação da estimativa de exposição ao Hg através do consumo dessas e outras espécies fluviais no Estado do Ceará, nos moldes daquela realizada para o pescado marinho (Matias et al., 2023). Em publicação recente, o professor Jorge Botero e colegas da UFC (Botero et al., 2023) descrevem a fauna aquática continental do estado do Ceará, catálogo que serviu de base para seleção das espécies de maior interesse no que se refere ao consumo de pescado.

A dificuldade de georreferenciação não existe para o pescado de águas continentais visto que, em sua maioria, o escoamento e consumo da produção é local na região de captura. Além disso, essas áreas serão visitadas permitindo atestar o corpo d'água de origem de cada tipo de pescado avaliado. Esse tipo de informação permitirá o estabelecimento de relação entre teores de Hg e características locais de cada bacia hidrográfica, melhorando a capacidade do estado de prever possíveis cenários de exposição a poluentes, permitindo a tomada de medidas proativas visando melhorar a segurança alimentar e promovendo o consumo de pescado em todo o estado do Ceará.

Neste produto é apresentado um inventário georreferenciado regionalmente da concentração de Hg em itens da pesca continental de importância alimentar e econômica e estimada a exposição ao Hg através do consumo de pescado de águas continentais no estado do Ceará.

1.2. Segurança alimentar e contaminação do pescado por mercúrio

Mercúrio (Hg) é um metal pesado que pode ser tóxico aos humanos e outros organismos. O Hg ocorre naturalmente no ambiente na forma de Hg metálico ou elementar (Hg^0), inorgânico (Hg^{2+}) e formando complexos orgânicos (e.g. CH_3Hg^+) (Colombo et al., 2004). O estado do Ceará não apresenta fontes naturais significativas de Hg, como por exemplo depósitos minerais de cinábrio e/ou atividades vulcânicas. No entanto, atividades antrópicas, como queima de combustíveis fósseis, efluentes industriais e urbanos e outros, podem contribuir com a emissão desse poluente para o ambiente, incluindo a atmosfera, águas, sedimento e biota.

A forma mais tóxica de Hg é o metilmercúrio (CH_3Hg^+), forma orgânica produzida por organismos decompositores no sedimento e/ou coluna d'água, que apresenta capacidade de bioacumulação nos organismos e biomagnificação na cadeia trófica podendo se concentrar em organismos do topo da cadeia alimentar, em níveis até 1.000 vezes maiores que os encontrados na água e no sedimento (UN Environment, 2019). Dessa forma, o consumo de pescado é a principal rota de exposição ao metilmercúrio em humanos (Harada, 1995). A exposição humana excessiva ao Hg pode causar problemas no sistema nervoso, especialmente em populações sensíveis como por exemplo mulheres em idade fértil, recém-nascidos e crianças (UN Environment, 2019). Visando diminuir os riscos de problemas de saúde provenientes do consumo de pescado contaminados, autoridades sanitárias desenvolveram recomendações estabelecendo os níveis máximos de contaminantes em alimentos, incluindo o pescado (FAO/WHO, 2010). Essas recomendações são amplamente utilizadas na regulamentação e legislação da indústria pesqueira, no Brasil e no mundo.

A legislação brasileira estabelece limites de referência para os teores de Hg nos diversos meios do ambiente. No pescado os limites são definidos pela Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021, sendo de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, em peso úmido, para peixes predadores e de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, em peso úmido, para os demais pescados (ANVISA, 2021).

2. METODOLOGIA

2.1. Quantificação de mercúrio (Hg) e cálculos de estimativa de exposição

A quantificação das concentrações de Hg nas amostras de pescado avaliadas neste estudo foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica por Vapor Frio (CVAAS). Os procedimentos de coleta, processamento de amostras e tratamento de dados seguem recomendações da USEPA (2000, 2001; 2022) revisados detalhadamente e adaptados à situação regional em produto já entregue deste projeto e disponível para consulta quando demandado (Caracas et al., 2022).

