

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados
Laboratório de Ictiologia

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ATIVIDADE REPRODUTIVA DA
PIRAMBEBA OU PIRANHA BRANCA, *SERRASALMUS BRANDTII*
(LÜTKEN 1875) (PISCES: SERRASALMIDAE) EM TRÊS
TRECHOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MINAS
GERAIS.**

Aluna:

Viviane Elizabeth de Souza Silva

Orientador:

Prof. Dr. Nilo Bazzoli

Co-orientador:

Prof. Dr. José Enemir dos Santos

Colaborador: Dr. Lucas Marcon

Belo Horizonte

2017

VIVIANE ELIZABETH DE SOUZA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ATIVIDADE REPRODUTIVA DA
PIRAMBEBA OU PIRANHA BRANCA, *SERRASALMUS BRANDTII*
(LÜTKEN 1875) (PISCES: SERRASALMIDAE) EM TRÊS
TRECHOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MINAS
GERAIS.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM
BIOLOGIA DE VERTEBRADOS DA PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS
GERAIS. COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ZOOLOGIA DE VERTEBRADOS

Belo Horizonte

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S586a Silva, Viviane Elizabeth de Souza
Análise comparativa da atividade reprodutiva da pirambeba ou piranha branca, *serrasalmus brandtii* (lütken 1875) (pisces: serrasalmidae) em três trechos da Bacia do Rio São Francisco, Minas Gerais / Viviane Elizabeth de Souza Silva. Belo Horizonte, 2017.
37 f.: il.

Orientador: Nilo Bazzoli

Coorientador: José Enemir dos Santos

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados

1. Usinas hidrelétricas - Três Marias, Reservatório de (MG). 2. Gônadas - Maturação. 3. Peixe - Reprodução. 4. São Francisco, Rio, Bacia - Aspectos ambientais. I. Bazzoli, Nilo. II. Santos, José Enemir dos. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados. IV. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 597

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S586a Silva, Viviane Elizabeth de Souza
Análise comparativa da atividade reprodutiva da pirambeba ou piranha branca, *serrasalmus brandtii* (lütken 1875) (pisces: serrasalmidae) em três trechos da Bacia do Rio São Francisco, Minas Gerais / Viviane Elizabeth de Souza Silva. Belo Horizonte, 2017.
37 f.: il.

Orientador: Nilo Bazzoli

Coorientador: José Enemir dos Santos

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados

1. Usinas hidrelétricas - Três Marias, Reservatório de (MG). 2. Gônadas - Maturação. 3. Peixe - Reprodução. 4. São Francisco, Rio, Bacia - Aspectos ambientais. I. Bazzoli, Nilo. II. Santos, José Enemir dos. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados. IV. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 597

VIVIANE ELIZABETH DE SOUZA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ATIVIDADE REPRODUTIVA DA
PIRAMBEBA OU PIRANHA BRANCA, *SERRASALMUS BRANDTII*
(LÜTKEN 1875) (PISCES: SERRASALMIDAE) EM TRÊS
TRECHOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MINAS
GERAIS.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM
BIOLOGIA DE VERTEBRADOS DA PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS
GERAIS. COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ZOOLOGIA DE VERTEBRADOS

Prof. Dr. André Lincoln Barroso Magalhães (UFSJ)

Prof. Dr. Rafael Magno Costa Melo (UFMG)

Prof. Dr. José Enemir dos Santos (Co-Orientador - PUC MINAS)

Prof. Dr. Nilo Bazzoli (Orientador – PUC MINAS)

Belo Horizonte, 31 de Março de 2017.

Este projeto contou com o apoio técnico e/ou financeiro dos seguintes parceiros:

- Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Agricultura de Três Marias, MG da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF);
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);
- Fundação de Amparo a Pesquisado Estado de Minas Gerais (FAPEMIG);
- Programa de Pós-graduação em Biologia de Vertebrados da PUC Minas.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela grande oportunidade de cursar este mestrado e pelas tantas coisas boas que me concedeu.
- Aos meus pais pelo amor incondicional dedicado ao meu crescimento pessoal e profissional. Obrigado por tudo que fazem por mim.
- Ao meu esposo Emilio e aos meus filhos Isadora e Caio pela amor incondicional, confiança, paciência e apoio.
- Ao Nilo Bazzoli, pela orientação, amizade e aprendizados durante esses anos de convívio.
- Ao José Enemir por todos os ensinamentos e amizade.
- Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados pelo incentivo.
- A minha amiga Jéssica pela paciência, amizade, aprendizados e por todas as oportunidades que me proporcionou.
- As minha amigas Cacao e Luara pelas alegrias compartilhadas.
- Ao Lucas Marcon, Lucas de Esquivel e Lourenço, pela amizade e ajuda durante mestrado.
- Ao Rogério, pela amizade.
- A Aline e Marília pela amizade e confiança.
- Ao Fábio, pela ajuda durante o mestrado.
- Aos novos estagiários do mestrado em Zoologia, muito sucesso daqui pra frente.
- Aos professores do mestrado pelos ensinamentos.
- A Clédma pela atenção e amizade.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
OBJETIVOS.....	11
GERAL.....	11
ESPECÍFICO.....	11
ARTIGO A SER SUBMETIDO.....	12
ABSTRACT.....	12
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
Amostragens.....	14
Biometria e índices biológicos.....	15
Histologia, estádios de maturação gonadal e tipo de desova.....	15
Tamanho de primeira maturação gonadal.....	15
Diâmetro folicular.....	15
Fecundidade.....	15
Análise estatística.....	16
Variáveis físico-químicas da água.....	16
RESULTADOS.....	17
DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exemplar de <i>Serrasalmus brandtii</i> (Lütken 1875).....	12
Figura 2. Área de estudo na bacia do rio São Francisco, Minas Gerais.....	19
Figura 3. Estádios de maturação gonadal de fêmeas de <i>Serrasalmus brandtii</i>	23
Figura 4: Estádios de maturação gonadal de machos de <i>Serrasalmus brandtii</i>	24
Figura 5. Distribuição bimestral das frequências da atividade reprodutiva de fêmeas e machos de <i>Serrasalmus brandtii</i> capturados em três trechos da bacia do rio São Francisco.....	25

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis biológicas de fêmeas de <i>Serrasalmus brandtii</i> , capturadas em três trechos da bacia do rio São Francisco no período de junho de 2011 a maio de 2012.....	21
Tabela 2. Variáveis biológicas de machos de <i>Serrasalmus brandtii</i> , capturados em três trechos da bacia do rio São Francisco no período de junho de 2011 a maio de 2012.....	21
Tabela 3. Temperatura da água, oxigênio dissolvido e pH, em três trechos da bacia do rio São Francisco no período de novembro à fevereiro de 2012/2013.....	22

RESUMO

Alterações no regime hidrológico a jusante de barragens hidroelétricas podem causar impacto sobre o sucesso reprodutivo de peixes. Para analisar o impacto do reservatório de Três Marias sobre a reprodução da pirambeba ou piranha branca, *Serrasalmus brandtii*, espécie carnívora e voraz, capturaram-se 1569 exemplares no período de junho de 2011 a maio de 2012 em três trechos da bacia do rio São Francisco: trecho 1 = represa de Três Marias (RTM), trecho 2 = segmento do rio São Francisco (RSF) imediatamente a jusante da RTM, e trecho 3 = segmento do RSF na confluência com o rio Abaeté. No trecho 1 coletaram-se 992 exemplares (470 machos, 522 fêmeas), no trecho 2 coletaram-se 349 exemplares (133 machos, 216 fêmeas), e no trecho 3 coletaram-se 228 exemplares (110 machos, 118 fêmeas). De cada exemplar determinaram-se: comprimento total (CT), peso corporal (PC), índice gonadossomático (IGS), estádios de maturação gonadal, diâmetro dos folículos vitelogênicos, tamanho da primeira maturação gonadal e fecundidades absoluta (FA) e relativa (FR). Por meio de análises macroscópicas, microscópicas e variações do IGS estabeleceram-se três estádios de maturação gonadal para fêmeas e machos: 1 = repouso, 2 = maturação/maduro e 3 = desovado para fêmeas e espermiado para machos. O comprimento total e peso corporal das fêmeas foram maiores do que os dos machos nos três trechos estudados, indicando dimorfismo sexual. O tamanho de primeira maturação gonadal, determinado pelo comprimento total dos menores exemplares capturados nos estádios maturação/maduro, nos três trechos foi de: trecho 1 = fêmeas 14,2 cm e machos 12,5 cm; trecho 2 = fêmeas 12,1 cm e machos = 11,8 cm e trecho 3 = fêmeas 12,8 cm e machos 11,6 cm. Nos três trechos peixes em atividade reprodutiva ocorreram durante todo ano incluindo fêmeas desovadas e machos espermiados. Os valores médios bimestrais de IGS de fêmeas e machos no estágio 2, nos três trechos, foram maiores nos bimestres de novembro/dezembro e janeiro/fevereiro, coincidindo com período de altos valores de temperatura, pluviosidade e fotoperíodo. Os valores médios dos diâmetros dos folículos vitelogênicos, foram maiores nos trechos 1 e 3 com diferenças estatísticas em relação ao trecho 2, onde esses valores foram menores. A fecundidade absoluta e a fecundidade relativa com CT e PG foram maiores no trecho 1 ($P < 0,05$) quando comparado com os valores obtidos nos trechos 2 e 3. Os parâmetros físico-químicos da água no período de pico reprodutivo, nos bimestres novembro/dezembro e janeiro/fevereiro, mostraram valores estatisticamente maiores no trecho 1 para temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. Os resultados do presente estudo mostraram que na bacia do rio São Francisco, *S. brandtii* reproduz nos três trechos analisados, entretanto, o menor desempenho reprodutivo foi observado no trecho 2, logo a jusante da barragem de Três Marias, provavelmente devido a distúrbios termais provocados pela liberação de água mais fria pelo hipolímio da represa, confirmando o impacto de barragens sobre a reprodução de peixes a jusante de reservatórios de usinas hidrelétricas.

