

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**PROBLEMAS NO AJUSTE DA CURVA DE CRESCIMENTO DO PACU,
Piaractus mesopotamicus (Holmberg, 1887) (PISCES: CHARACIDAE), E SEU
MANEJO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

**MÔNICA MARIA VAZ
Bióloga**

**JABOTICABAL - SP
SETEMBRO - 2001**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA
CAMPUS DE JABOTICABAL**

PROBLEMAS NO AJUSTE DA CURVA DE CRESCIMENTO DO PACU, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) (PISCES: CHARACIDAE), E SEU MANEJO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE.

MÔNICA MARIA VAZ

ORIENTADOR: PROF. DR. MIGUEL PETRERE JR.

**Tese apresentada ao Centro de Aquicultura
do Campus de Jaboticabal - UNESP, para
obtenção do Título de Doutor em
Aquicultura - Área de Concentração em
Aquicultura.**

**JABOTICABAL - SP
SETEMBRO - 2001**

V393p Vaz, Mônica Maria
Problemas no ajuste da curva de crescimento do pacu,
Piaractus mesopotamicus (Holmberg, 1887) (PISCES:
CHARACIDAE), e seu manejo no Pantanal Mato-Grossense / Mônica
Maria Vaz. – – Jaboticabal, 2001
127p : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aqüicultura, 2001
Orientador : Miguel Petrere Júnior
Banca examinadora : Geraldo Barbieri, José Roberto Verani,
Walter Barreia, Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein
Bibliografia

1. Peixe-idade e crescimento. 2. Manejo pesqueiro-Pantanal.
3. ***Piaractus mesopotamicus***. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de
Aqüicultura.

CDU 639.31

Ficha catalográfica preparada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço
Técnico de Biblioteca e Documentação.
e-mail: monica.vaz@ibama.gov.br

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO:



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA (CAUNESP)

São Paulo State University - Aquaculture Center



Ata da Reunião da Comissão Examinadora da defesa da Tese de Doutorado de Mônica Maria Vaz. Aos 18 dias do mês de setembro do ano de 2001, às 09:00 horas, sob a presidência do Prof. Dr. Miguel Petreire Junior, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Examinadora da Tese de Doutorado de Mônica Maria Vaz, aluna do Programa de Pós-Graduação em AQUICULTURA, Área de Concentração em AQUICULTURA, do Centro de Aquicultura da UNESP, sediado no Campus de Jaboticabal, visando à obtenção do grau de DOUTOR EM AQUICULTURA, (ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM AQUICULTURA), assim constituída:

Dr. Miguel Petreire Junior – Orientador
Dra. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein
Dr. Walter Barreira
Dr. José Roberto Verani
Dr. Geraldo Barbieri

Iniciados os trabalhos, a candidata defendeu sua Tese de Doutorado, intitulada: “PROBLEMAS NO AJUSTE DA CURVA DE CRESCIMENTO DO PACU, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) (PISCES: CHARACIDAE), E SEU MANEJO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE”.

Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento dessa prova, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição:

Dr. Geraldo Barbieri	Conceito: APROVADA
Dr. José Roberto Verani	Conceito: APROVADA
Dr. Walter Barreira	Conceito: APROVADA
Dra. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein	Conceito: APROVADA
Dr. Miguel Petreire Junior	Conceito: APROVADA

Verificou-se que a candidata foi APROVADA e recebendo a menção “Com distinção e Louvor” fazendo jus, portanto, ao título de DOUTOR EM AQUICULTURA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM AQUICULTURA. Do que para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Examinadora e por mim, secretária. Jaboticabal, 18 de setembro de 2001.

Dr. Geraldo Barbieri

Dr. José Roberto Verani

Dr. Walter Barreira

Dra. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein

Dr. Miguel Petreire Junior

Veralice Cappatto



DADOS CURRICULARES DA AUTORA:

MÔNICA MARIA VAZ, nascida em 06 de julho de 1960, em Belo Horizonte, MG, é Bióloga com Licenciatura Plena (1982) e Bacharelado em Ecologia e Zoologia pela UFMG (1984). Obteve o grau de Mestre em Ecologia pelo Departamento de Zoologia da UNICAMP (1992). Ministrou diversas disciplinas no curso de Ciências Biológicas da UFMT (1993-1995), como professora visitante e na UFMG (1996-1997), como professora substituta. Trabalhou como Pesquisadora Plena no Setor de Recursos da Água (SAA) da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), desenvolvendo trabalhos na área de Ictiologia, de 1985 até 2003. Atualmente é Analista Ambiental do IBAMA.

DEDICATÓRIA:

*À minha amada e saudosa mãe, Moema, cuja
lembrança me dá força e coragem para continuar...*

Ao meu pai, Saul, pelo incentivo constante...

*Aos meus filhos, Miguel e Saul, que me fizeram
renascer...*

AGRADECIMENTOS:

Gostaria de agradecer às seguintes instituições de pesquisa:

- À Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), Belo Horizonte/MG, que disponibilizou instalações e equipamentos para a realização deste trabalho.
- À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura (CAUNESP), Campus de Jaboticabal/SP, onde o curso de pós-graduação foi ministrado.
- Ao Departamento de Botânica e Ecologia da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), onde se desenvolve o Projeto Ecologia Gran Pantanal/UFMT/FEMA/MPI - Projeto SHIFT - CNPq/IBAMA/DLR - Cooperação Brasil Alemanha, pelo apoio durante a coleta de dados.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de estudos concedida.

Agradeço, ainda, às seguintes pessoas:

- Ao Prof. Dr. Miguel Petrere Jr. (UNESP/Instituto de Biologia - Rio Claro/SP), orientador e amigo, cujas idéias e criatividade me mostram os caminhos a serem trilhados.
- Aos Profs. Dr. José Roberto Verani (UFSCar/Departamento de Hidrobiologia - São Carlos/SP), Dr. Geraldo Barbieri (Instituto de Pesca - São Paulo/SP), Dr. Walter

Barrela (PUC/Departamento de Ciências do Ambiente - Sorocaba/SP), Dr^a. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein (UNESP/CAUNESP - Jaboticabal/SP), pelas importantes críticas e sugestões, aceitando a participar da banca final desta tese.

- Ao Prof. Dr. José Augusto Ferraz de Lima (IBAMA/MT) pelas essenciais informações prestadas sobre o pacu e sobre o Pantanal Mato-grossense.
- À Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Cergole (Instituto de Pesca - Ubatuba/SP) pelas várias sugestões, durante a revisão do manuscrito.
- À Prof^a. Dr^a. Nídia Noemi Fabr  (INPA - Manaus/AM) e ao Prof. Dr. Francisco Manuel de Souza Braga (UNESP - Rio Claro/SP) pelos diversos conselhos, durante a análise dos dados.
- Aos biólogos Almino Pereira Silva Filho e Anecy Aparecida de Pinho, pela ajuda durante a coleta de dados no Mercado Municipal de Cuiabá.
- Aos comerciantes de peixes do Mercado Municipal de Cuiabá/MT, por me fornecerem o material de estudo.
- Aos que em breve serão Doutores: L cia Aparecida de Fátima Mateus; Agostinho Carlos Catella; e Jerry Magno F. Penha, amigos e colegas, que me auxiliaram na análise dos dados, com a troca de experiências adquiridas.
-   Tatiana Walter e ao Marcelo Ant nio Harada Penna, por me apresentarem o modelo de Schnute, auxiliando na análise destes resultados.
- Aos biólogos Vilmaria Pereira Freire Ribeiro e Rafael Luiz Aarão Freitas, pelo auxílio no trabalho de laboratório.
-   Veralice Cappatto, secretária de Pós-Graduação do CAUNESP, por me auxiliar na resolução dos problemas administrativos que surgiram durante o período de curso,

além do seu carinho e amizade.

- À Maria das Dores Rocha, auxiliar de laboratório do CETEC, pela amizade e pelos cuidados dispensados na parte prática deste trabalho.
- Ao bibliotecário Ronaldo Nunes do CETEC, pelo auxílio no levantamento bibliográfico.
- Aos amigos Alonso, Rossineide, Lili, Elisa, Sandrinha, Joceli, Helenice, Marcelinho e Sérgio, companheiros durante horas agradáveis e difíceis no correr do curso de Pós-Graduação.
- Aos colegas Yule, Tóia, Sílvia, Valeria, Helena, Agostinho, Fabinho, Luís Otávio, Edson e Mônica, pela troca de idéias e apoio, durante os trabalhos desenvolvidos no CETEC.
- Ao companheiro e pai dos meus filhos, Ralph, que muito auxiliou na finalização deste manuscrito.
- A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

Página

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO.....	iii
DADOS CURRICULARES DA AUTORA.....	iv
DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
RESUMO.....	xx
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
2.1 Nível da água e precipitação.....	9
2.2 Amostragem dos peixes.....	10
2.3 Relações biométricas.....	11
2.3.1 Relação peso-comprimento.....	11
2.3.2 Fator de condição (K)	14
2.3.3 Outras relações biométricas.....	15
2.4 Estrutura etária.....	16
2.4.1 Leitura dos anéis de crescimento.....	16
2.4.2 Validação dos anéis de crescimento.....	18

2.5 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento.....	19
2.5.1 Método de FORD-WALFORD.....	20
2.5.2 Método de BEVERTON plot.....	21
2.5.3 Modelo de SCHNUTE (1981).....	23
2.5.4 Retro-cálculo.....	25
2.5.5 Frequência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I)	28
2.6 Estimativa dos coeficientes de mortalidade.....	32
2.7 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957).....	34
2.8 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência.....	35
3 RESULTADOS.....	37
3.1 Nível da água e precipitação.....	37
3.2 Relações biométricas.....	38
3.2.1 Relação peso-comprimento.....	38
3.2.2 Fator de condição (K).....	43
3.2.3 Outras relações biométricas.....	47
3.3 Estrutura etária.....	50
3.3.1 Leitura dos anéis de crescimento.....	50
3.3.2 Validação dos anéis de crescimento.....	52
3.4 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento.....	60
3.4.1 Método de FORD-WALFORD.....	62
3.4.2 Método de BEVERTON plot.....	64
3.4.3 Modelo de SCHNUTE (1981).....	65

3.4.4 Retro-cálculo.....	69
3.4.5 Frequência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I).....	72
3.5 Estimativa dos coeficientes de mortalidade.....	76
3.6 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957)	77
3.7 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência.....	78
4 DISCUSSÃO.....	79
4.1 Relações biométricas.....	79
4.1.1 Relação peso-comprimento.....	79
4.1.2 Fator de condição (K).....	81
4.1.3 Outras relações biométricas.....	83
4.2 Estrutura etária.....	84
4.2.1 Leitura dos anéis de crescimento.....	84
4.2.2 Validação dos anéis de crescimento.....	87
4.3 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento.....	91
4.3.1 Método de FORD-WALFORD.....	91
4.3.2 Método de BEVERTON plot.....	91
4.3.3 Modelo de SCHNUTE (1981).....	92
4.3.4 Retro-cálculo.....	94
4.3.5 Frequência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I).....	97
4.4 Estimativa dos coeficientes de mortalidade.....	99
4.5 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957)	101
4.6 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência.....	103

5 CONCLUSÕES.....	105
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ABSTRACT.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento padrão, por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.....	40
2. Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento total por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.....	42
3. Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento forcal, por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.....	43
4. Valores encontrados para o modelo geral linear, na análise de variância, comparando a altura do corpo entre machos e fêmeas.....	49
5. Classes de comprimento padrão (LS), com o número de indivíduos em cada classe de anel lido nas escamas do pacu.....	51
6. Resultados encontrados na ANOVA que comparou o incremento marginal entre os meses de amostragem. n = 1435.....	52
7. Probabilidades para o teste a posteriori LSD: variável dependente = incremento marginal; e efeito principal = meses. ■ Relação significativamente diferente a P = 0,05. n = 1435.....	53
8. Resultados encontrados na ANOVA que comparou o incremento marginal x ciclos	

hidrológicos. n = 1435.....	55
9. Probabilidades para o teste a posteriori LSD: variável dependente = incremento marginal; e efeito principal = ciclos hidrológicos.  Relação significativamente diferente a P = 0,05. n = 1435.....	55
10. Classes de comprimento padrão (LS), com o número de indivíduos em cada idade.....	61
11. Equações de crescimento de von BERTALANFFY (1938) para comprimento e peso, com os parâmetros estimados através do método de FORD-WALFORD, considerando 11 anéis de crescimento e 5 anos de idade, utilizando-se do comprimento padrão (LS) ou do comprimento total (LT). WT = peso total. n = 1435.....	62
12. Resultados encontrados pela regressão não linear, utilizando o comprimento padrão (LS) e considerando 11 anéis. A.S.E. = “ <u>A</u> symptotic <u>S</u> tandard <u>E</u> rror”.....	64
13. Estatísticas descritivas calculadas para o comprimento padrão (LS), agrupados por classe de anéis.....	66
14. Estimativas iniciais e calculadas para os parâmetros da equação de crescimento, usando o modelo de SCHNUTE, considerando 11 anéis.....	67
15. Estatísticas descritivas calculadas para o comprimento padrão (LS), agrupados por classe de idade.....	68
16. Estimativas iniciais e calculadas para os parâmetros da equação de crescimento usando o modelo de SCHNUTE, considerando 0 a 5 anos.....	69
17. Estimativas dos parâmetros de crescimento de von BERTALANFFY para os modelos retro-calculados de BPH (“body proportional hypothesis”) e SPH	

("scale proportional hypothesis"), calculados pelos métodos de BEVERTON plot (BP) e Ford Walford (FW), considerando 11 anéis de crescimento e 5 anos.....	72
18. Resultados encontrados pelo FiSAT, para $R_n = 0,146$. ■ Valores selecionados para o estudo de crescimento.....	74
19. Valores usados para o cálculo dos coeficientes de mortalidade e os coeficientes encontrados.	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Conjunto de oito regiões no plano $b \times a$, definido por quatro linhas. As linhas sólidas correspondem aos eixos a e b . A linha pontilhada paralela ao eixo a é definida por $b = 1$. A linha pontilhada diagonal, com inclinação negativa, corresponde à equação descrita (retirado de SCHNUTE, 1981).....	23
2. (a) Nível da água (NA) no rio Cuiabá e precipitação (PR), durante os meses de amostragem. (b) Relação entre estas duas variáveis. $n = 15$	37
3. (a) Nível da água (NA) do rio Cuiabá e precipitação (PR), durante os ciclos hidrológicos. (b) Relação entre estas duas variáveis. $n = 5$	38
4. (a) Estatísticas descritivas para o comprimento padrão (LS), e (b) para o peso total (WT). Caixa = média $\pm$ erro padrão da amostra. Barras verticais = máximo e mínimo. Os números acima ou abaixo das barras representam o tamanho da amostra (n).....	39
5. (a) Relação entre o peso total (WT) e o comprimento padrão (LS). (b) Esta mesma relação em escala logarítmica ($\ln$). $n = 1828$	39
6. (a) Valores dos coeficientes a e b encontrados através da relação entre o peso total e o comprimento padrão. $n = 1828$. (b) Correlação entre estes coeficientes. $n = 15$	41
7. Fator de condição médio (ponto) por meses de amostragem e respectivos erros padrões da média (barras verticais). (a) K_r = fator de condição relativo. (b) K_a	

- = fator de condição alométrico. (c) K_F = fator de condição de Fulton. $n = 1828$44
8. Relação entre o fator de condição (K) e o comprimento padrão (LS), mostrando as respectivas retas e equações calculadas através da regressão linear. (a) K_r = fator de condição relativo. (b) K_a = fator de condição alométrico. (c) K_F = fator de condição de Fulton. $n = 1828$45
9. (a) Valores do fator de condição alométrico (K_a) e o nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, durante os meses de amostragem. (b) Correlação encontrada entre as duas variáveis. $n = 15$46
10. (a) Valores do fator de condição alométrico (K_a) e o nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, durante os ciclos hidrológicos. (b) Correlação encontrada entre as duas variáveis. $n = 5$46
11. Relações lineares entre: (a) $LF \times LS$; (b) $LT \times LF$; e (c) $LT \times LS$. LF = comprimento forcal. LS = comprimento padrão. LT = comprimento total.....47
12. Relações lineares entre: (a) $AC \times LT$; (b) $AC \times LF$; e (c) $AC \times LS$. AC = altura do corpo. LT = comprimento total. LF = comprimento forcal. LS = comprimento padrão.....48
13. Relações lineares entre $AC \times LS$ para fêmeas (a) e machos (b). AC = altura do corpo. LS = comprimento padrão.....49
14. (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio (ponto) por mês de amostragem e erro padrão da média (barra vertical). ▲ Meses onde ocorreu a formação do anel de crescimento. (b) O nível da água (NA) mensal no rio Cuiabá em Cuiabá/MT. $n = 1435$54

15. Mediana do incremento marginal (IM) mensal.....	54
16. (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio (ponto) por ciclo hidrológico e respectivos erros padrões da média (barras verticais). (b) O nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, por ciclo hidrológico. n = 1435.....	56
17. (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio por ciclo hidrológico e o fator de condição alométrico (K_a), n = 1435. (b) Correlação entre estas duas variáveis, n = 5.....	57
18. Distância média do último anel até a borda da escama mensal, para o número de anéis de 2 a 6. n = número de indivíduos.....	58
19. Distância média do último anel até a borda da escama por ciclo hidrológico, para o número de anéis de 2 a 6. n = número de indivíduos.....	58
20. Números de anéis e seus respectivos comprimentos padrões médios ($\bar{S}_{LS}$) por ciclo hidrológico.....	59
21. Curvas de crescimento de von BERTALANFFY, calculadas através do método de FORD-WALFORD. (a) LS x número de anéis. (b) LS x idade. (c) WT x número de anéis. (d) WT x idade. LS = comprimento padrão. WT = peso total. n = 1435.....	63
22. Curva de crescimento de von BERTALANFFY construída pelo método de BEVERTON plot. (a) 11 anéis. (b) 5 anos de idade. n = 1435.....	65
23. Curva de crescimento para a negativo e b maior que 1 (retirado de SCHNUTE, 1981).....	68
24. Relações entre o comprimento padrão (LS) e o raio total da escama (S_c), obtidos	

- pelo ajuste das variáveis aos modelos lineares: (a) $LS = c + d \cdot S_c$; e (b) $S_c = a + b \cdot LS$. Modelo multiplicativo: (c) $LS = a \cdot S_c^b$. Modelo exponencial: (d) $LS = a^{b \cdot S_c}$. $n = 1435$70
25. Médias calculadas para os dados de comprimento padrão (LS) retro-calculados nos modelos SPH e BPH, e aquelas observadas, agrupadas por número de anéis (a) e por classes de idade (b). $n = 5982$ para os modelos retro-calculados e 1435 para o observado.....71
26. Distribuição das classes de comprimento padrão (LS) em frequências absolutas. $n = 3205$73
27. Frequências mensais (%) do comprimento padrão ("Length") e as coortes encontradas, considerando os valores de $LS_{\infty} = 86$ cm, $k = 0,48 \text{ ano}^{-1}$, $C = 0,47$, $WP = 0,68$, $SL = 57,5$ cm, e $SS = 11$. $n = 3205$76
28. Curva de rendimento por recruta (Y/R) contra mortalidade por pesca (F), quando a mortalidade natural (M) é igual a $0,78 \text{ ano}^{-1}$, indicando a mortalidade por pesca ótima (F_{MSY}) e o rendimento por recruta máximo sustentável (MSY).....78
29. Inter-relações entre os movimentos migratórios dos peixes e o nível do rio Cuiabá, segundo FERRAZ DE LIMA (1986/1987). Médias mensais do nível do rio de 1976 a 1980.....89

RESUMO:

O estudo do crescimento de uma determinada espécie de peixe tem importância fundamental no manejo de seu estoque. O pacu ou pacu-caranha, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), é de grande importância para a pesca no Pantanal de Mato Grosso, Brasil. Os exemplares comercializados no mercado municipal da cidade de Cuiabá/MT foram amostrados durante 15 meses consecutivos (de abril/94 a junho/95). Cada exemplar era pesado e medido, e algumas escamas retiradas para a determinação da idade. Na época da reprodução, quando possível, foi anotado o sexo de alguns exemplares. Para a determinação da idade, os anéis de crescimento das escamas foram contados e medidas as distâncias entre o núcleo e a margem de cada anel, e entre o núcleo e a margem da escama. Pela análise do incremento marginal (IM) foi possível determinar a formação de dois anéis anuais, em setembro/94 (seca) e outro em fevereiro/95 (cheia), coincidindo com o período da migração reprodutiva e da migração trófica, respectivamente. Os modelos testados para a estimativa dos parâmetros de crescimento, de SCHNUTE e de von

BERTALANFFY, ambos pela regressão não linear, que utilizaram dados de comprimento padrão médio por idade, não convergiram para valores biologicamente satisfatórios. Em relação ao retro-cálculo, o modelo que melhor se ajustou aos dados observados foi o BPH (“Body Proportional Hypothesis” - Hipótese do corpo proporcional). O método da distribuição de frequência de comprimento, analisado pelo pacote FiSAT (ELEFAN I) foi mais adequado para a estimativa dos parâmetros de crescimento, resultando em $LS_{\infty} = 86$ cm e $k = 0,48 \text{ ano}^{-1}$, indicando assim um crescimento rápido. A aplicação do modelo de BEVERTON-HOLT (1957) resultou em $F_{\text{atual}} = 0,955 \text{ ano}^{-1}$ e em $F_{\text{MSY}} = 1,0 \text{ ano}^{-1}$ (quando $M = 0,78 \text{ ano}^{-1}$), indicando que a população desta espécie se encontra próxima de seu rendimento máximo sustentável. O índice de desempenho do crescimento (ϕ)’ foi igual a 3,55. A longevidade ($A_{0,95}$) calculada foi de 4,69 anos, indicando um ciclo de vida curto, sendo que t_0 calculado resultou em -1,55 anos. A taxa anual de sobrevivência (S) foi igual a 17,64%.

1 INTRODUÇÃO:

A produção e o consumo de peixes e outros organismos aquáticos têm sido historicamente vitais para o bem estar econômico e social de muitos países em desenvolvimento. A pesca (incluindo crustáceos, moluscos, e algas marinhas) é o quinto bem de consumo agrícola mais importante, baseado nas estatísticas agrícolas globais. Países em desenvolvimento capturam e produzem cerca de 52 milhões de toneladas anualmente, o que é mais da metade da produção global. É estimado que ao menos 50 milhões de pessoas estejam envolvidas na pesca de pequena-escala, e são tipicamente encontradas nas nações em desenvolvimento. Entretanto a maioria das populações de peixes, alvo das pescarias nestas nações, está super explorada, e assim a captura de muitas espécies está em declínio (SAILA; GALLUCCI, 1996).

Os recursos pesqueiros são renováveis mas limitados, e um dos principais objetivos da avaliação dos estoques é o de monitorar a pesca e proporcionar recomendações para a melhor exploração, de forma a alcançar um

rendimento máximo sustentável (SPARRE; VENEMA, 1997). Isso evitaria a ameaça de uma sobrepesca, que poderia conduzir, em casos menos extremos, a uma redução da captura em peso do estoque ou, em casos mais extremos, à extinção comercial ou biológica da espécie (BARTHEM, 1990).

Estudos sobre a idade e crescimento dos peixes são essenciais no manejo de recursos pesqueiros, por fornecerem estimativas da produção, tamanho do estoque, recrutamento e mortalidade da população de peixes (CASSELMAN, 1987). Os parâmetros de crescimento são valores numéricos numa equação, pelos quais se pode estimar o tamanho do corpo de um peixe quando ele atinge certa idade. Os parâmetros de mortalidade refletem a taxa com que os animais morrem, isto é o número de mortes por unidade de tempo (SPARRE; VENEMA, 1997).

A estimativa da equação que descreve a relação peso-comprimento de uma determinada espécie, tem importância fundamental no manejo do seu estoque pesqueiro, pois permite estimar o peso dos indivíduos através da medida de seus comprimentos, fornecendo informações sobre a biomassa da população estudada (SPARRE; VENEMA, 1997).

Uma das características mais interessantes do crescimento corporal dos peixes é a sua flexibilidade. Este crescimento parece ser essencialmente indeterminado, ou seja, é difícil determinar qual o limite máximo do tamanho característico de uma dada espécie (WEATHERLEY; GILL, 1987).

Uma forma de se determinar a idade dos Characiformes é através da análise de suas escamas. A reprodução ou a migração reprodutiva de

peixes, provoca uma desaceleração do crescimento e conseqüente formação de uma marca mais evidenciada nas escamas. Se o ato da desova ocorre em períodos bem definidos, tais marcas ou anéis podem ser utilizados para a determinação da idade (DOURADO *et al.*, 1971).

As escamas são usadas para a determinação da idade para muitas espécies de peixes e têm vantagens, que incluem facilidade de preparação, preservação e coleção sem sacrificar o peixe, e sua leitura pode ser feita sem técnicas sofisticadas, e portanto de baixo custo. Apresentam ainda, forma bidimensional, aumentando com o crescimento do peixe, o que é fundamental para os métodos de retro-cálculo (LAI *et al.*, 1996).

O retro-cálculo é definido como o processo de se determinar o tamanho que um indivíduo apresentou em uma idade passada, aumentando o número de informações que seriam derivadas de cada exemplar, contribuindo para monitorar a produção da biomassa de cada coorte. As medidas das distâncias de cada anel etário ao foco da escama, relacionadas ao tamanho dos indivíduos, fornecem estimativas do tamanho médio de uma determinada espécie em cada ano de vida (VAZZOLER, 1982). É uma ferramenta poderosa para o manejo da pesca, sendo possível identificar estações ou anos de crescimento mais rápido ou mais lento. Estas informações podem ser usadas para estabelecer correlações com fatores ambientais e fornecer dados básicos para construir modelos que predizem o crescimento (SMITH, 1983).

A curva de von BERTALANFFY (1938) tem sido muito utilizada para descrever o crescimento de várias espécies de peixes. Entretanto

existem muitos problemas no ajuste de uma curva de crescimento adequada que descreva as relações de tamanho x idade. SCHNUTE (1981) propôs um modelo de crescimento versátil com quatro parâmetros estáveis, na tentativa de resolver o problema. Este modelo engloba a maioria dos modelos de crescimento como casos especiais (QUINN; DERISO, 1999).

O pacu, pacu-caranha, ou caranha, ***Piaractus mesopotamicus*** (Holmberg, 1887), é uma espécie de peixe que pertence à família Characidae, subfamília Myleinae, anteriormente conhecida como ***Colossoma mitrei*** (Berg, 1895) (BRITSKI *et al.*, 1999). Esta espécie é de grande importância para a pesca na bacia do rio Paraguai, sendo uma das mais procuradas pelos pescadores amadores e profissionais, pelo seu valor comercial e sabor da sua carne. É muito utilizada na piscicultura e no repovoamento de reservatórios, sendo fácil a obtenção dos ovos, larvas e alevinos, pois a desova pode ser induzida através da hipofização. Muitas vezes esta espécie é cultivada para a produção do híbrido denominado tambacu, que resulta do seu cruzamento com o tambaqui, ***Colossoma macropomum*** Cuvier.