2.2. Estimativa de exposição ao Hg para os diferentes cenários de consumo de pescado

A estimativa de exposição para os diferentes cenários de consumo de pescado foi calculada segundo procedimentos aceitos internacionalmente (USEPA, 2002, 2022) e está detalhadamente descrita abaixo.

Utilizando a Eq (1) foi calculado o *Fish Safe Level* (FSL) que consiste na concentração máxima de segurança estimada *a priori* utilizando como base o peso corpóreo médio (PCM) de cada grupo de consumidores, em kg, e a taxa de consumo de pescado (TC) para cada um dos três cenários: a) $\text{TC}_{\text{NE}} = 0,0245 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo consumo per capita de pescado estimado para a região nordeste do Brasil (IBGE, 2020); b) $\text{TC}_{\text{OMS}} = 0,0285 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo consumo mínimo de pescado recomendado por organizações internacionais (FAO/WHO, 2010; USDA, 2010); e c) $\text{TC}_{\text{subs}} = 0,142 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo estimativa para populações que consomem pescado como subsistência (USEPA,

2001). Rfd é a dose de referência para Hg, 0,0001 mg.kg de peso corpóreo⁻¹ por dia (USEPA, 2001) e é definido como o nível de exposição diária ao Hg em que efeitos adversos não são esperados:

$$FSL = \frac{PCM \times RfD}{TC} \quad (1)$$

O peso corpóreo médio (PCM) varia de acordo com os diferentes grupos de consumidores, mulheres em idade fértil (18 a 45 anos, 56,5 kg); crianças (1 a 12 anos, 24,3 kg); homens adultos (mais de 18 anos, 66,8 kg); e mulheres adultas (mais de 46 anos, 59,3 kg).

Em seguida, foi calculado a taxa de consumo seguro máxima (TC_{max}), em kg.dia⁻¹, utilizando os parâmetros PCM, RfD e a concentração média de Hg medida no pescado ([Hg]_{pescado}), em mg.kg⁻¹:

$$TC_{max} = \frac{PCM \times RfD}{[Hg]_{pescado}} \quad (2)$$

Utilizando a Eq (3), foi calculada a taxa de incorporação de Hg (TIHg), em mg.kg peso corpóreo⁻¹ dia⁻¹, para cada grupo de consumidores nos diferentes cenários de consumo. Essa taxa foi comparada com a dose de referência para o Hg (RfD).

$$TIHg = \frac{[Hg]_{pescado} \times TC}{PCM} \quad (3)$$

Por fim, foi estimado o *Target Hazard Quotient* (THQ), ou índice de risco associado, utilizando a Eq (4), segundo USEPA (2022). Esse índice representa o risco de exposição crônica para contaminantes não-carcinogênicos sendo definido que para THQ < 1 não há risco potencial de efeitos adversos e para THQ > 1 existe um risco potencial de efeitos adversos em consumidores.

$$THQ = \frac{FE \times TC \times DE \times [Hg]_{pescado}}{RfD \times PCM \times FE \times DE} \quad (4)$$

Onde, FE é a frequência de exposição, em dia.ano⁻¹, DE é a duração da exposição, em anos, de acordo com os diferentes grupos de consumidores avaliados em diferentes cenários de consumo de pescado.

Para se obter as quantidades recomendadas de consumo de pescado (QR_{mês}) para cada grupo de consumidores, foi utilizado a taxa de consumo seguro máxima (TC_{max}) calculada previamente e a estimativa do tempo de exposição (TE), definido como 365,25 dias em 12 meses ou 30,44 dias por mês, segundo a Eq (5):

$$QR_{mês} = \frac{TC_{max} \times TE}{tamanho\ da\ porção} \quad (5)$$

Na presente estimativa o tamanho da porção foi definido como 100 g para adultos e 50 g para crianças (FAO/WHO, 2010).

