

Artigo

Efeito da sazonalidade na reprodução de peixes Characiformes em um rio Neotropical

Andréia C. Portella¹ , Anderson D. Arsentales¹ ,
Daiane E. Cavallari^{1,3}  & Welber S. Smith^{1,2,3} 

1. Laboratório de Ecologia Estrutural e Funcional de Ecossistemas (LEEF), Universidade Paulista (UNIP), Av. Independência, 262, Éden, Sorocaba, SP, Brasil.
2. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (PPGSEA), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), Universidade de São Paulo (USP), Rod. Domingos Innocentini, Km 13, Itirapina, SP, Brasil.
3. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca (PPGIP), Av. Francisco Matarazzo, 455, Parque da Água Branca, Barra Funda, São Paulo, SP, Brasil. (welber_smith@uol.com.br)

Recebido 3 julho 2020

Aceito 29 abril 2021

Publicado 21 junho 2021

DOI 10.1590/1678-4766e2021012

ABSTRACT. Effect of seasonality on the reproduction of Characiformes fish in a Neotropical river. The knowledge of reproductive tactics is essential to understand the strategies of the fish life cycle, as well as to guide management and conservation measures. Thus, the present study aimed to verify the aspects related to the reproduction of seven species of the Sorocaba River, the largest tributary of the left bank of the Tietê River, and very important for the maintenance of fish species in the middle section of that river. Monthly collections were carried out from September 2010 to September 2012 at two points located in the middle and lower Sorocaba. The species studied were: *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875), *Psalidodon cf. fasciatus* (Cuvier 1819), *Megaleporinus obtusidens* (Valenciennes 1837), *Parodon nasus* Kner, 1859, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837), *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 and *Triporthesus nematurus* (Kner, 1858). There was a significant correlation between species capture and temperature (Spearman $r = 0.79$, $p = 0.0001$) and rainfall rate (Spearman $r = 0.60$, $p = 0.00014$). There was also a significant correlation between the maturing and mature stages, temperature and rainfall rate, showing the importance of these factors in regulating the reproductive cycle of the species in the studied places. A pattern of reproductive seasonality was evidenced, which was confirmed by the medians of the Gonadosomatic Index (IGS) over the months. The migratory species *P. lineatus* and *S. hilarii*, had their peak of reproduction at the time of the river's flood. In the months from November to March, the highest reproductive activity was registered, resulting from the interaction between biotic and abiotic factors (temperature and rainfall rate), since these factors act in the maturation of the gonads.

KEYWORDS. Rheophilic fish, spawning, gonad maturation, Sorocaba river.

RESUMO. O conhecimento das táticas reprodutivas é fundamental para a compreensão das estratégias do ciclo de vida dos peixes, bem como para nortear medidas de manejo e conservação. Com isso, o presente estudo teve como objetivo verificar os aspectos relacionados à reprodução de sete espécies do rio Sorocaba, maior afluente da margem esquerda do rio Tietê e muito importante para a manutenção das espécies de peixes no trecho médio desse rio. Foram realizadas coletas mensais durante o período de setembro de 2010 a setembro de 2012 em dois pontos situados no médio e baixo Sorocaba. As espécies estudadas foram: *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875), *Psalidodon cf. fasciatus* (Cuvier 1819), *Megaleporinus obtusidens* (Valenciennes 1837), *Parodon nasus* Kner, 1859, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837), *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 e *Triporthesus nematurus* (Kner, 1858). Foi verificada correlação significativa entre a captura das espécies e a temperatura (Spearman $r = 0,79$, $p = 0,0001$) e pluviosidade (Spearman $r = 0,60$, $p = 0,00014$). Também foi verificada correlação significativa entre os estádios em maturação e maduro, temperatura e pluviosidade, mostrando a importância desses fatores na regulação do ciclo reprodutivo das espécies nos locais estudados. Evidencia-se um padrão de sazonalidade reprodutiva, que foi confirmado pelas medianas do Índice Gonadosomático ao longo dos meses. As espécies migradoras, *P. lineatus* e *S. hilarii*, tiveram seus picos de reprodução na época de cheia do rio. Nos meses de novembro a março foi registrada a maior atividade reprodutiva, resultante da interação entre os fatores bióticos e abióticos (temperatura e nível pluviométrico), uma vez que estes atuam na maturação das gônadas.