SILVA (1985) observa que esta espécie parece estar restrita à bacia Platina, podendo ser encontrada nos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e seus tributários. Porém, o manejo das populações de ***Piaractus mesopotamicus*** nesta bacia hidrográfica ainda é incipiente e empírico. Esta autora detectou ser esta espécie frugívora - onívora, dependendo da época do ano, quando estudou a alimentação de exemplares adultos no Pantanal Mato-grossense,

FERRAZ DE LIMA **et al.** (1984a, b e c) foram os pesquisadores que mais se aprofundaram no estudo da ecologia do pacu, apresentando dados relacionados à sua reprodução e crescimento, na bacia do rio Cuiabá. Estes autores detectaram que o tamanho médio da primeira maturação gonadal para fêmeas de pacu foi de 34 cm de comprimento total e com 42 cm, 100% das fêmeas da população estudada no Pantanal, estavam aptas a participar do processo reprodutivo. De acordo com CATELLA **et al.** (1998) o pacu encontra-se sobreexplorado, havendo uma sobrepesca sobre esta espécie no Pantanal Mato-grossense. A lei que determinava 40 cm como o tamanho mínimo de captura, foi modificada aumentando-o para 45 cm.

Em piscicultura, existem diversos estudos feitos sobre o pacu: CASTAGNOLLI; DONALDSON (1981); CHABALIN; FERRAZ DE LIMA (1988); CHABALIN **et al.** (1988); FERRAZ DE LIMA **et al.** (1988); MEROLA; SOUZA (1988); ROMAGOSA **et al.** (1988); FERRARI **et al.** (1990); LIMA **et al.** (1991); ANGELINI; PETRERE (1992); ANGELINI **et al.** (1992); ROMAGOSA **et al.** (1993a); ROMAGOSA **et al.** (1993b); SANTOS; SENHORINI (1993); e SILVA (1994). Além destes, FERRAZ DE LIMA **et al.** (1984c) compararam o comportamento do pacu em ambiente natural e artificial.

Outros estudos como o de marcação e recaptura de pacu em reservatórios (CESP, 1990) e parasitológicos (FERRAZ DE LIMA **et al.**, 1995) também já foram efetuados. CASTAGNOLLI; ZUIM (1985) e MENTON **et al.** (1989) apresentam um levantamento bibliográfico sobre os estudos feitos para

esta espécie.

No rio Paraguai e em seus afluentes existe uma grande quantidade e diversidade de peixes (SILVA, 1983), sendo o estoque pesqueiro do Pantanal Mato-grossense um dos maiores do mundo (CONCEIÇÃO; PAULA, 1986). Esta variedade e abundância se devem à grande extensão de água, proporcionando diversificados ambientes, tais como corixos, vazantes, baías, rios e córregos.

O Pantanal Mato-grossense é um complexo situado na bacia do rio Paraguai, que por sua vez é tributário do rio Paraná, fazendo parte da bacia do Prata. O Pantanal pode ser considerado uma das maiores regiões úmidas do globo, constituindo-se em um dos maiores sistemas contínuos de áreas inundáveis da América do Sul. Está localizado no centro do continente sul americano (1.500 km a oeste da costa do Atlântico), entre 13⁰ e 22⁰ de latitude Sul e entre 53⁰ e 61⁰ de longitude Oeste de Greenwich (TARIFA, 1986), perfazendo uma área de 140.000 km². O Pantanal está situado a 120 m acima do nível do mar, e sofre uma alternância de períodos de secas e enchentes.

O rio Cuiabá nasce na serra Azul, sendo o principal afluente do rio Paraguai. A partir de Santo Antônio do Leverger, este rio apresenta uma área de inundação com vários corixos, vazantes e baías, como a de Chacororé e Sinhá Mariana. Após esta região de lagoas, este rio apresenta águas alcalinas, com pH entre 8 e 9, e condutividade de 60 a 100µS/cm⁻¹ (Mourão *et al.*, 2000).

As alterações que vem sofrendo o Pantanal Mato-grossense,

devido às atividades antrópicas, poderiam levar à depleção das populações de peixes, e principalmente do pacu, que utiliza diversos habitats neste ecossistema. PETRERE (1989) constata que o gado foi introduzido no Pantanal há mais de 200 anos, com os animais pastando no campo praticamente sem controle sanitário e nos últimos 20 anos o platô da região está sendo desmatado, dando lugar à plantação de soja. Em consequência, os rios estão sendo assoreados. Além disso, os pesticidas estão sendo usados sem restrição, e mortes de grandes quantidades de peixes são comuns. O esgoto doméstico também é liberado sem tratamento no rio Cuiabá. Desta forma, os locais ideais para a alimentação e reprodução pelo pacu estão diminuindo de maneira acelerada e uma política para a conservação dessa espécie deve ser criada devido à importância comercial destes peixes para a população pantaneira (SILVA, 1985).

A biologia, dinâmica das populações e estrutura das comunidades dos peixes são pouco conhecidas no Pantanal. Isso dificulta a realização de um plano de manejo, que permitiria a melhor exploração dos estoques pesqueiros e a manutenção da biodiversidade da região (CATELLA, 1992). Existe um grande interesse no manejo da fauna do Pantanal e agências do Governo procuram os melhores meios para a exploração desta (ALHO, 1986).

Este trabalho tem como objetivo estudar os aspectos da dinâmica populacional do pacu, no Pantanal Mato-grossense, através de dados de idade e crescimento de indivíduos obtidos pela pesca comercial na bacia do rio Cuiabá, em Cuiabá/MT. Para a determinação da idade, aplicaram-se os métodos da leitura dos anéis de crescimento das escamas e da distribuição de frequência

das classes de comprimento. A relação peso - comprimento mensal e a equação do modelo de crescimento de von BERTALANFFY (1938) são calculadas para esta espécie. Com os resultados obtidos pretende-se auxiliar na proposição de técnicas de manejo pesqueiro para a conservação da espécie, assegurando sua preservação e a manutenção de seu estoque, baseando-se em dados biológicos cientificamente analisados e não em meras suposições especulativas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1 Nível da água e precipitação:

Os dados sobre o nível da água no rio Cuiabá durante o período de coleta foram obtidos na Capitania dos Portos em Cuiabá/MT, assim como os dados sobre a precipitação local neste mesmo período. Os meses do ano foram agrupados em quatro ciclos hidrológicos distintos (DA SILVA, 1990):

- Cheia: janeiro, fevereiro e março;
- Vazante: abril, maio e junho;
- Seca: julho, agosto e setembro;
- Enchente: outubro, novembro e dezembro.

O nível da água e a precipitação foram plotados por meses de amostragem e por ciclos hidrológicos, e feita uma correlação entre estas variáveis.

2.2 Amostragem dos peixes:

Os exemplares foram amostrados durante 15 meses consecutivos, de abr/94 a jun/95. Estes eram pescados em várias localidades da bacia do rio Cuiabá e comercializados no mercado municipal da cidade de Cuiabá/MT.

Os peixes eram pesados com vísceras, utilizando uma balança de 100g de precisão e medidos com fita métrica (cm). Foram tomados os seguintes dados dos exemplares amostrados:

- Comprimento total (LT): medida da ponta do focinho do peixe até o extremo da nadadeira caudal;
- Comprimento forcal (LF): medida da ponta do focinho até a forca da nadadeira caudal;
- Comprimento padrão (LS): distância da extremidade do focinho até o extremo da última vértebra;
- Altura do corpo (AC): distância da nadadeira dorsal até a nadadeira ventral; e
- Peso total (WT), quando possível, pois muitas vezes os peixes já se encontravam eviscerados.

No período reprodutivo, de set/94 a fev/95, o sexo de alguns exemplares, foi identificado, comprimindo-se o abdômen e observando se eram expelidos óvulos ou espermatozóides pela papila urogenital.

2.3 Relações biométricas:

2.3.1 Relação peso-comprimento:

Foram calculadas estatísticas descritivas para LS e WT, detectando-se o mínimo e o máximo dos dados, e calculando-se a média ($\bar{x}$), conforme eq. (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

Onde:

- X_i = valores observados de LS ou WT; e
- n = número de indivíduos amostrados.

O erro padrão da média ($s_{\bar{x}}$) foi calculado pela eq. (2).

$$s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} \quad (2)$$

Onde s é o desvio padrão, calculado pela eq. (3).

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (3)$$

A equação que descreve a relação entre WT x LS foi calculada para cada mês, para o total de indivíduos amostrados, e para machos e fêmeas em separado. Esta relação é expressa pela função potência, encontrada na eq. (4).

$$W = a.L^b \quad (4)$$

Onde:

- W = peso (g), variável dependente;
- L = comprimento (cm), variável independente;
- a e b = parâmetros estimados através da regressão

linear, após a transformação logarítmica dos dados.

O valor do coeficiente de regressão b, foi testado em relação a 3 (crescimento isométrico) ou diferente de 3 (crescimento alométrico), onde a hipótese nula $H_0: \beta = 3$ é avaliada examinando se o intervalo de confiança para β contém o valor 3. Se afirmativo, pode-se aceitar a hipótese nula, dependendo da consideração do poder do teste. Se aceitável, então o modelo de crescimento isométrico é ajustado (QUINN; DERISO, 1999). Para testar se o valor de b é diferente de 3, foi usada a estatística t, eq. (5).

$$t_b = \frac{b - \beta}{s_b} \approx \frac{b - 3}{s_b} \quad (5)$$

Onde s_b representa o desvio de b, conforme eq. (6).

$$s_b = \sqrt{\frac{s_{yx}^2}{\sum x^2}} \quad (6)$$

Sendo $x = X_i - \bar{X}$, e representa o desvio de cada observação em relação à sua média.

A variância da regressão (s_{yx}^2) foi calculada pela eq. (7).

$$s_{yx}^2 = \frac{\sum d_{yx}^2}{n - 2} \quad (7)$$

Sendo que $\sum d_{yx}^2$ é calculado pela eq. (8).

$$\sum d_{yx}^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2} \quad (8)$$

Onde:

- $\sum y^2$, $\sum xy$ e $\sum x^2$ são a soma dos quadrados dos desvios da relação $\ln WT \times \ln LS$;

- $\ln LS$ = logaritmo neperiano do comprimento padrão (LS);

- $\ln WT$ = logaritmo neperiano do peso total (WT);

- n = número de exemplares utilizados; e

- b = coeficiente angular da relação $\ln WT \times \ln LS$.

O t_b calculado é então comparado ao t_b tabelado da tabela t de Student (se n é maior que 120, então o t tabelado é igual a 1,96 quando $\alpha = 5\%$ e 2,58 quando $\alpha = 1\%$):

- Se t_b é positivo e significativo, implica que o crescimento é alométrico positivo e b é maior que 3, ou seja o peixe se torna mais largo enquanto cresce;

- Se t_b é negativo e significativo, implica que o crescimento é alométrico negativo e b é menor que 3, ou seja o peixe se torna mais comprido enquanto cresce; e

- Se t_b não for significativo implica que o crescimento é isométrico e b é estatisticamente igual a 3, sendo o crescimento proporcional, sem

maior expansão do comprimento ou da altura (espessura).

A oscilação dos coeficientes a e b , estimados pelas equações das relações encontradas para WT x LS mensais, foi observada através da plotagem mensal destes valores. Foi também calculada a correlação entre estes dois coeficientes.

Os valores para a equação da relação W x L, também foram calculados para os comprimentos total (LT) e forcal (LF).

2.3.2 Fator de condição (K):

Foram calculados os seguintes fatores de condição:

- Fator de condição de Fulton (K_F), adaptado para ser usado com o sistema métrico (WEATHERLEY; GILL, 1987), eq. (9).

$$K_F = (WT / LS^3) \times 10^2 \quad (9)$$

- Fator de condição relativo (K_r), eq. (10).

$$K_r = WT / a.LS^b \quad (10)$$

- Fator de condição alométrico (K_a), eq. (11).

$$K_a = WT / LS^b \quad (11)$$

Onde:

- WT = peso total (g);
- LS = comprimento padrão (cm);

- b = coeficiente angular da relação $\ln WT \times \ln LS$; e
- a = logaritmo neperiano do intercepto da regressão linear entre $\ln WT \times \ln LS$.

Estes foram estimados para os meses estudados, no intuito de se compreender a variação sazonal das condições físicas dos peixes. Foram utilizados os coeficientes a e b estimados em cada mês na relação $WT \times LS$.

2.3.3 Outras relações biométricas:

Outras relações biométricas foram calculadas para *Piaractus mesopotamicus* através da análise de correlação: $LF \times LS$; $LF \times LT$; $LS \times LT$; $AC \times LT$; $AC \times LF$; $AC \times LS$; $AC \times LS$ (f); e $AC \times LS$ (m). Onde:

- LT = Comprimento total (cm);
- LF = Comprimento forcal (cm);
- LS = Comprimento padrão (cm);
- AC = Altura do corpo (cm);
- f = fêmea; e
- m = macho.

Para detectar se haviam diferenças da altura do corpo (AC) entre machos e fêmeas, foi usado o modelo geral linear do pacote estatístico SYSTAT (1997), utilizando-se dos seguintes comandos:

- MGLH

- CATEGORY SEXO / EFFECT
- MODEL AC = CONSTANT + LS + SEXO + LS . SEXO
- ESTIMATE

Se a interação entre a covariável LS e a categoria sexo fosse significativa, isto implicaria que as retas são concorrentes; caso contrário, são paralelas ou coincidentes.

2.4 Estrutura etária:

2.4.1 Leitura dos anéis de crescimento:

As escamas foram removidas dos exemplares medidos, com uma pinça, do lado esquerdo, abaixo da linha lateral e da nadadeira peitoral (FERRAZ DE LIMA *et al.*, 1984b). No envelope plástico, em que se guardaram as escamas de cada indivíduo, foi anotado o número do exemplar e a data da coleta. Os envelopes foram acondicionados no freezer até a montagem das lâminas.

Através de um conjunto de placas de Petri, com diferentes soluções, as escamas foram limpas e as lâminas montadas da seguinte forma (modificado de VAZZOLER, 1982):

1. Lavar as escamas em água destilada e detergente, separando as boas (foco e anéis bem formados), das regeneradas (sem foco).
2. Selecionar as mais perfeitas (máximo de seis) para a

leitura e enxaguá-las com água destilada;

3.Mergulhá-las em solução de hidróxido de potássio (KOH) a 4%, limpá-las com um pincel e enxaguá-las com água destilada;

4.Imergi-las em solução de fenol a 10%, para evitar o desenvolvimento de fungos e outros microorganismos, e depois na água destilada;

5.Fixar cada escama, entre duas lâminas de vidro, deixando a face da escama que estava voltada para o peixe, voltada para a lâmina inferior;

6.Unir as duas lâminas com fita adesiva por toda a sua extremidade; e

7.Rotular a lâmina de cima, em sua extremidade esquerda, com indicação do número do exemplar e da data de coleta. O rótulo deve ser mantido em posição constante, para que, no caso de serem colocadas escamas de mais de um exemplar numa mesma lâmina, ter-se orientação do sentido da leitura, que deve ser da esquerda para a direita.

As lâminas foram levadas à lupa que estava acoplada a uma câmara de vídeo, para a contagem e medidas dos anéis de crescimento (aparelho MFK II). As distâncias do foco até cada anel de crescimento e até a margem da escama foram medidas em um ângulo de 90° em relação ao foco. A determinação da idade dos indivíduos, foi feita através da contagem do número de anéis da escama de cada exemplar.

As lâminas foram lidas duas vezes, independentemente. Os

indivíduos em que as duas leituras não coincidiram, foram analisados pela terceira vez. Só os exemplares em que pelo menos duas leituras coincidiram, em relação ao número de anéis, foram considerados nos cálculos.

2.4.2 Validação dos anéis de crescimento:

Independente da facilidade ou dificuldade na leitura dos anéis nas estruturas calcificadas, os anéis devem ser validados para a determinação da idade. Neste estudo a validação foi feita por um método indireto, ou seja, através da análise do incremento marginal (IM) da escama. Para isto, utilizou-se a eq. (12) descrita em LAI *et al.* (1996).

$$IM = (S_c - s_i) / (s_i - s_{i-1}) \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:

- S_c = raio total da escama;
- s_i = raio do último anel; e
- s_{i-1} = raio do penúltimo anel.

Depois de aplicado o teste de Bartlett de homogeneidade de variâncias, que faz parte da suposição da ANOVA, as diferenças entre os IM foram testadas através da análise de variância, de duas formas: entre meses e entre ciclos hidrológicos, sendo IM a variável dependente e meses ou o ciclo hidrológico o fator de variação. Para detectar diferenças entre as médias mensais foi usado o procedimento *a posteriori* LSD.

Foi plotada a mediana dos valores mensais do IM, para se detectar a formação dos anéis de crescimento (PETRERE¹). O IM foi comparado ao fator de condição alométrico (K_a), nos ciclos hidrológicos para se verificar a condição do peixe na época de formação do anel de crescimento.

Depois dos indivíduos serem separados em classes de acordo com o número de anéis encontrados, foram construídos gráficos da distância do último anel até a borda, por mês de amostragem em cada classe. Isto foi feito na tentativa de se visualizar a época de formação dos anéis.

Os anéis de crescimento foram validados também pela metodologia descrita por VAZZOLER (1982), plotando-se os comprimentos padrões médios para cada grupo de indivíduos com o mesmo número de anéis na ordenada e na abscissa os ciclos hidrológicos. Quando na sequência, houver queda no valor do comprimento médio para um grupo do mesmo número de anéis, implica que nesse intervalo de tempo ocorreu a formação de um novo anel.

2.5 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento:

A equação de crescimento de von BERTALANFFY (1938) foi calculada estimando-se os parâmetros da eq. (13).

$$L_t = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t - t_0)}) \quad (13)$$

Onde:

¹ PETRERE Jr., M. (Instituto de Biociências, UNESP - Rio Claro/SP). Comunicação pessoal, 2000.

- L_t = comprimento na idade t ;
- L_∞ = comprimento nominal (assintótico) quando a idade aumenta indefinidamente;
- e = base dos logaritmos naturais;
- k = coeficiente de crescimento;
- t = idade; e
- t_0 = idade nominal do peixe em que seu comprimento é zero.

A eq. (13) foi calculada para os comprimentos padrão e total. O crescimento em peso foi calculado a partir da eq. (13) e da eq. (4), sendo expressa pela eq. (14).

$$W_t = W_\infty \cdot \left(1 - e^{-k \cdot (t - t_0)}\right)^b \quad (14)$$

Onde:

- W_t = peso na idade t ;
- W_∞ = peso nominal (assintótico) quando a idade aumenta indefinidamente; e
- b = coeficiente da relação peso - comprimento.

2.5.1 Método de FORD-WALFORD:

Uma das maneiras de se estimar os parâmetros de crescimento é através do método de FORD-WALFORD (RICKER, 1975). Esse

consiste em uma linearização entre L_t e L_{t+1} , como mostra a eq. (15).

$$L_{t+1} = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k}) + e^{-k} \cdot L_t \quad (15)$$

$$y = A + B \cdot x$$

Usando o método dos mínimos quadrados, foram calculados os estimadores A e B, e com eles estimados k pela eq. (16) e L_{∞} pela eq. (17).

$$B = e^k \therefore k = \ln B \quad (16)$$

$$L_{\infty} = \frac{A}{1 - B} \quad (17)$$

A partir de k e L_{∞} calcula-se t_0 pelas eq. (18) e eq. (19).

$$t_0 = t + \frac{1}{k} \ln \left(\frac{L_{\infty} - L_t}{L_{\infty}} \right) \quad (18)$$

$$\bar{t}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_0^{(n)}}{n} \quad (19)$$

Devido ao fato de não se poder calcular intervalos de confiança para k e L_{∞} porque L_{t+1} e L_t não são independentes, devem-se usar os valores encontrados, como valores iniciais, na regressão não linear, para estimar os parâmetros de crescimento com maior precisão (PETRERE¹). Para isso foi utilizado o programa SYSTAT (1997).

2.5.2 Método de BEVERTON plot:

Outro método utilizado para se estimar os parâmetros da

equação de crescimento de von BERTALANFFY foi através de BEVERTON plot (PETRERE, 1983), expresso pela eq. (20).

$$-\ln\left(\frac{L_{\infty} - L_t}{L_{\infty}}\right) = -k.t_0 + k.t \quad (20)$$

$$y = A' + B'.x$$

Onde:

- A' = intercepto;
- B' = coeficiente angular;
- $k = B'$; e
- $t_0 = -A'/B'$

L_{∞} foi calculado através de informações sobre o maior peixe já encontrado. De acordo com FERRAZ DE LIMA², o maior pacu capturado na bacia do rio Cuiabá, alcançou o peso de 16.000 g. Considerando este peso como W_{∞} , ele foi transformado pela eq. (4) em L_{∞} , remanejando os termos como mostra a eq. (21).

$$L_{\infty} = \left(\frac{W_{\infty}}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (21)$$

² FERRAZ DE LIMA, J.A. (IBAMA - Cuiabá/MT). Comunicação pessoal, 2000.

2.5.3 Modelo de SCHNUTE (1981):

Para se detectar qual a curva de crescimento que melhor se ajusta para a espécie, foi utilizado o modelo não linear de SCHNUTE (1981). Neste modelo, as constantes a e b (diferentes daquelas encontradas para a relação $W \times L$) podem estar posicionadas em diferentes partes de um gráfico, levando a diferentes curvas de crescimento (Figura 1).

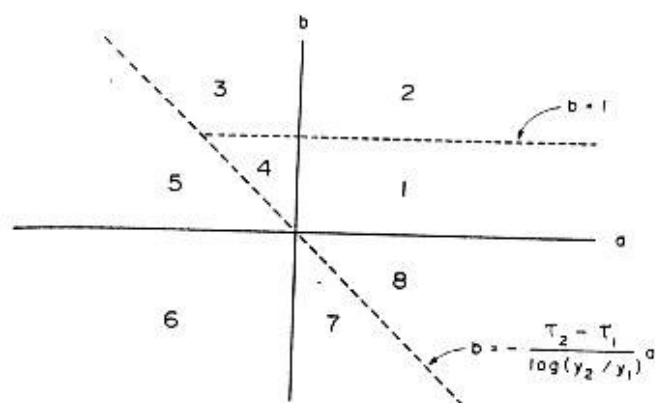


Figura 1: Conjunto de oito regiões no plano $b \times a$, definido por quatro linhas. As linhas sólidas correspondem aos eixos a e b . A linha pontilhada paralela ao eixo a é definida por $b = 1$. A linha pontilhada diagonal, com inclinação negativa, corresponde à equação descrita (retirado de SCHNUTE, 1981).

Os parâmetros a e b descrevem a forma da curva de crescimento, podendo ser positivos, negativos ou zero. O parâmetro a está relacionado com a declividade da curva e sua unidade é t^{-1} . O parâmetro b é

adimensional. Os valores iniciais de a e b são definidos de acordo com o que se possa ajustar melhor aos dados (WALTER, 1997). Para este trabalho, foi considerada a eq. (22) para a estimativa dos parâmetros de crescimento, pois a e b resultaram diferentes de zero:

$$\gamma_t = \left\{ \gamma_1^b + (\gamma_2^b - \gamma_1^b) \left(\frac{1 - e^{-a \cdot (t - \tau_1)}}{1 - e^{-a \cdot (\tau_2 - \tau_1)}} \right) \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (22)$$

Onde:

- γ_t = medida de um indivíduo na idade t ;
- t = idade;
- τ_1 = idade pré-fixada de um indivíduo jovem;
- τ_2 = idade pré-fixada de um indivíduo velho;
- γ_1 = medida de um indivíduo na idade τ_1 ;
- γ_2 = medida de um indivíduo na idade τ_2 ; e
- a e b = parâmetros estimados na regressão não linear.

Os dois pontos, τ_1 e τ_2 , são especificados pelo pesquisador, podendo ser a idade observada do indivíduo mais jovem e do mais velho (QUINN; DERISO, 1999). Esta equação foi calculada através do programa STATISTICA (STATSOFT, 1996) no modelo não linear, com valores iniciais de γ_1 , γ_2 , a e b , e o modelo fornecendo os valores estimados finais destes quatro parâmetros após uma série de iterações.

Os valores estimados de γ_1 , γ_2 , a e b foram transformados nos parâmetros de crescimento dos modelos tradicionais, sendo que $a = k$. O

cálculo de γ_∞ ($= LS_\infty$) foi efetuado através da eq. (23), e de τ_0 ($= t_0$) pela eq. (24), levando em consideração que a e b são diferentes de zero.

$$\gamma_\infty = \left[\frac{e^{a \cdot \tau_2} \cdot \gamma_2^b - e^{a \cdot \tau_1} \cdot \gamma_1^b}{e^{a \cdot \tau_2} - e^{a \cdot \tau_1}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (23)$$

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \cdot \ln \left[\frac{e^{a \cdot \tau_2} \cdot \gamma_2^b - e^{a \cdot \tau_1} \cdot \gamma_1^b}{\gamma_2^b - \gamma_1^b} \right] \quad (24)$$

A idade em que o crescimento atinge o ponto de inflexão da curva (τ^*) é expressa pela eq. (25).

$$\tau^* = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \cdot \ln \left[\frac{b \cdot (e^{a \cdot \tau_2} \cdot \gamma_2^b - e^{a \cdot \tau_1} \cdot \gamma_1^b)}{\gamma_2^b - \gamma_1^b} \right] \quad (25)$$

Os valores iniciais: para γ_1 e γ_2 (LS_1 e LS_2) são os comprimentos padrões médios das classes etárias de τ_1 e τ_2 . Para a e b utilizou-se diferentes valores iniciais, seguindo-se o procedimento de WALTER (1997).

2.5.4 Retro-cálculo:

Para retro-calcular o comprimento padrão em idades passadas, através das marcas dos anéis de crescimento, foi obtida a medida da distância do foco até cada anel etário nas escamas dos peixes amostrados. Esta medida está relacionada com o tamanho dos indivíduos e fornece estimativa do tamanho médio desta espécie em cada anel lido, na época de sua formação. Usando este método foi possível estimar o comprimento das classes etárias dos

exemplares quando mais jovens, difíceis de serem comercializados no mercado, devido à lei vigente na época, em que o tamanho mínimo de captura deveria ser de 40 cm.

O melhor ajuste da relação entre o comprimento padrão (LS - cm) e o raio total da escama (S_c - mm) foi testado através de 4 modelos (FRANCIS, 1990 e VIEIRA, 1999), eq. (26 a 29).

Linear	$S_c = a + b \cdot LS$	Regressão linear:	$S_c \times LS$	(26)
--------	------------------------	-------------------	-----------------	------

Linear	$LS = c + d \cdot S_c$	Regressão linear:	$LS \times S_c$	(27)
--------	------------------------	-------------------	-----------------	------

Exponencial	$LS = c^{d \cdot S_c}$	Regressão linear pela origem:	$\log_{10} LS \times S_c$	(28)
-------------	------------------------	-------------------------------	---------------------------	------

Multiplicativo	$LS = c \cdot S_c^d$	Regressão linear:	$\log_{10} LS \times \log_{10} S_c$	(29)
----------------	----------------------	-------------------	-------------------------------------	------

Sendo a e c os interceptos, e b e d as inclinações das retas, constantes estimadas através da regressão linear. Foram feitas as respectivas transformações dos dados para cada modelo, como indicado acima.

De acordo com os resultados encontrados para o retro-cálculo, foram utilizadas as constantes a e c, e b e d, estimadas através dos modelos lineares $S_c \times LS$ e $LS \times S_c$. Isto foi feito, por que de acordo com FRANCIS (1990), estas constantes se ajustam às hipóteses da escama proporcional - SPH ("Scale Proportional Hypothesis"), e do corpo proporcional - BPH ("Body Proportional Hypothesis"), respectivamente, definidas por este autor como as duas melhores hipóteses para se efetuar o retro-cálculo.