Visando simplificar as recomendações fornecidas no presente trabalho, foram utilizadas quatro categorias de frequência de consumo para cada espécie de pescado avaliada:

- 1) até 3 refeições por mês;
- 2) 4 a 6 refeições por mês (ou até uma refeição por semana);
- 3) 8 a 10 refeições por mês (ou até duas refeições por semana); e
- 4) 11 a 13 refeições por mês (ou até três refeições por semana).

Espécies em que a recomendação é acima de 13 refeições ao mês, definiu-se como sem restrição ao consumo. O tamanho da porção foi definido pelo peso úmido de uma porção de pescado fresco (músculo/filé) de aproximadamente 150 g. Essa refeição foi estimada para um adulto médio de 67 kg de peso corpóreo e deve ser ajustada de acordo com o peso do consumidor. Porção de 1,5 g de pescado fresco por kg de peso corpóreo.

3. RESULTADOS

3.1. Concentrações de mercúrio (Hg) em pescado de água doce do estado do Ceará

As concentrações de Hg foram quantificadas em 13 espécies de pescado representantes típicos da pesca continental no Ceará. Dessas espécies, foram analisadas 225 amostras. Para algumas espécies, o número amostral foi insuficiente (< 5 indivíduos) para representar a espécie e, portanto, os resultados devem ser interpretados com cautela.

Concentrações de Hg em pescado são reportadas em mg kg⁻¹ de peso úmido. Os diferentes tipos de pescado foram agrupados por espécie e origem de coleta, sendo os valores médios de concentração de Hg por espécie utilizados para os cálculos de estimativas de exposição. A tabela 1 apresenta os valores médios, desvios padrão e mínimos e máximos obtidos para cada espécie de pescado por área de coleta.

Os indivíduos de todas as espécies analisados apresentaram baixas concentrações de Hg (< 0,03 mg kg⁻¹). Portanto, bem abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação. Dessa forma, consumir essas espécies não apresenta qualquer risco de exposição para os consumidores (Tabela 1). Todas as espécies, coletadas em todas as localidades apresentaram indivíduos de pequeno porte < 30 cm, e de tamanho relativamente uniforme. Portanto, não foram observadas diferenças significativas entre tamanhos de indivíduos de uma mesma espécie. As maiores concentrações foram medidas em indivíduos da espécie carnívora de nível trófico elevado, *Cichla* sp., (Tucunaré) coletados no rio Jaguaribe (0,03 mg.kg⁻¹). Concentrações intermediárias também foram medidas em indivíduos de outras espécies carnívoras do rio Jaguaribe, como a traíra *Hoplias malabaricus* (0,02 mg.kg⁻¹). Todas as demais espécies, independente da área de coleta apresentaram concentrações < 0,02 mg.kg⁻¹. Não foram observadas diferenças significativas entre os locais de coleta, nem entre rios e açudes. Entretanto, quando comparadas entre as mesmas espécies, indivíduos coletados no Rio Cocó, apresentaram maiores concentração que os demais locais, como por exemplo a tilápia e o bodó-cascudo.

3.2. Exposição ao Hg para os diferentes cenários de consumo de pescado

As estimativas de ingestão diária através do consumo dessas espécies ficaram todas abaixo da dose de referência ($RfD = 0,0001 \text{ mg kg}_{\text{corpóreo}}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Isso reflete tanto as baixas concentração de Hg observadas, quanto a taxa de ingestão relativamente baixa para o pescado continental.

Da mesma forma, e pelos mesmos motivos, os índices de exposição (THQ) ficaram abaixo de 1 para todas as espécies analisadas (Tabela 4). Esses resultados diferem bastante daqueles observados no pescado de origem marinha, onde algumas espécies de peixes de grande porte e de nível trófico elevado, como tubarões e atuns, apresentam concentrações até duas ordens de grandeza superiores às aquelas observadas no pescado de água doce, portanto com níveis de exposição relativamente elevados (Matias et al., 2023).