Palavras-chave: Comprimento total, peso corporal, maturação gonadal, índice gonadossomático, tamanho da primeira maturação gonadal e fecundidade.

ABSTRACT

Comparative analysis of the reproductive activity of the pirambeba or white piranha, *Serrasalmus brandtii* (Lütken 1875) (Pisces: Serrasalmidae) in three sections of the São Francisco river basin, Minas Gerais.

Changes in the hydrological regime downstream of hydroelectric dams can cause impact on the reproductive success of fish. To analyze the impact of the Três Marias reservoir on the reproduction of the pirambeba or white piranha, *Serrasalmus brandtii*, carnivorous and voracious species, 1569 specimens were collected from June 2011 to May 2012 in three stretch of the São Francisco river basin: Stretch 1 = Três Marias dam (DTM), stretch 2 = São Francisco river segment (SRF) immediately downstream of the DTM, and stretch 3 = RSF segment at the confluence with the Abaeté river. In stretch 1, 992 specimens (470 males, 522 females) were collected. In stretch 2, 349 specimens were collected (133 males, 216 females), and 228 specimens (110 males, 118 females) were collected in stretch 3. From each specimen, total length (TL), body weight (BW), gonadal weight (GW), gonadal maturation stages, vitelogenic follicle diameter, gonadosomatic index (GSI), size of the first gonadal maturation, absolute (AF) and relative (RF) fecundity. By means of macroscopic, microscopic and IGS variations, three stages of gonadal maturation were established for females and males: 1= resting, 2= maturation mature and, 3= spawned for females and sperm for males. Total length and body weight of females were higher than males in the three stretches studied, indicating sexual dimorphism. The first maturity, gonadal size determined by the total length of the smallest specimens captured in the stadiums/mature maturity in three stretches was: stretch 1= females 14.2 cm and males 12.5 cm; stretch 2 = females 12, 1 cm and males = 11.8 cm and stretch 3 = females 12.8 cm and males 11.6 cm. The three stretch fish in reproductive activity occurred throughout the year including spawned females and sperm males. The IGS mean values of females and males in stage 2, in the three stretches, were higher in the November/December and January/February, coinciding with the period of high values of temperature, rainfall and photoperiod. The average values of diameters of vitellogenic follicles, were higher in the stretches 1 and 3 with statistical differences in relation to stretch 2, where those values were lower. The absolute and relative fecundity with TL and GW were higher in the stretch 1 ($P < 0.05$) when compared with the values obtained in 2 and 3. The physico-chemical parameters of the water in the period of reproductive peak, in the November/December and January/February, showed statistically higher values in stretch 1 for temperature and dissolved oxygen. The results of the present study showed that in the São Francisco river basin, *S. brandtii* reproduces in the three stretches analyzed, however, the lower reproductive performance was observed in stretch 2, just downstream of the Três Marias dam, probably due to thermal disturbances caused By the release of cooler water by the hypolimnium of the dam, confirming the impact of dams on the reproduction of fish downstream of reservoirs of hydroelectric dams.

Keywords: total length, body weight, gonadal maturation, gonadosomatic index, gonadal maturation first size and fecundity.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A bacia do rio São Francisco

A bacia rio São Francisco é a terceira maior da América do Sul, drenando cerca de 645.067 km² e abrangendo vários estados brasileiros. O rio São Francisco (RSF) nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais e percorre 3.160 km até a sua foz localizada entre os estados de Alagoas e Sergipe (Langeani et al., 2009). A usina hidrelétrica de Três Marias entrou em operação em 1961, com os objetivos de controle das cheias e produção de energia elétrica. Na sua cota máxima, o reservatório cobre uma área de cerca de 100 mil ha e apresenta estratificação térmica no verão (Esteves et al., 1985). Desse modo as camadas de água mais profundas da represa de Três Marias (RTM) apresentam temperaturas mais baixas e as camadas superiores temperaturas mais elevadas, com gradiente térmico de 2 a 3°C entre elas, além de alterações térmicas e hidrológicas no rio São Francisco, no trecho logo a jusante da barragem, prejudicando toda a comunidade de peixes (Normando et al., 2014). Essa água fria e com menor concentração de oxigênio é liberada no rio a jusante da usina no momento da geração de energia elétrica, inibindo a reprodução de vários peixes nos primeiros 34 km do RSF a jusante da barragem da RTM (Sato et al., 2005; Arantes et al., 2010; Nunes et al., 2015).

Os impactos negativos provocados pela construção de barragens podem causar mudanças na composição da ictiofauna, interrupção no processo de migração, inibição da reprodução, aumento da vulnerabilidade à predação, interferência em áreas de alimentação e recrutamento de juvenis (Haxton & Findlay, 2008). Por outro lado, o rio Abaeté, um afluente de médio porte, deságua no RSF, aproximadamente a 34 km a jusante da Usina de Três Marias, homogeneizando as condições ambientais da água impostas pela barragem. A área a jusante da usina hidrelétrica de Três Marias foi considerada como prioritária para a conservação da biodiversidade para o Estado de Minas Gerais devido à riqueza, endemismo e por possuir sítios de reprodução de peixes migradores reprodutivos (Costa et al., 1998). As principais recomendações para essa área são: manejo da descarga de água da represa, manutenção no regime de cheias, criação de unidades de conservação e manejo de recursos pesqueiros.

Maturação gonadal e Índice gonadosomático e fator de condição de Fulton

A análise da maturação gonadal é importante para compreensão do comportamento reprodutivo de uma espécie em seu habitat. Devido a grande diversidade de estratégias reprodutivas, várias escalas de maturação são utilizadas para avaliar a atividade reprodutiva em teleósteos, sendo as análises macro e microscópicas essenciais neste diagnóstico (Bazzoli, 2003). A desova é caracterizada pela presença de folículos pós-ovulatórios, que são estruturas remanescentes dos folículos após a ovulação. Por esse motivo, análises microscópicas são importantes para confirmar a desova e consequentemente o sucesso reprodutivo (Santos et al., 2005).

O Índice gonado-somático, é a relação entre o peso gonadal e o peso corporal, é um bom indicador da atividade reprodutiva de peixes, podendo ser utilizado na determinação dos estádios de maturação gonadal durante o ciclo reprodutivo, pois o peso gonadal aumenta simultaneamente com o desenvolvimento das células germinativas (Maddock & Burton, 1999; Lubzens et al., 2010). O fator de condição de Fulton (K) permite inferir sobre a condição de bem estar do peixe no ambiente em que está exposto (Sato et al., 2005). Esses dois índices estão intimamente ligados às condições ambientais como qualidade da água e disponibilidade alimentar. Por esse motivo, variações nos valores do IGS e K permitem comparar duas populações da mesma espécie que habitam locais diferentes do rio impostas a diferentes condições ambientais (Lizama & Ambrosio, 2002).

Fecundidade e diâmetro ovocitário

A fecundidade é um parâmetro da biologia reprodutiva de peixes que avalia o potencial reprodutivo de uma espécie através do número de ovócitos vitelogênicos presentes nos ovários antes de iniciar o período reprodutivo (Bagenal & Braum, 1978). A fecundidade está sujeita a variações geográficas, sazonais e principalmente a disponibilidade de alimento, constituindo um caráter adaptativo que possibilita a sobrevivência das espécies no ambiente em que elas vivem (Vazzoler, 1996; Tereshchenko, 2002; Arantes et al., 2010). Para eliminar a interferência do comprimento total, peso corporal e peso gonadal, calcula-se a fecundidade relativa. A fecundidade é utilizada para avaliar o potencial reprodutivo das espécies, mas pode variar entre indivíduos do mesmo tamanho e peso (Lowe-McConnell, 1987), e também em função da temperatura da água, disponibilidade de alimento e condição intrínseca de cada fêmea (Yoda & Yoneda, 2009; Arantes et al., 2010).

Nas espécies que possuem longo período reprodutivo, com desova em lotes e fecundidade anual indeterminada, a estimativa do potencial reprodutivo é comumente obtida contando-se o número de ovócitos vitelogênicos produzidos por lote, sendo denominada fecundidade em lotes (Yoda & Yoneda, 2009). Vários estudos relacionam diâmetro dos ovócitos com fecundidade, com o cuidado parental e migrações reprodutivas (Suzuki et al., 2000; Kolm & Ahnesjö, 2005). Entretanto, o diâmetro ovocitário pode ser alterado quando os peixes estão sob condições adversas (Yoda & Yoneda 2009; Arantes et al., 2010).

Espécie em estudo

A pirambeba, *Serrasalmus brandtii*, (Figura1) é nativa do Brasil, endêmica do RSF, ocorrendo em abundância na RTM (Teles & Godinho, 1997). Pertence à família Serrasalminidae que constitui um grupo de peixes com dieta, tática de caça e comportamento social bastante diversificados (Goulding 1980; Braga 1981; Nico 1981; Sazima, 1985). Ela se alimenta principalmente de insetos e de peixes (Catella, 1983). Também realiza cuidado uni-parental sendo realizado pelo macho e é uma espécie pré-adaptada a ambientes lênticos (Braga, 1981; Agostinho, 2003).



Figura 1: Exemplar de *Serrasalmus brandtii* (Lütken 1875).