Para se testar a hipótese do SPH foi utilizada a eq. (30) (HILE, 1941 citado por FRANCIS, 1990).

$$L_i = -\left(\frac{a}{b}\right) + \left(LS + \frac{a}{b}\right) \left(\frac{S_i}{S_c}\right) \quad (\text{SPH}) \quad (30)$$

Onde:

- L_i = comprimento padrão do peixe retro-calculado em cada anel;
- a e b = estimados pela regressão linear entre S_c x LS ;
- LS = comprimento padrão do peixe na captura;
- S_i = distância do foco até cada anel; e
- S_c = raio da escama.

Para se testar a hipótese do BPH foi utilizada a eq. (31)

(WHITNEY; CARLANDER, 1956 citado por FRANCIS, 1990):

$$L_i = \left[\frac{(c + d.S_i)}{(c + d.S_c)} \right] LS \quad (\text{BPH}) \quad (31)$$

Onde:

- c e d = estimados pela regressão linear entre LS x S_c .

Os tamanhos médios para cada anel retro-calculado foram comparados para se verificar a semelhança do ajuste entre estas duas hipóteses com os valores observados. Os estimadores da curva de crescimento de von BERTALANFFY (1938) foram calculados pelos métodos de FORD-WALFORD (RICKER, 1975) e BEVERTON plot (PETRERE, 1983). Com estes valores, aplicou-se a regressão não linear no programa SYSTAT (1997), para melhor estimativa destes parâmetros.

2.5.5 Freqüência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I):

Para a análise dos dados de comprimento, utilizou-se o programa FAO - ICLARM STOCK ASSESSMENT TOOLS (FiSAT - ver. 1.0), desenvolvido por pesquisadores da Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Fisheries Dept. Marine Resources Service e International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), cujo manual foi escrito por GAYANILO *et al.* (1994).

Este programa inclui o ELEFAN I, programa desenvolvido para a análise da distribuição de freqüências de comprimento. Esta rotina é usada para identificar a curva de crescimento (oscilando estacionalmente) que melhor se ajusta a um conjunto de dados de freqüência de comprimento, usando o valor de R_n (índice de ajuste) como critério. Esta rotina consiste de duas etapas básicas que são a reestruturação das freqüências de comprimento mensais e o ajuste de uma curva de crescimento (SPARRE; VENEMA, 1997).

LS_{∞} e k foram calculados através do comprimento padrão, no ELEFAN I do FiSAT. Isto foi feito por haver maior número de dados do comprimento padrão, já que muitas vezes o peixe apresentava a nadadeira caudal danificada.

Em um primeiro momento, a tabela com os dados reestruturados pelo ELEFAN I foi calculada, mostrando picos (positivos) e

depressões (negativas) do conjunto de dados de comprimento padrão que foram explorados. Na reestruturação dos dados, é efetuada a média corrida de 5 em 5 classes de comprimento, acentuando os picos e as depressões. Com os dados reestruturados, é traçada uma primeira curva e assim, é possível obter um índice de ajuste (R_n) pela eq. (32).

$$R_n = 10^{ESP/ASP} / 10 \quad (32)$$

Onde o ASP (“Aavailable Sum of Peaks”) é computado adicionando os melhores valores dos picos disponíveis e o ESP (“Explained Sum of Peaks”) é computado somando todos os picos e depressões que descrevem uma curva de crescimento, como mostra a eq. (33).

$$LP_t = LP_{\infty} \cdot \left(1 - e^{(-k \cdot (t-t_0) + S_s + S_{t_0})} \right) \quad (33)$$

Onde:

- $S_{ts} = (Ck/2\pi) \cdot \text{sen}(2\pi \cdot (t-t_s))$;
- $S_{t0} = (Ck/2\pi) \cdot \text{sen}(2\pi \cdot (t_0-t_s))$;
- LS_t = comprimento padrão no tempo t (cm);
- LS_{∞} = comprimento padrão assintótico (cm);
- k = coeficiente de crescimento (ano^{-1});
- t_0 = idade nominal na qual o comprimento é zero (ano);
- C = parâmetro de oscilação; e
- t_s = ponto de verão que indica a época de crescimento

mais rápido, a partir do qual se pode estimar WP (Winter Point), ou seja, época

em que o crescimento é mais lento ($WP = t_s + 0,5$).

No ELEFAN I, o parâmetro t_0 não é estimado. Para traçar a curva de crescimento é necessário fornecer as coordenadas de um ponto, através do qual a curva pode passar. Esta coordenada consiste de SS (“Starting Sample”) e de SL (“Starting Length”). Para ajustar a curva de crescimento, o programa fornece as opções abaixo:

1. “Curve fitting by eye”: são fornecidos valores fixos de L_∞ , k , C , WP e do ponto inicial (SS x SL). Gera um gráfico mostrando a curva de crescimento, definida por este conjunto de parâmetros e do ponto inicial, que se ajusta ao conjunto de dados de frequência de comprimento (L/F), detectando o índice de ajuste (R_n);
2. “Response surface analysis”: é fornecida uma faixa de valores para dois parâmetros (L_∞ e k) e valores fixos para os outros dois (C e WP), ou vice versa, com um ponto inicial fixo (SS e SL). O programa exibe uma matriz de 11 por 11, mostrando valores de R_n , onde os 10 melhores valores são destacados, capacitando a seleção da melhor combinação dos parâmetros de crescimento;
3. “Scan k values”: são fornecidos o L_∞ , C e WP fixos, com ou sem ponto inicial fixo. Gera um gráfico de valores de R_n para uma faixa de valores de k (0,10 a 10) em uma escala logarítmica. GAYANILO **et al.** (1994) recomendam o uso deste gráfico para todas as análises de crescimento, para assegurar uma estimativa confiável de k ;
4. “Automatic search routine”: se fornece valores para L_∞ ,

k , C e WP e os intervalos para que estes possam ser testados. Pode-se fixar o ponto inicial ($SS \times SL$) ou não. Esta rotina identifica a combinação dos parâmetros de crescimento associada com os mais altos valores de R_n obtidos sob condições especificadas (intervalos de procura = “step size”; valores semeados = “seed values”, etc).

5. “output of results”: rotina que facilita a saída dos resultados quando fornecidos os valores de L_∞ , k , C e WP e o ponto inicial para se traçar uma ou duas curvas de crescimento. É possível plotar os histogramas das freqüências de comprimento mensais com ou sem as curvas de crescimento superpostas. Fornece os gráficos de crescimento com os parâmetros de crescimento predefinidos superpostos nos dados de freqüência de comprimento.

O primeiro passo foi pouco explorado neste trabalho por ser subjetivo e difícil de acertar um melhor R_n por ajuste visual em um conjunto numeroso de dados. Cada um destes pontos (SS e SL respectivos) foi usado no “response surface analysis” com uma faixa de valores variando de $LS_\infty = 70$ a 100 cm, $k = 0,2$ a $0,5 \text{ ano}^{-1}$, $C = 0$ a 1 e $WP = 0$ a 1 . De acordo com os R_n encontrados neste passo, esta faixa de valores foi se estreitando, para que se conseguisse valores mais precisos com os melhores R_n possíveis, para cada pico detectado na tabela de valores transformados.

Com os valores encontrados, passou-se para a rotina seguinte, o “scan k values”. Como haviam sido detectados melhores R_n próximos de $0,130$, todos os conjuntos de parâmetros (LS_∞ , k , C e WP) com valores de R_n maiores que $0,130$ foram anotados e usados na rotina posterior, ou seja,

“automatic search routine”, utilizando-se em um primeiro momento de duas seqüências de passos exploratórios, sendo que a primeira variou para LS_{∞} de 1 e para k , C e WP de 0,1. Na segunda LS_{∞} variou de 0,5 e k , C e WP de 0,01. Em um segundo momento, na busca de melhores ajustes e com valores de R_n mais precisos, aqueles com R_n maiores que 0,137, foram utilizados nesta mesma rotina com passos que variaram para LS_{∞} de 0,1 e para k , C e WP de 0,001. Com este procedimento foi possível encontrar os melhores valores de R_n que se ajustavam aos dados.

Os melhores valores de LS_{∞} , k , C e WP encontrados em cada data analisada e seu respectivo R_n , foram tabelados e analisados através de estatísticas descritivas destes estimadores. Os gráficos de frequência de comprimento mensal e as curvas de crescimento ajustadas foram então traçadas, com o melhor conjunto dos parâmetros de crescimento estimados.

2.6 Estimativa dos coeficientes de mortalidade:

A taxa de mortalidade natural (M) foi estimada pela relação linear empírica de PAULY (1980 citado por SPARRE; VENEMA, 1997), eq. (34), utilizada pelo pacote FiSAT.

$$\ln M = -0,0152 - 0,279 \cdot \ln LS_{\infty} + 0,6543 \cdot \ln k + 0,463 \cdot \ln T \quad (34)$$

Onde:

- T = temperatura média anual do ar ($^{\circ}\text{C}$), que para o

período de coleta foi de 25,1°C, em Cuiabá/MT.

A mortalidade total (Z) foi calculada pela fórmula de SSENTONGO; LARKIN (1973), eq. (35).

$$Z = \frac{n.k}{n+1} \cdot \left(\ln \frac{LS_{\infty} - l_c}{LS_{\infty} - \bar{l}} \right)^{-1} \quad (35)$$

Onde:

- l_c = menor comprimento encontrado na amostra (cm);
- $\bar{l}$ = tamanho médio dos peixes maiores que l_c (cm); e
- n = tamanho da amostra.

A variância de Z/k foi estimada pela eq. (36) (SSENTONGO; LARKIN, 1973).

$$\text{var}(Z / k) = n.(n+1)^{-2} \cdot \left(\ln \frac{(LS_{\infty} - l_c)}{(LS_{\infty} - \bar{l})} \right)^{-2} \quad (36)$$

A mortalidade por pesca atual (F_{atual}), foi calculada de acordo com a eq. (37).

$$F_{\text{atual}} = Z - M \quad (37)$$

2.7 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957):

O rendimento por recruta (Y/R) foi calculado pela eq. (38) de BEVERTON-HOLT (1957):

$$\frac{Y}{R} = F \cdot e^{-M \cdot \eta} \cdot W_{\infty} \cdot \left[\frac{1}{Z} - \frac{3 \cdot e^{-k \cdot \eta}}{Z + k} + \frac{3 \cdot e^{-2 \cdot k \cdot \eta}}{Z + 2 \cdot k} - \frac{e^{-3 \cdot k \cdot \eta}}{Z + 3 \cdot k} \right] \quad (38)$$

Onde:

- Y = rendimento pesqueiro (kg);
- R = número de recrutas (anual);
- W_{∞} = peso assintótico; adotado como 16 kg;
- k = a taxa de crescimento (ano^{-1}), calculada pelo

ELEFAN I no programa FiSAT;

- F = mortalidade por pesca, que para traçar a curva foi considerada variando de 0,0 a 3,0;
- M = mortalidade natural; e
- Z = mortalidade total.

Como t_0 não foi calculado no método de frequência de comprimento utilizou-se do procedimento descrito por PETRERE (1983) para o cálculo de η , eq. (39).

$$\eta = -k^{-1} \cdot \ln(LS_{\infty} - l_0)/LS_{\infty} \quad (39)$$

A mortalidade por pesca ótima (F_{MSY}), foi encontrada pelo ponto mais alto da curva de BEVERTON-HOLT (1957), e o rendimento por recruta máximo

sustentável (MSY) foi obtido projetando-se este ponto (F_{MSY}) no eixo de Y/R (rendimento por recruta).

2.8 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência:

Os parâmetros de crescimento encontrados na literatura foram comparados aos resultados obtidos pelo índice de desempenho de crescimento ($\emptyset'$). Existe uma correlação significativa e negativa entre k e L_{∞} dentro de uma mesma espécie e este índice permite comparar simultaneamente os valores de k e L_{∞} , tendo sido calculado pela eq. (40) (PAULY, 1979 citado por SPARRE; VENEMA, 1997).

$$\emptyset' = \log_{10} k + 2 \cdot (\log_{10} L_{\infty}) \quad (40)$$

Sendo que k e L_{∞} foram estimados pelo programa FiSAT.

A longevidade para a espécie foi calculada pelo método de TAYLOR (1960), pela eq. (41).

$$A_{0,95} = t_0 + (2,996/k) \quad (41)$$

Sendo que t_0 foi calculado pela fórmula empírica de PAULY; MARTOSUBROTO (1980), eq. 42.

$$\log (-t_0) = 0,3922 - 0,2752 \cdot \log L_{\infty} - 1,038 \cdot \log k \quad (42)$$

A taxa de sobrevivência (S) (RICKER, 1975) mostra a porcentagem de indivíduos que sobreviveram de um ano para o outro e foi calculada pela eq. (43).

$$S = e^{-Z} \cdot 100 \quad (43)$$

Todos o testes estatísticos realizados neste trabalho foram considerados significativos se $P < 0,05$.

3 RESULTADOS:

3.1 Nível da água e precipitação:

Janeiro e fevereiro foram os meses com maior precipitação e onde o nível da água estava mais alto (Figura 2a). Calculou-se uma correlação positiva entre estas duas variáveis, com $r^2 = 0,52$ ($P < 0,01$) (Figura 2b).

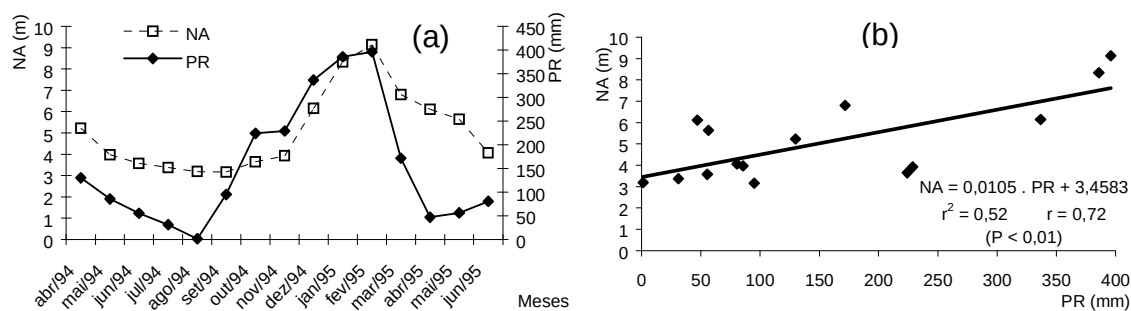


Figura 2: (a) Nível da água (NA) no rio Cuiabá e precipitação (PR), durante os meses de amostragem. (b) Relação entre estas duas variáveis. $n = 15$.

A curva do nível da água acompanha a da precipitação nos ciclos hidrológicos, como mostra a Figura 3a. A correlação entre estas variáveis é mostrada na Figura 3b.

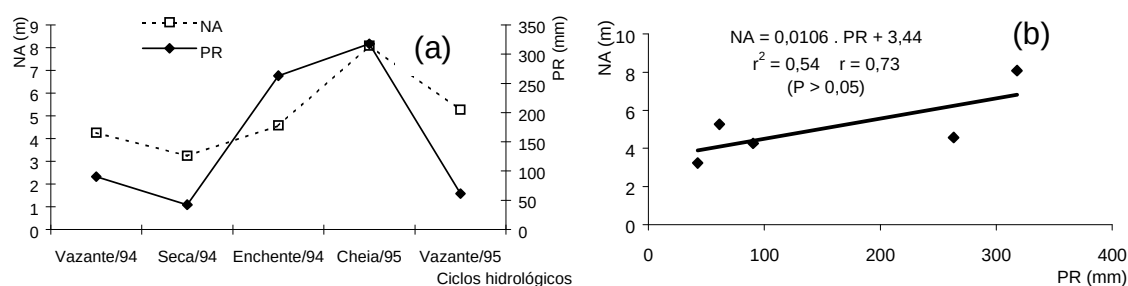


Figura 3: (a) Nível da água (NA) do rio Cuiabá e precipitação (PR), durante os ciclos hidrológicos. (b) Relação entre estas duas variáveis. $n = 5$.

3.2 Relações biométricas:

3.2.1 Relação peso-comprimento:

As estatísticas descritivas para LS (30,0 - 72,5 cm) e WT (800 - 7800 g) (Figuras 4a e b, respectivamente) mostram que os exemplares apresentaram comprimentos médios entre 40 e 45 cm, sendo os maiores encontrados em setembro/94. Em relação ao peso, os maiores valores foram encontrados em outubro/94, e as médias mensais variaram entre 2000 e 3500 g.

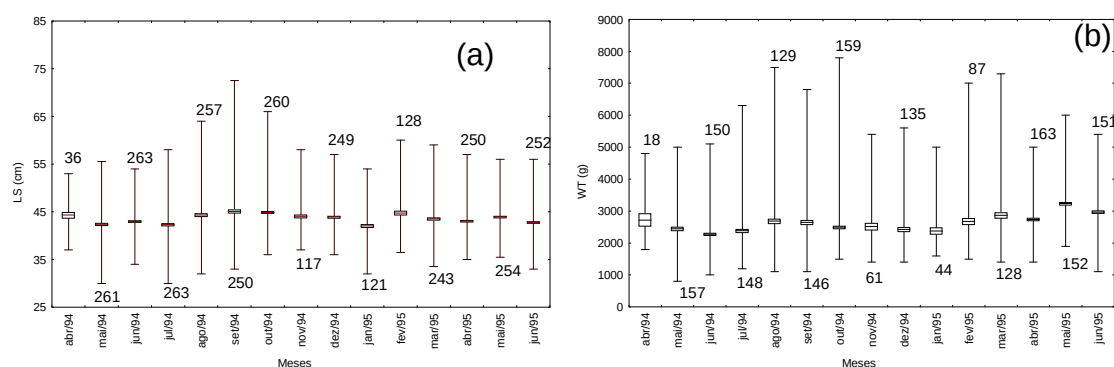


Figura 4: (a) Estatísticas descritivas para o comprimento padrão (LS), e (b) para o peso total (WT). Caixa = média $\pm$ erro padrão da amostra. Barras verticais = máximo e mínimo. Os números acima ou abaixo das barras representam o tamanho da amostra (n).

Na Figura 5a observa-se a curva que expressa a relação WT x LS para o pacu e na Figura 5b o ajuste linear pelo método dos mínimos quadrados, com os dados em escala logarítmica.

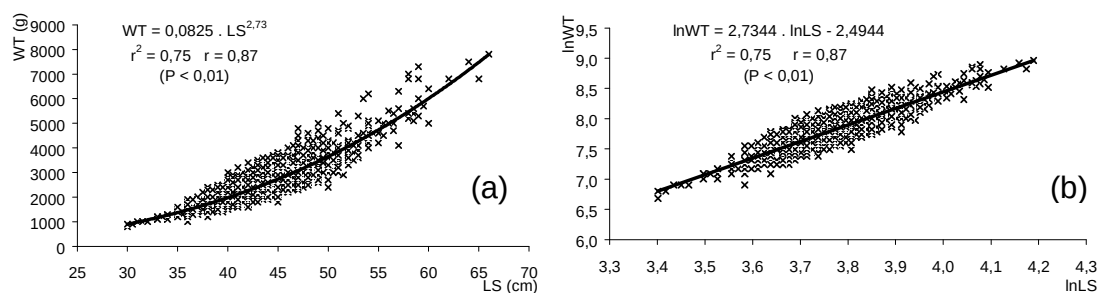


Figura 5: (a) Relação entre o peso total (WT) e o comprimento padrão (LS). (b) Esta mesma relação em escala logarítmica (ln). n = 1828.

As equações que descrevem a relação entre WT x LS calculadas para cada mês, considerando o total de peixes amostrados, e para machos e fêmeas em separado, são descritas na Tabela 1. Nesta tabela, também é apresentado o teste para o coeficiente b. Nota-se que para a maioria dos meses amostrados o crescimento foi isométrico, o mesmo ocorrendo para machos e fêmeas. Porém, quando os indivíduos foram analisados juntos, a equação resultou alométrica negativa.

Tabela 1: Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento padrão, por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.

Meses	A	$a = e^A$	B = b	r^2	N	SE	$t_{b \text{ calc}}$	$t_{b \text{ tab}}$	Teste de b
Abr/94	-2,8070	0,0604	2,8210	0,8894	18	0,0961	-0,72	2,11	Isométrico
Mai/94	-2,8082	0,0603	2,8084	0,9193	157	0,0940	-2,87	1,96	Alométrico -
Jun/94	-3,2073	0,0405	2,9061	0,8469	150	0,1008	-0,92	1,96	Isométrico
Jul/94	-2,5545	0,0777	2,7397	0,9079	148	0,0869	-3,59	1,96	Alométrico -
Ago/94	-2,8929	0,0554	2,8199	0,9565	129	0,0787	-3,38	1,96	Alométrico -
Set/94	-2,8255	0,0593	2,7978	0,9328	146	0,0862	-3,24	1,96	Alométrico -
Out/94	-3,6315	0,0265	2,9954	0,8598	159	0,0893	-0,05	1,96	Isométrico
Nov/94	-4,3717	0,0126	3,2072	0,9297	61	0,0830	1,80	2,00	Isométrico
Dez/94	-3,4688	0,0312	2,9557	0,8923	135	0,1003	-0,50	1,96	Isométrico
Jan/95	-3,3071	0,0366	2,9333	0,8567	44	0,0956	-0,36	2,02	Isométrico
Fev/95	-3,8949	0,0203	3,1026	0,8601	87	0,1131	0,76	1,99	Isométrico
Mar/95	-4,1199	0,0162	3,1981	0,9216	128	0,0834	2,39	1,96	Alométrico +
Abr/95	-2,7263	0,0655	2,8326	0,8268	163	0,0885	-1,64	1,96	Isométrico
Mai/95	-2,1461	0,1169	2,6904	0,7789	152	0,0926	-2,64	1,96	Alométrico -
Jun/95	-2,1556	0,1158	2,6952	0,8402	151	0,0887	-3,16	1,96	Alométrico -
Total	-2,4944	0,0825	2,7344	0,7519	1828	0,1488	-7,23	1,96	Alométrico -
Macho	-3,2243	0,0398	2,9033	0,8597	153	0,0973	-1,01	1,96	Isométrico
Fêmea	-3,3271	0,0359	2,9373	0,8477	72	0,1293	-0,42	2,38	Isométrico

A = intercepto, onde a é o número natural, **e**, elevado a A (e^A). B = b, sendo a inclinação da reta ou o coeficiente angular. r^2 = coeficiente de determinação. SE = erro padrão da estimativa. n = número de indivíduos amostrados. Últimas colunas = teste de alometria de b. $t_{b \text{ calc}}$ = t_b calculado. $t_{b \text{ tab}}$ = t_b tabelado e encontrado na tabela T de Student a P = 0,05 e bi-lateral (ZAR, 1984).

A oscilação dos coeficientes a e b estimados pelas relações

encontradas para WT x LS mensais, e a correlação entre estes dois estimadores, são mostrados nas Figuras 6a e b, respectivamente. Observa-se uma alta correlação negativa entre a e b, mostrando que não são independentes, fato pouco explorado na literatura.

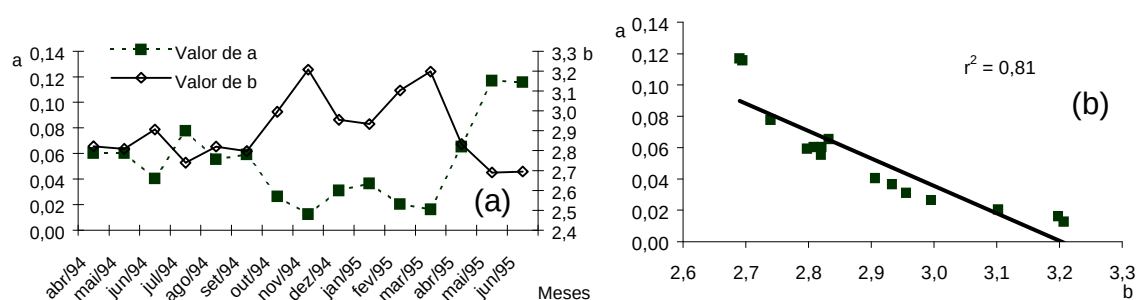


Figura 6: (a) Valores dos coeficientes a e b encontrados através da relação entre o peso total e o comprimento padrão. $n = 1828$. (b) Correlação entre estes coeficientes. $n = 15$.

Os valores da equação para a relação entre WT x LT e WT x LF são mostrados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2: Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento total por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.

Meses	A	$a = e^A$	B = b	r^2	n	SE	S^2_{yx}
Abr/94	-3,0972	0,0452	2,8010	0,8575	17	0,0947	0,0090
Mai/94	-3,8193	0,0219	2,9829	0,8969	156	0,1064	0,0113
Jun/94	-3,4356	0,0322	2,8833	0,8280	149	0,1070	0,0115
Jul/94	-2,9374	0,0530	2,7629	0,8939	145	0,0939	0,0088
Ago/94	-3,1606	0,0424	2,8131	0,9441	128	0,0893	0,0080
Set/94	-3,1644	0,0422	2,8097	0,9185	144	0,0953	0,0091
Out/94	-3,3610	0,0347	2,8533	0,8577	157	0,0897	0,0080
Nov/94	-4,1486	0,0158	3,0640	0,9083	61	0,0948	0,0090
Dez/94	-3,9908	0,0185	3,0037	0,8624	129	0,1119	0,0125
Jan/95	-4,1142	0,0163	3,0518	0,8264	44	0,1053	0,0111
Fev/95	-4,4928	0,0112	3,1736	0,8370	80	0,1237	0,0153
Mar/95	-4,7913	0,0083	3,2932	0,8934	111	0,1007	0,0101
Abr/95	-3,2787	0,0377	2,9053	0,8085	156	0,0933	0,0087
Mai/95	-2,0739	0,1257	2,6066	0,7501	149	0,0989	0,0098
Jun/95	-2,8710	0,0566	2,8126	0,8330	151	0,0906	0,0082
Total	-2,5988	0,0744	2,6878	0,6999	1777	0,1640	0,0269
Macho	-3,2684	0,0381	2,8314	0,7902	148	0,1167	0,0136
Fêmea	-3,3548	0,0349	2,8648	0,808	62	0,1389	0,0193

A = intercepto, onde a é o número natural, e, elevado a A (e^A). B = b, sendo a inclinação da reta ou o coeficiente angular. r^2 = coeficiente de determinação. SE = erro padrão da estimativa. n = número de indivíduos amostrados. S^2_{yx} = variância da regressão.

Tabela 3: Parâmetros estimados na regressão linear para a relação peso total x comprimento forcal, por mês, total de indivíduos, e machos e fêmeas.