4. CONCLUSÃO

As concentrações de Hg foram quantificadas em 13 espécies de pescado representantes típicos da pesca continental no Ceará forma geralmente muito baixas e bem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental e sanitária vigente. Não foram observadas diferenças significativas entre espécies ou locais de coleta. As estimativas de exposição e risco resultados apresentados permitem antecipar como as recomendações de consumo, que mesmo com ingestão diária de quaisquer espécies analisadas, seu consumo é seguro do ponto de vista da exposição ao Hg.

Tabela 1. Dados biométricos (média, desvio padrão e faixa de tamanho), origem e concentrações de Hg total (média, desvio padrão e faixa de concentração), medidas no pescado de água doce do estado do Ceará.

Espécie	Nome comum	Origem	Hg Total (mg kg ⁻¹)		LT (cm)		
			Média ± DP	Min – Máx	Média ± DP	Min. – Máx	n
<i>Astronotus ocellatus</i>	Apaiari	Açude Castanhão	0.015 ± 0.008	0.006 – 0.03	25.4 ± 0.8	24.5 – 27	7
<i>Cichla kelberi</i>	Tucunaré açu	Açude Castanhão	0.01 ± 0.004	0.003 – 0.02	29.3 ± 3.5	20 – 35.5	27
<i>Cichla pinima</i>	Tucunaré Pinima	Açude Castanhão	0.01 ± 0.002	0.004 – 0.01	27.1 ± 2.8	22.5 – 33.5	17
<i>Cichla</i> sp.	Tucunare	Rio Jaguaribe	0.03 ± 0.01	0.01 – 0.06	25.3 ± 2.6	21.5 – 29	10
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	Rio Jaguaribe	0.02	0.02	33	33	1
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	Açude Castanhão	0.01 ± 0.001	0.005 – 0.01	25.7 ± 0.6	25 – 26	3
<i>Hoplosternum littorale</i>	Cascudo	Rio Cocó	0.02 ± 0.008	0.005 – 0.03	21.7 ± 2.7	18 – 26	6
<i>Hypostomus pusearum</i>	Bodó pintado	Rio Cocó	0.004 ± 0.001	0.003 – 0.01	20.2 ± 0.9	19 – 21	8
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	Rio Jaguaribe, Itaicaba	0.01 ± 0.002	0.004 – 0.01	20.6 ± 1.1	19 – 22	18
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	Rio Jaguaribe	0.005 ± 0.003	< 0.001 – 0.01	20.2 ± 2.6	15 – 23,5	8
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	Aquicultura, Açude Castanhão	0.01 ± 0.003	0.001 – 0.01	15.9 ± 5.8	8.5 – 35,5	56
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	Açude Castanhão	0.002	0.002	25	25	1
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	Rio Cocó	0.02 ± 0.001	< 0.001 – 0.004	15.7 ± 3.6	10.5 – 20	25
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Pescada branca	Açude Castanhão	0.003	0.003	17.5	17.5	1
<i>Prochilodus argenteus</i>	Curimatã	Rio Jaguaribe	0.01 ± 0.002	0.003 – 0.01	23.2 ± 4.5	19 – 31	9
<i>Prochilodus rubrotaeniatus</i>	Curimatã	Rio Cocó	0.01 ± 0.005	0.006 – 0.02	25.3 ± 3.2	16.5 – 29,5	12
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Piranha	Açude Castanhão	0.01 ± 0.007	0.003 – 0.03	18.1 ± 1.9	15.5 – 23,5	14

Tabela 2. Estimativas de consumo máximo diário ($TC_{m\acute{a}x}$) ($kg\ dia^{-1}$) por categoria de consumidor e recomendação de consumo mensal em número de refeições (refeição $m\acute{e}s^{-1}$) .

