

**ALTERAÇÕES MORFOMÉTRICAS INDUZIDAS PELA REVERSÃO
SEXUAL EM TILÁPIA DO NILO, *Oreochromis
niloticus* (Linnaeus, 1757)**

Lícia Maria Lundstedt*, Julio Hermann Leonhardt* e Ana Lúcia Dias⁺

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi verificar a ocorrência de diferenças morfométricas entre machos e fêmeas do grupo de controle e machos e fêmeas obtidos na reversão sexual de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Utilizando técnicas de citogenética, esta espécie demonstrou 2N=44 cromossomos e um leve heteromorfismo no par cromossômico maior em machos, sugerindo um mecanismo sexual de tipo XX/XY, fato que possibilitou a identificação do grupo de fêmeas que, sob tratamento hormonal, tornaram-se machos. Seis razões morfométricas foram estabelecidas, caracterizando cada grupo. Os machos controle apresentaram estrutura corpórea que, ao filetamento, possivelmente resulte em maior rendimento de carcaça, quando comparado aos machos e fêmeas revertidos, que em nenhum parâmetro diferiram estatisticamente entre si. Fêmeas do grupo de controle apresentaram menor estrutura corpórea, quando comparadas aos demais grupos. Os dados deste estudo sugerem que o hormônio 17- α -metiltestosterona, usado no processo de reversão sexual, afetou significativamente a estrutura corpórea dos peixes submetidos ao tratamento.

Palavras-chave: alterações morfométricas, *Oreochromis niloticus*, reversão sexual, Tilápia Nilótica.

**INDUCED MORPHOMETRIC ALTERATIONS THROUGH SEXUAL
REVERSION OF NILE TILAPIA, *Oreochromis
niloticus* (Linnaeus, 1757)**

ABSTRACT. The aim of this study is to investigate the occurrence of morphometric differences between control males and females and the males and females obtained by Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) sexual reversion.

* Departamento de Ciências Fisiológicas, Universidade Estadual de Londrina, CP: 6001, 86051-970, Londrina-Paraná, Brasil.

⁺ Departamento de Biologia Geral, Universidade Estadual de Londrina, CP: 6001, 86051-970, Londrina-Paraná, Brasil.

Correspondência para Lícia Maria Lundstedt.

Data de recebimento: 03/09/96.

Data de aceite: 30/05/97.

Cytogenetic techniques were used in this species which resulted in $2N=44$ chromosomes and a slight heteromorphism in the chromosomal pair which was higher in males. This suggested a XX/XY sexual mechanism that enable the identification of the group of females which under hormonal treatment changed into males. Six morphometric reasons were established to characterise each group. The male control group presented a body structure, which in the fillet slicing would result in a higher carcass yield when compared to sex-reversed males and females which did not show any statistically significant difference. Control group females showed smaller body structure when compared to the other groups. The conclusion of this study suggest that the 17- α -methyltestosterone hormone used in the process of sexual reversion affected significantly the body structure of the fish submitted to the treatment.

Key words: morphometric alterations, Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, sex reversal.

INTRODUÇÃO

As tilápias apresentam consideráveis características para aqüicultura, mas o maior obstáculo ou fator limitante para o êxito do cultivo é sua indesejável capacidade de reprodução nos viveiros de produção (Shelton *et al.*, 1981; Calhoun e Shelton, 1983).

Fryer e Iles (1972) afirmaram que o crescimento superior dos machos em ciclídeos tem base genética e não é apenas uma função do processo reprodutivo. Segundo Carvalho (1985), esta informação parece contraditória, uma vez que ele obteve melhor crescimento dos grupos submetidos a tratamento hormonal masculinizante, onde certamente havia indivíduos geneticamente fêmeas (revertidas) entre os indivíduos machos.

Em estudo comparativo de monossexo de tilápias (*Oreochromis niloticus*), Mainardes Pinto (1985) constatou que as fêmeas apresentavam crescimento, tanto em peso como em comprimento, praticamente duas vezes menor, comparado ao dos machos controle e híbridos estéreis (provenientes do cruzamento entre machos de *Oreochromis hornorum* e fêmeas de *Oreochromis niloticus*), como já observado por diversos outros autores, que sugeriram que isto poderia ser mais reflexo de diferenças genéticas que determinam a fisiologia e o comportamento do peixe, do que o resultado da influência do ambiente.