Meses	A	$a = e^A$	B = b	r^2	n	SE	S^2_{yx}
Abr/94	-3,4089	0,0331	2,9327	0,8661	18	0,1057	0,0112
Mai/94	-3,6164	0,0269	2,9806	0,9232	157	0,0916	0,0084
Jun/94	-3,7901	0,0226	3,0138	0,8406	151	0,1056	0,0112
Jul/94	-2,7226	0,0657	2,7408	0,8899	142	0,0955	0,0091
Ago/94	-3,2693	0,0380	2,8745	0,9626	129	0,0730	0,0053
Set/94	-3,3496	0,0351	2,8903	0,9189	147	0,0946	0,0090
Out/94	-3,5924	0,0275	2,9417	0,8725	159	0,0851	0,0072
Nov/94	-4,8859	0,0076	3,2862	0,9315	61	0,0819	0,0067
Dez/94	-3,9830	0,0186	3,0365	0,8835	135	0,1043	0,0109
Jan/95	-4,5128	0,0110	3,1909	0,8731	44	0,0900	0,0081
Fev/95	-4,3448	0,0130	3,1727	0,8242	87	0,1268	0,0161
Mar/95	-4,6767	0,0093	3,2987	0,9189	128	0,0848	0,0072
Abr/95	-3,3247	0,0360	2,9484	0,8233	163	0,0893	0,0080
Mai/95	-2,7410	0,0645	2,8074	0,7891	152	0,0905	0,0082
Jun/95	-2,9141	0,0543	2,8543	0,8398	151	0,0888	0,0079
Total	-2,7608	0,0632	2,7608	0,7261	1824	0,1567	0,0246
Macho	-3,4882	0,0306	2,9206	0,8190	154	0,1101	0,0121
Fêmea	-3,5447	0,0289	2,9453	0,8055	66	0,1405	0,0197

A = intercepto, onde a é o número natural, e, elevado a A (e^A). B = b, sendo a inclinação da reta ou o coeficiente angular. r^2 = coeficiente de determinação. SE = erro padrão da estimativa. n = número de indivíduos amostrados. S^2_{yx} = variância da regressão.

3.2.2 Fator de condição (K):

O índice Kr mostrou pouca variação entre as médias durante os meses amostrados, embora apresente o erro padrão da média maior (Figura 7a). Ka e KF apresentaram maior variação entre as médias, com pequeno erro padrão, durante o período de estudo (Figuras 7b e c).

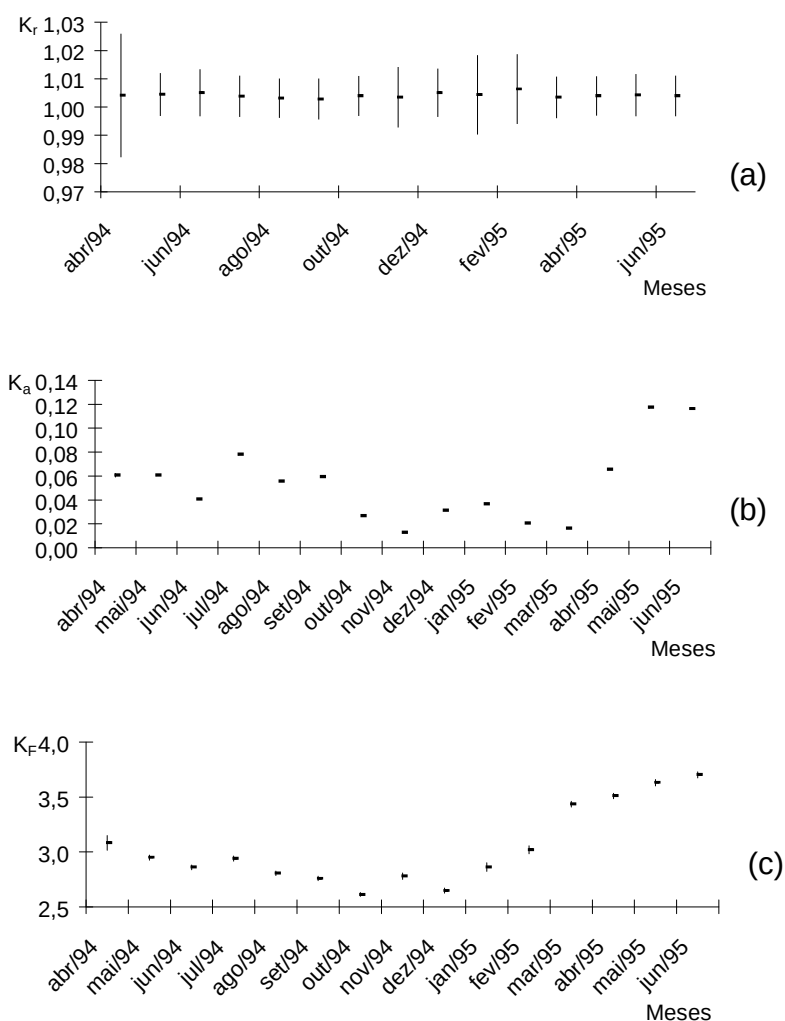


Figura 7: Fator de condição médio (ponto) por meses de amostragem e respectivos erros padrões da média (barras verticais). (a) K_r = fator de condição relativo. (b) K_a = fator de condição alométrico. (c) K_F = fator de condição de Fulton. $n = 1828$.

K_r , K_a e K_F foram relacionados ao LS, através da regressão linear. Nota-se uma ausência de correlação nestas relações (Figuras 8a, b e c).

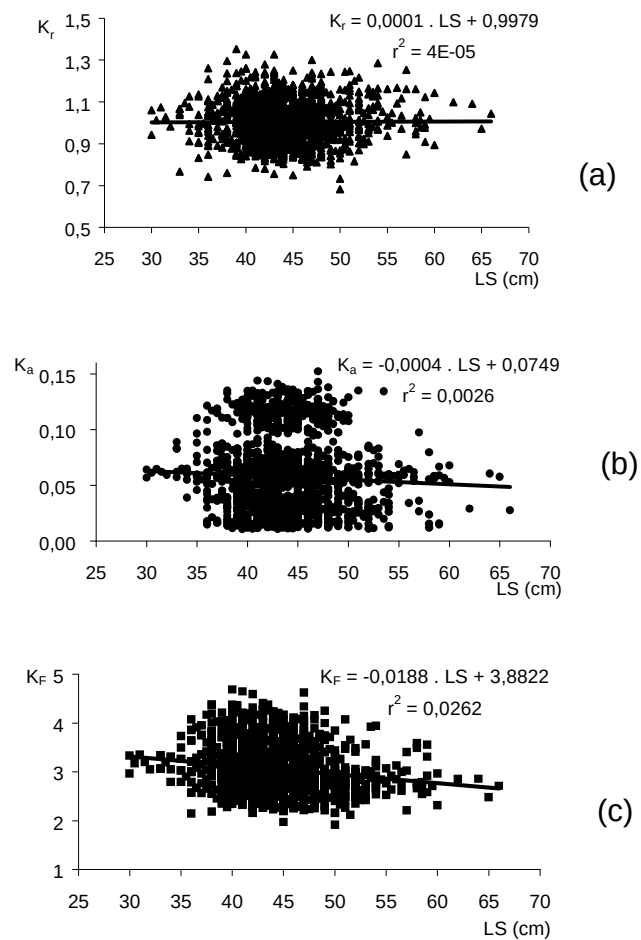


Figura 8: Relação entre o fator de condição (K) e o comprimento padrão (LS), mostrando as respectivas retas e equações calculadas através da regressão linear. (a) K_r = fator de condição relativo. (b) K_a = fator de condição alométrico. (c) K_F = fator de condição de Fulton. $n = 1828$.

O fator de condição alométrico (K_a) foi comparado com o nível da água do rio Cuiabá, nos meses amostrados (Figura 9a). Observam-se valores mais baixos do fator de condição nas épocas do ano em que o nível da água é mais alto. A Figura 9b mostra que, surpreendentemente, não há

correlação entre K_a e o nível da água.

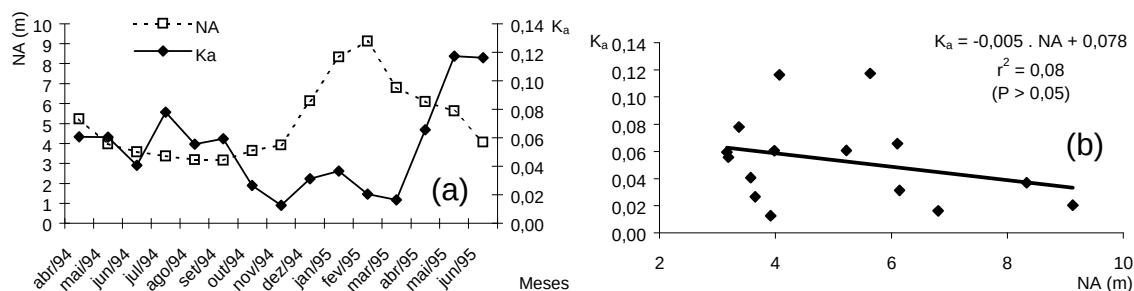


Figura 9: (a) Valores do fator de condição alométrico (K_a) e o nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, durante os meses de amostragem. (b) Correlação encontrada entre as duas variáveis. $n = 15$.

Esta mesma análise foi efetuada para os períodos hidrológicos (Figuras 10a e b). com resultados semelhantes.

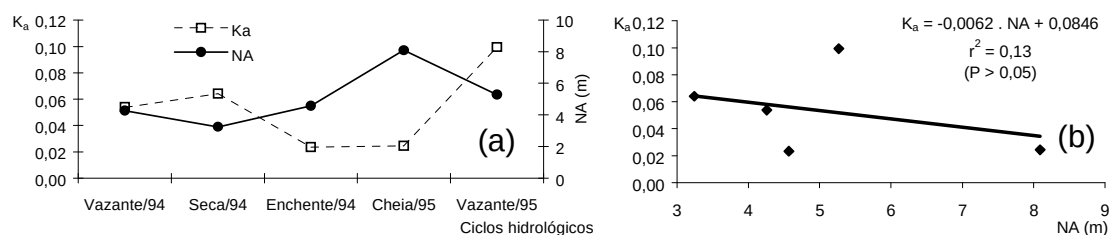


Figura 10: (a) Valores do fator de condição alométrico (K_a) e o nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, durante os ciclos hidrológicos. (b) Correlação encontrada entre as duas variáveis. $n = 5$.

3.2.3 Outras relações biométricas:

Foram estimadas correlações comparando os comprimentos entre si, e destes com a altura do corpo. A dispersão dos dados nestas relações, tem uma tendência linear. A nuvem de pontos é mais ajustada a uma reta quando se compara os comprimentos entre si (Figuras 11a, b e c), do que quando se compara a altura do corpo com os comprimentos (Figuras 12a, b e c).

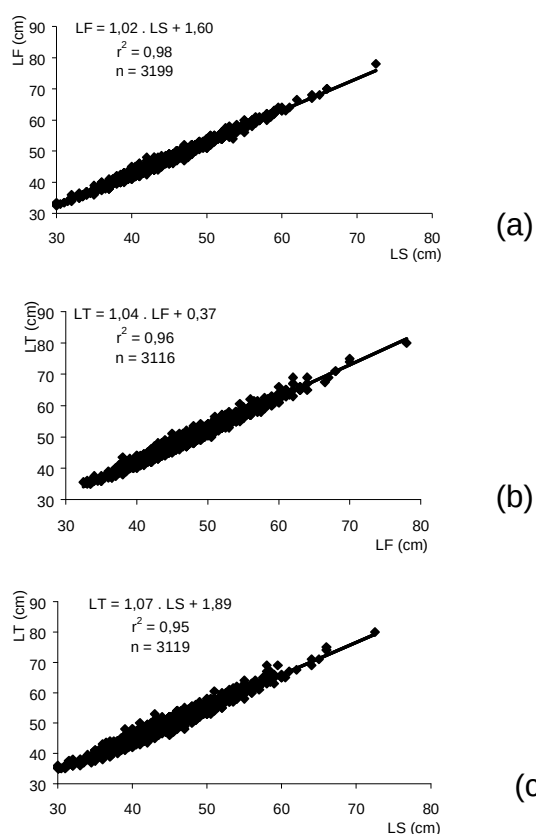


Figura 11: Relações lineares entre: (a) LF x LS; (b) LT x LF; e (c) LT x LS. LF = comprimento forcal. LS = comprimento padrão. LT = comprimento total.

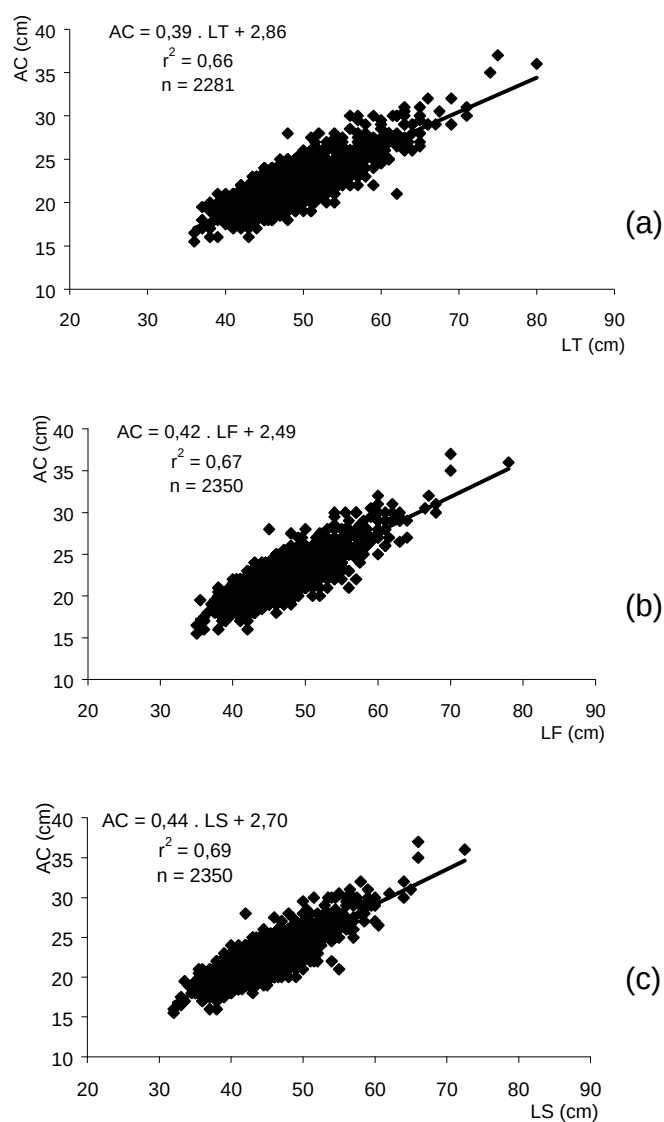


Figura 12: Relações lineares entre: (a) AC x LT; (b) AC x LF; e (c) AC x LS. AC = altura do corpo. LT = comprimento total. LF = comprimento forcal. LS = comprimento padrão.

As Figuras 13a e b mostram a relação entre AC x LS para fêmeas e para machos, respectivamente.

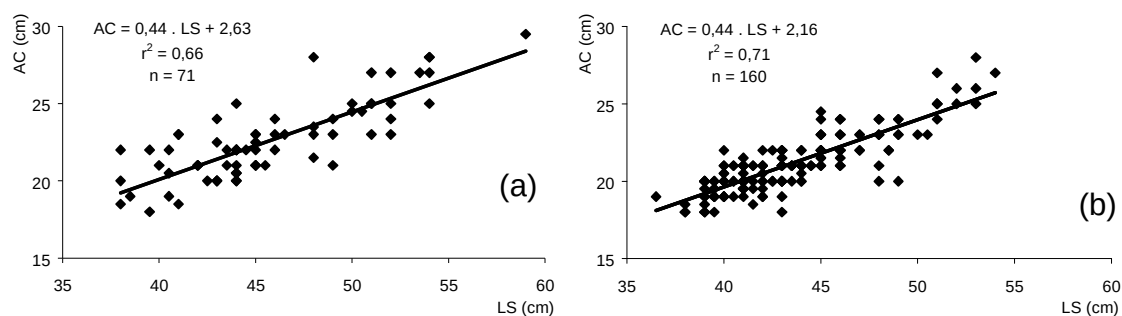


Figura 13: Relações lineares entre AC x LS para fêmeas (a) e machos (b). AC = altura do corpo. LS = comprimento padrão.

O resultado encontrado pelo SYSTAT (1997), para o modelo geral linear, que detectaria diferenças entre a altura do corpo para machos e fêmeas, não resultou significativo ($P = 0,99$), implicando que as retas são paralelas (Tabela 4).

Tabela 4: Valores encontrados para o modelo geral linear, na análise de variância, comparando a altura do corpo entre machos e fêmeas.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	gl	Média quadrada	F	P
LS	675,9882	1	675,9882	486,5548	0,00
SEXO	0,0963	1	0,0963	0,0693	0,79
SEXO*LS	0,0001	1	0,0001	0,0001	0,99
Erro	315,3793	227	1,3893		

$n = 231$. $r^2 = 0,72$.

3.3 Estrutura etária:

3.3.1 Leitura dos anéis de crescimento:

As escamas do pacu são do tipo ciclóide. Este tipo de escama possui anéis concêntricos ou ***circuli***, compostos de plaquetas individuais, onde a superfície interna é lisa. Os ***circuli*** podem ser visualizados ao redor de toda a escama. Um conjunto de ***circuli*** largamente e estreitamente espaçados, constitui a zona de crescimento. O termo ***annulus*** se refere à zona que consiste dos ***circuli*** estreitamente espaçados (LAI ***et al.***, 1996).

As escamas foram retiradas de 2008 indivíduos, distribuídos entre os meses de amostragem. Destes, 101 apresentaram escamas regeneradas (LS médio = 47,5 cm, mínimo = 38,0 cm e máximo = 72,5 cm, erro padrão da média = 0,58). Assim, foram lidas as escamas de 1907 exemplares para a determinação do número de anéis de crescimento. Em 1435 peixes os anéis foram determinados com menor subjetividade e daí considerados nos cálculos.

A idade foi determinada pela leitura dos anéis de crescimento ou ***annuli*** destas escamas. As classes de comprimento padrão (LS) e o respectivo número de indivíduos, em cada classe de anel lido nas escamas são apresentadas na Tabela 5. As maiores frequências de comprimento ocorreram entre 39 e 47 cm e foram mais frequentes indivíduos nas classes de anel de 2 a 6. O maior número de indivíduos ocorreu na classe de 4 anéis.

Tabela 5: Classes de comprimento padrão (LS), com o número de indivíduos em cada classe de anel lido nas escamas do pacu.

LS\Anel	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	n
30,0	1	3										4
31,0		1										1
32,0	1	2	1									4
33,0		5										5
34,0		4	1									5
35,0	1	9	2									12
36,0		13	7	1								21
37,0		5	6	8	5							24
38,0		12	15	13	6							46
39,0		11	25	27	13	3						79
40,0		4	33	50	25	2	1					115
41,0		9	32	52	42	11						146
42,0		5	35	73	46	8	1					168
43,0		2	33	77	48	11	3					174
44,0		3	33	61	40	10	2					149
45,0			19	56	40	11	2					128
46,0		1	22	45	31	9	2					110
47,0		1	12	27	23	8	2					73
48,0			9	12	19	3	4					47
49,0			1	12	19	3						35
50,0			2	8	7	3	2			1		23
51,0				5	6	3	1					15
52,0				3	5	5	4	1			1	19
53,0				4	3	3						10
54,0			1		1	1	1		1			5
55,0					1	2	1				1	5
56,0					1							1
57,0									2	1		3
58,0					1	2				1		4
59,0							1				1	2
60,0												0
61,0												0
62,0												0
63,0												0
64,0				1								1
65,0							1					1
n	3	90	289	535	382	98	28	1	3	3	3	1435

n = número de indivíduos.

3.3.2 Validação dos anéis de crescimento:

3.3.2.1 Incremento marginal (IM):

Para se validar a periodicidade da formação dos anéis de crescimento, o IM foi calculado para cada peixe e foram selecionados os indivíduos com $IM \leq 100$. Os indivíduos que apresentaram o IM maior que 100, foram desprezados ($n = 323$). Isto foi feito porque valores para este índice maiores que 100, indicariam uma contagem errada do número de anéis (FABRÉ³).

O teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett, resultou não significativo ($P = 0,85$). A ANOVA que comparou o IM entre meses de coleta, resultou significativa ($P = 0,0005$) (Tabela 6).

Tabela 6: Resultados encontrados na ANOVA que comparou o incremento marginal entre os meses de amostragem. $n = 1435$.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	gl	Média quadrada	F	P
Meses	22263,9808	14	1590,2843	2,7383	0,0005
Erro	824659,0674	1420	580,7458		

Efetuuou-se o teste *a posteriori* LSD (Tabela 7) e observaram-se diferenças significativas para o IM entre abr/94 e quase todos os outros meses amostrados, excetuando nov/94 e jun/95. Interessante notar nesta tabela que set/94 e fev/95 diferiram da maioria dos outros meses amostrados.

³ FABRÉ, N.N. (INPA/UFAM - Manaus/AM). Comunicação pessoal, 2000.

Tabela 7: Probabilidades para o teste **a posteriori** LSD: variável dependente = incremento marginal; e efeito principal = meses.  Relação significativamente diferente a P = 0,05. n = 1435.

	abr/ 94	mai/ 94	jun/ 94	jul/ 94	ago/ 94	set/ 94	out/ 94	nov/ 94	dez/ 94	jan/ 95	fev/ 95	mar/ 95	abr/ 95	mai/ 95	jun/ 95
abr/94	1,00														
mai/94	0,01	1,00													
jun/94	0,05	0,09	1,00												
Jul/94	0,01	0,89	0,07	1,00											
ago/94	0,00	0,61	0,03	0,70	1,00										
set/94	0,00	0,21	0,00	0,26	0,47	1,00									
out/94	0,03	0,24	0,64	0,19	0,10	0,02	1,00								
nov/94	0,11	0,14	0,77	0,11	0,07	0,02	0,53	1,00							
dez/94	0,01	0,94	0,08	0,95	0,66	0,24	0,21	0,12	1,00						
jan/95	0,03	0,28	0,62	0,23	0,13	0,03	0,96	0,52	0,25	1,00					
fev/95	0,00	0,06	0,00	0,07	0,17	0,50	0,00	0,00	0,07	0,01	1,00				
mar/95	0,01	0,66	0,18	0,56	0,34	0,09	0,42	0,22	0,60	0,48	0,02	1,00			
abr/95	0,03	0,22	0,63	0,18	0,09	0,02	10,0	0,53	0,20	0,96	0,00	0,40	1,00		
mai/95	0,02	0,44	0,38	0,36	0,21	0,05	0,69	0,36	0,39	0,74	0,01	0,70	0,68	1,00	
jun/95	0,08	0,04	0,69	0,03	0,01	0,00	0,39	0,99	0,03	0,39	0,00	0,08	0,38	0,21	1,00

A Figura 14a compara o IM médio calculado por mês de amostragem e respectivo erro padrão da média. A Figura 14b mostra a variação do nível da água no rio Cuiabá. Relacionando os dois gráficos percebe-se que a formação dos anéis ocorre quando o nível da água está mais baixo (set/94) e quando está mais alto (fev/95), justamente onde se encontram os menores valores para o IM, evidenciando a formação de dois anéis de crescimento no ano, o que foi insinuado nos resultados do teste **a posteriori** LSD (Tabela 7).

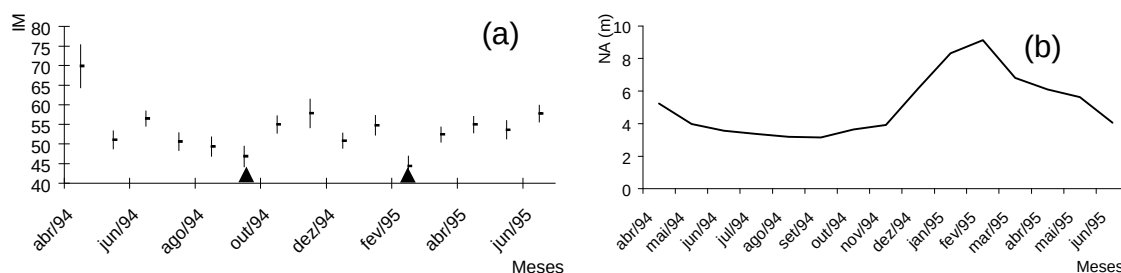


Figura 14: (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio (ponto) por mês de amostragem e erro padrão da média (barra vertical). ▲ Meses onde ocorreu a formação do anel de crescimento. (b) O nível da água (NA) mensal no rio Cuiabá em Cuiabá/MT. $n = 1435$.

Na Figura 15 estão plotadas as medianas mensais do IM, onde se nota a formação de dois anéis de crescimento, em set/94 e fev/95, quando se encontraram os menores valores para a mediana.

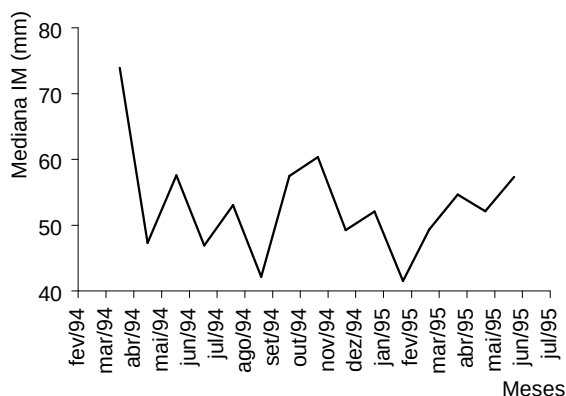


Figura 15: Mediana do incremento marginal (IM) mensal.

O teste de Bartlett com todos os indivíduos, resultou não significativo ($P = 0,39$), quando se considera o IM por ciclo hidrológico. A ANOVA

foi significativa ($P = 0,0051$) como mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Resultados encontrados na ANOVA que comparou o incremento marginal x ciclos hidrológicos. $n = 1435$.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	gl	Média quadrada	F	P
Ciclo hidrológico	8728,920	4	2182,2300	3,723	0,005
Erro	838194,128	1430	586,1497		

O resultado do teste *a posteriori* LSD comparando o IM por ciclo hidrológico é mostrado na Tabela 9. Nota-se que a seca diferiu dos outros ciclos hidrológicos, confirmando a formação de um anel de crescimento neste período.

Tabela 9: Probabilidades para o teste *a posteriori* LSD: variável dependente = incremento marginal; e efeito principal = ciclos hidrológicos. ■ Relação significativamente diferente a $P = 0,05$. $n = 1435$.

	Vazante/94	Seca/94	Enchente/94	Cheia/95	Vazante/95
Vazante/94	1,000				
Seca/94	0,007	1,000			
Enchente/94	0,582	0,030	1,000		
Cheia/95	0,068	0,335	0,206	1,000	
Vazante/95	0,717	0,001	0,338	0,018	1,000

A Figura 16a compara o IM médio encontrado por ciclo hidrológico, com o respectivo erro padrão da média. A Figura 16b mostra a variação do nível da água no rio Cuiabá. Relacionando os dois gráficos confirma-se que a formação dos dois anéis de crescimento, quando o nível da água está

mais baixo (seca/94) e quando está mais alto (cheia/95), onde também se encontram os menores valores para o IM.

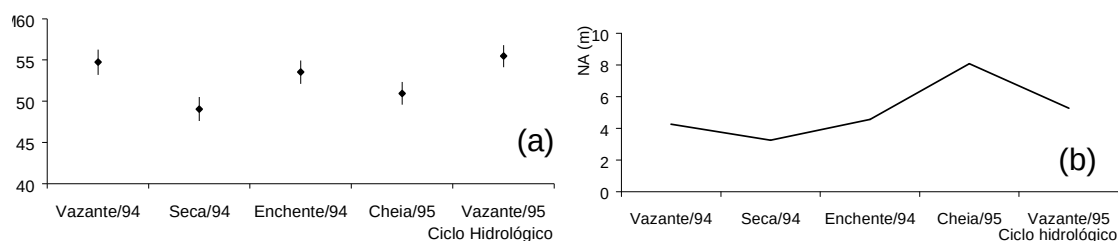


Figura 16: (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio (ponto) por ciclo hidrológico e respectivos erros padrões da média (barras verticais). (b) O nível da água (NA) no rio Cuiabá em Cuiabá/MT, por ciclo hidrológico. $n = 1435$.