Pelo fato dos estudos sobre a reprodução da pirambeba ou piranha branca serem realizadas somente em ambientes lênticos na represa de Três Marias, não existindo trabalhos sobre a reprodução da espécie no RSF, com o presente estudo, pretende analisar comparativamente os principais parâmetros reprodutivos de *S. brandtii* em três trechos da bacia do RSF: trecho 1 = represa de Três Marias, trecho 2 = segmento do

RSF imediatamente a jusante da RTM, e trecho 3 = segmento do RSF na confluência com o rio Abaeté.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Comparar a atividade reprodutiva de *S. brandtii* em três trechos da bacia do rio São Francisco: 1 = represa de Três Marias, 2 = rio São Francisco logo a jusante da barragem de Três Marias, 3 = confluência do rio São Francisco com o rio Abaeté e avaliar o impacto a jusante da barragem de Três Marias sobre a reprodução da espécie.

Objetivos específicos:

- Comparar o comprimento total e peso corporal de fêmeas e machos nos três trechos em estudo;
- Estabelecer os estádios de maturação gonadal e suas respectivas frequências, época de reprodução e tipo de desova;
- Calcular o índice gonadossomático (IGS) e o fator de condição de Fulton (K) por sexo, estágio de maturação gonadal e bimestre, para cada trecho;
- Determinar o tamanho de primeira maturação gonadal por sexo e por trecho;
- Determinar diâmetro dos folículos vitelogênicos por trecho;
- Calcular a fecundidade absoluta e relativa por trecho;
- Comparar comprimento total, peso corporal, índice gonadossomático, fator de condição de Fulton (K), tamanho de primeira maturação gonadal, diâmetro dos folículos vitelogênicos, fecundidade absoluta e fecundidade relativa em três trechos da bacia do rio São Francisco.

3. ARTIGO A SER SUBMETIDO:

ANÁLISE COMPARATIVA DA ATIVIDADE REPRODUTIVA DA PIRAMBEBA OU PIRANHA BRANCA, *SERRASALMUS BRANDTII* (LÜTKEN 1875) (PISCES: SERRASALMIDAE) EM TRÊS TRECHOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MINAS GERAIS.

Resumo

Alterações no regime hidrológico a jusante de barragens hidroelétricas podem causar impacto sobre o sucesso reprodutivo de peixes. Para analisar o impacto do reservatório de Três Marias sobre a reprodução da pirambeba ou piranha branca, *Serrasalmus brandtii*, espécie carnívora e voraz, capturaram-se 1569 exemplares no período de junho de 2011 a maio de 2012 em três trechos da bacia do rio São Francisco: trecho 1 = represa de Três Marias (RTM), trecho 2 = segmento do rio São Francisco (RSF) imediatamente a jusante da RTM, e trecho 3 = segmento do RSF na confluência com o rio Abaeté. No trecho 1 coletaram-se 992 exemplares (470 machos, 522 fêmeas), no trecho 2 coletaram-se 349 exemplares (133 machos, 216 fêmeas), e no trecho 3 coletaram-se 228 exemplares (110 machos, 118 fêmeas). De cada exemplar determinaram-se: comprimento total (CT), peso corporal (PC) índice gonadossomático (IGS), estádios de maturação gonadal, diâmetro dos folículos vitelogênicos, tamanho da primeira maturação gonadal e fecundidades absoluta (FA) e relativa (FR). Estabeleceram-se três estádios de maturação gonadal para fêmeas e machos: 1 = repouso, 2 = maturação/maduro e 3 = desovado para fêmeas e espermiado para machos. Nos três trechos estudados observou-se dimorfismo com fêmeas maiores que os machos. O tamanho de primeira maturação gonadal nos três trechos foi de: trecho 1 = fêmeas 14,2 cm e machos 12,5 cm; trecho 2 = fêmeas 12, 1 cm e machos = 11,8 cm e trecho 3= fêmeas 12,8 cm e machos 11,6 cm. Nos três trechos peixes em atividade reprodutiva ocorreram durante todo ano incluindo fêmeas desovadas e machos espermiados. Os valores médios bimestrais de IGS de fêmeas e machos no estágio 2, nos três trechos, foram maiores nos bimestres de novembro/dezembro e janeiro/fevereiro, coincidindo com período de altos valores de temperatura, pluviosidade e fotoperíodo. Os valores médios dos diâmetros dos folículos vitelogênicos, foram maiores nos trechos 1 e 3 com diferenças estatísticas em relação ao trecho 2, onde esses valores foram menores. A fecundidade absoluta e a fecundidade relativa com CT e PG foram maiores no trecho 1 ($P < 0,05$) quando comparado com os valores obtidos nos trechos 2 e 3. Os parâmetros físico-químicos da água no período de pico reprodutivo, novembro a fevereiro, mostraram valores estatisticamente maiores no trecho 1 para temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. Os resultados do presente estudo, mostraram que na bacia do rio São Francisco, *S. brandtii* reproduz nos três trechos analisados, entretanto, o menor desempenho reprodutivo foi observado no trecho 2, logo a jusante da barragem de Três Marias, provavelmente devido a distúrbios termais provocados pela liberação de água mais fria pelo hipolímio da represa, confirmando o impacto de barragens sobre a reprodução de peixes a jusante de reservatórios de usinas hidrelétricas.

Palavras-chave: Comprimento total, peso corporal, maturação gonadal, índice gonadossomático, tamanho da primeira maturação gonadal e fecundidade.

INTRODUÇÃO

A maioria dos grandes rios do mundo possui algum tipo de barramento que causa vários impactos negativos afetando toda a comunidade de peixes (Olden & Naiman, 2010). Apesar de importantes para o desenvolvimento econômico, os barramentos promovem impactos graves e irreversíveis no regime hidrológico natural dos rios alterando o controle da vazão a jusante de barragens (Agostinho et al., 2008, Arantes, 2010, Nunes et al., 2015). Esses impactos têm sido detectados a jusante de várias usinas hidrelétricas de diferentes partes do mundo (Zhong & Power, 1996; Clakson & Childs, 2000; Todd et al., 2005; Olden & Naiman, 2010). No rio São Francisco, na região sudeste do Brasil, os impactos do reservatório de Três Marias foram detectados em espécies migradoras como *Prochilodus argenteus* (Arantes et al., 2010), *Leporinus reinhardti* (Weber et al., 2013) e *Brycon orthotaenia* (Nunes et al., 2015) e espécies forrageiras como *Astyanax fasciatus* e *A. bimaculatus* (Normando et al., 2014), mas ainda não foram realizados estudos com espécies tipicamente sedentárias ou pré-adaptadas a ambientes lênticos como *S. brandtii*.

Dos peixes carnívoros brasileiros, as piranhas e pirambebas são objeto de vários fatos reais acerca de sua voracidade, principalmente quando habitam águas lênticas (Braga, 1981). A pirambeba *Serrasalmus brandtii* é espécie nativa do Brasil e endêmica da bacia do rio São Francisco, pertence à Família Serrasalmidae na qual se incluem piranhas e pirambebas, que são peixes de água doce carnívoros e vorazes, restritos à América do Sul e abundantes nos reservatórios brasileiros (Jégu, 2003). Realizam cuidado uni-pariental sendo realizado pelo macho e é uma espécie pré-adaptada a ambientes lênticos (Braga, 1981; Agostinho, 2003).

A determinação dos estádios de maturação gonadal durante o ciclo reprodutivo é importante para a compreensão do comportamento reprodutivo de uma espécie dentro de seu habitat (Arantes et al., 2010). O índice gonadosomático é um ótimo indicador de atividade reprodutiva, sendo utilizado na determinação dos estádios de maturação gonadal (Hojo et al., 2004). O fator de condição é utilizado como indicador do período de desova e da condição nutricional dos peixes (Ratton et al., 2003).

O tamanho de primeira maturação sexual de peixes é comumente determinado pelo método do L_{50} , que estabelece o comprimento no qual 50% dos indivíduos amostrados são adultos e 50% são imaturos ou juvenis. Entretanto, esse método apresenta restrições devido à dificuldade de diferenciação entre peixes imaturos e adultos em repouso, além

da proibição da captura de peixes imaturos pela legislação que regula a atividade pesqueira (Gonçalves et al., 2006). Outro parâmetro importante é a fecundidade, pois determina o potencial reprodutivo e fornece informações importantes para o manejo e conservação das espécies de peixes (Normando et al., 2009; Melo et al., 2011). Além disso, parâmetros histológicos e histométricos tal como diâmetro dos folículos vitelogênico, devem ser utilizados para melhor compreensão das estratégias reprodutivas das espécies (Suzuki et al., 2000; Kolm & Ahnesjö, 2005; Marcon et al., 2015).

A proporção sexual entre fêmeas e machos é uma informação importante para a caracterização da estrutura de uma espécie ou população, além de constituir subsídio para o estudo de outros aspectos como comportamento, avaliação do potencial reprodutivo e estimativas do tamanho do estoque populacional (Pope et al., 2010).

Considerando que estudos relacionados com a reprodução de *S. brandtii*, somente foram realizados em ambientes lênticos (Teles & Godinho, 1997; Honorato-Sampaio et al., 2015), o objetivo do presente trabalho foi analisar comparativamente a reprodução de *S. brandtii* em três trechos distintos da bacia do rio São Francisco e avaliar o impacto a jusante da represa de Três Marias sobre a reprodução dessa espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragens

Capturaram-se 1569 exemplares de *S. brandtii* em três trechos da bacia do rio São Francisco (RSF): trecho 1 = represa de Três Marias (RTM) (18°23'27"S, 45°13'12"W), trecho 2 = RSF nos primeiros 34 km a jusante da RTM (18°07'59"S, 45°14'01"W), e trecho 3 = 34 a 54 km a jusante da RTM, na confluência do RSF com o rio Abaeté (18°00'49"S, 45°10'51"W) (Figura 2). Os peixes foram coletados bimestralmente de junho de 2011 a maio de 2012 utilizando-se redes de emalhar com malhas variando de 3,0 a 7,0 cm entre nós opostos. Foram coletados 992 exemplares no trecho 1 (522 fêmeas, 470 machos), 349 no trecho 2 (216 fêmeas, 133 machos), e 228 no trecho 3 (118 fêmeas, 110 machos). Os peixes, quando ainda vivos, foram sacrificados por seção transversal da medula cervical, seguindo os princípios éticos de manipulação de animais estabelecido pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal - COBEA (www.cobea.org.br).