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1757) é uma espécie gonocorista indiferenciada. Neste caso, as gônadas desenvolvem-se, primeiramente, com estrutura semelhante a ovários; depois, metade dos indivíduos da

população desenvolvem-se em machos e a outra metade em fêmeas (Yamazaki, 1983), fator que possibilita a completa e funcional reversão de sexo nesta espécie.

Guerreiro (1957, *in* Carvalho, 1985) destaca que a administração do hormônio artificial (17- α -metiltestosterona) para a produção de somente machos em tilápia, através da indução de reversão do sexo, é efetiva e prática para uma aplicação em larga escala.

Em experimentos com reversão sexual, ginogênese e triploidia, Mair *et al.* (1991) apontam que *Oreochromis* apresenta heterogametia masculina. Recentemente, a análise do complexo sinaptonêmico de *Oreochromis niloticus* confirmou o número diplóide de $2N=44$ e mostrou que, possivelmente, um sistema cromossômico sexual XY ocorra nesta espécie, anteriormente tida como homogamética (Foresti *et al.*, 1993b).

O presente trabalho teve como objetivo pesquisar a existência de diferenças morfométricas entre machos controle, fêmeas controle em plena reprodução, machos que assim se mantiveram e fêmeas revertidas para macho no processo de reversão sexual em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Piscicultura (EPUEL), e a obtenção dos dados morfométricos e as análises citogenéticas dos peixes foram realizadas no Laboratório de Citologia do Departamento de Biologia Geral da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina - PR, no período de 06/01 a 26/04/96.

De um viveiro de terra da EPUEL, com área de 125m² e renovação constante de água de 10 l/s/há, foram coletados 20 indivíduos (10 machos e 10 fêmeas) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em plena fase de reprodução. De um outro viveiro de terra de 750m², com renovação de água constante de 10 l/s/ha, destinado ao cultivo semi-intensivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) revertidas sexualmente, foram coletados 26 indivíduos em fase final de engorda.

Os 20 indivíduos em plena fase de reprodução e os 26 indivíduos revertidos sexualmente foram transferidos para tanques-rede de 7m², instalados num terceiro viveiro de terra com 100m² e renovação de água constante de 10 l/s/ha, mantendo-se os lotes separados. Estes indivíduos permaneceram nos tanques-rede por um período de adaptação de

aproximadamente 21 dias, sendo alimentados com ração extrusada comercial “ad libitum”, duas vezes ao dia. Após este período de adaptação, os peixes foram transferidos, em grupos de 5 a 10 animais, para a sala de aquários da UEL, mantidos em aquários de vidro com aeração constante, respeitando um período de jejum mínimo de 24 horas para posterior análise.

Para análise de cada indivíduo, estes eram retirados dos aquários com pucá e anestesiados em solução de benzocaína (5g de benzocaína : 100ml álcool : 30 l água). Quando percebidos sinais de parada respiratória e conseqüente anestesia, estes eram transferidos para uma bancada, para aferição dos seus dados morfométricos (Figura 1).

Posteriormente à tomada das medidas morfométricas, os peixes eram sacrificados e deles retirados o rim cefálico, destinado à análise citogenética, e as gônadas para determinação visual do sexo gonádico.

As medidas morfométricas, obtidas dos 46 exemplares de tilápia do Nilo, foram transformadas em razões ou proporções, sendo as medidas de comprimento do tronco, altura do corpo, comprimento da cabeça e distância pré-anal proporcionais ao comprimento padrão e as medidas de altura da cabeça e comprimento da cabeça proporcionais ao comprimento da cabeça, da seguinte forma: a) comprimento do tronco/comprimento padrão (C.Tr/C.P); b) altura do corpo/comprimento padrão (Al.Cor/C.P); c) comprimento da cabeça/comprimento padrão (C.Cab/C.P); d) distância pré-anal/comprimento padrão (D.P.A/C.P); e) altura da cabeça/comprimento da cabeça (Al.Cab/C.Cab); f) comprimento do focinho/comprimento da cabeça (C.Fo/C.Cab).

