

5 Resultados

5.1. Análise das Coletas

Nas áreas de trabalho não foram medidos parâmetros físico-químicos da água como pH, temperatura, condutividade. Contudo, existem evidências indicando que estas variáveis são similares nas duas áreas (Souto 2004). Os valores dos parâmetros físico-químicos da água são apresentados na Tabela 8 no Apêndice

Os dados morfométricos dos peixes (comprimento e peso), bem como a concentração de mercúrio na musculatura, para cada local de coleta, constam das Tabelas 9, 10, 11,12 no Apêndice.

Os peixes coletados não foram classificados segundo seu sexo.

O valor médio do comprimento, do peso e da concentração de mercúrio, bem como os respectivos intervalos de confiança destas estimativas para cada coleta são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios do comprimento total (CT), peso total (W_t) e concentração de mercúrio no músculo ($[Hg]_T$) $\pm$ intervalo de confiança em *Cichla* sp. para cada local/ano de coleta.

Localidade/Ano	Comprimento Total (mm)	Peso (g)	$[Hg]_T$ ($\mu g/g$)
Santarém 1992	373 $\pm$ 45	-	0,12 $\pm$ 0,02
Itaituba-Jacareacanga 1992	343 $\pm$ 21	655 $\pm$ 146	0,42 $\pm$ 0,07
Santarém 2001	348 $\pm$ 95	639 $\pm$ 73	0,24 $\pm$ 0,03
Itaituba-Jacareacanga 2001	340 $\pm$ 16	514 $\pm$ 66	0,73 $\pm$ 0,09

Na amostra de peixes das espécies *Cichla* sp coletadas no complexo de lagos Maicá (Santarém), no ano de 1992 (20–66 cm CT), predominaram as

espécies com comprimento total entre 30 e 40 cm (43 %), como se observa na Figura 5.

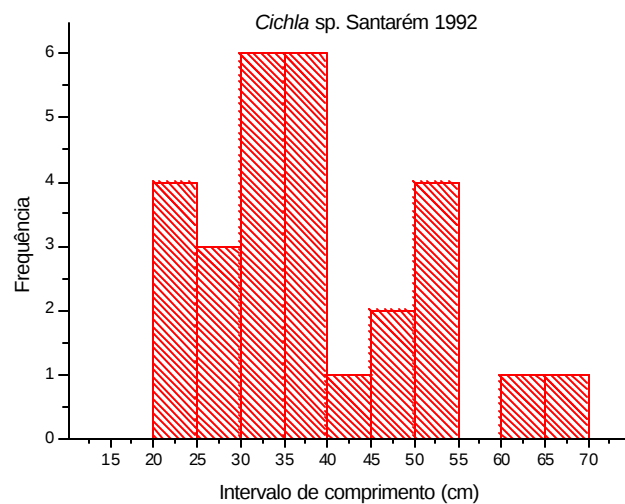


Figura 5. Diagrama das distribuições de frequência por comprimentos dos exemplares da espécie *Cichla* sp coletados em Santarém 1992.

No histograma de frequência em relação ao comprimento que aparece na Figura 6, observa-se que nos peixes da espécie *Cichla* sp coletados na região de Itaituba-Jacareacanga no ano 1992 (24,5–53 cm CT, 202–2200 g), predominaram os exemplares com comprimento total entre 30 e 35 cm (42 %).

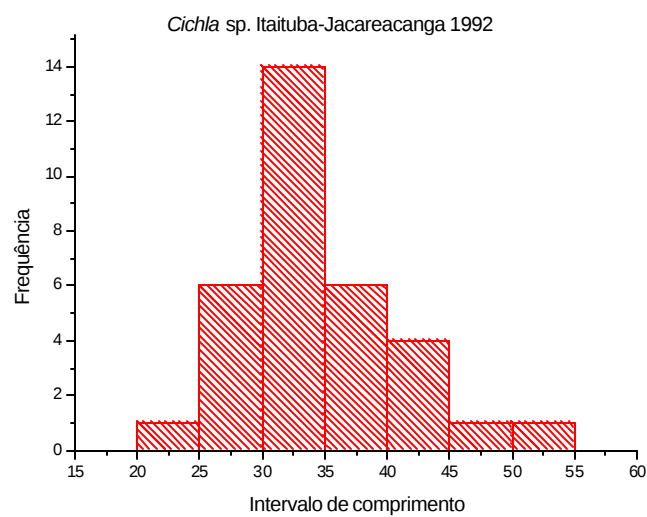


Figura 6. Distribuições de frequência por comprimentos dos exemplares da espécie *Cichla* sp coletados em Itaituba-Jacareacanga 1992.