Biometria e índices biológicos

Todos os peixes foram dissecados e de cada exemplar foram obtidos: comprimento total (CT), peso corporal (PC) e peso das gônadas (PG). A partir dos dados biométricos obtidos, calcularam-se o índice gonadossomático ($IGS = PG \times 100 / PC$) e o fator de condição de Fulton ($K = PC \times 100 / CT^3$).

Histologia, estádios de maturação gonadal e tipo de desova

Para análise histológica, fragmentos de gônadas foram fixados em líquido de Bouin por 8 à 12 horas, submetidos às técnicas histológicas de rotina, corados pela hematoxilina-eosina (HE). Os estádios de maturação gonadal foram estabelecidos baseando-se nas características macro e microscópica das gônadas e nas variações do índice gonadossomático. O tipo de desova foi determinado baseando-se na distribuição das frequências dos estádios de maturação gonadal, nas variações do índice gonadossomático e nas características histológicas de ovários desovados (Honorato & Sampaio, 2009).

Tamanho de primeira maturação gonadal

O tamanho de primeira maturação gonadal foi determinado pelo menor comprimento total de fêmeas e machos com gônadas no estágio em maturação/maduro, em cada trecho em estudo.

Diâmetro folicular

O diâmetro dos folículos vitelogênico, foram determinados em lâminas histológicas de ovários em maturação/maduro, sendo selecionados para medidas apenas folículos íntegros, esféricos e com pouca retração utilizando-se régua micrométrica acoplada à ocular de microscópio de luz. Foram medidos 50 folículos vitelogênicos de fêmeas com ovários em maturação/maduro dos três trechos estudados, utilizando o software Olympus Cell, com o microscópio Olympus-BX50 acoplado a câmera Olympus SC30.

Fecundidade

A fecundidade foi determinada em 10 fêmeas com ovários maduros de cada trecho. Amostras da região média dos ovários foram fixadas em solução de Gilson modificada (100 ml de álcool 60%, 880ml de água destilada, 15ml de ácido nítrico 80%,

18ml de ácido acético glacial e 20g de cloreto de mercúrio). As amostras foram mantidas nesta solução até a dissociação completa dos folículos, posteriormente com o auxílio de esteromicroscópio foram contados os folículos vitelogênicos.

A fecundidade absoluta (FA) foi calculada utilizando a equação: $(FA = OVA \times PG)$, onde OVA é o número de ovócitos por grama de ovário. A fecundidade relativa (FR) foi calculada utilizando as equações: $(FR = FA/CT \text{ e } FA/PG)$.

Proporção sexual

A proporção sexual de *S.brandtii* nos três trechos da bacia do rio São Francisco foi determinada pela frequência absoluta total de fêmeas e machos. Aplicou-se o teste do Qui-quadrado (χ^2) para detectar possíveis diferenças nas proporções entre os sexos $p < 0.05$.

Variáveis físico-químicas da água

Parâmetros físico-químicos da água analisados nos três trechos foram: temperatura da água, concentração do oxigênio dissolvido e pH, utilizando sonda Horiba modelo W-10.

Análise estatística

Teste T de Student foi utilizado para comparar as médias dos parâmetros físico-químicos da água, diâmetro folicular, fecundidade absoluta e relativa entre os três trechos do rio. Para as comparações entre as médias do comprimento total, peso corporal, índice gonadossomático máximo, fator de condição de Fulton e estádios de maturação gonadal foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney. Os valores médios do IGS por estágio de maturação gonadal e por sexo foram testados através análise de variância não paramétrica Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Dunn para registrar diferenças estaticamente significativas. Para todos os testes estatísticos, foi utilizado o software Bioestat5 com nível de significância de $p < 0.05$.

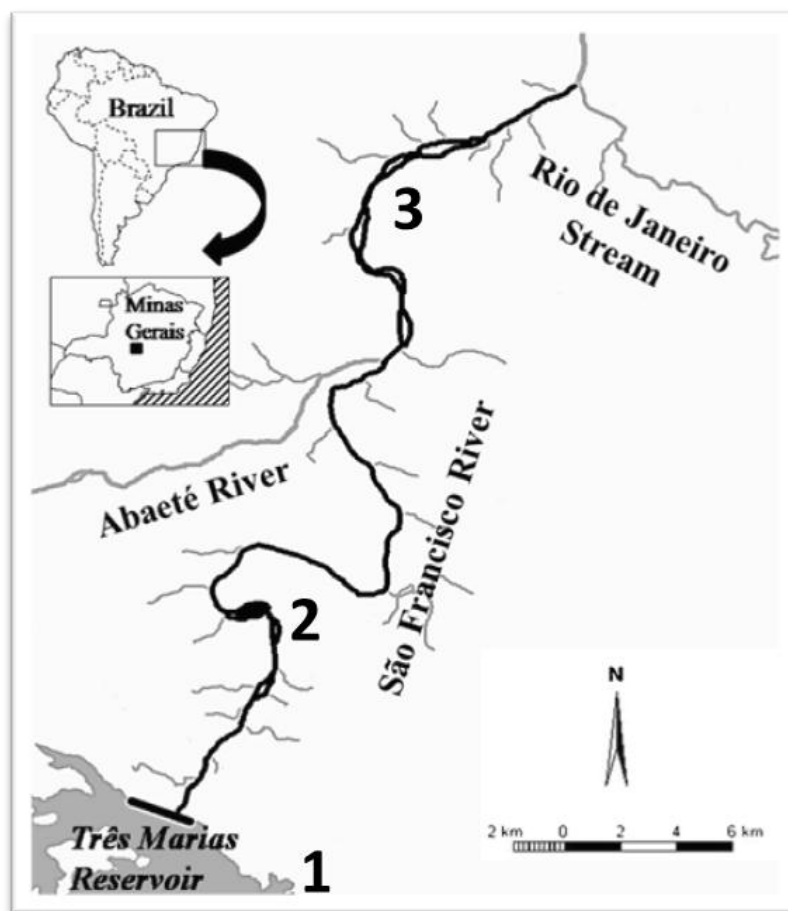


Figura 2:Área de estudo da bacia do rio São Francisco (RSF): trecho 1 = represa de Três Marias (RTM); trecho 2 = segmento do RSF imediatamente a jusante da RTM; trecho 3 = segmento do RSF na confluência com o rio Abaeté.

RESULTADOS

Nos trechos 2 e 3 fêmeas e machos de *S. brandtii* apresentaram valores estatisticamente menores de comprimento total e peso corporal em relação aos peixes dos trecho 1. O comprimento total e peso corporal das fêmeas foram maiores do que os dos machos nos três trechos estudados (Tabelas 1 e 2).

No presente estudo estabeleceram três estádios de maturação gonadal para fêmeas e machos de *S. brandtii*: 1 = repouso, 2 = maturação/maduro e 3 = desovado para fêmeas e espermiado para machos (Figuras 3 e 4).

O tamanho de primeira maturação gonadal por trecho foi de: trecho 1 = fêmeas 14,2 cm e machos 12,5 cm; trecho 2 = fêmeas 12, 1 cm e machos = 11,8 cm e trecho 3= fêmeas 12,8 cm e machos 11,6 cm.

Nos três trechos, peixes em atividade reprodutiva ocorreram durante todo ano incluindo fêmeas desovadas e machos espermiados. O pico de fêmeas desovadas e

machos espermiados nos três trechos ocorreu nos bimestres novembro/dezembro e janeiro/fevereiro (Figuras 5). O longo período reprodutivo e a ocorrência de fêmeas desovadas e machos espermiados o ano todo, além da presença nos ovários desovados de folículos pós-ovulatórios e demais folículos em todas as fases do desenvolvimento, associados com as variações do IGS, confirmam que a desova de *S. Brandtii* é do tipo parcelado ou em lotes. Os valores médios bimestrais de IGS de fêmeas e machos no estágio 2, nos três trechos, foram maiores nos bimestres de novembro/dezembro e janeiro/fevereiro (Tabelas 1 e 2).

Os valores médios dos diâmetros dos folículos vitelogênicos, apresentaram maiores valores nos trechos 1 e 3 com diferenças estatísticas em relação ao trecho 2, onde esses valores foram menores (Tabela 1).

A fecundidade absoluta (FA) e a fecundidade relativa com CT e PG foram maiores no trecho 1 ($P < 0,05$) quando comparado com os valores obtidos nos trechos 2 e 3 (Tabela 1).

Os parâmetros físico-químicos da água no período de pico reprodutivo, nos bimestres novembro/dezembro e janeiro/fevereiro, mostraram valores estatisticamente maiores no trecho 1 para temperatura e concentração de oxigênio dissolvido (Tabela 3).

Não foram encontradas diferenças significativas na proporção sexual entre fêmeas e machos nos trechos 1 e 3 (trecho 1 = 2,72; trecho 3 = 0,28) mas no trecho 2, fêmeas predominaram sobre machos (trecho 2 = 19,74). Apesar de os trechos 1 e 3 não possuírem diferenças entre os sexos, houve leve predominância de fêmeas.