A Figura 17a mostra a comparação entre o IM e o fator de condição alométrico nos diferentes ciclos hidrológicos. Nota-se que a formação de um anel se deu na seca, quando o fator de condição era alto e outro anel foi formado quando o fator de condição era baixo. A correlação entre o IM e o fator de condição alométrico não é significativa (Figura 17b).

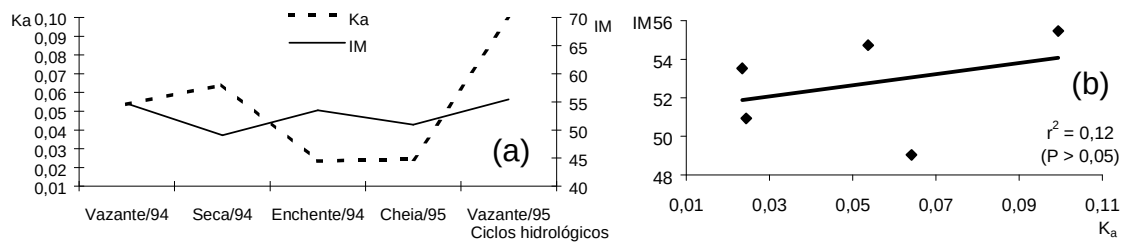


Figura 17: (a) Comparação do incremento marginal (IM) médio por ciclo hidrológico e o fator de condição alométrico (K_a), $n = 1435$. (b) Correlação entre estas duas variáveis, $n = 5$.

3.3.2.2 Distância do último anel até a borda da escama:

O gráfico da distância do último anel até a borda, por mês de amostragem em cada classe etária foi traçado para os indivíduos cujo $IM \leq 100$. Somente as classes de 2 a 6 anéis foram usadas. Os indivíduos com número de anéis de 1, 7, 8, 9, 10 e 11 não estavam representados em todos os meses de amostragem, tornando difícil à interpretação das curvas. A Figura 18 mostra que esta análise não definiu claramente a formação dos anéis de crescimento.

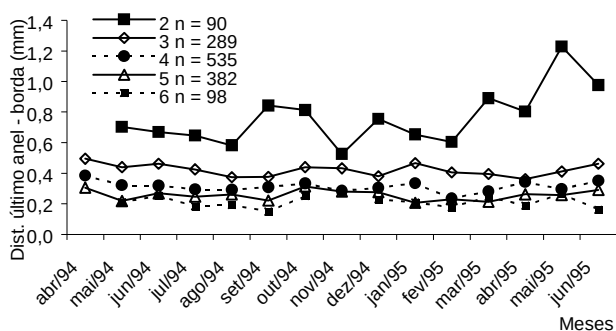


Figura 18: Distância média do último anel até a borda da escama mensal, para o número de anéis de 2 a 6. n = número de indivíduos.

A Figura 19 mostra a distância do último anel até a borda da escama, por número de anéis e por ciclo hidrológico. Nota-se que estas distâncias diminuem com o aumento da idade. Nos indivíduos cujas escamas possuem 4, 5 e 6 anéis, percebe-se a formação de 2 anéis de crescimento no ano, na seca e na cheia.

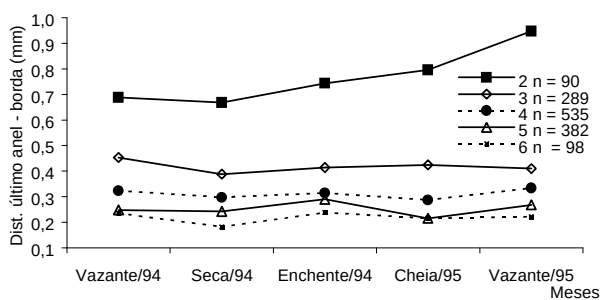


Figura 19: Distância média do último anel até a borda da escama por ciclo hidrológico, para o número de anéis de 2 a 6. n = número de indivíduos.

3.3.2.3 Época de formação dos anéis (VAZZOLER , 1982):

Neste método, o decréscimo no comprimento padrão durante o período de amostragem implicaria na formação do anel de crescimento. A Figura 20 mostra o gráfico onde foram plotados o comprimento médio por ciclo hidrológico e por classe etária. Neste gráfico, somente foram lançados os grupos de anéis de 2 a 7, pois os grupos 1 e de 8 a 11, não incluíam indivíduos que representassem todos os ciclos hidrológicos. Nos grupos de anéis de 2 a 5, nota-se que houve queda nos comprimentos médios na seca e na cheia, corroborando os resultados encontrados para o IM, e mostrando a formação de 2 anéis anuais nestes períodos.

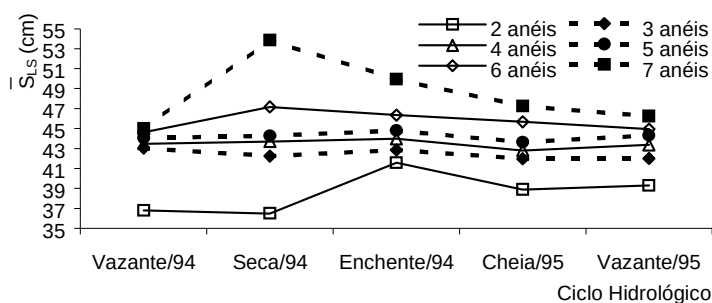


Figura 20: Números de anéis e seus respectivos comprimentos padrões médios ($\bar{S}_{LS}$) por ciclo hidrológico.

3.4 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento:

Como foram detectados dois anéis de crescimento anuais, transformou-se o número de 11 anéis em cinco anos de idade. A transformação para a idade foi feita de acordo com a Tabela 10. As classes do comprimento padrão (LS), e o número de indivíduos em cada classe e idade, são apresentados nesta tabela.

Tabela 10: Classes de comprimento padrão (LS), com o número de indivíduos em cada idade.

Anéis LS\Idade	I 0 ano	II + III 1 ano	IV + V 2 anos	VI + VII 3 anos	VIII + IX 4 anos	X + XI 5 anos	n
30,0	1	3					4
31,0		1					1
32,0	1	3					4
33,0		5					5
34,0		5					5
35,0	1	11					12
36,0		20	1				21
37,0		11	13				24
38,0		27	19				46
39,0		36	40	3			79
40,0		37	75	3			115
41,0		41	94	11			146
42,0		40	119	9			168
43,0		35	125	14			174
44,0		36	101	12			149
45,0		19	96	13			128
46,0		23	76	11			110
47,0		13	50	10			73
48,0		9	31	7			47
49,0		1	31	3			35
50,0		2	15	5		1	23
51,0			11	4			15
52,0			8	9	1	1	19
53,0			7	3			10
54,0		1	1	2	1		5
55,0			1	3		1	5
56,0			1				1
57,0					2	1	3
58,0			1	2		1	4
59,0				1		1	2
60,0							
61,0							
62,0							
63,0							
64,0			1				1
65,0				1			1
Soma	3	379	917	126	4	6	1435

n = número de indivíduos.

3.4.1 Método de FORD-WALFORD:

Os parâmetros da equação de von BERTALANFFY (1938) foram estimados, através do método de FORD-WALFORD, usando o valor médio dos comprimentos padrão e total para cada classe etária, considerando 11 anéis e 5 anos. Os parâmetros estimados e as equações para comprimento e peso construídas são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Equações de crescimento de von BERTALANFFY (1938) para comprimento e peso, com os parâmetros estimados através do método de FORD-WALFORD, considerando 11 anéis de crescimento e 5 anos de idade, utilizando-se do comprimento padrão (LS) ou do comprimento total (LT). WT = peso total. n = 1435.

Equação	11 anéis	5 anos
LS	$L_t = 59,2 \cdot (1 - e^{-0,188 \cdot (t + 3,395)})$	$L_t = 59,0 \cdot (1 - e^{-0,354 \cdot (t + 2,357)})$
LT	$L_t = 64,4 \cdot (1 - e^{-0,194 \cdot (t + 3,552)})$	$L_t = 65,1 \cdot (1 - e^{-0,346 \cdot (t + 2,468)})$
WT (LS)	$W_t = 5782,9 \cdot (1 - e^{-0,188 \cdot (t + 3,395)})^{2,734}$	$W_t = 5750,1 \cdot (1 - e^{-0,354 \cdot (t + 2,357)})^{2,734}$
WT (LT)	$W_t = 5405,3 \cdot (1 - e^{-0,194 \cdot (t + 3,552)})^{2,688}$	$W_t = 5567,5 \cdot (1 - e^{-0,346 \cdot (t + 2,468)})^{2,688}$

Foram traçadas as curvas de crescimento de von BERTALANFFY (1938), calculadas pelo método de FORD-WALFORD, considerando 11 anéis e 5 anos de idade, para o comprimento padrão (Figuras 21a e b) e para o peso (Figuras 21c e d).

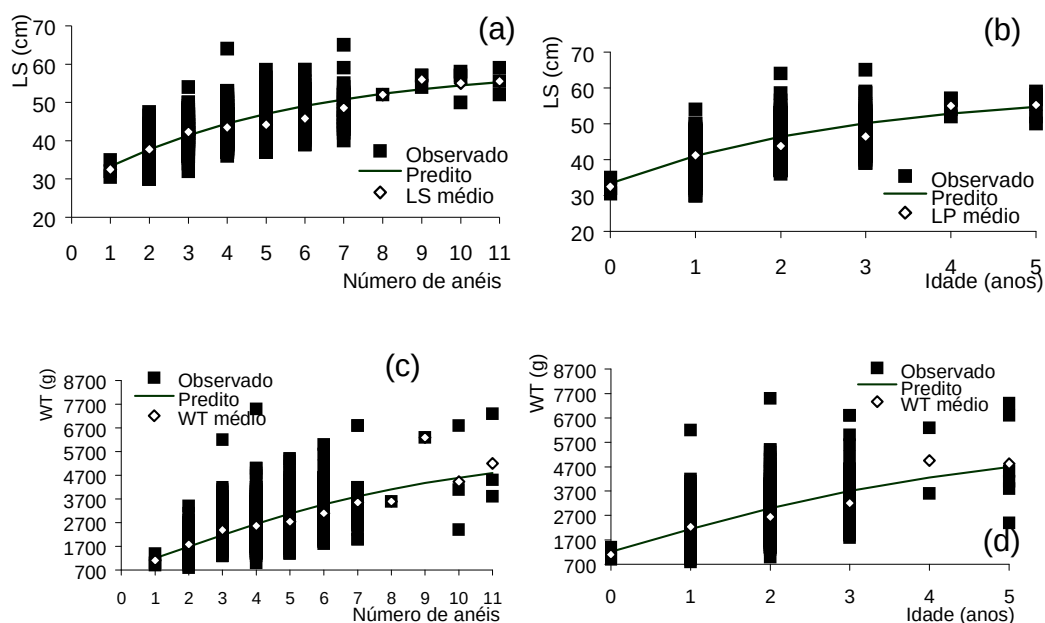


Figura 21: Curvas de crescimento de von BERTALANFFY, calculadas através do método de FORD-WALFORD. (a) LS x número de anéis. (b) LS x idade. (c) WT x número de anéis. (d) WT x idade. LS = comprimento padrão. WT = peso total. $n = 1435$.

Os valores estimados da equação de von BERTALANFFY (1938) pelo método de FORD-WALFORD usando o comprimento padrão foram usados como valores iniciais na regressão não linear, considerando 11 anéis de crescimento. Foi adotado o modelo Gauss Newton ao invés de Quase Newton, porque este último não convergiu. Os resultados são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados encontrados pela regressão não linear, utilizando o comprimento padrão (LS) e considerando 11 anéis. A.S.E. = “asymptotic standard error”.

Parâmetro	Estimador	A.S.E.	Parâm/ASE	Inferior <95%>	Superior
LS_{∞}	83,294	36,819	2,262	11,069	155,519
k	0,043	0,0398	1,069	-0,036	0,121
t_0	-13,153	4,912	-2,678	-22,788	-3,518

“Asymptotic Correlation Matrix of Parameters”				
Parâmetro	LS_{∞}	k	t_0	
LS_{∞}	1,000			
k	-0,999	1,000		
t_0	-0,986	0,993	1,000	

Para WT a regressão não linear não convergiu, o mesmo acontecendo quando foi considerada a idade em anos, não encontrando valores para LS_{∞} , k, t_0 e WT_{∞} .

3.4.2 Método de BEVERTON plot:

Considerando um valor de $LS_{\infty} = 85,85$ cm, calculado a partir do maior peso do pacu encontrado (16 kg), foram estimados $k = 0,057$ ano⁻¹ e $t_0 = -8,0035$ anos, quando considerados 11 anéis, sendo que os valores de k e t_0 são inaceitáveis para a espécie em questão. Para 5 anos, os valores encontrados foram $k = 0,1129$ ano⁻¹; e $t_0 = -4,4023$ anos. As Figuras 22a e b mostram as curvas de crescimento de von BERTALANFFY (1938), encontradas com estes valores.

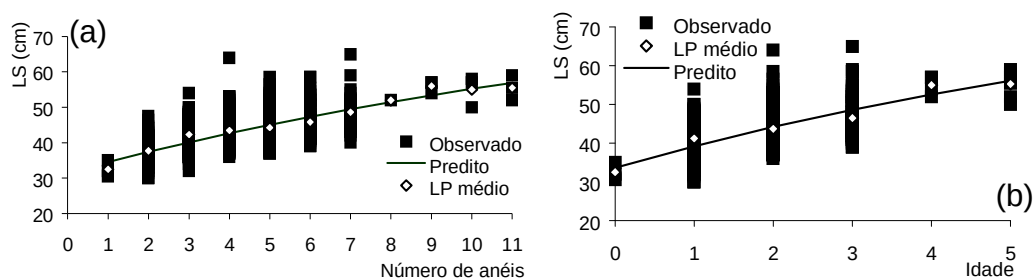


Figura 22: Curva de crescimento de von BERTALANFFY construída pelo método de BEVERTON plot. (a) 11 anéis. (b) 5 anos de idade. $n = 1435$.

Esses valores foram usados para estimar a regressão não linear, usando o modelo Gauss Newton ao invés de Quasi Newton, porque este último não convergiu. Os resultados encontrados foram os mesmos na regressão não linear usando os parâmetros estimados pelo método de FORD-WALFORD (Tabela 12). Considerando 5 anos de idade, a regressão não linear não convergiu.

3.4.3 Modelo de SCHNUTE (1981):

As estatísticas descritivas foram calculadas para os dados de comprimento padrão, agrupados por classe de anéis, para os indivíduos em que $IM \leq 100$ (Tabela 13).

Tabela 13: Estatísticas descritivas calculadas para o comprimento padrão (LS), agrupados por classe de anéis.

Anéis	Macho					Fêmea					Total						
	n	$\bar{X}$	LS (cm)	Mí	Má	SEM	n	$\bar{X}$	LS (cm)	Mí	Má	SEM	n	$\bar{X}$	LS (cm)	Mí	Má
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	32,50	30,5	35,0	1,323
2	3	40,50	36,5	40,5	2,179	-	1	38,00	38,0	38,0	-	-	90	37,74	30,0	47,5	0,378
3	26	42,25	38,0	48,0	0,509	-	9	44,28	38,0	50,0	1,270	-	289	42,32	32,0	54,0	0,187
4	40	42,30	38,0	51,0	0,445	-	15	43,67	39,5	48,0	0,599	-	535	43,43	36,0	64,0	0,138
5	26	43,94	39,0	53,0	0,747	-	14	46,11	38,0	54,0	1,258	-	382	44,22	37,0	58,5	0,178
6	4	46,50	43,0	51,0	2,062	-	3	49,67	46,0	52,0	1,856	-	98	45,83	39,0	58,5	0,439
7	3	47,33	42,0	52,0	2,906	-	2	46,75	43,0	50,5	3,750	-	28	48,61	40,0	65,0	1,030
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	52,00	52,0	52,0	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	56,00	54,0	57,0	1,000
10	-	-	-	-	-	-	1	50,00	50,0	50,0	-	-	3	55,00	50,0	58,0	2,517
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	55,50	52,0	59,0	2,021
Total	102	42,97	36,5	53,0	0,334		45	45,0	38,0	54,0	0,604		1435	43,39	30,0	65,0	0,106

n = número de indivíduos. $\bar{X}$ = média. Mí = mínimo. Má = máximo. SEM = erro padrão da média.
 - = não encontrados.

As médias de LS foram usadas para se detectar os parâmetros iniciais do modelo não linear de SCHNUTE. Na Tabela 14 nota-se que para o parâmetro γ_{∞} (LS_{∞}), o modelo não convergiu, quando se considerou o total de indivíduos amostrados, e os valores encontrados para τ_0 (t_0), não são biologicamente aceitáveis para a equação de crescimento. Quando o modelo foi calculado para as fêmeas de pacu, os valores de a e b variaram entre o negativo e o positivo, de acordo com os parâmetros iniciais. O programa não encontrou valores para τ_0 e τ^* para os machos.

Tabela 14: Estimativas iniciais e calculadas para os parâmetros da equação de crescimento, usando o modelo de SCHNUTE, considerando 11 anéis.

	τ_1	τ_2	$a_{ini.}$	$b_{ini.}$	$\gamma_{1ini.}$	$\gamma_{2ini.}$	$\gamma_{1calc.}$	$\gamma_{2calc.}$	$a_{calc.}$	$b_{calc.}$	SQ	γ_{∞}	τ_0	τ^*	r
Total	1	11	0,1	0,1	32,50	55,50	31,9	53,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
	2	7	0,1	0,1	37,74	48,61	39,2	47,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
n = 1435	2	7	0,5	1,0	37,74	48,61	39,2	47,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
	1	11	0,5	1,0	32,50	55,50	31,9	53,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
	1	11	-0,5	3,0	32,50	55,50	31,9	53,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
	1	11	-0,5	1,0	32,50	55,50	31,9	53,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
	1	11	-0,5	2,0	32,50	55,50	31,9	53,7	-0,47	16,37	17462		0,95	6,95	0,50
Fêmea	3	5	0,1	0,1	0,10	0,10	43,0	46,1	4,91	-142,04	586,04	48,2		5,30	0,43
	3	5	0,1	0,1	44,28	46,11	42,9	46,2	6,01	-162,36	584,93	48,3		5,35	0,44
n = 45	3	5	0,5	1,0	44,28	46,11	43,0	46,2	4,72	-132,1	585,69	48,4		5,28	0,43
	2	7	0,1	0,1	38,00	46,75	38,0	48,0	-4,28	180,05	578,31		2,00	3,21	0,45
	2	7	0,5	1,0	38,00	46,75	38,0	48,0	-4,23	180,12	578,28		2,00	3,23	0,45
	2	10	0,5	1,0	38,00	50,00	38,0	51,9	-4,49	179,76	578,71		2,00	3,16	0,45
Macho	3	5	0,1	0,1	42,25	43,94	42,1	44,0	-7,75	183,49	980,01	42,1			0,39
	2	7	0,1	0,1	40,50	47,33	42,0	47,4	-6,90	183,96	980,95				0,38
n = 102	2	7	0,5	1,0	40,50	47,33	42,0	47,4	-6,98	183,91	980,73				0,38
	3	5	0,5	1,0	42,25	43,94	42,1	44,0	-7,24	183,77	980,20	42,1			0,38

τ_1 = idade pré-fixada de um indivíduo jovem. τ_2 = idade pré-fixada de um indivíduo velho. $a_{ini.}$ e $b_{ini.}$ = estimativas iniciais inseridas no modelo. $\gamma_{1ini.}$ = comprimento padrão de um indivíduo na idade τ_1 . $\gamma_{2ini.}$ = comprimento padrão de um indivíduo na idade τ_2 . $\gamma_{1calc.}$ = comprimento padrão calculado de um indivíduo na idade τ_1 . $\gamma_{2calc.}$ = comprimento padrão calculado de um indivíduo na idade τ_2 . $a_{calc.}$ e $b_{calc.}$ = parâmetros estimados pelo modelo. SQ = soma dos quadrados. γ_{∞} = comprimento padrão máximo teórico. τ_0 = idade de comprimento padrão teórico 0, em que a curva corta o eixo da abscissa. τ^* = idade em que o crescimento atinge o ponto de inflexão da curva. r = coeficiente de correlação. n = número de indivíduos.

De acordo com a Figura 1, uma combinação de a negativo e b maior que 1, cairia na região 3 do gráfico, determinando a curva de crescimento do tipo 3 (Figura 23). Nota-se que nesta curva, não é possível se determinar um valor de γ_{∞} , como pôde ser observado na Tabela 14, para o total de indivíduos. Para os machos de pacu, os sinais dos parâmetros a (-) e b (+), coincidiram com o total de indivíduos analisados, encaixando a curva de crescimento no tipo 3. Entretanto, o modelo convergiu para $\gamma_{\infty} = 42,1$ cm quando se usou τ_1 e τ_2 iguais às idades 3 e 5, respectivamente (Tabela 14). Por este motivo, não se conseguiu determinar qual a melhor curva de crescimento que se ajustaria aos dados.

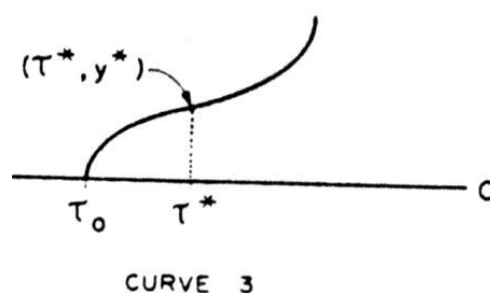


Figura 23. Curva de crescimento para a negativo e b maior que 1 (retirado de SCHNUTE, 1981).

De acordo com os resultados encontrados, usando a idade com a formação de dois anéis por ano, o modelo de Schnute foi calculado novamente. As estatísticas descritivas para os dados de comprimento padrão, agrupados para estas classes de idades, foram usadas como as estimativas iniciais do modelo de Schnute (Tabela 15).

Tabela 15: Estatísticas descritivas calculadas para o comprimento padrão (LS), agrupados por classe de idade.

Idade	Macho LS (cm)					Fêmea LS (cm)					Total LS (cm)				
	n	$\bar{X}$	Mí	Má	SEM	n	$\bar{X}$	Mí	Má	SEM	n	$\bar{X}$	Mí	Má	SEM
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	32,5	30,5	35,0	1,32
1	29	42,1	36,5	48,0	0,50	10	43,7	38,0	50,0	1,30	379	41,2	30,0	54,0	0,20
2	66	43,0	38,0	53,0	0,41	29	44,9	38,0	54,0	0,71	917	43,8	36,0	64,0	0,11
3	7	46,9	42,0	52,0	1,57	5	48,5	43,0	52,0	1,72	126	46,5	39,0	65,0	0,42
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	55,0	52,0	57,0	1,23
5	-	-	-	-	-	1	50,0	50,0	50,0	-	6	55,3	50,0	59,0	1,45
Total	102	43,0	36,5	53,0	0,33	45	45,1	38,0	54,0	0,60	1435	43,4	30,0	65,0	0,11

n = número de indivíduos amostrados. $\bar{X}$ = média. Mí = mínimo. Má = máximo. SEM = erro padrão da média. - = não encontrado.

Neste caso, para o total de indivíduos amostrados, foram estimados os parâmetros a (+) e b (-) (Tabela 16), encaixando os dados no caso 7

ou 8, descrito por Schnute (1981). Mas de acordo com os valores encontrados de γ^∞ e τ_0 , não é possível ajustar os dados a nenhuma curva de crescimento. Isto se repete em relação às fêmeas e aos machos.

Tabela 16: Estimativas iniciais e calculadas para os parâmetros da equação de crescimento usando o modelo de SCHNUTE, considerando 0 a 5 anos.

	τ_1	τ_2	$a_{ini.}$	$b_{ini.}$	$\gamma_{1ini.}$	$\gamma_{2ini.}$	$\gamma_{1calc.}$	$\gamma_{2calc.}$	$a_{calc.}$	$b_{calc.}$	SQ	γ^∞	τ_0	τ^*	r
Total	0	5	0,1	0,1	32,50	55,25	38,8	55,6	0,497	-8,98	18727,4		6,20		0,44
n = 1435	1	5	0,1	0,1	41,23	55,25	41,2	55,6	0,497	-8,98	18727,4		6,20		0,44
	0	5	0,5	3,0	32,50	55,25	38,8	55,6	0,497	-8,98	18727,4		6,20		0,44
Fêmea	1	3	0,1	0,1	43,65	48,50	43,1	47,4	5,447	-113,22	629,8	49,97		3,2	0,36
n = 45	1	3	0,5	3,0	43,65	48,50	43,1	47,4	4,853	-101,24	629,8	50,08		3,2	0,36
Macho	1	3	0,1	0,1	42,07	46,86	42,1	46,9	-1,420	-0,36	1021,3	41,79	5,27		0,34
n = 102	1	3	0,5	3,0	42,07	46,86	42,1	46,9	-1,570	2,38	1021,3	41,83			0,34

τ_1 = idade pré-fixada de um indivíduo jovem. τ_2 = idade pré-fixada de um indivíduo velho. $a_{ini.}$ e $b_{ini.}$ = estimativas iniciais inseridas no modelo. $\gamma_{1ini.}$ = comprimento padrão de um indivíduo na idade τ_1 . $\gamma_{2ini.}$ = comprimento padrão de um indivíduo na idade τ_2 . $\gamma_{1calc.}$ = comprimento padrão calculado de um indivíduo na idade τ_1 . $\gamma_{2calc.}$ = comprimento padrão calculado de um indivíduo na idade τ_2 . $a_{calc.}$ e $b_{calc.}$ = parâmetros estimados pelo modelo. SQ = soma dos quadrados. γ^∞ = comprimento padrão máximo teórico. τ_0 = idade de comprimento padrão teórico 0, em que a curva corta o eixo da abcissa. τ^* = idade em que o crescimento atinge o ponto de inflexão da curva. r = coeficiente de correlação. n = número de indivíduos.

3.4.4 Retro-cálculo:

O modelo escolhido, que relaciona o comprimento padrão com o raio total da escama, para se efetuar o retro-cálculo foi o linear, já que os modelos testados resultaram em r^2 com valores de 0,33 (Figura 24a, b, c e d). Assim optou-se pelos modelos mais simples, já que, de acordo com a literatura, esta relação normalmente se apresenta linear (Weisberg; Frie, 1987).