A técnica adotada para obtenção e visualização de cromossomos mitóticos, a fim de dividir as subpopulações definidas em machos e fêmeas controle, e machos e fêmeas obtidos após o tratamento hormonal, foi descrita por Foresti *et al.*, (1993a). As lâminas foram observadas em microscopia óptica. As melhores metáfases foram selecionadas para fotografia.

Com auxílio de paquímetro, obtiveram-se medidas do par cromossômico maior das melhores metáfases fotografadas dos indivíduos machos não tratados (controle). O padrão da diferença de tamanho dos cromossomos dos indivíduos machos controle foi obtido da diferença entre as médias de tamanho do cromossomo maior e menor. Este padrão serviu como indicador para a diferenciação cromossômica do grupo de revertidos em machos e fêmeas, uma vez que os indivíduos machos de

Oreochromis niloticus apresentam um heteromorfismo no par cromossômico maior, caracterizando, provavelmente, um mecanismo cromossômico sexual do tipo XX/XY nesta espécie.

Através das medidas cromossômicas, o resultado da diferença da média de tamanho do par cromossômico maior dos indivíduos revertidos foi comparado com as do grupo controle. Nesta diferença, obtendo-se um número maior ou igual ao dos machos controle, o indivíduo foi classificado como macho, e obtendo-se um valor inferior à média dos machos controle, o indivíduo foi classificado como fêmea.

Os dados das razões morfométricas estabelecidas foram submetidos ao programa SAS, aplicando sobre eles os seguintes modelos estatísticos: análise de variância e teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das metáfases mitóticas de *Oreochromis niloticus* confirmaram os resultados obtidos por Majumdar e MacAndrew (1986, in Foresti *et al*, 1993b), com a espécie apresentando $2n=44$ cromossomos. Foi observado um leve heteromorfismo no par cromossômico maior dos indivíduos machos desta espécie e, para avaliar esse provável heteromorfismo cromossômico sexual, foram feitas medidas cromossômicas deste par maior, obtendo-se a média de tamanho dos cromossomos maiores do par (10,63 mm), assim como a média de tamanho dos menores (9,9 mm). Da diferença das duas médias (0,073), obteve-se um resultado final que serviu para auxiliar na separação do lote dos revertidos, em indivíduos machos e fêmeas.

Todos os indivíduos revertidos tiveram seus cromossomos do par maior medidos, obtendo-se a média para comparação com os machos controle. Quando a média do par cromossômico dos indivíduos revertidos era superior ou igual a dos machos controle, os indivíduos foram considerados machos e, se esta média era inferior ao dos machos controle, classificados como fêmeas. Desta maneira, pode-se dividir o lote dos 26 indivíduos revertidos sexualmente para macho em dois subgrupos: um totalizando 12 fêmeas e o outro 14 machos, classificados, assim, pela análise cromossômica.

Os dados morfométricos, obtidos nos 46 exemplares de tilápia do Nilo, representados por razões morfométricas proporcionais ao

comprimento padrão e comprimento da cabeça, caracterizaram cada um dos quatro grupos.