Por outro lado, na coleta da região de Itaituba-Jacareacanga 2001 (23–39 cm CT, 90–750 g) predominaram os exemplares de *Cichla monoculus* com tamanho entre 32 e 36 cm (33 %), Figura 7.

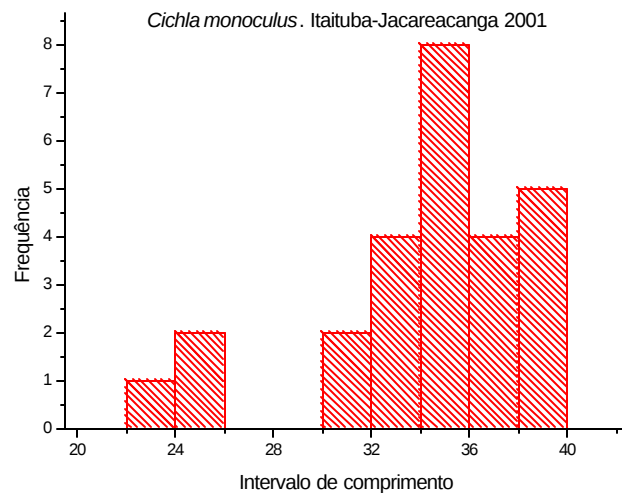


Figura 7. Diagrama de distribuições de frequência por comprimentos dos exemplares da espécie *Cichla monoculus* coletados em Itaituba-Jacareacanga 2001.

Por último, na coleta da mesma espécie no complexo de lagos Maicá, no ano 2001 (23–47 cm CT, 200–1600 g) prevaleceram os exemplares com tamanho entre os 34–38 cm de comprimento total (48 %), Figura 8.

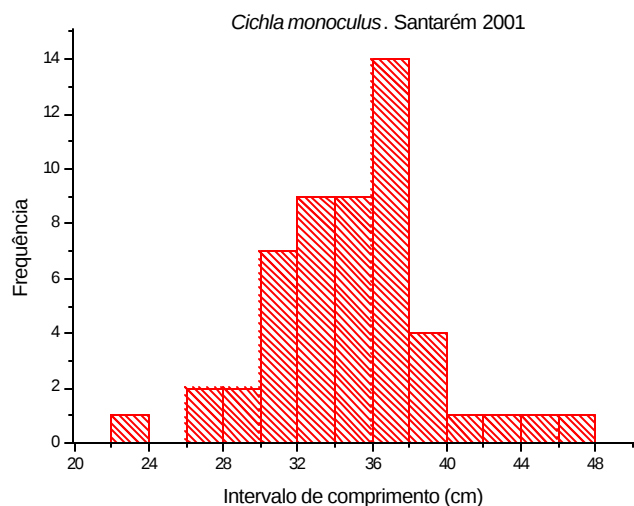


Figura 8. Distribuições de freqüência por comprimentos da espécie *Cichla monoculus* dos exemplares coletados em Santarém 2001.

O teste Anova revelou que não existem diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre os valores médios de comprimento dos peixes nos quatro conjuntos de coletas ($F(3,135) = 1.36, p = 2.65$). Ademais, também não ocorrem diferenças significativas entre os valores médios da massa dos três grupos comparados ($F(2,108) = 1.82, p = 3.09$). No entanto, o teste ANOVA demonstrou que ao menos existe um grupo que apresenta um valor médio de concentração total de mercúrio estatisticamente diferente para um nível de confiança de 95 % ($F(3,135) = 2.65, p = 86.11$). O teste de Duncan mostrou que existem diferenças significativas para os valores médios da concentração de mercúrio entre as quatro coletas realizadas, a um nível de confiança de 95 %.