Tabela 1: Variáveis biológicas de fêmeas de *S.brandtii*, capturadas em três trechos da bacia do rio São Francisco (RSF) no período de junho de 2011 a maio de 2012. Trecho 1: represa de Três Marias, trecho 2: RSF imediatamente a jusante da represa de Três Marias e trecho 3: confluência do RSF com o rio Abaeté. N: número de peixes capturados; CT: comprimento total; PC: peso corporal; IGS: índice de gonadossomático no estágio em maturação/maduro; K: fator de condição de Fulton; DF: diâmetro do folículo vitelogenico; FA: fecundidade absoluta; FR/CT: fecundidade relativa por comprimento total; FR/PG: fecundidade relativa por peso gonadal.

	Trecho 1 (N= 522)		Trecho 2 (N= 216)		Trecho 3 (N= 118)	
	Amplitude	Média ± DP	Amplitude	Média ± DP	Amplitude	Média ± DP
CT	10,2 – 34,7	18,68 ± 4,9 ^a	10,0 – 22,5	15,4 ± 2,6 ^b	10,0 – 29,0	15,4 ± 4,2 ^b
PC	30,0 – 480,0	143,0 ± 104,0 ^a	23,0 – 219,7	83,7 ± 42,5 ^b	26,0 – 432,0	85,0 ± 70,8 ^b
IGS	0,74 – 3,6	2,14 ± 0,95 ^a	0,61 – 2,60	1,38 ± 0,57 ^b	0,55 – 1,60	1,42 ± 0,32 ^b
K	1,18 – 3,17	1,93 ± 0,27 ^a	0,36 – 2,33	1,70 ± 0,45 ^b	0,36 – 4,58	1,90 ± 0,64 ^{ab}
DF	622,9 – 1124,7	866,7 ± 156,3 ^a	544,6 – 1031,3	729,2 ± 112,4 ^b	619,3 – 984,4	859,9 ± 112,5 ^a
FA	6011,0 – 8700,0	7041,6 ± 1105,5 ^a	3277,0 – 4436,0	3856,5 ± 579,5 ^b	5393,0 – 5822,0	5607,5 ± 303,3 ^{ab}
F/CT	248,3 – 330,6	302,4 ± 46,9 ^a	192,7 – 208,2	200,4 ± 10,96 ^b	190,8 – 199,0	194,9 ± 5,79 ^b
F/PG	464,7 – 542,0	503,3 ± 54,6 ^a	272,3 – 360,6	316,4 ± 62,4 ^b	373,3 – 377,2	375,25 ± 2,75 ^{ab}

Dados expressos como média ± desvio-padrão (DP); letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas entre os trechos de amostragem ($p < 0,05$).

Tabela 2: Variáveis biológicas de machos de *S.brandtii*, capturados em três trechos da bacia do rio São Francisco (RSF) no período de junho de 2011 a maio de 2012. Trecho 1: represa de Três Marias, trecho 2: RSF imediatamente a jusante da represa de Três Marias e trecho 3 : confluência do RSF com o rio Abaeté. N: número de peixes capturados; CT: comprimento total; PC: peso corporal; IGS: índice de gonadossomático no estágio em maturação/maduro; K: fator de condição de Fulton.

	Trecho 1 (N= 470)		Trecho 2 (N= 133)		Trecho 3(N= 110)	
	Amplitude	Média ± DP	Amplitude	Média ± DP	Amplitude	Média ± DP
CT	10,0 – 31,5	17,4 ± 4,2 ^a	10,0 – 22,0	14,9 ± 2,8 ^b	10,0 – 26,0	15,5 ± 2,7 ^b
PC	25,1 – 312	103,2 ± 66,3 ^a	22,4 – 216	77,2 ± 42,7 ^b	25,0 – 182,0	85,0 ± 40,8 ^b
IGS	0,40 – 2,78	1,36 ± 0,94 ^a	0,28 – 0,95	0,46 ± 0,24 ^b	0,28 – 1,01	0,48 ± 0,25 ^b
K	0,42 – 2,89	1,96 ± 0,39 ^a	0,41 – 3,19	1,86 ± 0,58 ^a	1,0 – 3,48	1,90 ± 0,36 ^a

Dados expressos como média ± desvio-padrão (DP); letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas entre os trechos de amostragem ($p < 0,05$).

Tabela 3: Temperatura da água, oxigênio dissolvido e pH, em três trechos da bacia do rio São Francisco (RSF): trecho 1: represa de Três Marias, trecho 2: RSF imediatamente a jusante da represa de Três Marias e trecho 3: confluência do RSF com o rio Abaeté no período de novembro à fevereiro de 2012/2013.

	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Temperatura (°C)	28,83 ± 0,01 ^a	23.21 ± 0.57 ^b	24.31 ± 0.71 ^c
Oxigênio (mg/L)	9,65 ± 0,01 ^a	5.55 ± 1.67 ^b	7.97 ± 0.55 ^c
pH	6,58 ± 0,06 ^a	5.83 ± 0.46 ^a	6.35 ± 0.51 ^a

Dados expressos como média ± desvio-padrão (DP); letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas entre os trechos de amostragem ($p < 0,05$).

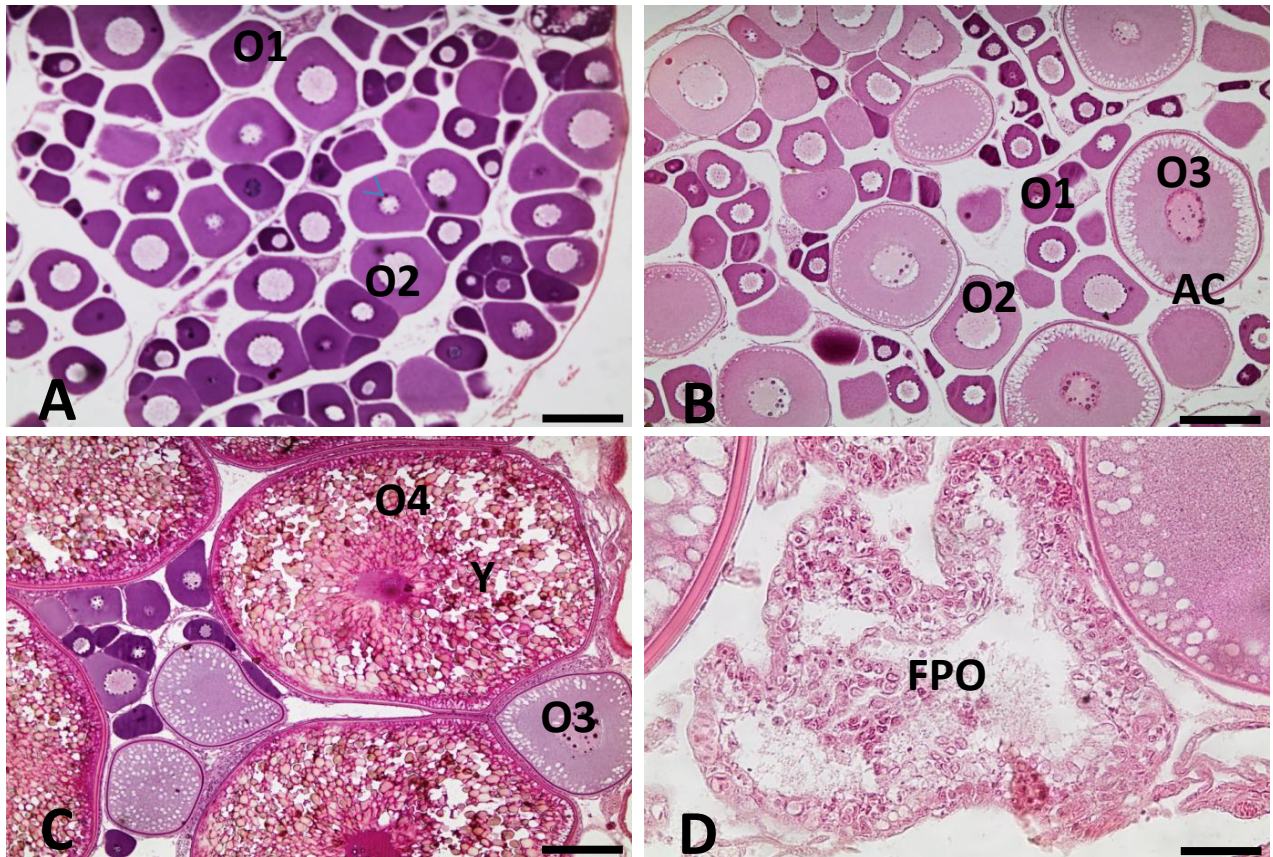


Figura 3: Secções histológicas dos ovários de *S. brandtii* em diferentes estádios de maturação gonadal corados com HE. **A:** F1 = repouso: ovários com ovócitos perinucleolares (O1 e O2). **B:** início da maturação caracterizada pela presença de ovócitos pré-vitelogênicos (O3) com alvéolos corticais (AC). **C:** F2 = maturação/maduro: ovários com (O1), (O2), (O3) e vitelogênicos (O4) repleto de glóbulos de vitelo (V), e zona radiata (ZR). **D:** F3 = desovado: com folículos pós-ovulatórios (FPO). Escala de barras representa: A,B e C = 200 μ m; D = 50 μ m.