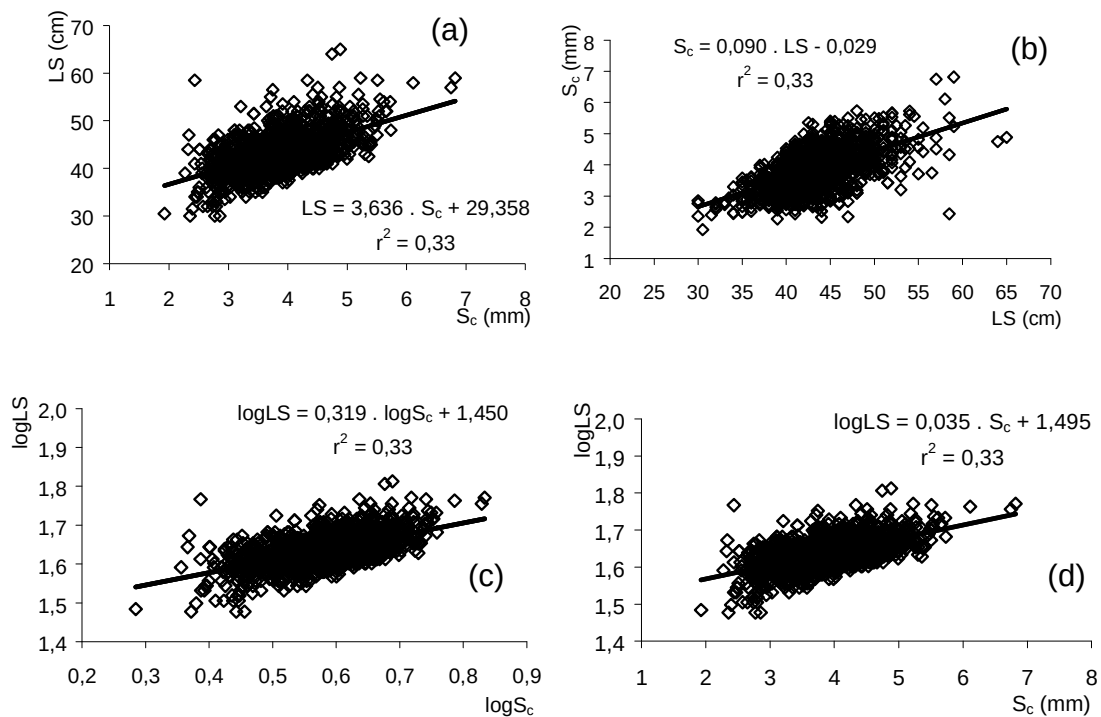


Figura 24: Relações entre o comprimento padrão (LS) e o raio total da escama (S_c), obtidos pelo ajuste das variáveis aos modelos lineares: (a) $LS = c + d \cdot S_c$; e (b) $S_c = a + b \cdot LS$. Modelo multiplicativo: (c) $LS = a \cdot S_c^b$. Modelo exponencial: (d) $LS = a^{b \cdot S_c}$. $n = 1435$.

As médias encontradas para os dados de comprimento padrão retro-calculados nos dois modelos: hipóteses do corpo proporcional - BPH (body proportional hypothesis - $LS \times S_c$ - Figura 24a) e da escama proporcional - SPH (scale proportional hypothesis - $S_c \times LS$ - Figura 24b), e as médias observadas, considerando 11 anéis de crescimento, são mostradas na Figura 25a. Para o modelo SPH as médias atingiram menores valores para os grupos de 1 a 4 anéis, quando comparadas com o modelo BPH e as observadas, que se

sobrepuseram. A Figura 25b mostra tendência semelhante quando se considera a idade de 0 a 5 anos.

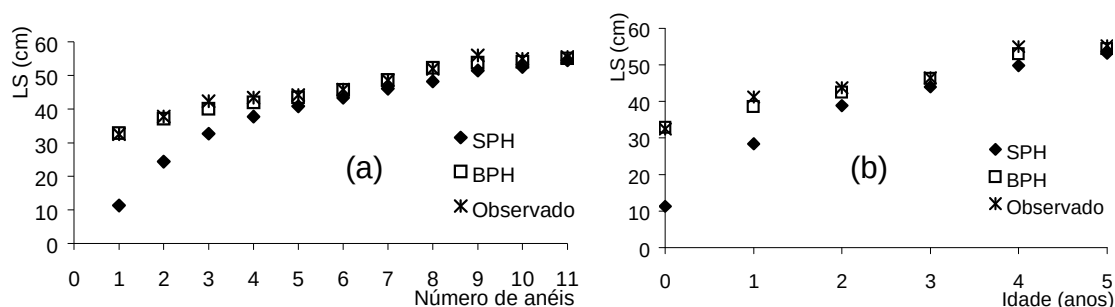


Figura 25: Médias calculadas para os dados de comprimento padrão (LS) retro-calculados nos modelos SPH e BPH, e aquelas observadas, agrupadas por número de anéis (a) e por classes de idade (b). $n = 5982$ para os modelos retro-calculados e 1435 para o observado.

Os valores retro-calculados foram usados para a estimativa dos parâmetros k , L_{∞} , e t_0 da equação de crescimento de von BERTALANFFY. Os métodos usados foram os de BEVERTON plot e de FORD-WALFORD. Após este procedimento os parâmetros estimados foram usados no modelo de regressão não linear do programa SYSTAT. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 17. O modelo não linear convergiu para valores no caso da BPH, FORD-WALFORD, 11 anéis. Quando se considerou a idade de 0 a 5 anos, o modelo não linear só não convergiu para BPH, calculados pelo método de BEVERTON plot. As interações entre estas estimativas também são apresentadas nesta tabela,

mostrando uma forte correlação entre elas, como teoricamente esperadas.

Tabela 17: Estimativas dos parâmetros de crescimento de von BERTALANFFY para os modelos retro-calculados de BPH (“body proportional hypothesis”) e SPH (“scale proportional hypothesis”), calculados pelos métodos de BEVERTON plot (BP) e Ford Walford (FW), considerando 11 anéis de crescimento e 5 anos.

	k	t ₀	LS _∞	k n linear	t ₀ n linear	LS _∞ n linear	LS _∞ x k ^c	LS _∞ x t ₀ ^c	k x t ₀ ^c
SPH BP 11	0,08	-2,45	85,85 ^a	b	b	b	b	b	b
BPH BP 11	0,06	-7,97	85,85 ^a	b	b	b	b	b	b
SPH FW 11	0,32	-0,06	54,76	b	b	b	b	b	b
BPH FW 11	0,12	-3,60	64,17	0,21	-3,69	52,55	-0,99	-0,94	0,98
SPH BP 5	0,16	-1,32	85,85 ^a	0,51	-0,46	54,05	-0,97	-0,68	0,80
BPH BP 5	0,11	-4,42	85,85 ^a	b	b	b	b	b	b
SPH FW 5	0,45	-0,44	57,78	0,51	-0,46	54,05	-0,97	-0,68	0,80
BPH FW 5	0,15	-2,39	72,99	0,19	-3,81	63,72	-0,99	-0,95	0,98

^a Calculado através da eq. (4), considerando o peso total assintótico, $WT_{\infty} = 16$ kg. ^b Regressão não linear não convergiu. ^c Correlação entre os estimadores. k = constante de crescimento. t₀ = idade teórica em que o indivíduo tem tamanho 0. LS_∞ = comprimento padrão assintótico. n linear = parâmetros estimados através da regressão não linear. BP = método de BEVERTON plot. FW = método de FORD-WALFORD. 11 = anéis. 5 = idades. n = 5982.

3.4.5 Frequência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I):

Os comprimentos padrões dos 3205 indivíduos amostrados durante os 15 meses de coleta, foram separados em 44 classes com a sua respectiva frequência de ocorrência em cada mês, para a análise no FiSAT. Estas classes variaram de 30 cm a 73 cm, com diferença de 1 cm entre elas (Figura 26). Nota-se que esta distribuição se assemelha a uma distribuição unimodal normal.

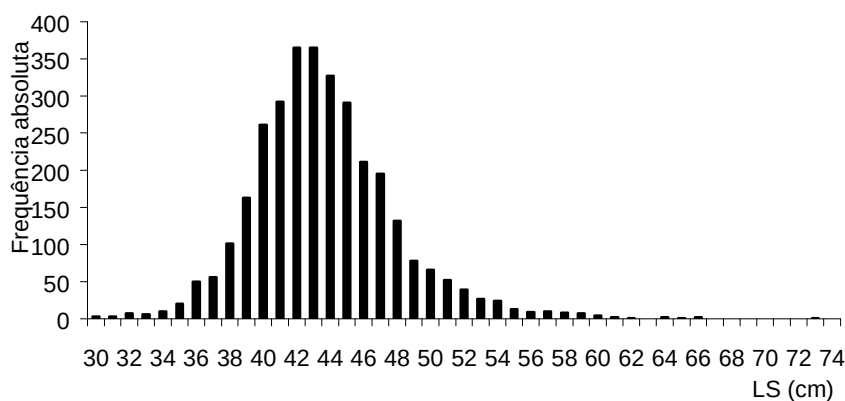


Figura 26: Distribuição das classes de comprimento padrão (LS) em frequências absolutas. $n = 3205$.

Os valores calculados pelo programa FiSAT são mostrados na Tabela 18. A data da coleta dos dados foi considerada como sendo o dia 15 de cada mês, como padroniza o “default” do programa. Com este procedimento se obteve os melhores valores de R_n . Foram encontrados 39 conjuntos de estimadores dos parâmetros de crescimento com $R_n = 0,146$.

Tabela 18: Resultados encontrados pelo FiSAT, para $R_n = 0,146$. ■ Valores selecionados para o estudo de crescimento.

Recrutamento	Coortes	LS _∞ (cm)	k (ano ⁻¹)	C	WP	SS	SL	M (ano ⁻¹)
Junho	6	80,5	0,439	0,997	0,190	7	41,5	0,75
Junho	6	80,5	0,440	1,000	0,190	2	47,0	0,75
Junho	6	80,6	0,438	1,000	0,189	7	41,5	0,75
Junho	6	80,6	0,440	1,000	0,189	2	47,0	0,75
Janeiro	5	81,0	0,560	0,470	0,666	11	57,5	0,88
Maio	6	81,5	0,429	1,000	0,190	7	41,5	0,74
Maio	6	81,5	0,429	1,000	0,190	2	47,0	0,74
Maio	6	81,5	0,430	0,990	0,190	7	41,5	0,74
Maio	6	82,0	0,423	1,000	0,190	7	41,5	0,73
Maio	6	82,0	0,425	1,000	0,189	2	47,0	0,73
Maio	6	82,0	0,424	1,000	0,189	7	41,5	0,73
Maio	6	82,5	0,419	1,000	0,190	7	41,5	0,72
Maio	6	82,5	0,419	1,000	0,189	7	41,5	0,72
Maio	6	82,5	0,420	0,990	0,190	7	41,5	0,72
Dezembro	5	82,5	0,530	0,460	0,666	11	57,5	0,84
Dezembro	5	84,0	0,509	0,480	0,670	11	57,5	0,82
Dezembro	5	84,0	0,510	0,490	0,670	11	57,5	0,82
Novembro	5	85,0	0,490	0,456	0,670	11	57,5	0,80
Dezembro	5	85,5	0,490	0,460	0,680	11	57,5	0,79
Novembro	5	86,0	0,480	0,470	0,680	11	57,5	0,78
Dezembro	5	86,3	0,480	0,480	0,684	11	57,5	0,78
Dezembro	5	86,3	0,486	0,480	0,684	11	57,5	0,79
Novembro	5	86,5	0,470	0,460	0,673	11	57,5	0,77
Novembro	5	87,4	0,460	0,480	0,674	11	57,5	0,76
Novembro	5	87,8	0,460	0,480	0,684	11	57,5	0,76
Novembro	5	88,3	0,450	0,480	0,678	11	57,5	0,74
Novembro	5	89,0	0,440	0,480	0,675	11	57,5	0,73
Novembro	5	89,0	0,450	0,460	0,690	11	57,5	0,74
Novembro	5	89,5	0,438	0,480	0,680	11	57,5	0,73
Novembro	5	89,5	0,440	0,460	0,690	11	57,5	0,73
Novembro	5	89,5	0,440	0,500	0,680	11	57,5	0,73
Novembro	5	89,5	0,440	0,480	0,690	11	57,5	0,73
Novembro	5	89,9	0,438	0,460	0,690	11	57,5	0,73
Outubro	5	91,0	0,420	0,470	0,690	11	57,5	0,71
Outubro	5	91,0	0,420	0,470	0,681	11	57,5	0,71
Outubro	5	92,0	0,410	0,500	0,680	11	57,5	0,69
Outubro	5	92,0	0,410	0,490	0,680	11	57,5	0,69
Outubro	5	92,0	0,410	0,470	0,682	11	57,5	0,69
Outubro	5	92,1	0,410	0,500	0,680	11	57,5	0,69
Mediana		86,0	0,440	0,480	0,674			0,74

LS_∞ = comprimento padrão assintótico. k = taxa de crescimento. C = parâmetro de oscilação. WP = "Winter Point". SS = "Starting Sample". SL = "Starting Length". M = mortalidade natural. Recrutamento é o mês de recrutamento do estoque. Coortes são o número de coortes encontradas.

Os valores selecionados para o estudo de crescimento foram baseados na mediana de LS_∞ deste conjunto que é de 86 cm, e que corresponde a um $W_{\infty} = 0,0825 \cdot 86^{2,734} = 16$ kg, coincidindo com a informação de FERRAZ DE

LIMA². O cálculo de LS_{∞} através de WT_{∞} pode ser feito pela relação $WT \times LS$, com o peso assintótico (W_{∞}) de 16000g. Então:

$$LS_{\infty} = \left(\frac{16000}{0,0825} \right)^{\frac{1}{2,734}} \cong 86cm$$

Para LT_{∞} , o valor seria de 96,4 cm, de acordo com a equação calculada para a relação $WT \times LT$.

A Figura 27 mostra a distribuição de freqüência das classes de comprimento por mês, com as curvas de crescimento para cada coorte, traçada pelo programa ELEFAN I, usando os parâmetros estimados selecionados na Tabela 18, como os valores iniciais.

Desta forma, as melhores equações para o crescimento em comprimento e em peso de von BERTALANFFY seriam aquelas traçadas com os estimadores encontrados no FiSAT, considerando 5 coortes, com recrutamento anual em novembro e se ajustando aos resultados da formação de dois anéis de crescimento anuais:

$$LS_t = 86.(1 - e^{-0,48.(t-t_0)}) \text{ e } WT_t = 16000.(1 - e^{-0,48.(t-t_0)})^{2,734}$$

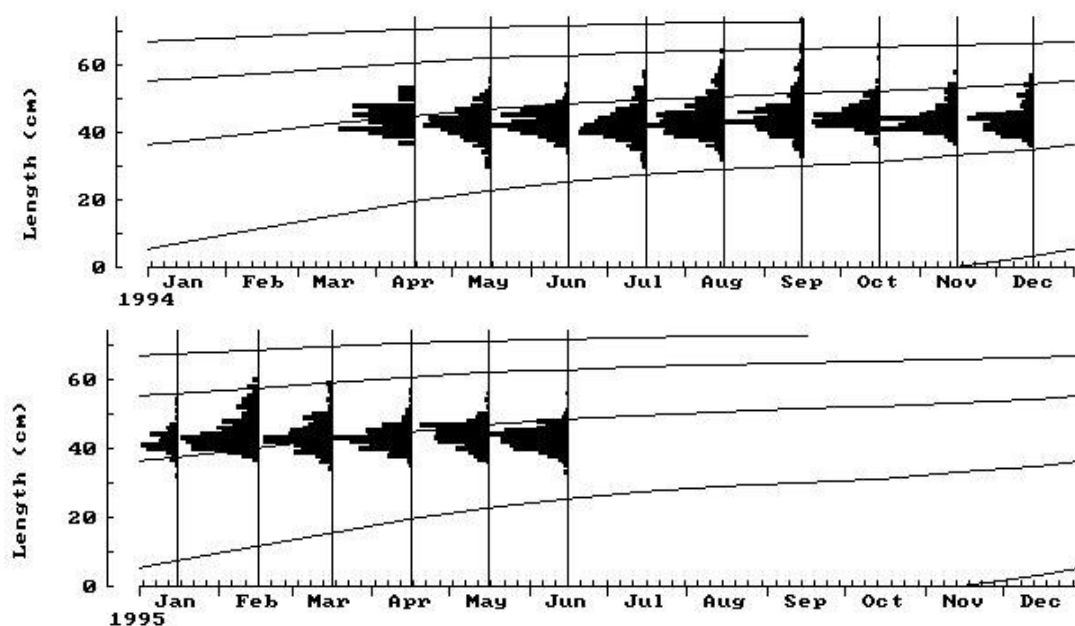


Figura 27: Frequências mensais (%) do comprimento padrão ("Length") e as coortes encontradas, considerando os valores de $LS_{\infty} = 86$ cm, $k = 0,48$ ano⁻¹, $C = 0,47$, $WP = 0,68$, $SL = 57,5$ cm, e $SS = 11$. $n = 3205$.

3.5 Estimativa dos coeficientes de mortalidade:

Os valores usados para a estimativa dos coeficientes de mortalidade e os coeficientes encontrados são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Valores usados para o cálculo dos coeficientes de mortalidade e os coeficientes encontrados.

$l_c =$	30,00 cm
$\bar{l} =$	43,53 cm
$LS_{\infty} =$	86,00 cm
$k =$	$0,48 \text{ ano}^{-1}$
$Z =$	$1,74 \text{ ano}^{-1}$
$\text{Var}(Z/k) =$	0,0041
$F_{\text{atual}} =$	$0,96 \text{ ano}^{-1}$
$M =$	$0,78 \text{ ano}^{-1}$
$n =$	3205 indivíduos

3.6 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957):

Os estimadores calculados para a construção da equação de Beverton; Holt são apresentados na Tabela 19, considerando ainda que $W_{\infty} = 16$ kg e $\phi = 0,89$ anos.

Os resultados encontrados para o rendimento por recruta máximo sustentável (MSY) foi de 604,9 g/recruta, quando a mortalidade por pesca ótima (F_{MSY}) é de $1,0 \text{ ano}^{-1}$ (Figura 28). Como a mortalidade por pesca atual (F_{atual}) foi de $0,96 \text{ ano}^{-1}$, valor muito próximo àquele encontrado para F_{MSY} , indica que o pacu estaria entrando na fase de sobreexploração.

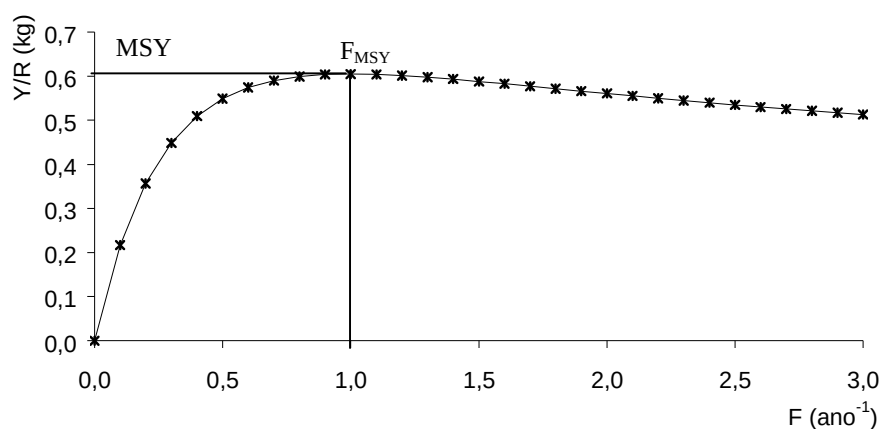


Figura 28: Curva de rendimento por recruta (Y/R) contra mortalidade por pesca (F), quando a mortalidade natural (M) é igual a $0,78 \text{ ano}^{-1}$, indicando a mortalidade por pesca ótima (F_{MSY}) e o rendimento por recruta máximo sustentável (MSY).

3.7 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência:

Para o cálculo do índice de desempenho do crescimento (ϕ') foram usados os valores de k e LS_{∞} encontrados pelo FiSAT, pois estes se mostraram mais aceitáveis. Assim: $\phi' = 3,55$.

O resultado para o cálculo da longevidade foi: $A_{0,95} = 4,69$ anos, sendo que t_0 calculado pela fórmula de Pauly; Martosubroto (1980) foi de -1,55 ano. A taxa de sobrevivência encontrada foi: $S = 17,64\%$.

4 DISCUSSÃO:

4.1 Relações biométricas:

4.1.1 Relação peso-comprimento:

As estatísticas descritivas para LS e WT detectaram um erro padrão da amostra com grandes intervalos, nos meses estudados. As relações entre W x L (LT, LF e LS) são importantes para se fazer previsões da biomassa pesqueira quando os dados de peso não podem ser coletados.

A vantagem de se usar o crescimento isométrico, detectado através do teste de b , é que o cálculo de produção por recruta pode ser simplificado (QUINN; DERISO, 1999). Neste trabalho o teste de t_b para o total de indivíduos amostrados se mostrou alométrico negativo, indicando que o pacu se torna, comparativamente, mais comprido quando cresce. Para machos e fêmeas a relação se mostrou isométrica. Além disso, observou-se pela Figura 6a que b

varia mensalmente.

VILLACORTA-CORREA (1997), estudando o tambaqui (*Colossoma macropomum*) no Amazonas Central, calculou um b significativamente menor que 3, para os machos e para o total dos exemplares analisados, indicando crescimento alométrico. Para as fêmeas e nos exemplares com sexo indeterminado o coeficiente b não foi significativamente diferente de 3, indicando crescimento isométrico. Seus resultados diferem de outros estudos e a autora atribui estas diferenças à utilização do peso eviscerado.

O coeficiente angular b mostra uma relação inversa com o intercepto a , havendo uma covariância negativa entre eles (Figura 6b). BRAGA (1993 e 1995) detectou esta mesma relação quando estudando *Paralichthys brasiliensis* (marinho) e *Plagioscion squamosissimus* (água doce), e concluiu que se deve tomar cuidado ao utilizar b como uma característica populacional.

A relação $W \times L$ revela uma curva de forma exponencial na qual a inclinação pode diferir consideravelmente entre espécies, populações ou sazonalmente para a mesma população. Entretanto, pelo fato de sua inclinação e forma característica, esta relação é sensível à alta variabilidade em peso em um comprimento particular. Assim esta forma de representação normalmente não é considerada como um indicador biométrico útil (WEATHERLEY; GILL, 1987).

FERRAZ DE LIMA *et al.* (1984b), calcularam a equação que descreve a relação $WT \times LT$ para 110 indivíduos de pacu, entre abr/79 e abr/80, no rio Cuiabá, sendo: $WT = 0,0374 \cdot LT^{2,872}$. Esta se assemelha com aquelas

encontradas para machos e fêmeas neste trabalho. Porém, no que se refere ao total de indivíduos amostrados a equação calculada foi: $WT = 0,0744 \cdot LT^{2,688}$.

4.1.2 Fator de condição (K):

O fator de condição é usado como um indicador de mudança na população e pode ser calculado de diferentes formas. Estas técnicas tentam lidar com o problema das mudanças no valor de K de acordo com o comprimento do peixe, que naturalmente ocorre em muitas espécies, como um resultado do crescimento alométrico (WEATHERLEY; GILL, 1987).

A suposição de que o comprimento aumenta constantemente através do tempo (controlado por hormônios), mas o peso não (controlado por trocas calóricas), parece verdadeira para populações que não estão sob restrição alimentar. Quando b ($W = a \cdot L^b$) varia com o tempo, o uso de a , como fator de condição, pode ser comprometido. ZARET (1986) usou b , considerando este parâmetro como o que diretamente expressa a relação $W \times L$, sendo um meio de comparar populações. Este autor constata que b é uma boa aproximação do "fitness" individual, pois quanto mais pesado por unidade de comprimento, maior a contribuição reprodutiva individual, a habilidade de escapar dos predadores e a habilidade para nadar e perseguir presas. Como estes aspectos são importantes componentes do "fitness", quanto maior o b , maior o "fitness" individual.

Uma mudança do peso em um comprimento particular, ou

uma mudança do comprimento, sem correspondente mudança no peso, poderia alterar K. Apesar de esta relação ser importante no estudo de populações de peixes, seu uso tem sido muito criticado (WEATHERLEY; GILL, 1987).

Em peixes cultivados em condições de laboratório sob diferentes temperaturas constantes e suplemento alimentar, $K \times L$ pode mostrar considerável variação. Populações de peixes também mostram mudanças no fator de condição médio através do tempo, refletindo flutuação estacional no seu balanço metabólico, e também no modelo de maturação e subsequente liberação dos produtos reprodutivos. O estado de repleção do estômago também pode influenciar K. Deve-se tomar cuidado ao comparar K entre classes de idades ou entre populações. Em muitas espécies, diferenças sexuais permanentes em K ocorrem depois da maturidade (WEATHERLEY; GILL, 1987).

Para o pacu, o valor do fator de condição de Fulton (K_F) se situou entre 1,5 e 5,0 devido à forma arredondada do corpo desta espécie. Este fator parece se ajustar melhor para a forma do corpo dos salmonídeos, do que para outros grupos. Os valores de K_F encontrados para as enguias, são menores que uma unidade, enquanto para espécies de forma menos alongada o reverso pode ser verdadeiro (WEATHERLEY; GILL, 1987).

O intercepto a da relação $W \times L$ fornece uma boa estimativa do fator de condição alométrico (K_a) e se correlaciona com o período reprodutivo para a espécie ***Paralichthys brasiliensis*** (BRAGA, 1993). Este autor argumenta que embora o fator de condição seja um índice freqüentemente usado, muitas vezes sua utilização e interpretação é feita de maneira inadequada. Ele considera

que K_a é mais adequado do que a utilização de K_F . Em BRAGA (1986) é constatado que K_F varia com o comprimento do peixe, sendo preferível usar K_a , pois este não varia, e é igual ou muito próximo do valor de a .

Para *Piaractus mesopotamicus*, o K_a se apresentou mais elevado fora do período reprodutivo, provavelmente devido ao estoque de tecido germinativo (Figura 9a). Durante a reprodução, quando ocorre a desova, o fator de condição é mais baixo, por causa da eliminação dos gametas para o ambiente externo.

4.1.3 Outras relações biométricas:

As relações obtidas entre os comprimentos total, padrão e forcal obtiveram um alto valor de r^2 (Figura 11), podendo ser utilizadas no manejo do recurso pesqueiro desta espécie. Porém para $AC \times L$, a nuvem de pontos é mais dispersa, e estas relações não se mostraram adequadas para se fazer previsões (Figura 12). Não foram encontradas diferenças significativas entre machos e fêmeas, no que se refere à altura do corpo (Tabela 4).

4.2 Estrutura etária:

4.2.1 Leitura dos anéis de crescimento:

As escamas regeneradas são caracterizadas por uma região obscura no centro, na qual os primeiros annuli não são visíveis. O processo de regeneração recoloca escamas que foram perdidas por efeitos mecânicos do ambiente. Estas escamas não representam o crescimento do peixe e não devem ser usadas para a determinação da idade (Lai et al., 1996).

O *annulus* tem sido definido como uma demarcação que é subjetivamente localizada, para a avaliação do crescimento, em uma estrutura calcificada. Os mecanismos fisiológicos que causam a formação destas marcas e zonas são pouco compreendidos, e faltam estudos detalhados para compreensão destes fatores. Porém, sabe-se que temperaturas elevadas, redução no consumo de alimentos e atividade reprodutiva estão associados com a interrupção ou redução no crescimento somático (CASSELMAN, 1987).

BLAKE; BLAKE (1978 citado por CASSELMAN, 1987) concluíram que nos trópicos a formação das marcas pode ser influenciada por uma série de fatores que variam através do tempo e intensidade de ano para ano. Alterações ambientais tais como temperatura, luz, salinidade, turbidez, suplemento alimentar, ou uma miríade de outros fatores ambientais (oxigênio, pH, etc.), poderiam estar envolvidos, causando uma desaceleração ou estagnação no

crescimento do tecido calcificado e produzindo uma marca ou zona. A formação dos **annuli** em algumas espécies tropicais está associada à reprodução e desova.