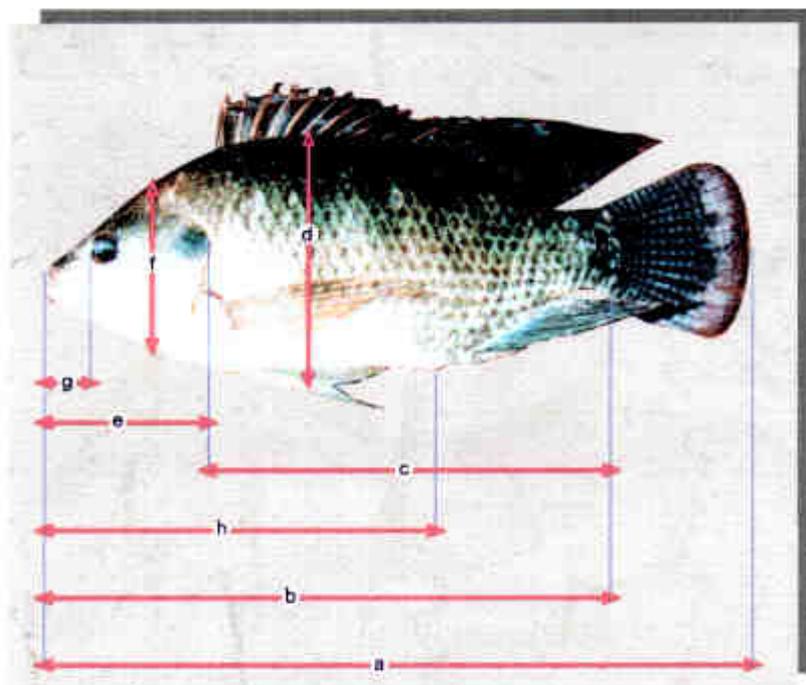


Figura 1. Representação das medidas morfométricas realizadas em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): a) comprimento total; b) comprimento padrão; c) comprimento do tronco; d) altura do corpo; e) comprimento da cabeça; f) altura da cabeça; g) comprimento do focinho; h) distância pré-anal.

O sexo fisiológico pode ser manipulado através do uso de esteróides sexuais. Neste fenômeno gonadal, a diferenciação do sexo é induzida primeiramente; então, o sexo externo e a etologia sexual podem desenvolver-se inteiramente sob ação das gônadas (Yamazaki, 1983).

Calhoun e Shelthorn (1983) colocam que a proporção sexual da progênie de revertidos não é totalmente explicada simplesmente pela teoria monogênica de determinação de sexo, mas que outros fatores autossômicos ou gonádicos poderiam atuar na determinação do sexo de *Oreochromis niloticus*.

A análise das razões morfométricas possibilitou interpretar o padrão de comportamento morfológico característico dos 4 diferentes grupos: machos e fêmeas controle que se encontravam em plena fase de reprodução, fêmeas revertidas para macho e machos que assim se mantiveram após o tratamento (Tabela 1 e Figura 2).

Na razão comprimento do tronco/comprimento padrão (C.Tr/C.P), (Tabela 1) para $P < 0,05$, as fêmeas controle apresentaram diferença significativa, com menor padrão de comprimento de tronco, comparadas aos machos controle, machos e fêmeas revertidos. Desta forma, um menor comprimento de tronco ocasiona menor tamanho de filé, que implica menor rendimento de carcaça, parâmetro importante para a indústria de filetagem de pescado.

Para a razão altura do corpo/comprimento padrão (Al.Cor/C.P), (Tabela 1) os machos apresentaram diferença significativa para esta razão, apontando um padrão de altura do corpo superior aos machos e fêmeas revertidos e fêmeas controle. As fêmeas controle, por sua vez, apresentaram diferença significativa inferior aos demais, conseqüentemente, o menor padrão de altura do corpo, o que implica uma menor largura de filé e, mais uma vez, menor rendimento de carcaça. O comprimento do filé do macho controle é superior ao das fêmeas e similar ao dos machos e fêmeas revertidos. No entanto, a altura do filé (altura do corpo) do macho controle supera tanto o grupo dos revertidos como o das fêmeas controle, pois indivíduos revertidos, considerados como fêmeas, não apresentaram diferença significativa entre si. Mainardes Pinto (1985), analisando crescimento de machos e fêmeas de *Oreochromis niloticus*, constatou que a velocidade de crescimento dos machos, tanto em comprimento quanto em peso, é maior que a das fêmeas, verificando também a ocorrência de diferenças significativas para a relação entre a altura do corpo e comprimento total entre híbridos e machos desta espécie. Assim, as fêmeas apresentaram cabeça relativamente maior que a dos machos da espécie e híbridos, e os machos, por sua vez, apresentaram altura do corpo maior que a apresentada por machos híbridos e fêmeas de *Oreochromis niloticus*.