O valor médio da concentração de mercúrio dos peixes coletados em Santarém em 2001 foi maior que o encontrado na mesma região nove anos antes. Tendência semelhante foi registrada para os peixes coletados em Itaituba–Jacareacanga.

Tabela 3. Parâmetros (a e b) da expressão exponencial empírica ($W=aCP^b$) que relaciona o peso e o comprimento padrão em *Cichla* sp.

Localidade/Ano	Log a	b	R ²
Santarém 1992	-4,7752	3.0419	0,9853
Itaituba-Jacareacanga 1992	-4.2209	2.8354	0,8951
Santarém 2001	-4.5357	2.9515	0,8936
Itaituba-Jacareacanga 2001	-5.1672	3.201	0,884

Os parâmetros a e b da relação peso comprimento, assim como o coeficiente de correlação da reta do gráfico (Log W-Log CP), aparecem na Tabela 3. Estes valores foram comparados e se constatou que não houve diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre os parâmetros da relação peso-comprimento de *Cichla* sp nos locais e anos de coleta examinados.

A maior parte dos peixes coletados tinham idades estimadas entre um e dois anos. O volume de dados experimentais de concentração de mercúrio de que dispomos para avaliar a modelagem desenvolvida é pequeno. Em outros países, como Canadá, existem grandes bases de dados de valores de concentração de mercúrio e outros parâmetros fisiométricos de várias espécies de peixes para várias classes de idade.

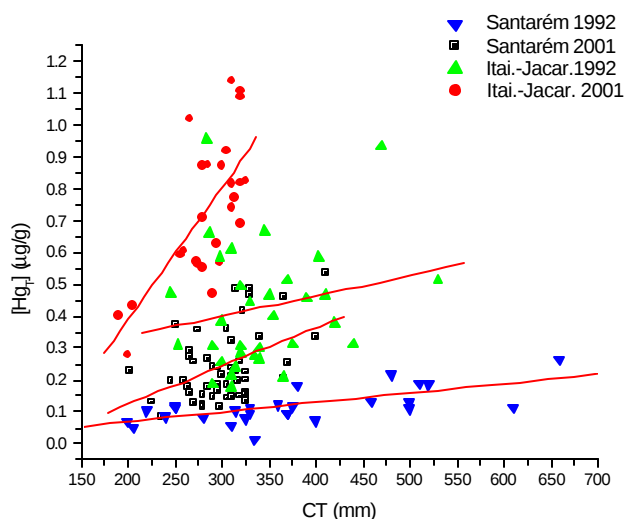


Figura 9. Valores de concentração de mercúrio e comprimento observados nos quatro grupos de coletas realizados.

Na Figura 9 mostra-se o gráfico dos valores das concentrações de mercúrio observadas em relação ao comprimento dos peixes nos quatro conjuntos de coletas. A partir da análise das retas de regressão de cada um dos conjuntos de coletas, nota-se que a concentração de mercúrio e o tamanho estão positivamente correlacionados em todos os conjuntos de coletas. Evidencia-se, assim, que no Tucunará a concentração de mercúrio aumenta com o tempo, de modo que os Tucunarés das duas regiões estudadas nos dois anos permanecem acumulando mercúrio ao longo de sua vida. Na Tabela 4 são

apresentados os coeficientes de correlação (R) e os parâmetros de regressão das equações lineares que tem a forma geral, $[Hg_T] = A \cdot CT + B$.

Tabela 4. Valores dos parâmetros de regressão das equações lineares que relacionam a concentração de mercúrio com o comprimento do peixes.