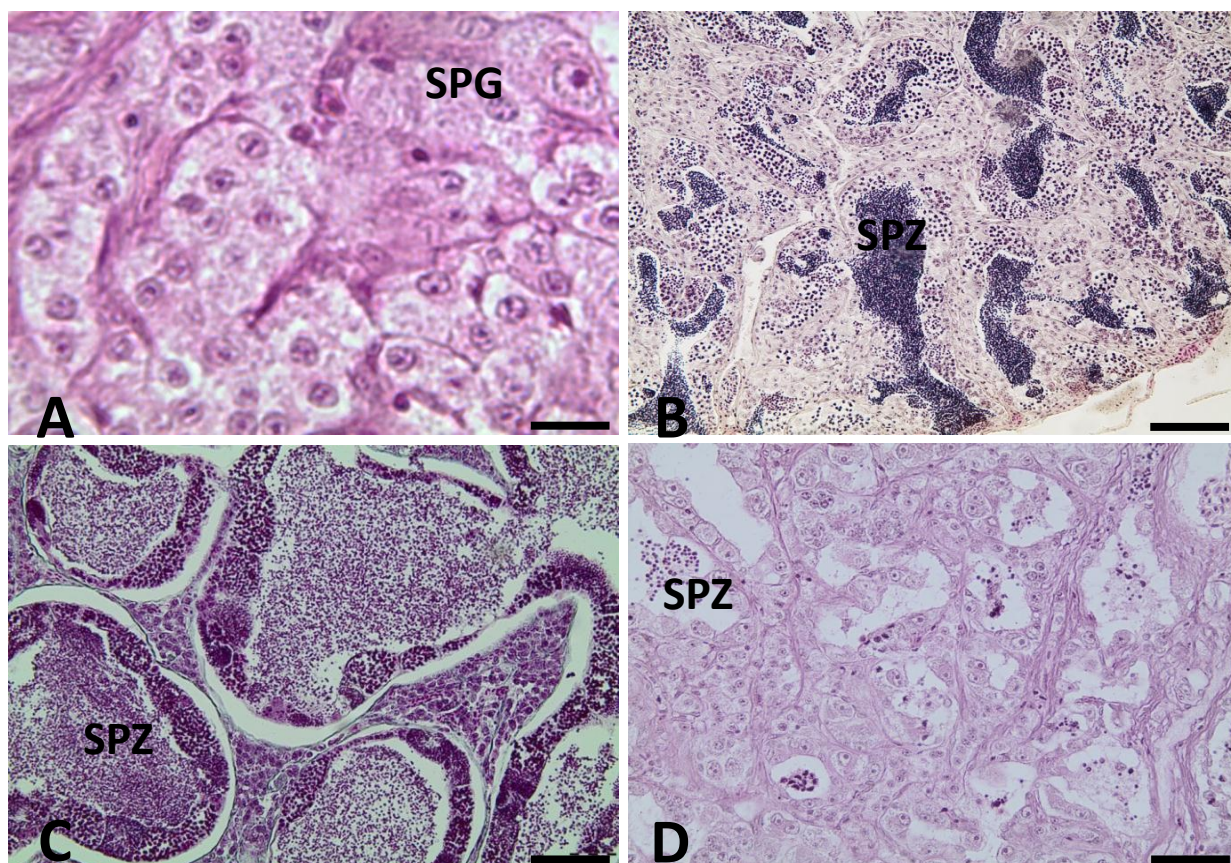


Figura 4: Secções histológicas de testículos de *S. brandtii* em diferentes estádios de maturação gonadal corados com HE. **A:** estágio 1 = repouso: contendo somente espermatogônias (SPG). **B:** início da maturação com pequena quantidade de espermatozoides (SPZ) no lume dos túbulos seminíferos. **C:** estágio 2 = maturação/maduro: com túbulos seminíferos repletos de espermatozoides (SPZ). **D:** estágio 3 = espermiado: lume dos túbulos seminíferos vazios ou com pequena quantidade de espermatozoides residuais. Escala de barras representa: A = 20 μ n; B = 80 μ n; C = 80 μ n e D = 40 μ n.

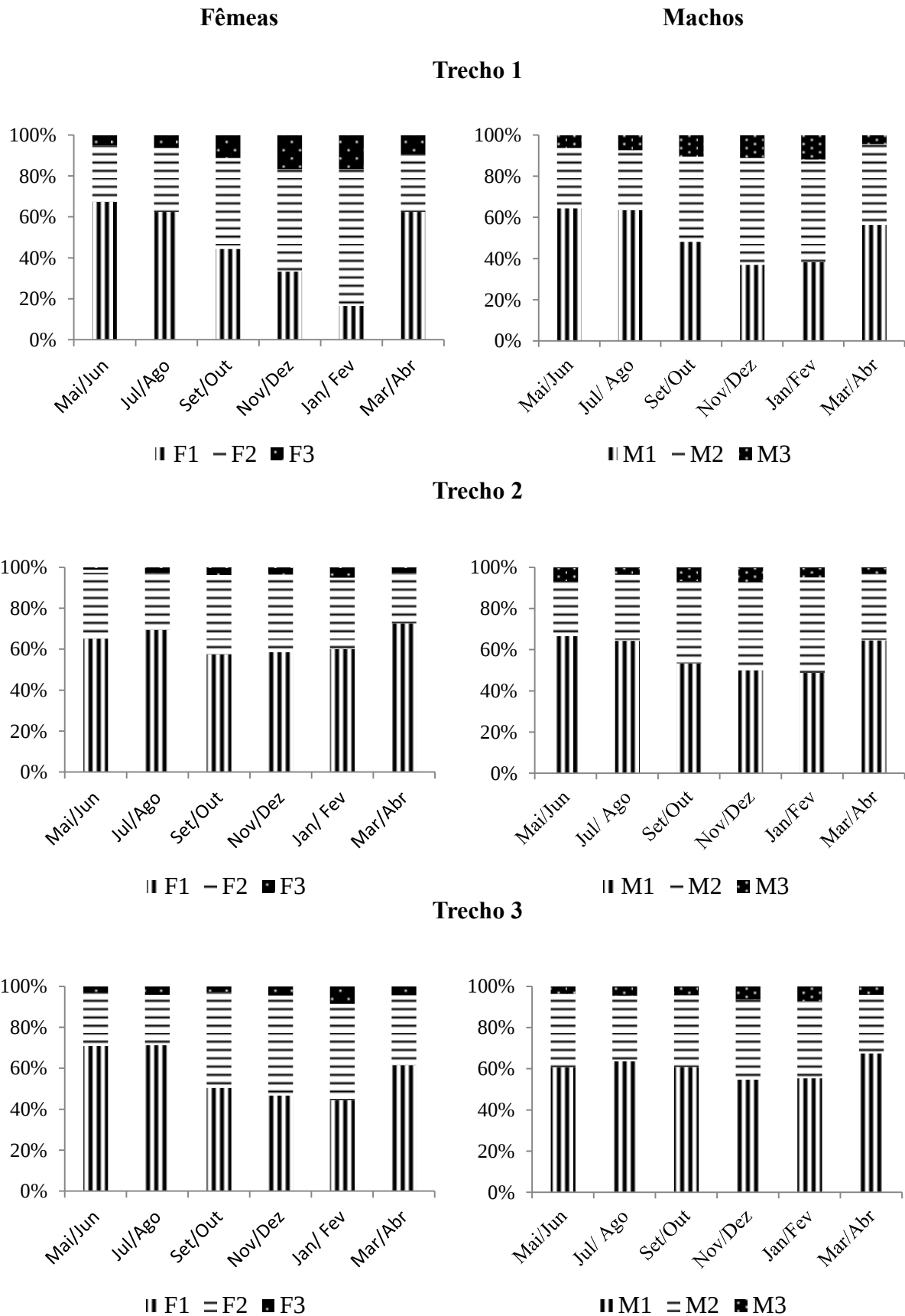


Figura 5: Distribuição bimestral dos estádios de maturação gonadal de fêmeas e machos de *S. brandtii* capturados na represa de Três Marias = trecho 1, no RSF imediatamente a jusante da represa de Três Marias = trecho 2 e na confluência do rio São Francisco com o rio Abaeté = trecho 3.

DISCUSSÃO

Este estudo analisou comparativamente a reprodução de *S. brandtii* em três trechos distintos da bacia do rio São Francisco e avaliou o impacto a jusante da barragem de Três Marias sobre a reprodução da espécie. Estudos relacionados com a reprodução dessa espécie, somente foram realizados em ambientes lênticos (Teles & Godinho, 1997; Honorato-Sampaio et al., 2015), mas em ambientes lóticos, tais estudos foram realizadas pela primeira vez no presente trabalho.

Os resultados do presente estudo, mostraram que na bacia do rio São Francisco, *S. brandtii* reproduz nos três trechos analisados embora com menor desempenho do trecho 2, logo a jusante da barragem de Três Marias. Nesse trecho, conhecidamente as condições físico-químicas da água não são favoráveis à reprodução de varias espécies como *Prochilodus argenteus* (Sato et al., 2005; Arantes et al., 2010; Domingos et al., 2012; Thomé et al., 2012), *Leporinus reinhardti* (Weber et al., 2013), *Astyanax fasciatus*, *A. bimaculatus* (Normando et al., 2014) e *Brycon orthotaenia* (Nunes et al., 2015). O menor desempenho reprodutivo de *S. brandtii* no trecho 2, logo a jusante da barragem de Três Marias, pode estar relacionado com os baixos valores de temperatura e oxigênio dissolvido devido à estratificação térmica na água do reservatório durante o verão e também pela captação da água do hipolímio pelas turbinas além do impacto antrópico de controle da vazão (Esteves, 1985; Santos et al., 2012). Os impactos devido a liberação de água mais fria e pobre em oxigênio dissolvido foram também detectados a jusante de várias barragens em diferentes locais do mundo (Hubbs 1972; Clarkson & Childs 2000; Bunn & Arthington 2002; Preece & Jones 2002; Graf 2006; Donaldson et al., 2008; Mantel et al., 2010).

No presente estudo, nos três trechos analisados, observou-se que as fêmeas apresentaram maior comprimento total e peso corporal que os machos. Este dimorfismo sexual parece ser característica comum para a maioria dos peixes Characiformes (Bem et al., 2012). Peixes do trecho 2 apresentaram comprimento e peso estatisticamente menores que aqueles dos trechos 1 e 3 e estas diferenças também podem ser devidas aos impactos ambientais negativos logo a jusante da barragem da UHE Três Marias.