As estimativas da idade raramente são de boa precisão. Muitos erros podem ocorrer pela falta do primeiro **annulus**, ou devido aos peixes mais velhos possuírem os últimos **annuli** com espaçamento estreito (BAGENAL; TESCH, 1978). Além disso, o processo de leitura da idade é dependente da visão humana e de julgamento subjetivo, podendo ser distorcido quando no caso do uso de diferentes microscópios e/ou recursos de luz, havendo interferência também do método de preparação das estruturas calcificadas. Isto se complica ainda mais quando ocorre a formação de “falsas marcas”, freqüentemente encontradas nos tecidos ósseos. Assim, os critérios para a determinação da idade devem ser estabelecidos, para que estes problemas sejam minimizados (LAI *et al.*, 1996).

A diferença das medidas entre os anéis etários, em uma mesma escama se explica pela posição da escama para a contagem. A linha imaginária traçada, nunca será a mesma, quando leituras repetidas são efetuadas. SMALL; HIRSCHHORN (1987) usaram um novo método de determinação de idade, traçando os anéis de crescimento através de uma mesa digitalizadora acoplada a um computador. Um programa interativamente calcula os estimadores dos parâmetros de crescimento de von BERTALANFFY, pelos anéis selecionados, e fornece ao investigador a informação necessária para decidir se a idade e a formação do anel é anual. O comprimento do peixe é suposto como sendo proporcional à raiz quadrada da área da escama. Este método pode ser usado ainda para detectar falsos anéis.

BALON (1972 citado por CASSELMAN, 1987) concluiu que é razoável assumir que as marcas em estruturas calcificadas de peixes tropicais são similares para aquelas de peixes temperados e podem ser usadas na determinação da idade. FAGADE (1974 citado por CASSELMAN, 1987) pontuou que mudanças ambientais anuais nos trópicos podem levar à formação de anéis de crescimento. Ele detectou que o aparecimento dos anéis nas estruturas operculares de *Tilapia melanotheron* nos Lagos Lagoon, Nigéria, coincidiu com uma mudança na qualidade da água de salobra para doce na estação chuvosa.

MATHEWS (1974 citado por CASSELMAN, 1987) considera que as estimativas reais de idade em peixes tropicais e subtropicais poderiam ser obtidas se as marcas nos tecidos calcificados fossem usadas em conjunto com o uso de papel de probabilidade, analisando a distribuição de frequência de tamanho.

Os fatores que causam a formação do *annulus* em peixes nos trópicos poderiam ser mais complexos que aqueles afetando peixes na região temperada. Todavia, é difícil relatar resultados de estudos publicados de peixes tropicais porque estes estudos freqüentemente usam termos ambíguos, tais como “anéis” ou “marcas”, que são inadequadamente definidos, ao invés de termos descritivos mais diretos como zonas translúcidas e opacas (CASSELMAN, 1983).

O tecido calcificado de peixes que vivem em ambientes tropicais, deve ser interpretado com cuidado. A validação da idade nestas condições é obrigatória. As marcas e zonas que existem nos tecidos calcificados destes peixes podem ser usadas para determinar a idade acuradamente

(CASSELMAN, 1987). As formas de melhorar a leitura dos anéis de crescimento seriam:

- Uso de tetraciclina: facilita uma compreensão melhor da formação de zonas opacas e translúcidas (CASSELMAN, 1987);
- Geocronologia radiométrica, usa taxas de núclídeos naturais. A determinação radiométrica da idade foi usada para confirmar a longevidade do “rockfish” por medida da decomposição do urânio nos otólitos (BENNETT *et al.*, 1982 citado por CASSELMAN, 1987).
- Uso de isótopos (CAMPANA, 1999).

4.2.2 Validação dos anéis de crescimento:

Para a validação dos anéis de crescimento, a análise indireta do incremento marginal (IM) foi o melhor método utilizado, e quando analisado por ciclo hidrológico, se detectou mais claramente a formação dos dois anéis de crescimento no ano. A análise da distância do último anel até a borda e o método descrito por VAZZOLER (1982), obtiveram resultados mais fracos, porque pela visualização dos gráficos, a formação dos anéis ficou pouco evidenciada.

O padrão encontrado pela análise do IM, mostrando a formação de dois anéis no ano, parece ser comum em ambientes tropicais, onde cada vez mais estudos detectam esta forma de crescimento. Como exemplo pode-se citar as espécies de peixes *Brycon cephalus* (VILLACORTA-CORREA,

1987), *Prochilodus nigricans* (OLIVEIRA, 1997), *Calophysus macropterus* (PÉREZ LOZÁNO, 1999) e *Semaprochilodus insignis* (VIEIRA, 1999), todos estudados na bacia Amazônica.

Similarmente, BLAKE; BLAKE (1978 citado por CASSELMAN, 1987) examinaram os ossos operculares em *Labeo senegalensis* do Lago Kaingi, Nigéria, e detectaram que o opérculo continha dois tipos de marcas que ocorriam com regularidade. Um tipo de marca formado principalmente em junho-julho, correspondendo ao começo das chuvas e período de águas baixas, quando o suplemento alimentar era limitado. O outro tipo de marca, formada em janeiro, correspondia à época de temperatura mínima de inverno.

Na Figura 29, observam-se os movimentos migratórios dos peixes, em relação ao nível do rio Cuiabá (FERRAZ DE LIMA, 1986/1987). Notamos um pico de água máximo que corresponde à migração trófica, e um pico mínimo que corresponde ao período reprodutivo. Estas migrações correspondem à época de formação dos anéis nas escamas (fevereiro e setembro), explicando os resultados encontrados. Desta forma, os dois anéis anuais coincidem com a migração trófica e reprodutiva dos peixes na bacia do rio Cuiabá. Embora FERRAZ DE LIMA *et al.* (1984b), constatem que a formação dos anéis para o pacu seja anual, em seu trabalho eles não validaram a formação dos anéis de crescimento.

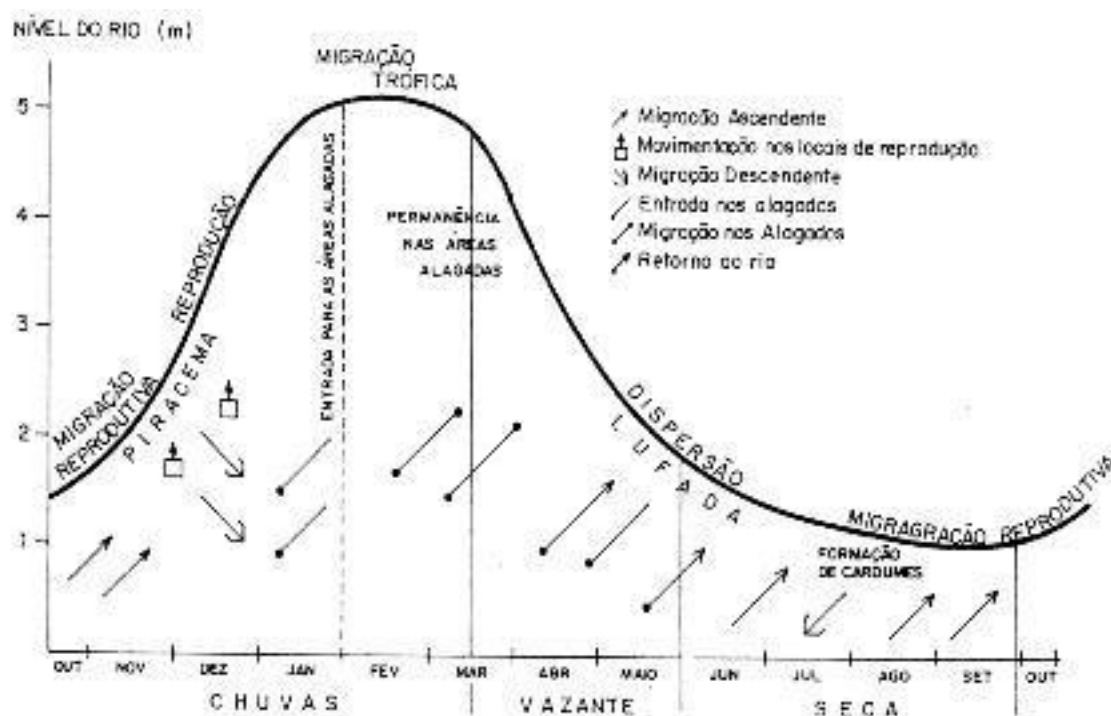


Figura 29: Inter-relações entre os movimentos migratórios dos peixes e o nível do rio Cuiabá, segundo FERRAZ DE LIMA (1986/1987). Médias mensais do nível do rio de 1976 a 1980.

MATEUS (1996) estudando o crescimento do pintado, *Pseudoplatystoma coruscans*, no Pantanal Mato-grossense, detectou que esta espécie apresenta crescimento desacelerado nos períodos de seca e cheia, embora os anéis etários sejam anuais, formados na seca. Em ambientes tropicais o crescimento dos peixes parece acompanhar a flutuação do nível da água, já que a temperatura média varia pouco durante o ano (PETRERE¹).

Vários métodos matemáticos têm também sido usados para determinar se as idades estimadas providenciam dados de crescimento confiáveis

(CASSELMAN, 1987). Existem muitos métodos de validação de idade, mas os pesquisadores deveriam confiar em um método que fornecesse uma validação para toda a história de vida do peixe (LAI **et al.**, 1996).

O método de validação é feito para constatar se a formação das principais marcas nos tecidos ósseos é cíclica, periódica ou anual. Também se considera a possibilidade dos **annuli** faltarem devido ao “stress” ambiental e fisiológico, especialmente depois que a maturidade é alcançada. Estes aspectos têm causado sérios problemas e levado a erros nas decisões de estimativa do estoque (LAI **et al.**, 1996).

A validação direta é determinada pelo tempo passado entre dois eventos observados. Assim a periodicidade da formação do anel pode ser confirmada. É o tipo de validação mais preciso, mas os métodos deveriam ser aplicados para toda a história de vida para evitar a extrapolação em estádios de vida não observados. Este tipo de validação pode ser feito através do uso de marcadores químicos, como a oxytetracyclina (OTC). Uma outra forma seria cultivar o peixe com sacrifício seqüencial, mas o cultivo leva a diferenças no crescimento em relação aos indivíduos no ambiente natural (LAI **et al.**, 1996).

4.3 Estimativa dos parâmetros da equação de crescimento:

4.3.1 Método de FORD-WALFORD:

Um dos méritos do método de FORD-WALFORD é determinar os valores iniciais plausíveis para a estimativa de LS_{∞} , k e t_0 através da regressão não linear, para a equação de crescimento de von BERTALANFFY. Mas, os resultados encontrados na regressão não linear não foram satisfatórios.

FERRAZ DE LIMA *et al.* (1984b), utilizando o método de FORD-WALFORD, em um estudo semelhante com o pacu no rio Cuiabá, e considerando a idade dos indivíduos com até 8 anéis nas escamas, encontraram as seguintes equações de crescimento de von BERTALANFFY (1938):

$$LT_t = 75,53 \cdot (1 - e^{-0,1436 \cdot (t + 1,190)}) \text{ e } WT_t = 9281,68 \cdot (1 - e^{-0,1436 \cdot (t + 1,190)})^{2,872}$$

Embora os valores de LT_{∞} (64,4 cm) e WT_{∞} (5405,3 g), encontrados no presente trabalho (Tabela 11), se apresentem mais baixos que os de FERRAZ DE LIMA *et al.* (1984b), ainda não se pode afirmar que esteja havendo uma redução do tamanho dos peixes na bacia do rio Cuiabá, nos quinze anos que separam estes dois estudos.

4.3.2 Método de BEVERTON plot:

Os valores calculados pelo método de BEVERTON plot para

a equação de crescimento de von BERTALANFFY, não são biologicamente plausíveis para o pacu ($k = 0,057$ e $t_0 = -8,0035$), quando se considera os 11 anéis etários lidos. Levando em conta 5 anos, os valores são mais realistas ($k = 0,1129$ e $t_0 = -4,4023$). Os resultados encontrados na regressão não linear não foram aceitáveis.

4.3.3 Modelo de SCHNUTE (1981):

Provavelmente devido à estabilidade do modelo, a variação no valor inicial dos parâmetros da equação de crescimento, não interferiu muito nos resultados simulados, quando se trata do total de indivíduos analisados.

PENNA (1999) usou o modelo de SCHNUTE para detectar qual a melhor curva de crescimento para o tambaqui, *Colossoma macropomum*, concluindo que a curva de crescimento de von BERTALANFFY se ajustava melhor aos dados. WALTER (1997) também usou esse modelo para a toninha, *Pontoporia blainvillei* (Cetácea), encontrando resultados semelhantes. Ambos os autores verificaram a estabilidade dos resultados do modelo, ao variar os valores dos parâmetros iniciais.

A curva no caso 3, como aquela encontrada para o total de indivíduos analisados, e considerando os 11 anéis de crescimento, é uma curva não assintótica, tornando-se livre. Esta curva não é comum, mas SCHNUTE (1981) imagina circunstâncias nas quais ela pode ocorrer. Assim como no caso de

uma espécie que tem dificuldades para se alimentar até que alcance um tamanho crítico γ^* (comprimento no ponto de inflexão da curva), quando então as dificuldades diminuem, poderia ter um modelo de crescimento deste tipo.

SCHNUTE (1981) discute ainda, que existem dois conceitos errados acerca da estimativa não linear. O primeiro é o preconceito que os métodos para encontrar um mínimo são complexos e difíceis de usar. O segundo é que se um único método estivesse disponível, então ele deveria resolver o problema, como no caso da regressão linear. Porém, quando os programas são executados, problemas enigmáticos podem ocorrer e a pesquisa por um mínimo pode parecer sem fim. Os problemas persistem quando alguns métodos não conseguem fornecer os estimadores dos parâmetros, e se estes são finalmente estimados, o problema persiste na sua interpretação biológica.

Os pesquisadores que procuram uma curva descrevendo dados de tamanho x idade encontram o problema de ajustar um modelo apropriado. Existe um extensivo pacote de modelos para se considerar, tais como PÜTTER, von BERTALANFFY, RICHARDS, GOMPERTZ, ou logístico (RICKER, 1979). Após a escolha do modelo os problemas não acabam, pois existe ainda muitos métodos para estimar os parâmetros da curva de crescimento como o plot de WALFORD (1946), FABENS (1965) ou ALLEN (1966), no caso da estimativa de parâmetros da curva de von BERTALANFFY (1938) (SCHNUTE, 1981).

As curvas de crescimento demonstram o aumento no comprimento, peso ou conteúdo de proteína, através do tempo de vida do

organismo. Elas podem tomar a forma sigmoidal, mas podem também ser de muitas outras formas. Várias equações podem produzir curvas sigmóides, e o ajuste destas aos dados pode ser um engano, porque as equações são incapazes de indicar a natureza dos fatores que controlam o tamanho de um organismo. A equação de von BERTALANFFY tem sido usada por muitos ictiologistas por causa de sua suposta virtude de incluir termos que representam as propriedades metabólicas de assimilação. Todavia, muitas análises de crescimento são incapazes de utilizar estas curvas, porque fatores ambientais variantes provocam divergências entre os modelos de crescimento (WEATHERLEY; GILL, 1987).

4.3.4 Retro-cálculo:

Deve se tomar cuidado no uso do retro-cálculo porque a relação entre o crescimento do **annulus** e o crescimento do peixe pode não ser linear. A medida do **annulus** pode ser analisada por classe-ano e os efeitos anuais relacionados para as variáveis ambientais (QUINN; DERISO, 1999).

SMITH (1983) atuando como moderador de uma discussão sobre retro-cálculo, observa que a relação entre o tamanho de uma parte dura e o tamanho de muitas espécies de peixes pode ser representada adequadamente por uma linha reta que pode ou não passar através da origem. Em outros casos, a relação é mais bem expressa por uma expressão curvilínea. Existem ainda numerosos exemplos demonstrando que nem sempre existe uma forte relação

entre certas partes duras e o tamanho do peixe. Nestes casos, sugere-se que o retro-cálculo não seja utilizado, por que a violação desta suposição levaria a resultados dúbios.

Poucas tentativas foram feitas para retro-calcular o comprimento de peixes oceânicos, provavelmente porque os pesquisadores não acreditam que os requerimentos básicos para um retro-cálculo preciso tenham sido satisfeitos, supostamente porque o problema está no tempo (SMITH, 1983).

Neste trabalho o retro-cálculo foi efetuado, apesar da baixa correlação encontrada nos modelos lineares, multiplicativo e exponencial ($r^2 = 0,33$). Os modelos retro-calculados comparados, SPH e BPH, mostraram valores mais realísticos para BPH do que para SPH quando comparados aos observados. A estimativa dos parâmetros de crescimento pelo método de FORD-WALFORD, modelo BPH, para 11 anéis e 5 anos de idade, mostraram os melhores resultados quando usados no modelo não linear (Tabela 17).

A fórmula de FRASER-LEE, embora utilizada na maioria dos trabalhos sobre retro-cálculo parece ser inadequada, de acordo com FRANCIS (1990). A regressão e o método de FRASER-LEE estão sujeitos a várias dificuldades fundamentais. Ambos assumem que os modelos de ajuste para comprimento e escamas são apropriados para comprimentos em idade anteriores. Em particular, nenhuma informação do S_i observado é usada na estimativa de a e b . Em segundo lugar, este método não permite modelagem, no senso estatístico usual, no qual o crescimento é dividido em porções devido às mudanças ambientais, efeitos dos grupos de idade, efeitos das classes de ano, etc. Também

medidas reais de precisão dos comprimentos retro-calculados não são facilmente obtidos no método de FRASER-LEE ou na regressão (WEISBERG; FRIE, 1987).

PÉREZ LOZÁNO (1999) utilizou o método de FRASER-LEE para *Calophysus macropterus* e detectou o fenômeno de LEE quando aplicou o método de DUNCAN (1980 citado por PÉREZ LOZÁNO, 1999), evidenciado pela gradual diminuição da declividade da relação entre o tamanho de vértebra para cada grupo de idade.

Alguns autores têm validado a idade nas escamas usando a técnica do incremento marginal e então comparando os resultados com estimativas da idade do retro-cálculo baseados em comprimento médio da idade de análises de frequência de comprimento. Deve-se sempre estar atento que a determinação de idade usando escamas, especialmente para as espécies de vida longa, pode ser tendenciosa (LAI *et al.*, 1996).

Os maiores aumentos no tamanho da escama ocorrem antes da maturidade. Depois desta fase, a taxa de crescimento em muitas espécies é reduzida, principalmente nos machos, afetando as estimativas dos modelos de crescimento, quando são baseadas na leitura da escama (LAI *et al.*, 1996).

A validação para o método do retro-cálculo pode ser dividida em três partes (FRANCIS, 1990):

- (i) que o raio da marca da escama é o mesmo que o raio da escama no tempo em que a marca foi formada;
- (ii) que o tempo suposto de formação da marca é correto;
- (iii) que a fórmula usada relaciona raio da escama e

tamanho do corpo para cada peixe.

No terceiro caso, a validação é feita comparando comprimentos observados com aqueles preditos pelo retro-cálculo. Esta comparação pode ser feita para o peixe individual, através de marcação e recaptura, o que normalmente é mais difícil. Outra forma seria através da comparação de um grupo de peixes, ou seja, o comprimento médio retro-calculado de uma amostra de peixes é comparado com o comprimento observado de outra amostra de peixes. Como é comum observar grandes variações entre coortes no comprimento médio de cada idade, tais comparações são de pouco valor quando não são restringidas para os peixes da mesma coorte (FRANCIS, 1990).

Apesar da técnica de retro-cálculo ser muito usada ela é pouco compreendida. A validação efetuada pela maioria dos autores é fraca ou inexistente e o papel da regressão é mal interpretado (FRANCIS, 1990).

4.3.5 Frequência de comprimento (FiSAT - ELEFAN I):

A teoria estatística que está inserida no ELEFAN I é complicada, assim como o programa de computador utilizado. No entanto, o pesquisador que usa o programa não necessita conhecer todos os passos técnicos. Se os princípios básicos do método forem entendidos, haverá poucas dificuldades na utilização do programa (Sparre; Venema, 1997).

A equação de crescimento de von BERTALANFFY foi a que

melhor se ajustou para os dados do pacu, quando os parâmetros foram estimados pelo FiSAT, embora este seja o método mais criticado e menos confiável. Atualmente, os modelos não lineares têm fornecido resultados melhores para várias espécies.

A idade e o crescimento de peixes têm sido considerados mais difíceis de serem determinados nos trópicos que em climas temperados (DE BONT, 1967 citado por CASSELMAN, 1987). A distribuição de frequência de comprimento é considerada de pequena utilidade para muitos peixes tropicais por que os períodos de desovas são mais prolongados (TESCH, 1968 citado por CASSELMAN, 1987). Porém, PAULY (1983 citado por CASSELMAN, 1987) considerou que estes métodos foram mal empregados e que os problemas têm sido muito salientados.

O cultivo é o melhor método direto para determinar o crescimento, permitindo fácil avaliação da acumulação progressiva do tecido somático para o peixe de idade conhecida. Porém, a taxa de crescimento em cultivo é diferente daquela encontrada no ambiente natural. Além disso, a determinação da idade e do crescimento em populações selvagens é muito mais difícil, pois elas contêm diferentes idades, estádios de vida, e tamanhos, que ainda podem diferir por sexo (CASSELMAN, 1987).

Em adição, existem ainda muitos problemas técnicos de amostragem das populações silvestres, como no caso de pequenos tamanhos e idades mais jovens, ou alevinos, que são difíceis de serem coletados adequadamente. Por este motivo, é importante ter técnicas para se detectar o

crescimento de amostras individuais da população, válidas estatisticamente, e que não sejam tendenciosas por tamanho ou por idade (CASSELMAN, 1987).

4.4 Estimativa dos coeficientes de mortalidade:

A taxa de mortalidade de Pauly é válida quando se trabalha com o comprimento total do peixe, de acordo com o alerta que o programa FiSAT fornece, no uso desta fórmula. Porém, Sparre; Venema (1997) alegam que apesar do fato da fórmula de Pauly ser baseada somente em estoques de peixes, e do resultado depender de como estes foram medidos (comprimento total, padrão, forcal, etc.), esta equação dá apenas uma estimativa grosseira de M , e pode-se ignorar este pormenor. Por este motivo, neste trabalho foi usado o LS_{∞} .

VALDERRAMA BARCO (1992) também encontrou um valor para M de $0,78 \text{ ano}^{-1}$, para o "bocachico", *Prochilodus magdalenae*, no baixo rio Magdalena (Colômbia), e discute ser este valor moderadamente alto, mas estando dentro dos valores calculados para peixes tropicais de água doce.

A equação da mortalidade natural de PAULY pode ser correta para um peixe típico, mas pode não se aplicar a um determinado estoque de peixes. A fórmula indica que (SPARRE; VENEMA, 1997):

- (i) Peixes pequenos têm mortalidade natural alta;
- (ii) Peixes com crescimento rápido têm mortalidade alta;

(iii) Quanto maior a temperatura da água, maior a mortalidade natural.

Isto implica que qualquer outro aspecto que possa influenciar na mortalidade natural é considerado “um ruído aleatório em torno da linha de regressão”. Outros aspectos podem ser, por exemplo, o comportamento (agregação em cardume, pelágico ou demersal), a fisiologia da reprodução e o ecossistema (abundância de predadores). Na realidade, somente para estoques virgens, não explorados, ($M = Z$) é que se está em condições de estimar M .

Na fórmula de mortalidade de PAULY ocorrem relações negativas entre M e o tamanho assintótico, relações positivas entre M e o crescimento, e entre M e a temperatura (QUINN; DERISO, 1999).

O estudo do crescimento mostra o aspecto positivo na dinâmica de um estoque de peixes e a mortalidade o aspecto negativo. Um conceito básico, quando se descreve a dinâmica de um recurso aquático explorado, é o de estoque, que é o subconjunto de uma espécie que possui os mesmos parâmetros de crescimento e mortalidade, e que habita uma área geográfica particular. Estes parâmetros populacionais devem ser constantes para que possam ser utilizados na avaliação do estoque. A identificação de estoques é uma tarefa complexa, e pode requerer muitos anos de coleta de dados e análise (SPARRE; VENEMA, 1997).

4.5 Modelo analítico de BEVERTON-HOLT (1957):

Como o F_{atual} é igual a $0,955 \text{ ano}^{-1}$ e o F_{MSY} é igual a $1,0 \text{ ano}^{-1}$, quando $M = 0,78 \text{ ano}^{-1}$, nota-se que o pacu se encontra próximo de seu rendimento máximo sustentável. Catella **et al.** (2001), investigando a pesca no Estado do Mato Grosso do Sul, detectaram, entre 1995 e 1998, que *Piaractus mesopotamicus*, foi a principal espécie capturada. Esta espécie apresentou captura máxima de 428 t em 1995, diminuindo para 363 t em 1998, equivalente a 1/3 e a 1/4 da captura total, respectivamente. Pelo modelo de SCHAEFER, os autores estimaram o esforço ótimo de pesca do pacu em $F_{\text{MSY}} = 146.000$ pescadores x dias de pesca, para uma captura máxima sustentável de $Y_{\text{MSY}} = 437$ t/ano, para toda a Bacia do Alto Paraguai. No entanto, verificou-se que em 1998 foi aplicado um esforço equivalente a 308.000 pescadores x dias de pesca, capturando apenas 231 t, ultrapassando o esforço ótimo de pesca (F_{MSY}) indicando sobrepesca da espécie. Por este motivo, os autores aconselharam a diminuir o esforço de pesca sobre o pacu, pelo aumento do tamanho mínimo de captura de 40 cm para 45 cm. FERRAZ DE LIMA² informou que exemplares de pacu maiores que 50 cm já são difíceis de serem capturados, havendo uma redução do tamanho de captura.

PETREIRE (1983) construiu o modelo de BEVERTON; HOLT para o tambaqui, *Colossoma macropomum*, na Amazônia e discute que embora a literatura afirme que este modelo não seja adequado para o manejo da pesca

multiespecífica tropical, por que as complexas interações entre as espécies são desconhecidas, para o tambaqui ele se adequou. Isto se deve ao fato do tambaqui ser uma espécie planctófaga, tendendo a onivoria quando seu tamanho aumenta, e é independente de outras espécies de peixes. O grande tamanho desta espécie faz com que a predação sobre ela seja limitada. O pacu é uma espécie semelhante ao tambaqui quanto ao hábito alimentar (SILVA, 1985), sendo espécies aparentadas (família Characidae, subfamília Myleinae). Embora atinja tamanho menor que o tambaqui, as mesmas conclusões sobre a aplicação deste modelo poderiam ser aplicadas para o pacu.

Recentemente existe muito interesse na construção de modelos baseados no comprimento ou peso dos indivíduos de uma população. Isto se deve à dificuldade de se obter idades precisas para muitas espécies de peixes, e a facilidade de se conseguir dados de comprimento, sendo uma informação primária. Além disso, parâmetros populacionais tais como mortalidade, seletividade de rede e maturidade, podem ser mais bem relacionados para o comprimento do que para a idade. Finalmente, para algumas populações, é desejável generalizar modelos de idade para acomodar múltiplas classificações de um indivíduo (idade, comprimento peso, etc.) (QUINN; DERISO, 1999).