Analisando as relações entre peso total médio e comprimento total médio, Mainardes Pinto (1985) mostrou que, de um modo geral, os machos de *Oreochromis niloticus* são relativamente mais pesados que as fêmeas e estas, mais pesadas que os machos híbridos, constatando diferenças significativas entre os machos híbridos e a espécie

Oreochromis niloticus, e não entre machos e fêmeas desta espécie. Assim, exemplares de *Oreochromis niloticus* apresentaram, para um mesmo comprimento, peso maior que o dos machos híbridos.

Na razão comprimento da cabeça/comprimento padrão (C.Cab/C.P) (Tabela 1), sugere-se que o comprimento da cabeça das fêmeas controle é significativamente maior quando comparada aos demais. Assim, sugerimos a hipótese de que o maior comprimento de cabeça das fêmeas controle estaria relacionado a seu comportamento reprodutivo, visto que o gênero *Oreochromis* é separado dos demais gêneros de tilápia, devido à incubação dos ovos e abrigo das larvas recém-eclodidas ocorrerem na boca das fêmeas (Popma e Lovshin, 1994). Um maior comprimento de cabeça certamente implica possuir maior cavidade oral, possibilitando maior índice de sobrevivência da progênie. Entretanto, um maior comprimento de cabeça também implica um menor rendimento de carcaça.

Nenhum dos quatro grupos apresentou diferença significativa para a razão distância pré-anal/comprimento padrão (D.P.A/C.P). A uniformidade do padrão da variável distância pré-anal sugere que ocorra uma provável diferença significativa para o rendimento de carcaça, na porção final do tronco destes animais, isto é, a porção que vai do ponto de tangência da margem posterior do ânus até a base de inserção dos raios da nadadeira caudal.

Na razão altura da cabeça/comprimento da cabeça (Al.Cab/C.Cab), (Tabela 1) as fêmeas controle (FC) apresentaram diferença significativa em relação aos demais, caracterizando um menor padrão de altura da cabeça para este grupo. Esta razão contradiz a hipótese anteriormente citada em que um maior comprimento de cabeça apresentado pelas fêmeas controle poderia estar relacionado ao comportamento reprodutivo desta espécie.

Finalmente, na razão comprimento do focinho/comprimento da cabeça (C.Fo/C.Cab), (Tabela 1) os machos controle apresentaram diferença significativa em relação aos demais grupos, apresentando, portanto, padrão de comprimento do focinho superior às fêmeas controle e aos revertidos, que não apresentaram diferença significativa. Provavelmente, padrão maior de comprimento do focinho indique maior abertura bucal, sendo assim, o macho controle apresentaria abertura bucal maior que a dos demais grupos, possibilitando a eles maior facilidade na captura e apreensão de alimentos, ganho de peso e rendimento de carcaça.

Alguns autores, citados por Carvalho (1985), determinaram o melhor crescimento em peso de tilápia nilótica e concluíram que o aumento da taxa de crescimento em indivíduos sexo-revertidos pode ser resultado da combinação da ação do andrógeno com fatores genéticos. Segundo hipótese de Fagerlund e McBride (1975), *in* Carvalho (1985), o anabolismo do andrógeno manifestar-se-ia pela superior digestão e assimilação dos alimentos ou por uma mudança na regulação gênica. Já Yamazaki (1976) afirmou que o tratamento androgênico não só provoca a reversão de sexo mas também aumento na taxa de digestão e de absorção de alimentos, decorrente de acréscimo na atividade das proteases digestivas. Carvalho (1985) colocou que o hormônio metiltestosterona tem efeito anabolizante, promovendo maior taxa de crescimento (ganho de incremento de comprimento). Assim, constatamos que várias pesquisas têm demonstrado que populações de monossexuais revertidos apresentam maior ganho de peso comparados aos grupos não revertidos, o que sugere que os hormônios utilizados nos tratamentos sejam responsáveis por esta resposta.