A utilização de diagnósticos histológicos é fundamental e necessário para a classificação precisa dos estádios de maturação gonadal de peixes (Núñez & Duponchelle 2009). No presente estudo identificaram-se através de análises macro e microscópica além das variações do IGS, três principais estádios de maturação gonadal

para fêmeas e machos, similar a outros Serrasalminidae Neotropicais (Honorato-Sampaio et al., 2015).

O tamanho de primeira maturação gonadal foi estabelecido baseando-se no comprimento total do menor exemplar fêmea e macho no estágio maturação/maduro respectivamente, similar aos procedimentos utilizados por Boncompagni-Júnior et al. (2013). No presente estudo, registrou-se maior tamanho de primeira maturação gonadal de fêmeas no trecho 1 e esta variação pode estar relacionada com diferenças nas condições ambientais e disponibilidade de alimento (Wootton, 1990; Pawson et al., 2000) e na produção de hormônios sexuais, tais como $17\text{-}\beta$ o estradiol, que é responsável pelo crescimento somático e desenvolvimento gonadal (Blázquez et al., 1998; Arantes et al., 2010).

O IGS pode ser reflexo da qualidade ambiental, pois está diretamente ligado às reservas energéticas disponíveis para a reprodução (Frenkel & Goren 1997; Yoda & Yoneda 2009; Thomé et al. 2012). O IGS avaliado nos três trechos acompanhou o desenvolvimento das gônadas, apresentando valores mais altos no trecho 1, confirmando que *S. brandtii* é uma espécie preferencialmente de ambientes lânticos (Braga, 1981). Os maiores valores de IGS de fêmeas capturadas na represa de Três Marias pode ser consequência do maior número de folículos vitelogênicos produzidos (fecundidade) além do maior diâmetro dos folículos vitelogênicos nas fêmeas deste trecho.

Maiores valores de frequência de fêmeas desovadas e machos espermiados nos três trechos de estudo foram nos bimestres novembro/dezembro e janeiro/fevereiro, coincidindo com período de altos valores de temperatura, pluviosidade e fotoperíodo. Realmente, esses fatores ambientais quando elevados são favoráveis para a atividade reprodutiva dos peixes, como observado em outras espécies da bacia do rio São Francisco (Freitas et al., 2013; Weber et al., 2013; Normando et al., 2014). O fator de condição de Fulton (K) fornece importantes informações sobre o estado fisiológico dos peixes, pressupondo que indivíduos com maiores valores de K estão em melhor condição de saúde (Froese, 2006). No presente estudo, os maiores valores de K de fêmeas e machos foram registrados no trecho 1 onde a qualidade da água, temperatura e oxigênio, foi melhor.

A análise histométrica de ovários em maturação/maduros mostrou quatro classes de diâmetro de folículos vitelogênicos indicando desenvolvimento assincrônico da foliculogênese com populações distintas de folículos vitelogênicos que serão desovados

em lotes, como observado em outros teleósteos de desova parcelada e com fecundidade em lotes (Melo et al., 2011; Armstrong & Witthames 2012). A foliculogênese assincrônica é característica de espécies com longo período reprodutivo, desova múltipla ou parcelada e fecundidade em lotes (Núñez & Duponchelle 2009; Lubzens et al., 2010), como *S. brandtii* do presente estudo.

No presente estudo, a fecundidade em lotes bem como a fecundidade relativa ao comprimento total e peso gonadal, apresentaram valores estaticamente mais altos no trecho 1, mostrando que, do mesmo modo que o IGS e o diâmetro dos folículos vitelogênicos, a fecundidade também pode ter sido influenciada pelas melhores condições reprodutivas para *S. brandtii* no trecho 1. De fato, as condições físico-químicas da água são indicadas como principais fatores capazes de influenciar o potencial reprodutivo através do número e diâmetro de folículos vitelogênicos (Lukšienė & Svedäng 1997; Kinnison et al., 1998; Yoda & Yoneda 2009; Armstrong & Witthames 2012).

No geral, houve tendência para uma leve dominância de fêmeas na proporção sexual de *S. brandtii* nos três trechos estudados na bacia do rio São Francisco. Isso se deve provavelmente pelo fato dos machos realizarem cuidado parental de ovos e larvas, comportamento peculiar para pirambebas e piranhas (Braga, 1981; Agostinho, 2003), e assim, não sendo capturadas pelas redes de emalhar.

Conhecidamente os barramentos de um rio provocam impacto negativo à reprodução de várias espécies, especialmente daquelas migradoras, entretanto os resultados do presente estudo mostraram que *S. brandtii*, espécie sedentária, reproduz nos três trechos em estudo, embora com menor desempenho reprodutivo no trecho 2, logo a jusante da barragem de Três Marias, onde os peixes apresentaram menores valores de CT, PC, IGS, K, DF, FA e FR, este fato provavelmente está relacionado aos distúrbios termais provocados pela liberação de água mais fria pelo hipolímio da represa pois peixes tropicais sob temperaturas baixas diminuem sua atividade alimentar e conseqüentemente, pioram sua condição de saúde (Lowe-McConnell, 1987), confirmando o impacto de barragens sobre a reprodução de peixes a jusante de reservatórios de usinas hidrelétricas.

CONCLUSÕES

À montante da represa de Três Marias *S. brandtii* apresentou maiores valores do comprimento total, peso corporal, índice gonadossomático, fator de condições de Fulton (K), diâmetro do folículo vitelogênico, fecundidade absoluta (FA) e fecundidade relativa (FR), mostrando que a espécie é melhor adaptada a ambientes lênticos.

Logo a jusante da represa de Três Marias, *S. brandtii* apresentou menores valores do comprimento total, peso corporal, índice gonadossomático, fator de condições de Fulton (K), diâmetro do folículo vitelogênico, fecundidade absoluta (FA) e fecundidade relativa (FR), confirmando o impacto de barragens sobre a reprodução de peixes a jusante de reservatórios de usinas hidrelétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, C.S. (2003). Reproductive aspects of piranhas *Serrasalmus spilopeura* and *Serrasalmus marginatus* into the upper Paraná River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **63**, 1-6.
- Agostinho, A.A., Pelicice, F.M. & Gomes, L.C. (2008). Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian journal of biology*, **68**, 1119–32.
- Arantes, F.P., Santos, H.B., Rizzo, E., Sato, Y. & Bazzoli, N. (2010). Profiles of sex steroids, fecundity, and spawning of the curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* in the São Francisco River, downstream from the Três Marias Dam, Southeastern Brazil. *Animal Reproduction Science*, **118**, 330–6.
- Armstrong, M.J. & Witthames, P.R. (2012). Developments in understanding of fecundity of fish stocks in relation to egg production methods for estimating spawning stock biomass. *Fisheries Research*, **117-118**, 35–47.
- Bagenal, T.B. & Braum, E. (1978). Eggs and early life history. In: Bagenal, T. (Ed.), *Methods of Assessment of Fish Production in FreshWaters*. Oxford: Blackwell Scientific, 365p.
- Bazzoli, N. (2003). Parâmetros reprodutivos de peixes de interesse comercial na região de Pirapora, pp. 299-314. In: H. P. Godinho & A. L. Godinho (Eds), *Águas, peixes e pescas no São Francisco das Minas Gerais*, CNPq/PADCT, Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 460p.
- Bem, J.C., Fontanetti, C.S., Senhorini, J.A., Parise-Maltempi, P.P. (2012). Effectiveness of Estradiol Valerate on Sex Reversion in *Astyanax altiparanae* (Characiformes Characidae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **55**, 283–290.

- Blázquez, M., Bosma, P.T., Fraser, E.J., Van Look, K.J. & Trudeau, V.L. (1998). Fish as models for the neuroendocrine regulation of reproduction and growth. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **119**, 345–364.
- Boncompagni-Júnior, O., Normando, F.T., Brito M.F.G & Bazzoli, N. (2013). Reproductive biology of *Prochilodus argenteus* Agassiz, 1829 (Pisces: Prochilodontidae) in São Francisco River, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, **29**, 132-138.
- Braga, A.R. (1981). Ecologia e etologia das piranhas do nordeste do Brasil (Pisces – *Serrasalmus Lacépède*, 1803). Fortaleza: Denocs, 268p.
- Bunn, S.E. & Arthington, A.H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, **30**, 492–507.
- Catella, A.C. (1983). Estudo sobre o espectro alimentar de *Serrasalmus brandtii* (Characidae, Serralmiinae) da represa de Três Marias. *Ciências e Cultura*, **35** (7), 523.
- Clarkson, R.W. & Childs, M.R. (2000). Temperature Effects of Hypolimnial-Release Dams on Early Life Stages of Colorado River Basin Big-River Fishes. *Copeia*, **2000**, 402–412.
- Costa, C.M.R., Hermann, G., Martins, C.S.; Lins, L.V., Lamas, I.R. (1998). Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 94p.
- Domingos, F.F.T., Thome, R.G., Arantes, F.P., Castro, A.C.S., Sato, Y., Bazzoli, N. & Rizzo, E. (2012). Assessment of spermatogenesis and plasma sex steroids in a seasonal breeding teleost: a comparative study in an area of influence of a tributary, downstream from a hydroelectric power dam, Brazil. *Fish Physiology and Biochemistry*, **38**, 1709–1719.