Espécie	Origem	$TC_{m\acute{a}x}$			$TC_{m\acute{a}x}$			$TC_{m\acute{a}x}$			$QR_{m\acute{e}s}$			$QR_{m\acute{e}s}$		
		mulher fertil	Criança	Homem 18+	Mulher 46+	mulher fertil	criança 1-12	homem 18+	mulher fertil	criança 1-12	homem 18+	mulher 46+	mulher fertil	criança 1-12	homem 18+	mulher 46+
<i>Astronotus ocellatus</i>	Açude Banabuiú	0.38	0.16	0.45	0.40	77	66	91	77	66	91	81	77	66	91	81
<i>Cichla kelberi</i>	Açude Castanhão	0.67	0.29	0.79	0.70	136	117	161	136	117	161	143	136	117	161	143
<i>Cichla pinima</i>	Açude Castanhão	0.84	0.36	0.99	0.88	170	146	201	170	146	201	178	170	146	201	178
<i>Cichla sp</i>	Rio Jaguaribe	0.20	0.09	0.24	0.21	40	35	48	40	35	48	42	40	35	48	42
<i>Hoplias malabaricus</i>	Rio Jaguaribe	0.27	0.12	0.32	0.28	54	47	64	54	47	64	57	54	47	64	57
<i>Hoplias malabaricus</i>	Açude Castanhão	0.83	0.36	0.99	0.87	169	145	200	169	145	200	178	169	145	200	178
<i>Hoplosternum littorale</i>	Rio Cocó	0.32	0.14	0.37	0.33	64	55	76	64	55	76	68	64	55	76	68
<i>Hypostomus pusearum</i>	Rio Cocó	1.31	0.56	1.55	1.38	266	229	314	266	229	314	279	266	229	314	279
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe_Itaicaba	0.76	0.33	0.90	0.80	154	132	182	154	132	182	162	154	132	182	162
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe	1.13	0.48	1.33	1.18	228	196	270	228	196	270	240	228	196	270	240
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Banabuiú	0.85	0.37	1.01	0.89	173	148	204	173	148	204	181	173	148	204	181
<i>Oreochromis niloticus</i>	aquicultura _castanhao	3.77	1.62	4.45	3.95	764	658	904	764	658	904	802	764	658	904	802
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Castanhão	3.02	1.30	3.57	3.17	613	527	725	613	527	725	643	613	527	725	643
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Açude Castanhão	2.17	0.93	2.57	2.28	441	379	521	441	379	521	463	441	379	521	463
<i>Prochilodus argenteus</i>	Rio Jaguaribe	0.91	0.39	1.07	0.95	184	159	218	184	159	218	193	184	159	218	193
<i>Prochilodus rubrotaeniatus</i>	Rio Cocó	0.49	0.21	0.58	0.51	99	85	117	99	85	117	104	99	85	117	104
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Açude Castanhão	0.52	0.22	0.61	0.54	105	90	124	105	90	124	110	105	90	124	110

Tabela 3. Estimativas de ingestão diária (EDI) (mg/kg peso corpóreo /dia) por categoria de consumidor para os tipos de pescado de água doce. NE = Consumo médio na Região Nordeste; S = Consumo de subsistência.