Os resultados obtidos neste estudo, utilizando a citogenética para identificação do grupo de fêmeas que, ao tratamento hormonal, tornaram-se machos e os machos que assim se mantiveram, permitiram-nos avaliar as diferenças encontradas nas razões morfométricas dos quatro grupos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

A análise dos parâmetros morfométricos sugere que o macho controle apresenta uma estrutura corpórea que, ao filetagem, resulta em maior rendimento de carcaça, favorável comercialmente, quando comparada a dos machos e das fêmeas revertidos. Por sua vez, as fêmeas controle apresentaram menor padrão de estrutura corpórea quando comparadas aos demais. O macho controle, por apresentar maior tamanho e altura de tronco e maior distância pré-anal, apresenta características morfométricas altamente favoráveis e desejáveis pelos aqüicultores e indústria de filetagem de pescado.

O grupo de machos e fêmeas revertidos apresentou características morfométricas semelhantes às apresentadas pelo grupo de machos controle, exceto em relação ao comprimento da cabeça e ao comprimento do focinho. Isto sugere que a estrutura da cabeça dos revertidos é diferenciada da dos machos controle, embora a estrutura corpórea destes grupos seja semelhante.

As fêmeas controle diferiram praticamente de todos os outros grupos, portanto são indesejáveis para o cultivo, devido a sua presença estar associada a alta “taxa de retorno” e à presença maciça de alevinos e de juvenis no viveiro.

Tabela 1. Média (M) e Desvio Padrão (DP) das razões morfométricas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), machos (MC) e fêmeas (FC) controle em plena fase de reprodução e machos (MM) e fêmeas (FM) revertidos em fase final de engorda da EPUEL, Londrina - PR.

	C.Tr/ C. P	Al.Cor/C. P	C.Cab/C. P	D.P.A/C.P	Al.Cab/C.Cab	C.Fo/C.Cab
M-MC	0,702 ^a	0,398 ^a	0,313 ^b	0,657 ^a	0,808 ^a	0,382 ^a
DP-MC	0,014	0,023	0,010	0,018	0,040	0,033
F-FC	0,660 ^b	0,331 ^c	0,343 ^a	0,650 ^a	0,737 ^b	0,342 ^b
DP-FC	0,016	0,011	0,013	0,022	0,037	0,024
M-MM	0,705 ^a	0,366 ^b	0,302 ^b	0,657 ^a	0,843 ^a	0,338 ^b
DP-MM	0,028	0,017	0,009	0,025	0,032	0,022
F-FM	0,706 ^a	0,368 ^b	0,306 ^b	0,652 ^a	0,816 ^a	0,343 ^b
DP-FM	0,015	0,012	0,009	0,022	0,050	0,033

Letras diferentes indicam diferenças significativas para $P < 0,05$.

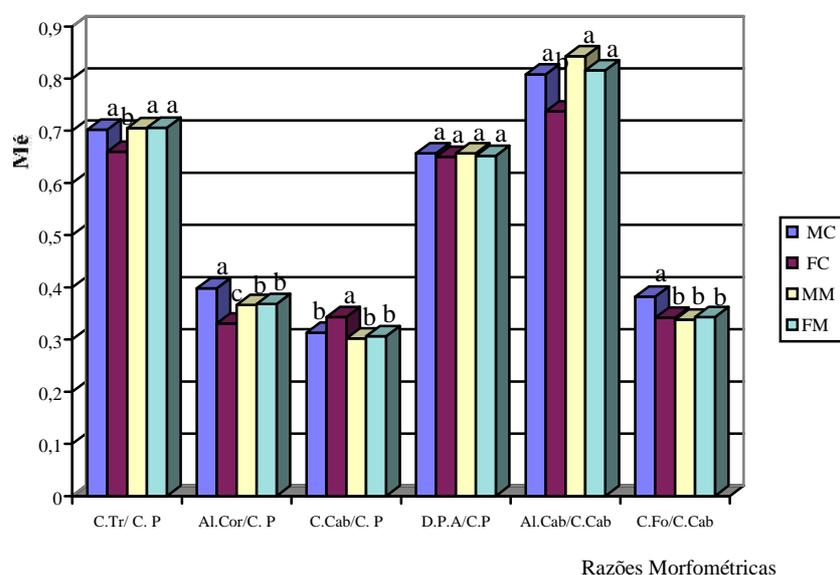


Figura 2. Média das razões morfométricas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), machos (MC) e fêmeas (FC) controle em plena fase de reprodução e machos (MM) e fêmeas (FM) revertidos em fase final de engorda da EPUEL, Londrina - PR.