Localidade/Ano	A	B	R
Santarém 1992	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,0041	0,67725
Itaituba-Jacareacanga 1992	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0,20177	0,20356
Santarém 2001	0,0012	-0,1216	0,43177
Itaituba-Jacareacanga 2001	0,0042	-0,4562	0,68938

Pela análise da Figura 8, nota-se que os tucunarés coletados no rio Tapajós (Itaituba-Jacareacanga) apresentam teores mais altos de mercúrio do que os tucunarés coletados no lago Maicá (Santarém), para todo o intervalo de comprimento observado. Por outro lado, os tucunarés coletados em Itaituba-Jacareacanga no ano 2001 apresentam maiores teores de mercúrio que os coletados no ano 1992. De forma análoga, os peixes coletados em Santarém no ano de 2001 tinham teores de mercúrio mais elevados do que os coletados nove anos antes.

O maior coeficiente angular correspondeu à reta de Itaituba-Jacareacanga 2001, logo a segunda reta de maior coeficiente angular foi a de Santarém 2001, Tabela 4. Para um mesmo ano o coeficiente angular da reta correspondente a Itaituba-Jacareacanga é maior que o coeficiente angular da reta correspondente a Santarém. Para a mesma região o coeficiente angular da reta correspondente ao ano 2001 é maior do que o coeficiente angular correspondente à reta do ano 1992. Um maior coeficiente angular sugere uma acumulação de mercúrio de forma mais acelerada. Ou seja, os peixes de uma mesma área acumularam mercúrio mais aceleradamente no ano 2001 que em 1992 e os peixes da área de garimpos acumularam mercúrio mais aceleradamente que os peixes da área afastada para o mesmo ano.

Estes resultados demonstram que nos dois anos de coleta os tucunarés coletados no rio Tapajós na região de Itaituba-Jacareacanga estavam mais contaminados do que os coletados no complexo de lagos Maicá. Igualmente, nota-se que os tucunarés do ano de 2001 estavam mais contaminados do que no ano de 1992 em cada uma das regiões. Estes resultados estão em

concordância com o resultado da comparação dos valores médios da concentração de mercúrio para as quatro coletas. Estes fatos colocam em evidência o agravamento do problema da contaminação por mercúrio com o passar do tempo tanto em regiões onde ocorreu a mineração artesanal de ouro, quanto em locais distantes destes.

5.2. Resultados da Modelagem

Na Tabela 5 consta, para cada coleta, o valor do peso em que começa a modelagem e o valor em que acaba, bem como o valor da concentração inicial de mercúrio no peixe, e o tempo de duração da modelagem, para os quatro grupo de coletas, constam da tabela 5.

Tabela 5. Valores do peso inicial W_i (g), final W_f (g); do intervalo de tempo da modelagem, Δt (dia); e concentração inicial de mercúrio no peixe, C_{inic} ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Região/Ano	Santarém	Itaituba-	Santarém	Itaituba -
	1992	Jacareacanga 1992	2001	Jacareacanga 2001
W_i (g)	97	396	277	151
W_f (g)	3244	2236	1118	748
C_{inic} ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0,061	0,258	0,203	0,369
Δt (dia)	1120	641	350	291

Os valores iniciais e finais de algumas variáveis estimadas a partir do modelo bioenergético de Wisconsin para os quatro grupo de coletas são apresentados na Tabela 7, no Apêndice.

O modelo de balanço de massa do mercúrio combinado com um modelo bioenergético tipo Wisconsin aplicados a espécies de tucunaré, subestima os valores de concentração de mercúrio no tucunaré em todos os cenários estudados, para a concentração mínima de mercúrio no alimento, Figuras 10, 11, 12 e 13.