- Donaldson, M.R., Cooke, S.J., Patterson, D. A. & Macdonald, J.S. (2008). Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology*, **73**, 1491–1530.
- Esteves, F.A., Amorim, J.C., Cardoso, E.L., Barbosa, F.A.R. (1985). Caracterização limnológica preliminar da represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Ciência e Cultura*, **37**, 608–617.
- Freitas, L.J.A., Prado, P.S., Arantes, F.P., Santiago K.B., Sato, Y., Bazzoli, N. & Rizzo, E.. (2013). Reproductive biology of the characid dourado *Salminus franciscanus* from the São Francisco River, Brasil. *Animal Reproduction Science*, **139**, 145-154.
- Frenkel, V. & Goren, M. (1997). Some environmental factors affecting the reproduction of *Aphanius dispar*. *Hydrobiologia*, **347**, 197–207.
- Froese, B.R. (2006). Cube law, condition factor and weight – length relationships : history , meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, **22**, 241–253.
- Jégu, M. (2003) Subfamilia Serrasalminidae. In: Reis, R.E., Kullander, S.V., Ferraris Jr, C.J. (eds) Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS, 182-196p
- Gonçalves, T.L., Bazzoli, N. & Brito, M.F.G. (2006). Gametogenesis and reproduction of the matrinxã *Brycon orthotaenia* (Günther, 1864) (Pisces: Characidae) in the São Francisco river, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **66**, 513-522.
- Goulding, M. (1980). The fishes and the forest. Explorations in Amazonian natural history. Berkeley: University of California Press, 280p.
- Graf, W.L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, **79**, 336–360.

- Haxton, T.J & Findlay, C.S. (2008). Meta-analysis of the impacts of water management on aquatic communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **65**, 437-447.
- Hojo, R.E.S., Santos G.B. & Bazzoli, N. (2004). Reproductive biology of *Moenkhausia intermedia* (Eigenmann) (Pisces: Characiformes) in Itumbiara Reservoir, Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, **21**, 519-524.
- Honorato-Sampaio, K., Prado, P.S.; Sato, Y.; Bazzoli, N.; Rizzo, E. (2015). Comparative morphology of the oocyte surface and early development in four characiformes from the São Francisco River, Brazil. *Journal of Morphology*, **276**, 1258-1278.
- Hubbs, C. (1972). Some Thermal Consequences of Environmental Manipulations of Water. *Biologica*, **4**, 185–188.
- Kinnison, M.T., Unwin, M.J., Hershberger, W.K. & Quinn, T.P. (1998). Egg size, fecundity, and development rate of two introduced New Zealand chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **55**, 1946–1953.
- Kolm, N., & Ahnesjö, I. (2005). Do egg size and parental care coevolve in fishes? *Journal of Fish Biology*, **44**, 1499–1515.
- Langeani, F., Buckup, P.A., Malabarba, L.R., Rapp Py-Daniel, L.H., Lucena, C.A.S., Rosa, R. S., Zuanon, J.A.S., Lucena, Z.M.S., Britto, M.R., Oyakawa, O.T., Gomes-Filho, G. (2009). Peixes de Água Doce. In: Da Rocha, R.M., Boerger, W.A. (Org). Estado da Arte e Perspectivas para a Zoologia no Brasil. Curitiba: Editora UFPR, 296p.
- Lizama, M.A.P. & Ambrosio, A.M. (2002). Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **62**, 113–124.

- Lowe-McConnell, R.H. (1987). Respostas dos Peixes às Condições em Águas Tropicais. In: Lowe-McConnell, R.H. Ecological Studies in Tropical. London: Cambridge University Press, 534p.
- Lubzens, E., Young, G., Bobe, J. & Cerdà, J. (2010). Oogenesis in teleosts: how eggs are formed. *General and comparative endocrinology*, **165**, 367–89.
- Lukšienė, D. & Svedang, H. (1997). A review on fish reproduction with special reference to temperature anomalies. Öregrund: Fiskeriverket Kustlaboratoriet, 35p.
- Maddock, D.M., & Burton, M.P.M. (1999). Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American Plaice. *Journal of Fish Biology*, **58**, 928-944.
- Mantel, S.K. & Hughes, D.A. (2010). Ecological impacts of small dams on South African rivers Part 2: Biotic response – abundance and composition of macroinvertebrate communities. *Water Research Commission*, **36**, 361–370.
- Marcon, L., Mounteer, A.H., Bazzoli, N. & Benjamin, L.A. (2015). Effects of insecticide Thiocyanate on the morphology and quantification of ovarian follicles in lambaris *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) in different treatments. *Aquaculture Research*, **47** (8), 2407-2418.
- Melo, R.M.C., Ferreira, C.M., Luz, R.K., Sato, Y., Rizzo, E. & Bazzoli, N. (2011). Comparative oocyte morphology and fecundity of five characid species from São Francisco River basin, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, **27**, 1332–1336.
- Nico, L.G. & Taphor, D.E. (1981). Food habits of piranhas in the low llanos of Venezuela. *Biotropica*, **20**, 311-321.
- Normando, F.T., Santiago, K.B., Gomes, M.V.T., Rizzo E. & Bazzoli, N. (2014). Impact of the Três Marias dam on the reproduction of the forage fish *Astyanax bimaculatus* and *A. fasciatus* from the São Francisco River, downstream from the dam, southeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, **97**, 309-319.

- Normando, F.T., Arantes, F.P. Luz, R.K. Thomé, R.G., Rizzo, E., Sato, Y., Bazzoli, N. (2009). Reproduction and fecundity of tucunaré, *Cichla kelberi* (Perciformes: Cichlidae), an exotic species in Três Marias Reservoir Southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, **25**, 299-305
- Nunes, D.M.F., Magalhães, A.L.B., Weber, A.A., Gomes, R.,Z., Normando F.T., Santiago K.B., Rizzo, E. & Bazzoli, N. (2015). Influence of a large dam and importance of an undammed tributary on the reproductive ecology of the threatened fish matrinxã *Brycon orthotaenia* Günther, 1864 (Characiformes: Bryconidae) in southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **13** (2), 317-324.
- Núñez, J. & Duponchelle, F. (2009). Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish physiology and biochemistry*, **35**, 167–80.
- Olden, J.D. & Naiman, R.J. (2010). Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. *Freshwater Biology*, **55**, 86–107.
- Pawson, M.G., Pickett G. D. & Witthames P. R. (2000). The influence of temperature onset of first maturity in sea bass. *Journal of Fish Biology*, **56**, 319–327.
- Pope, K.L., Lochmann, S.E. & Huberth, W.A. (2010). Methods for assessing fish populations. pp. 325-351. In: Quist, M.C. & Young, M.K. (Eds). Inland fisheries management in North America. *America Fisheries Societh*, Bethesda, USA, 736p.
- Preece, R.M. & Jones, H.A. (2002). The effect of Keepit Dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. *River Research and Applications*, **18**, 397–414.
- Ratton, T. F., Bazzoli, N. & Santos, G.B. (2003). Reproductive biology of *Apareiodon affinis* (Pisces: Parodontidae) in the Furnas Reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, **19**, 387-390.

- Santos, H.A., Pompeu, P.S. & Kenji, D.O.L. (2012). Changes in the flood regime of São Francisco River (Brazil) from 1940 to 2006. *Regional Environmental Change*, **12**, 123–132.
- Santos, H.B., Rizzo, E., Bazzoli, N., Sato, Y.; Moro, L. (2005). Ovarian regression and apoptosis in the South American teleost *Leporinus taeniatus* Lutken (Characiformes, Anostomidae) from the São Francisco basin. *Journal of Fish Biology*, **67**, 1446-1459.
- Sato, Y., Bazzoli, N., Rizzo, E., Boschi, M.B. & Miranda, M.O.T. (2005). Influence of the Abaeté River on the reproductive success of the neotropical migratory teleost *Prochilodus argenteus* in the São Francisco River, downstream from the Três Marias Dam, southeastern Brazil. *River Research and Applications*, **21**, 939–950.
- Sazima, I. & Zampogn, E. (1985). Use of water hyacinths as shelter, foraging place, and transport by young piranhas, *Serrasalmus spilopleura*. *Environmental Biology of Fishes*, **12**, 237-240.
- Suzuki, H.I., Agostinho, A.A. & Winemiller, K.O. (2000). Relationship between oocyte morphology and reproductive strategy in loricariid catfishes of the Paraná River, Brazil. *Journal of Fish Biology*, **57**, 791–807.
- Teles, M.E.O. & Godinho, H.P. (1997) Ciclo reprodutivo da pirambeba *Serrasalmus brandtii* (Teleostei, Characidae) na represa de Três Marias, rio São Francisco. *Revista brasileira de Biologia*, **57**, 177-184.
- Tereshchenko, E.S. (2002). The dynamics of population fecundity in Barents Sea capelin. *Journal of Marine Science*, **59**, 976-982.
- Thomé, R.G., Domingos, F.F.T., Santos, H.B., Martinelli, P.M., Sato, Y., Rizzo, E. & Bazzoli, N. (2012). Apoptosis, cell proliferation and vitellogenesis during the folliculogenesis and follicular growth in teleost fish. *Tissue and Cell*, **44**, 54–62.

- Todd, C.R., Ryan, T., Nicol S.J. & Bearlin, A.R. (2005). The impact of cold water releases on the critical period of post-spawning survival and its implications for Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*): a case study of the Mitta River, southeastern Australia. *River Research and Applications*, **21**, 1035-1052.
- Vazzoler, A.E.A. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: EDUEM, 169p.
- Weber, A.A., Nunes, D.M.F., Gomes, R.Z., Rizzo, E., Santiago, K.B., & Bazzoli, N. (2013). Downstream impacts of a dam and influence of a tributary on the reproductive success of *Leporinus reinhardti* in São Francisco River. *Aquatic Biology*, **19**, 195-200.
- Wootton, R.J. (1990). *Ecology of teleost fishes*. London: Chapman e Hall, 386p.
- Yoda, M. & Yoneda, M. (2009). Assessment of reproductive potential in multiple-spawning fish with indeterminate fecundity: a case study of yellow sea bream *Dentex hypselosomus* in the East China Sea. *Journal of fish biology*, **74**, 2338–54.
- Zhong, Y. & Power, G. (1996). Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China. *Regulated Rivers: Research & Management*, **12**, 81-98.