CONCLUSÃO

1. Foi observada a ocorrência de provável heteromorfismo no primeiro par cromossômico de indivíduos machos de *Oreochromis niloticus*, o que permitiu diferenciar a população analisada em quatro grupos: machos e fêmeas controle e machos e fêmeas revertidos.
2. Há diferença cromossômica detectável entre machos e fêmeas, sugerindo um heteromorfismo do tipo XX/XY.
3. Dentre todas as características morfométricas estudadas, observou-se que o grupo de peixes machos e fêmeas revertidos não apresentaram nenhuma diferença significativa entre eles em relação às razões morfométricas.
4. Os machos controle apresentaram razões morfométricas com valores de altura do corpo, distância pré-anal e comprimento do focinho superior aos machos e fêmeas revertidos e fêmeas controle, igualando-se somente aos revertidos em comprimento do tronco e altura da cabeça.
5. As fêmeas controle apresentaram razões morfométricas com valores absolutos inferiores aos três outros grupos, exceto em comprimento da cabeça, e igualando-se a estes em distância pré-anal e aos revertidos em comprimento do focinho. O comprimento da cabeça em relação ao comprimento padrão superior, nas fêmeas controle, não é uma característica positiva, pois, durante o processamento do pescado, a cabeça é perdida.
6. O grupo de machos e fêmeas revertidos apresentou características morfométricas semelhantes às apresentadas pelo grupo de machos controle, exceto em comprimento da cabeça e comprimento do focinho, sugerindo que a estrutura da cabeça dos revertidos é diferenciada da dos machos controle, embora a estrutura corpórea destes grupos seja semelhante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALHOUN, W.E. & SHELTON, W.L. Sex ratios of progeny from mass spawnings of sex-reversed broodstock of *Tilapia nilotica*. *Aquaculture*, 33:365-371, 1983.
- CARVALHO, E.D. *Indução da reversão de sexo em Oreochromis niloticus (tilápia do Nilo) com o uso do hormônio masculinizante 17- α -Metiltestosterona: frequência de machos e crescimento*. São Carlos, 1988. 166p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de São Carlos.

- FORESTI, F., OLIVEIRA, C. & ALMEIDA-TOLEDO, L.F. A method for chromosome preparation from large fish specimens using vitro short term treatment with colchicine. *Experientia*, 49:810-813, 1993a.
- FORESTI, F., OLIVEIRA, C., GALETTI, P.M. & DE ALMEIDA-TOLEDO, L.F. Synaptonemal complex analysis in spermatocytes of tilapia: *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae). *Genome*, 36:1124-1128, 1993b.
- FRYER, G. & ILES, T.D. The cichlid fishes of the great of Africa. N.J.: Neptune. *Trop. Fish. Holbyist. Publ.*, 1972. 641p.
- MAINARDES PINTO, C.S.R. *Estudo comparativo do crescimento em cultivo de monossexo de Oreochromis (Osteichthyes, Cichlidae)*. São Paulo, 1985. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo.
- MAIR, C.G., SCOTT, A.G., PENMAN, D.J., BEARDMORE, J.A. & SKIBINSKI, D.O.F. Sex determination in the genus *Oreochromis*. I. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus*. *Theor. Appl. Genet.*, 82:144-152, 1991.
- POPMA, T.J. & LOVSHIN, L.L. Worldwide prospects for commercial production of tilapia. *International Center for Aquaculture and Aquatic Environments*. Auburn University, Alabama, 1994. 40p.
- SHELTON, W.L., RODRIGUES-GUERRERO, D. & LOPEZ-MACIAS, J. Factors affecting androgen sex reversal of tilapia aurea. *Aquaculture*, 25:59-65, 1981.
- YAMAZAKI, F. Application of hormones in fish culture. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 33:948-958, 1976.
- YAMAZAKI, F. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture*, 33:329-354, 1983.