Espécie	Origem	EDI			EDI			EDI			EDI		
		Mulher fertil NE	Mulher fertil S	criança 1-12 NE	criança 1-12 S	homem 18+ NE	homem 18+ S	criança 1-12 NE	criança 1-12 S	homem 18+ NE	homem 18+ S	criança 1-12 NE	criança 1-12 S
<i>Astronotus ocellatus</i>	Açude Banabuiú	6.5E-06	3.8E-05	1.5E-05	8.8E-05	5.5E-06	3.2E-05	1.5E-05	8.8E-05	5.5E-06	3.2E-05	1.5E-05	8.8E-05
<i>Cichla kelberi</i>	Açude Castanhão	3.7E-06	2.1E-05	8.5E-06	4.9E-05	3.1E-06	1.8E-05	8.5E-06	4.9E-05	3.1E-06	1.8E-05	8.5E-06	4.9E-05
<i>Cichla pinima</i>	Açude Castanhão	2.9E-06	1.7E-05	6.8E-06	4.0E-05	2.5E-06	1.4E-05	6.8E-06	4.0E-05	2.5E-06	1.4E-05	6.8E-06	4.0E-05
<i>Cichla sp</i>	Rio Jaguaribe	1.2E-05	7.2E-05	2.9E-05	1.7E-04	1.0E-05	6.1E-05	2.9E-05	1.7E-04	1.0E-05	6.1E-05	2.9E-05	1.7E-04
<i>Hoplias malabaricus</i>	Rio Jaguaribe	9.1E-06	5.3E-05	2.1E-05	1.2E-04	7.7E-06	4.5E-05	2.1E-05	1.2E-04	7.7E-06	4.5E-05	2.1E-05	1.2E-04
<i>Hoplias malabaricus</i>	Açude Castanhão	2.9E-06	1.7E-05	6.8E-06	4.0E-05	2.5E-06	1.4E-05	6.8E-06	4.0E-05	2.5E-06	1.4E-05	6.8E-06	4.0E-05
<i>Hoplosternum littorale</i>	Rio Cocó	7.7E-06	4.5E-05	1.8E-05	1.0E-04	6.5E-06	3.8E-05	1.8E-05	1.0E-04	6.5E-06	3.8E-05	1.8E-05	1.0E-04
<i>Hypostomus pusearum</i>	Rio Cocó	1.9E-06	1.1E-05	4.3E-06	2.5E-05	1.6E-06	9.2E-06	4.3E-06	2.5E-05	1.6E-06	9.2E-06	4.3E-06	2.5E-05
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe, Itaicaba	3.2E-06	1.9E-05	7.5E-06	4.4E-05	2.7E-06	1.6E-05	7.5E-06	4.4E-05	2.7E-06	1.6E-05	7.5E-06	4.4E-05
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe	2.2E-06	1.3E-05	5.1E-06	2.9E-05	1.8E-06	1.1E-05	5.1E-06	2.9E-05	1.8E-06	1.1E-05	5.1E-06	2.9E-05
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Banabuiú	2.9E-06	1.7E-05	6.7E-06	3.9E-05	2.4E-06	1.4E-05	6.7E-06	3.9E-05	2.4E-06	1.4E-05	6.7E-06	3.9E-05
<i>Oreochromis niloticus</i>	Aquicultura Açude Castanhão	6.5E-07	3.8E-06	1.5E-06	8.8E-06	5.5E-07	3.2E-06	1.5E-06	8.8E-06	5.5E-07	3.2E-06	1.5E-06	8.8E-06
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Castanhão	8.1E-07	4.7E-06	1.9E-06	1.1E-05	6.9E-07	4.0E-06	1.9E-06	1.1E-05	6.9E-07	4.0E-06	1.9E-06	1.1E-05
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Açude Castanhão	1.1E-06	A	2.6E-06	1.5E-05	9.5E-07	5.5E-06	2.6E-06	1.5E-05	9.5E-07	5.5E-06	2.6E-06	1.5E-05
<i>Prochilodus argenteus</i>	Rio Jaguaribe	2.7E-06	1.6E-05	6.3E-06	3.6E-05	2.3E-06	1.3E-05	6.3E-06	3.6E-05	2.3E-06	1.3E-05	6.3E-06	3.6E-05
<i>Prochilodus rubrotaeniatus</i>	Rio Cocó	5.0E-06	2.9E-05	1.2E-05	6.8E-05	4.2E-06	2.5E-05	1.2E-05	6.8E-05	4.2E-06	2.5E-05	1.2E-05	6.8E-05
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Açude Castanhão	4.7E-06	2.8E-05	1.1E-05	6.4E-05	4.0E-06	2.3E-05	1.1E-05	6.4E-05	4.0E-06	2.3E-05	1.1E-05	6.4E-05

Tabela 4. índice de exposição (THQ) para os tipos de pescado de água doce. NE = Consumo médio na Região Nordeste; S = Consumo de subsistência.