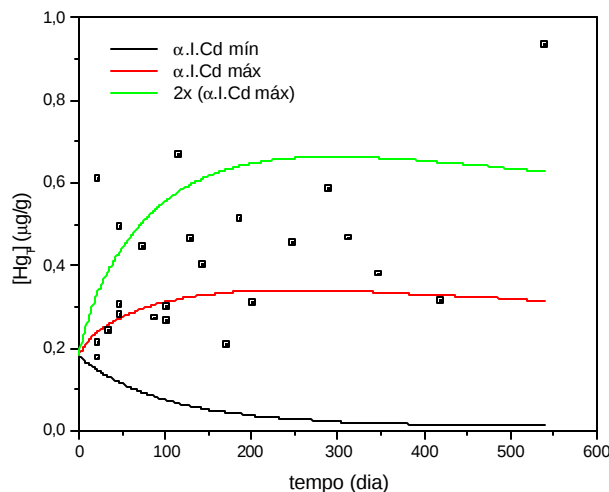


Figura 10. Variação da concentração de mercúrio no tucunaré (*Cichla* sp.) em função do tempo do rio Tapajós (Itaituba-Jacareacanga) em 1992. As curvas preta, vermelha e verde representam valores estimados de concentração de mercúrio no peixe para um fluxo de entrada de mercúrio pelo alimento (Cd) correspondente a Cd mín, Cd máx e 2 * Cd máx, respectivamente. Os pontos são os valores de concentração de mercúrio observados.

Ademais, para esta concentração mínima, a concentração de mercúrio no peixe, em todos os cenários, diminui com o tempo. Este comportamento predito não representa a realidade, pois nos quatro conjuntos de coletas a correlação de mercúrio com o comprimento se mostrou positiva, evidenciando-se a acumulação de mercúrio no tucunaré, como já fora indicado na análise da variação da concentração de mercúrio em função do comprimento do peixe (Figura 6). Em geral, o modelo prediz depois de um certo tempo um valor de concentração quase constante no tempo.

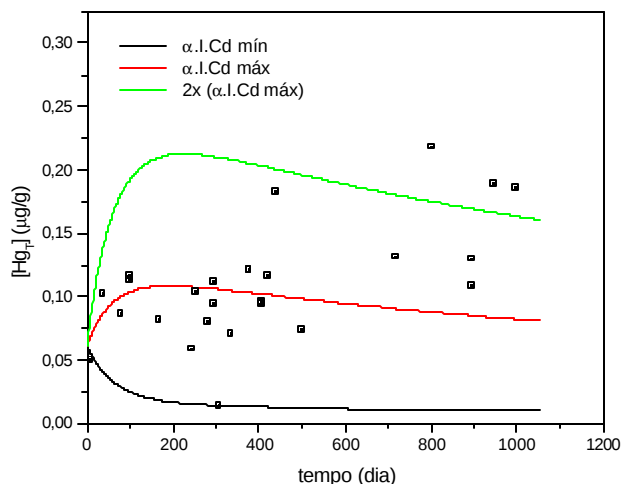


Figura 11. Variação da concentração de mercúrio no tucunaré *Cichla* sp. em função do tempo do lago Maicá (Santarém) em 1992. As curvas preta, vermelha e verde representam valores estimados de concentração de mercúrio no peixe para um fluxo de entrada de mercúrio pelo alimento (Cd) correspondente a Cd mín, Cd máx e 2 * Cd máx, respectivamente. Os pontos são os valores de concentração de mercúrio observados.

As melhores estimativas de concentração de mercúrio no tucunaré foram obtidas para as coletas de Santarém e Itaituba-Jacareacanga 1992.

Observa-se, nas Figuras 10 e 11, que uma boa parte dos pontos experimentais para as coletas de Santarém e Itaituba-Jacareacanga em 1992 se encontram entre as curvas obtidas para concentrações mínima e máxima no alimento. Nestes cenários o menor erro na estimativa se obtém quando a concentração de mercúrio no alimento é a máxima observada em cada um deles. O valor do erro relativo percentual médio de cada estimativa aparece na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios do erro relativo percentual (%E) para cada uma das estimativas.

Localidade/Ano	% E			
	$\alpha I Cd \text{ mín}$	$\alpha I Cd \text{ máx}$	$2(\alpha I Cd \text{ máx})$	$3(\alpha I Cd \text{ máx})$
Santarém 1992	84	27	88	-
Itait.-Jaca. 1992	68	29	60	-
Santarém 2001	75	41	34	60
Itait.-Jaca. 2001	95	47	21	52

Por outro lado, em 2001, para os dois locais, os valores observados se encontram distantes das curvas obtidas para concentrações mínimas e máxima no alimento. Nestes casos, os pontos observados são mais bem descritos por estimativas que consideram concentrações ainda superiores à concentração máxima observada no alimento. As predições para as coletas feitas em 2001, no sistema de lagos Maicá e no rio Tapajós, apresentam o menor valor médio do erro, quando se modelam, para um fluxo de entrada de mercúrio duas vezes maior o valor do fluxo de entrada de mercúrio correspondente à concentração máxima de mercúrio no alimento, observada, respectivamente, nestas regiões no ano 1992, Tabela 6