Em muitas aplicações da estimativa do estoque, é necessário encontrar um substituto para os dados dependentes da idade, pois a coleta destes dados é problemática devido à dificuldade técnica em se determinar a idade de peixes tropicais e por ser na maioria das vezes muito caro. Assim, o substituto, medidas de comprimento ou tamanho têm se tornado popular. Esta

área de análises baseadas em tamanho tem expandido nos anos recentes para modelos baseados em análises estocásticas e otimizações não lineares. Uma consideração importante na adoção e aplicação de algum método é a resposta ou sensibilidade de seu erro na saída dos vários parâmetros de entrada. O fato que diferentes entradas podem ter grandes variâncias e que algumas entradas são mais críticas que outras para a precisão da saída, normalmente é negligenciado. Existe um importante princípio de conservação: medidas de tamanho são mais fáceis de coletar que a idade e são muito mais variáveis. Isto é, existe um número muito maior de comprimentos correspondendo para uma idade que vice versa. Portanto, deve-se esperar que o uso de métodos baseados no comprimento leve a uma perda de informação, pois providencia resultados mais variáveis que métodos baseados na idade (GALLUCCI *et al.*, 1996).

4.6 Desempenho do crescimento, longevidade e sobrevivência:

Embora FERRAZ DE LIMA *et al.* (1984b) não tenham calculado ϕ' para o pacu, com os resultados de $LT_{\infty} = 75,53$ cm e $k = 0,1436$ ano⁻¹, foi possível calcular o índice de desempenho de crescimento, ou seja de 2,91. Um valor menor que o encontrado neste trabalho (3,55). A diferença encontrada para este índice pode ser devido às diferentes condições ambientais encontradas pela população nos diferentes anos de amostragem, como a disponibilidade de

alimento (SPARRE; VENEMA, 1997). Para o tambaqui, este índice pode variar de 5,042 a 5,501, de acordo com os trabalhos citados por VILLACORTA-CORREA (1997), indicando que o tambaqui cresce mais rápido que o pacu.

Para a longevidade, considerando o trabalho de FERRAZ DE LIMA **et al.** (1984b), o valor seria de 19,67 anos, sendo $t_0 = -1,19$ ano. Neste trabalho o valor encontrado de 4,69 anos, quando $t_0 = -1,55$ ano, é menor. Estas diferenças provavelmente se devem às diferentes maneiras de se calcular t_0 e k nos dois trabalhos (FORD-WALFORD em FERRAZ DE LIMA **et al.** (1984b), e aqui foi usado o FiSAT para o cálculo de k e a fórmula de PAULY; MARTOSUBROTO para o t_0). Para o tambaqui o valor de t_0 encontrado por VILLACORTA-CORREA (1997) foi de -1,344 ano, sendo a longevidade de 17,2 anos, quando estudando as escamas, com formação de um anel anual. Considerando que o pacu forme dois anéis de crescimento por ano, a maior idade encontrada através da leitura das escamas foi de 5 anos, concordando com a longevidade calculada.

Somente 17,64% da população sobrevive de um ano para o outro, de acordo com a taxa de sobrevivência encontrada, confirmando a suspeita de uma sobreexploração da espécie.

5 CONCLUSÕES:

Provavelmente, a grande variabilidade individual do comprimento por idade tenha sido a responsável pela dificuldade desta tese. Um dos motivos para a variabilidade dos parâmetros encontrados para as curvas de crescimento seria que os dados coletados vieram de diferentes populações do pacu, pois no Mercado de peixes de Cuiabá, não era possível determinar com precisão o local de captura do peixe.

O problema de se trabalhar com dados coletados no mercado é que não se obtém indivíduos de tamanhos menores e faltam os primeiros pontos para se traçar a curva de crescimento, podendo levar a uma estimativa viciada de k .

O IM foi o melhor método para a validação das marcas de crescimento e mostrou que o pacu, *Piaractus mesopotamicus*, forma dois anéis de crescimento por ano em suas escamas. Um deles em fevereiro, que corresponde à época da cheia, quando ocorre a migração trófica. O outro em setembro, final da época seca e início da migração reprodutiva.

Em relação ao retro-cálculo, o melhor modelo que se ajustou

aos dados observados foi o BPH (body proportional hypothesis - hipóteses do corpo proporcional). O método de frequência de comprimento, analisado pelo pacote FiSAT (ELEFAN I) foi mais adequado para a estimativa dos parâmetros de crescimento, resultando em: $LS_{\infty} = 86$ cm; $k = 0,48 \text{ ano}^{-1}$, demonstrando um rápido crescimento.

A taxa de mortalidade natural encontrada para o pacu foi alta ($M = 0,78 \text{ anos}^{-1}$). O estoque do pacu parece estar super explorado, se encontrando próximo de seu rendimento máximo sustentável. O índice de desempenho do crescimento (ϕ') foi igual a 3,55. A espécie tem ciclo de vida curto, pois a longevidade ($A_{0,95}$) foi de 4,69 anos, quando t_0 é igual a -1,55 anos. A taxa de sobrevivência (S) foi igual a 17,64%.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALHO, C. J. R. Manejo da fauna silvestre. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: Departamento de Difusão de Tecnologia, 1986. p. 183-197.

ALLEN, K. R. A method of fitting growth curves of the von Bertalanffy type to observed data. **J. Fish. Res. Board Can.**, v. 23, p. 163-179, 1966.

ANGELINI, R.; PETRERE JÚNIOR, M. Simulação da produção do pacu ***Piaractus mesopotamicus*** em viveiros de piscicultura. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 5, p. 41-55, 1992.

ANGELINI, R.; CANTELMO, O. A.; PETRERE JÚNIOR, M. Determinação da taxa de consumo de ração pelo pacu ***Piaractus mesopotamicus*** Holmberg, 1887, com diferentes tamanhos e sob distintas temperaturas. **Boletim Técnico CEPTA**,

Pirassununga, v. 5, p. 11-22, 1992.

BAGENAL, T. B.; TESCH, F. W. Age and growth. In: BAGENAL, T. **Methods for assessment of fish production in fresh waters**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. p. 101-136. (IBP Handbook n. 3).

BALON, E. K. Possible fish stock size assessment and available production survey as developed on Lake Kariba. **Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.**, v. 1, p. 45-73, 1972.

BARTHEM, R. B. **Ecologia e pesca da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*)**. 1990. 268 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BENNETT, J. T.; BOEHLERT, G. W.; TUREKIAN, K. K. Confirmation of longevity in ***Sebastes diploproa*** (Pisces: Scorpaenidae) from $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ measurements in otoliths. **Mar. Biol. (Berl.)**, v. 71, p. 209-215, 1982.

BERTALANFFY, L. von. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). **Human Biology**, v. 10, p. 181-213, 1938.

BEVERTON, R. J. H.; HOLT, S. J. **On the dynamics of exploited fish populations**. Lowestoff: Ministry of Agriculture Fisheries and Food, Fisheries

Investigations, Series II, Volume XIX, 1957. 533 p.

BLAKE, C.; BLAKE, B. F. The use of opercular bones in the study of age and growth in ***Labeo senegalensis*** from Lake Kainji, Nigeria. **Journal of Fish Biology**, v. 13, p. 287-295, 1978.

BRAGA, F. M. S. Estudo entre fator de condição e relação peso/comprimento para alguns peixes marinhos. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 46, n. 2, p. 99-115, 1986.

BRAGA, F. M. S. Análise do fator de condição de ***Paralichthys brasiliensis*** (PERCIFORMES, SCIAENIDAE). **Revista UNIMAR**, v. 15, n. 2, p. 99-115, 1993.

BRAGA, F. M. S. **Biologia e pesca da corvina *Plagioscion squamosissimus* (Teleostei, Sciaenidae) na Represa de Barra Bonita, Rio Piracicaba (SP)**. 1995. 128 f. Tese (Livre-Docente) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

BRITSKI, H. A.; SILIMON, K. Z. S.; LOPES, B. S. **Peixes do Pantanal**: manual de identificação. 1. ed. Brasília: Embrapa/SPI, 1999. 184 p.

CAMPANA, S. E. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways,

mechanisms and applications. **Marine Ecology** - Progress Series, v. 188, p. 263-297, 1999.

CASSELMAN, J. M. Age and growth assessment of fish from their calcified structures-techniques and tools. **U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS**, v. 8, p. 1-17, 1983.

CASSELMAN, J. M. Determination of age and growth. In: WEATHERLEY, A. H.; GILL, H. S. **The biology of fish growth**. London: Academic Press, 1987. p. 209-242.

CASTAGNOLLI, N.; DONALDSON, E. M. Induced ovulation and rearing of the pacu (***Colossoma mitrei***). **Aquaculture**, v. 25, p. 275-279, 1981.

CASTAGNOLLI, N.; ZUIM, S. M. F. Consolidação do conhecimento adquirido sobre o pacu (***Colossoma mitrei***) Berg 1895. **Boletim Técnico - UNESP/Campus de Jaboticabal**, v. 5, 1985. 30 p.

CATELLA, A. C. **Estrutura da comunidade e alimentação dos peixes da baía do Onça, uma lagoa do Pantanal do rio Aquidauana, MS**. 1992. 215 f. Tese (Mestrado em Ecologia) - Departamento de Zoologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

CATELLA, A. C.; ALBUQUERQUE, F. F. de; PEIXER, J.; PALMEIRA, S. S. **Sistema de controle da pesca de Mato Grosso do Sul. SCPESCA/MS - 2 - 1995.** Corumbá: EMBRAPA PANTANAL/SEMA-FEMAP, 1998. 41 p. (Boletim de Pesquisa, 14).

CATELLA, A. C.; ALBUQUERQUE, F. F. de; CAMPOS, F. L. R. **Sistema de Controle da Pesca de Mato Grosso do Sul SCPESCA/MS - 5 - 1998.** Corumbá: EMBRAPA PANTANAL/SEMACT-FEMAP, 2001. 72p. (Boletim de Pesquisa, 22).

CESP/Companhia Energética de São Paulo. **Marcação e captura de pacu (*Colossoma mitrei*) no reservatório da UHE Mário Lopes Leão, Promissão, Estado de São Paulo.** São Paulo, 1990. 17 p. (Série Pesquisa e Desenvolvimento, n. 53).

CHABALIN, E.; FERRAZ DE LIMA, J. A. Análise econômica de um cultivo intensivo de pacu (*Colossoma mitrei*) no Centro-Oeste do Brasil. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 1, n. 1, p. 61-68, 1988.

CHABALIN, E.; FERRAZ DE LIMA, J. A.; ALVES, L. B. O. Análise comparativa entre o valor comercial do pacu (*Colossoma mitrei*) capturado e cultivado - Mercado de peixes de Cuiabá. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 1, n. 1,

p. 49-60, 1988.

CONCEIÇÃO, C. A.; PAULA, J. E. Contribuição para o conhecimento da flora do Pantanal Mato-grossense e sua relação com a fauna e o homem. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: Departamento de Difusão de Tecnologia, 1986. p. 107-130.

DA SILVA, C. J. **Influência da variação do nível da água sobre a estrutura e funcionamento de uma área alagável do Pantanal Mato-grossense (Pantanal de Barão de Melgaço, Município de Santo Antônio de Leveger e Barão de Melgaço - MT)**. 1990. 250 f. Tese (Doutorado em Ciências). Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1990.

DE BONT, A. F. Some aspects of age and growth of fish in temperate and tropical waters. In: GERKING, S. D. **The biological basis of freshwater fish production**. Oxford: Blackwell, 1967.

DOURADO, O. F.; CHACON, J. O.; DAVIES, W. D. Idade e crescimento da curimatã comum, ***Prochilodus cearensis*** Steindachner, no açude "Pereira de Miranda", Pentecoste, Ceará, Brasil. **Boletim Técnico DNOCS**, v. 29, n. 2, p. 95-109, 1971.

DUNCAN, K. W. On the back-calculation of fish lengths: modifications and extensions to the Fraser-Lee equation. **Journal of Fish Biology**, v. 16, p. 725-730, 1980.

FABENS, A. J. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. **Growth**, v. 29, p. 265-289, 1965.

FAGADE, S. O. Age determination in ***Tilapia melanotheron*** (Ruppell) in the Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. In: BAGENAL, T. B. **Ageing of Fish-Proceedings of an International Symposium**, 1974, London: Unwin.

FERRARI, V. A.; LUCAS, A. F. B.; GASPAR, L. A. Monocultura de pacu ***Piaractus mesopotamicus*** Holmberg, 1887, em condições de viveiro estufa. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 3, p. 33-42, 1990.

FERRAZ DE LIMA, J. A. A pesca no pantanal de Mato Grosso (Rio Cuiabá: a importância dos peixes migradores). **Acta Amazônica**, v. 16/17, p. 87-94, 1986/1987.

FERRAZ DE LIMA, J. A; BARBIERI, G.; VERANI, J. R. Período de reprodução, tamanho e idade de primeira maturação gonadal do pacu, ***Colossoma mitrei***, em

ambiente natural (rio Cuiabá - Pantanal de Mato Grosso). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 3., 1984a, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Sociedade Brasileira de Aquicultura, 1984a. p. 477-497.

FERRAZ DE LIMA, J. A.; FERRAZ DE LIMA, C. L. B.; BARBIERI, G. Crescimento do pacu (*Colossoma mitrei*), em ambiente natural (rio Cuiabá - Pantanal de Mato Grosso). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 3, 1984b, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Sociedade Brasileira de Aquicultura, 1984b. p. 499-521.

FERRAZ DE LIMA, J. A.; VERANI, J. R.; BARBIERI, G.; PEREIRA, J. A. Análise comparativa do comportamento do pacu, *Colossoma mitrei*, em ambiente natural e artificial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 3., 1984c, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Sociedade Brasileira de Aquicultura, 1984c. p. 575-583.

FERRAZ DE LIMA, J. A.; FERRARI, V. A.; COLARES DE MELO, J. S.; GASPAR, L. A.; CHABALIN, E.; SANTOS, E. P. Comportamento do pacu, *Colossoma mitrei*, em um cultivo experimental, no Centro-Oeste do Brasil. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 1, n. 1, p. 15-28, 1988.

FERRAZ DE LIMA, C. L. B.; REIS, N. S.; CECCARELLI, P. S.; BOZANO, G. L. N. Modificações histológicas associadas com infecção por *Henneguya* sp. (Protozoa, Myxosporea) em pacu *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Teleostei,

Serrasalminae). **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 8, p. 13-23, 1995.

FRANCIS, R. I. C. C. Back-calculation of fish length: a critical review. **Journal of Fish Biology**, v. 36, n. 6, p. 883-902, 1990.

GALLUCCI, V. F.; AMJOUN, B.; HEDGEPEETH, J.; LAI, H. L. Size-based methods of stock assessment of small-scale fisheries. In: GALLUCCI, V. F.; SAILA, S. B.; GUSTAFSON, D. J.; ROTHSCCHILD, B. J. **Stock assessment**: quantitative methods and applications for small-scale fisheries. New York: CRC Lewis Publishers, 1996. p. 9-81.

GAYANILO JUNIOR, F. C.; SPARRE, P.; PAULY, D. **The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Guide**. Rome: FAO, 1994. 124 p. (FAO Computerized Information Series (Fisheries). n. 7).

HILE, R. Age and growth of the rock bass, *Ambloplites rupestris* (Rafinesque), in Nebish Lake, Wisconsin. **Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.**, v. 33, p. 189-337, 1941.

LAI, H. L.; GALLUCCI, V. F.; GUNDERSON, D. R.; DONNELLY, R. F. Age determination in fisheries: methods and applications to stock assessment. In: GALLUCCI, V. F.; SAILA, S. B.; GUSTAFSON, D. J.; ROTHSCCHILD, B. J. **Stock**

assessment: quantitative methods and applications for small-scale fisheries. New York: CRC Lewis Publishers, 1996. p. 82-178 p.

LIMA, R. V. A.; BERNARDINO, G.; VAL-SELLA, M. V.; FAVA-DE-MORAES, F.; SCHEMY, R. A.; BORELLA, M. I. Tecido Germinativo ovariano e ciclo reprodutivo de pacus (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887) mantidos em cativeiro. **Boletim Técnico CEPTA**, Pirassununga, v. 4, n. 1, p. 1-46, 1991.

MATEUS, L. A. F. **Idade e crescimento do pintado *Pseudoplatystoma corruscans* na bacia do rio Cuiabá, Pantanal de Mato Grosso**. 1996. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 1996.

MATHEWS, C. P. An account of some methods of overcoming errors in ageing tropical and subtropical fish populations when the hard tissue growth markings are unreliable and the data sparse. In: BAGENAL, T. B. **Ageing of Fish-Proceedings of an International Symposium**, 1974, London: Unwin.

MENTON, D. J.; CAROSFELD, J.; BANIN, E. B.; ALCÂNTARA, R. C. G. de; BERNARDINO, G. Bibliografia de espécies dos gêneros *Colossoma* e *Piaractus*. In: HERNANDEZ, R. A. **Cultivo de Colossoma**. Bogotá: Editora Guadalupe, 1989. p. 363-464.

MEROLA, N.; SOUZA, J. H. de. Preliminary studies on the culture of the pacu,

Colossoma mitrei, in floating cages: effect of stocking density and feeding rate on growth performance. **Aquaculture**, v. 68, p. 243-248, 1988.

MOURÃO, G.; PADOVANI, C. R.; CALHEIROS, D. F.; MARQUES, E. J.; OLIVEIRA, M. D. de; UETANABARO, M. **Respostas ecológicas de longo prazo a variações plurianuais das enchentes no Pantanal Mato-Grossense**. In: Programa Ecológico de Longa Duração - PELD/CNPq. Processo #520056/98-1. Relatório Embrapa. 2000. 26 p.

OLIVEIRA, M. I. B. **Determinação da idade e aspectos da dinâmica populacional do curimatã *Prochilodus nigricans* (Pisces: Prochilodontidae) da Amazônia Central**. 1997. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, 1997.

PAULY, D. Theory and management of tropical multispecies stocks: a review with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries. **ICLARM Stud. Rev.**, v. 1, p. 1-35, 1979.

PAULY, D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. **J. Cons. CIEM**, v. 39, n. 2, p. 175-192, 1980.

PAULY, D. Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. **FAO Fish. Tech. Pap.**, v. 234, p. 1-52, 1983.

PAULY, D.; MARTOSUBROTO, P. The population dynamics of *Nemipterus marginatus* (Cuvier; Val.) off Western Kalimantan, South China Sea. **Journal of Fish Biology**, v. 17, p. 243-253, 1980.

PENNA, M. A. H. **Crescimento do tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Characiformes: Characidae): qual é o melhor modelo?** 1999. 41 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

PÉREZ LOZÁNO, A. **Idade e crescimento da piracatinga *Calophysus macropterus*, Lichtenstein, 1819 (Pisces Pimelodidae), na amazônica Central.** 1999. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1999.

PETRERE JÚNIOR, M. Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 22, p. 133-140, 1983.

PETRERE JÚNIOR, M. River fisheries in Brazil: a review. **Regulated Rivers:**

Research and Management, v. 4, p. 1-16, 1989.

QUINN II, T. J.; DERISO, R. B. **Quantitative fish dynamics**. New York: Oxford University Press, 1999. 542 p.

RICKER, W. E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. **Bull. Fish. Res. Bd. Canada**, v. 191, p. 1-382, 1975.

RICKER, W. E. Growth rates and models. In: **Fish physiology**, v. 8. New York: Academic Press, 1979.

ROMAGOSA, E.; PAIVA, P.; GODINHO, H. M.; STORFER, E. B. Desenvolvimento dos ovócitos de pacu, ***Piaractus mesopotamicus*** (Holmberg, 1887) (= ***Colossoma mitrei*** Berg, 1895), em condições de cultivo intensivo. **Ciência e Cultura**, v. 40, n. 1, p. 60-64, 1988.

ROMAGOSA, E.; NARAHARA, M. Y.; TALMELLI, E. F. A.; BRAGA, F. M. S. Mudanças morfológicas dos testículos de pacu, ***Piaractus mesopotamicus*** (Holmberg, 1887), em condições de confinamento. **Revista UNIMAR**, v. 15, p. 1-17, 1993a. (Suplemento).

ROMAGOSA, E.; NARAHARA, M. Y.; GODINHO, H. M.; PAIVA, P.; BRAGA, F. M.

S. Mudanças morfológicas dos ovários de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), em condições de confinamento. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 20, p. 67-80, 1993b.

SAILA, S. B.; GALLUCCI, V. F. Overview and background. In: GALLUCCI, V. F.; SAILA, S. B.; GUSTAFSON, D. J.; ROTHSCILD, B. J. **Stock assessment: quantitative methods and applications for small-scale fisheries**. New York: CRC Lewis Publishers, 1996. p. 1-8.

SANTOS JÚNIOR, S. dos; SENHORINI, J. A. Efeito da separação mecânica por tamanho das larvas de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), na sobrevivência e homogeneidade dos alevinos. **Boletim Técnico CEPTA**, v. 6, n. 2, p. 11-22, 1993.

SCHNUTE, J. A versatile growth model with statistically stable parameters. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v. 38, p. 1128-1140, 1981.

SILVA, A. J. Levantamento preliminar da ictiofauna de Taiamã, Rio Paraguai, Cárceres - MT. In: **Relatório do Projeto: "Estações Ecológicas de Mato Grosso - Estação Ecológica de Taiamã - Pantanal Mato-grossense"**. Cuiabá: UFMT- Departamento de Biologia, 1983.

SILVA, A. J. **Aspectos da alimentação do pacu adulto, *Colossoma mitrei***

(Berg, 1895) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso. 1985. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.

SILVA, M. O. B. **Níveis de proteína bruta na ração para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) cultivados em tanques-rede com várias densidades de estocagem.** 1994. 41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

SMALL, G. J.; HIRSCHHORN, G. Computer-assisted age and growth pattern recognition of fish scales using a digitizing tablet. In: SUMMERFELT, R. C.; HALL, G. E. **The age and growth of fish.** Ames: The Iowa State University Press, 1987. p. 397-410.

SMITH, C. L. Summary of round table discussions on back calculation. **U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS**, v. 8, p. 45-47, 1983.

SPARRE, P.; VENEMA, S. C. **Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais.** Roma: FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), 1997. 404 p. (Documento Técnico sobre as Pescas - N^o 306/1, Rev. 2, Part 1: Manual).

SSENTONGO, G. W.; LARKIN, P. A. Some simple methods of estimating mortality

rates of exploited fish populations. **J. Fish. Res. Board. Can.**, v. 30, p. 695-698, 1973.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA for Windows [Computer program manual]**. Tulsa: StatSoft, Inc., 1996.

SYSTAT FOR WINDOWS: VERSION 7 EDITION. EVANSTON, IL; SYSTAT, INC., ILLINOIS: COPYRIGHT, 1997.

TARIFA, J. R. O sistema climático do Pantanal. Da compreensão do sistema à definição de prioridades de pesquisa climatológica. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: Departamento de Difusão de Tecnologia, 1986. p. 9-27.

TAYLOR, C. C. Temperature, growth, and mortality - the pacific cockie. **J. Cons. Int. Explor. Mer**, v. 26, p. 117-124, 1960.

TESCH, F. W. Age and growth . In: RICKER, W. E. **Methods for assessment of fish production in fresh waters**. London: Blackwell, 1968. (IBP Handbook n. 3).

VALDERRAMA BARCO, M. B. **Parâmetros populacionais (crescimento,**

mortalidade, nível de exploração) e padrão de recrutamento do bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1878, Prochilodontidae) do Baixo Rio Magdalena (Colômbia). 1992. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes. Reprodução e crescimento.** Brasília: CNPq, 1982. 106 p.

VIEIRA, E. F. **Determinação da idade e crescimento do jaraqui-de-escama-grossa (*Semaprochilodus insignis*) na Amazônia Central.** 1999. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas, Manaus, 1999.

VILLACORTA-CORREA, M. A. V. **Crescimento do matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869) (Teleostei, Characidae) no baixo rio Negro, seus afluentes e no baixo rio Solimões.** 1987. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1987.

VILLACORTA-CORREA, M. A. V. **Estudo da idade e crescimento do tambaqui *Colossoma macropomum* (Characiformes: Characidae) no Amazonas**

Central, pela análise de marcas sazonais nas estruturas mineralizadas e microestruturas nos otólitos. 1997. 277 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1997.

WALFORD, L. A. A new graphic method of describing the growth of animals. **Biol. Bull.**, v. 90, p. 141-147, 1946.

WALTER, T. **Curvas de crescimento aplicadas a organismos aquáticos. Um estudo de caso para toninha *Pontoporia blainvillei* (Cetácea, Pontoporiidae) do extremo sul do Brasil.** 1997. 102 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Oceanologia) - Laboratório de Estatística, Fundação Universidade do Rio Grande. Rio Grande, 1997.

WEATHERLEY, A. H.; GILL, H. S. The study of fish growth. In: _____. **The biology of fish growth.** London: Academic Press, 1987. p. 1-21.

WEISBERG, S.; FRIE, R. V. Linear models for the growth of fish. In: SUMMERFELT, R. C.; HALL, G. E. **The age and growth of fish.** Ames: The Iowa State University Press, 1987. p. 127-143.

WHITNEY, R. R.; CARLANDER, K. D. Interpretation of body-scale regression for computing body length of fish. **J. Wildl. Mgmt.**, v. 20, p. 21-27, 1956.

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. New Jersey: Prentice - Hall, 1984. 718 p.

ZARET, M. T. Life history and growth relationships of ***Cichla ocellaris***, a predatory South American cichlid. **Biotropica**, v. 12, n. 2, p. 144-157, 1986.

ABSTRACT:

Fish growth studies are fundamental in stock management. The pacu or pacu-caranha, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), has great fishing importance in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. Fish samples were obtained in the municipal market of Cuiabá/MT, from April/94 to June/95. The fish were weighed, measured and scales were extracted for age determination. At spawning period, when possible, it was identified the sex of some larger individuals. For age determination, rings in scales were counted, the distances between the nucleus and each ring, and between the nucleus and the border of the scale, were measured. Through the marginal increment analysis it was possible to identified that 2 rings are annually formed, one in September/94 (dry season) and another in February/95 (wet season), coinciding with the reproductive and the trophic migrations periods, respectively. The SCHNUTE and the von BERTALANFFY models, both tested by the non-linear regression, utilizing the data of average standard length for each age, did not converge for biologically plausible values. In relation to the back-calculation, the model that showed better adjustment to the

observed data was the BPH (Body Proportional Hypothesis). The length frequency distribution, analyzed by FiSAT (ELEFAN I), was appropriated to the estimative of the growth parameters, resulting in: $LS_{\infty} = 86 \text{ cm}$; $k = 0.48 \text{ year}^{-1}$, indicating a comparatively fast growth. An analytical simulation obtained by the method proposed by BEVERTON; HOLT resulted in $F_{1994/1995} = 0.955 \text{ year}^{-1}$; and $F_{MSY} = 1.0 \text{ year}^{-1}$ (when $M = 0.78 \text{ year}^{-1}$), showing that this freshwater fish species population is close to its maximal sustainable yield. The index of growth performance (ϕ') was estimated in 3.55. A longevity ($A_{0.95}$) resulted in 4.69 years, indicates a short life cycle, with t_0 equal to -1.55 years. The annual survival rate (S) was estimated in 17.64%.