Espécie	Origem	THQ mulher fertil NE	THQ mulher fertil S	THQ criança 1-12 NE	THQ criança 1-12 S	THQ homem 18+ NE	THQ homem 18+ S
<i>Astronotus ocellatus</i>	Açude Banabuiú	0.06	0.38	0.15	0.88	0.05	0.32
<i>Cichla kelberi</i>	Açude Castanhão	0.04	0.21	0.09	0.49	0.03	0.18
<i>Cichla pinima</i>	Açude Castanhão	0.03	0.17	0.07	0.40	0.02	0.14
<i>Cichla sp</i>	Rio Jaguaribe	0.12	0.72	0.29	1.66	0.10	0.61
<i>Hoplias malabaricus</i>	Rio Jaguaribe	0.09	0.53	0.21	1.24	0.08	0.45
<i>Hoplias malabaricus</i>	Açude Castanhão	0.03	0.17	0.07	0.40	0.02	0.14
<i>Hoplosternum littorale</i>	Rio Cocó	0.08	0.45	0.18	1.04	0.07	0.38
<i>Hypostomus pusarum</i>	Rio Cocó	0.02	0.11	0.04	0.25	0.02	0.09
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe, Itaicaba	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
<i>Oreochromis niloticus</i>	Rio Jaguaribe	0.03	0.19	0.08	0.44	0.03	0.16
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Banabuiú	0.02	0.13	0.05	0.29	0.02	0.11
<i>Oreochromis niloticus</i>	Aquicultura Açude Castanhao	0.03	0.17	0.07	0.39	0.02	0.14
<i>Oreochromis niloticus</i>	Açude Castanhão	0.01	0.04	0.02	0.09	0.01	0.03
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Açude Castanhão	0.01	0.05	0.02	0.11	0.01	0.04
<i>Prochilodus argenteus</i>	Rio Jaguaribe	0.01	0.07	0.03	0.15	0.01	0.06
<i>Prochilodus rubrotaeniatus</i>	Rio Cocó	0.03	0.16	0.06	0.36	0.02	0.13
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Açude Castanhão	0.05	0.29	0.12	0.68	0.04	0.25

5. Referências bibliográficas

ANVISA, D.C. da A.N. de V.S., 2021. INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021, Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.

Botero, J.I.S., Lourenço, R.C.G., Pinto, L.M. (orgs). 2023. Peixes estuarinos da costa semiárida do Brasil : guia ilustrado. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 184 p.

Caracas, I.B., Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Matias, J.F., 2022. Protocolo para análise e quantificação de metais em pescados e produtos da aquicultura. Fortaleza, Ceara.

Colombo, J., Kannass, K.N., Shaddy, D.J., Kundurthi, S., Maikranz, J.M., Anderson, C.J., Blaga, O.M. & Carlson, S.E. 2004. Maternal DHA and the development of attention in infancy and toddlerhood. *Child Development*, 75:1254–1267.

FAO/WHO, 2010. Report of the joint FAO / WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption, FAO Fisheries and Aquaculture report.

Harada, M., 1995. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Crit. Rev. Toxicol.* 25, 1–24.

<https://doi.org/10.3109/10408449509089885>

IBGE, 2021. IBGE, Produção da Pecuária Municipal 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pesquisa/18/16459?localidade1=0&ano=2020&indicador=16512>

Matias, J.F.O., Bezerra, M.F., Caracas, I.B., Vale, M.V.S.D. & Lacerda L.D. 2023. Estimativa de exposição ao mercúrio e recomendação ao consumo de pescado no Estado do Ceará. Programa Cientista Chefe da Pesca e Aquicultura, Fortaleza, 29 p.

UN Environment, 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. Geneva, Switzerland.

USEPA, 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Vol. 1: Fish Sampling and Analysis. EPA 823-B-00-007. Office of Science and Technology Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA, 2001. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health : Methylmercury Final. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA- 823-R-:303.

USEPA, 2022. Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Sites. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide#special>.

USDA, 2010. Dietary guidelines for Americans. U.S. Dep. Agric. U.S. Dep. Heal. Hum. Serv. 95. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0077>