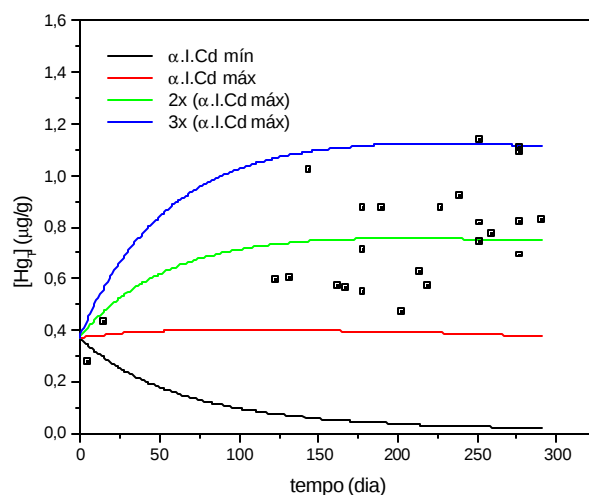


Figura 12. Variação da concentração de mercúrio no tucunaré *Cichla monoculus* em função do tempo do rio Tapajós (Itaituba-Jacareacanga) em 2001. As curvas preta, vermelha, verde e azul representam valores estimados de concentração de mercúrio no peixe para um fluxo de entrada de mercúrio pelo alimento (Cd) correspondente a Cd mín, Cd máx e 2 * Cd máx e 3 * Cd máx, respectivamente. Os pontos são os valores de concentração de mercúrio observados.

O modelo prediz uma ligeira acumulação de mercúrio no tucunaré de Itaituba-Jacareacanga 2001, para a concentração máxima no alimento. Nota-se também que uma boa parte dos pontos no gráfico encontra-se entre as curvas obtidas para a concentração máxima e para quando o fluxo de entrada de mercúrio é duplicado em relação ao valor para a concentração máxima.

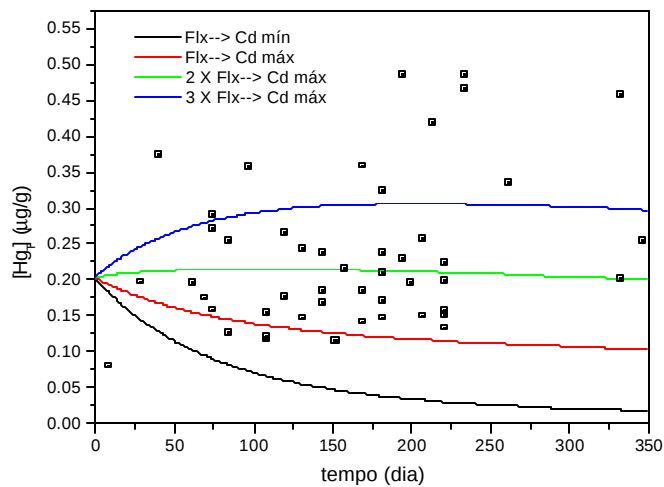


Figura 13. Variação da concentração de mercúrio no tucunaré *Cichla monoculus* em função do tempo do lago Maicá (Santarém) em 2001. As curvas preta, vermelha, verde e azul representam valores estimados de concentração de mercúrio no peixe para um fluxo de entrada de mercúrio pelo alimento (Cd) correspondente a Cd mín, Cd máx e 2 * Cd máx, 3 * Cd máx, respectivamente. Os pontos são os valores de concentração de mercúrio observados.

O modelo para o grupo de coletas feitas em Santarém 2001 prediz o decréscimo da concentração de mercúrio no peixe com o tempo para concentrações no alimento mínima e máxima. Contrariamente, para um fluxo de entrada duas, três vezes maior que o fluxo para a concentração máxima observada, ocorre a acumulação de mercúrio.