PALAVRAS-CHAVE. Peixes reofílicos, desova, maturação gonadal, rio Sorocaba.

As águas doces neotropicais contêm a mais rica ictiofauna do mundo, porém, a avaliação e a compreensão dessa rica diversidade são negativamente afetadas pelo conhecimento incompleto de sua biologia (REIS *et al.*, 2003). Entre os vários aspectos biológicos importantes, o estudo do processo reprodutivo é elemento fundamental, visto que, de seu sucesso, dependem o recrutamento e, conseqüentemente,

a manutenção de populações viáveis e, para isso, as espécies desenvolvem diferentes estratégias de reprodução (VAZZOLER, 1996; ESPER *et al.*, 2000). A atividade reprodutiva dos peixes está sob forte pressão das condições ambientais em que vivem (GODINHO *et al.*, 2010). Fatores físicos, como temperatura e fotoperíodo, atuam no controle reprodutivo pela ação hormonal, podendo influenciar na razão entre

machos e fêmeas (RIBEIRO & MOREIRA, 2012). Também a disponibilidade de recursos, a oferta de áreas adequadas para desova, alterações no regime hidrológico, podem afetar a atividade reprodutiva dos peixes (VAZZOLER, 1996).

Variações na duração, época e magnitude das cheias afetam espécies migradoras e não migradoras de maneira diferenciada, visto que as exigências ecológicas e a cronologia dos processos vitais, como a reprodução, alimentação, maturidade e crescimento, são distintas entre elas (AGOSTINHO *et al.*, 1997). A ausência ou a alteração na intensidade do regime das cheias pode retardar ou tornar ineficiente a reprodução dos peixes (VAZZOLER, 1996; AGOSTINHO *et al.*, 1997).

As estratégias reprodutivas desenvolvidas pelos peixes muitas vezes são afetadas por alterações no ambiente, como os barramentos, que causam a fragmentação dos rios e alteram sua composição biológica (COSTA *et al.*, 2012). Além disso, intervenções nas margens e várzeas dos rios acarretam perda de habitats para a reprodução (SMITH *et al.*, 2019). Segundo LETCHER *et al.* (2007), as modificações no hábitat diminuem a variabilidade genética das espécies, reduzem as taxas de crescimento populacional e aumentam o risco de extinção. A poluição também afeta a reprodução dos peixes, através do acúmulo de grandes cargas de nutrientes nos corpos hídricos, o que desestabiliza as relações tróficas entre os organismos (AGOSTINHO *et al.*, 2007).

Nas últimas décadas, inúmeros trabalhos abordaram a biologia de peixes tropicais e subtropicais em ambientes lóticos e lênticos (BASILE-MARTINS *et al.*, 1975; GODOY, 1975; BARBIERI & BARBIERI 1983; TOLEDO FILHO *et al.*,

1986, 1987; LOWE-McCONNELL, 1987; MACHADO-ALLISON, 1990; VAZZOLER & MENEZES, 1992; HARTZ & BARBIERI, 1994; BARBIERI, 1995; BARBIERI *et al.*, 2000a; CAPELETI & PETRERE JR., 2006; LOPES *et al.*, 2018).

Na bacia do rio Sorocaba, principal afluente da margem esquerda do rio Tietê, aspectos da estratégia reprodutiva foram estudados apenas para a tabarana *Salminus hilarii* Valenciennes 1850 (VILLARES JUNIOR *et al.*, 2007). Segundo VAZZOLER (1996), conhecer as estratégias e táticas do ciclo de vida dos peixes permite compreender melhor como esses se adaptam aos ambientes e como interagem com os fatores bióticos e abióticos do meio em que vivem. Este trabalho teve como objetivo avaliar e descrever os aspectos da biologia reprodutiva de importantes espécies da bacia do rio Sorocaba e investigar a distribuição temporal dessas espécies e a influência de fatores abióticos sobre a reprodução dos indivíduos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo. A bacia do rio Sorocaba (Fig. 1) situa-se na subárea conhecida por médio Tietê, no estado de São Paulo, Brasil. A bacia possui área de drenagem de 5.269 km², abrangendo 22 municípios onde residem cerca de 1,2 milhões de habitantes. A declividade média é de 0,28%, indicando baixa velocidade de escoamento (SMITH, 2003). No decorrer do seu percurso, sofre dois represamentos, o primeiro no município de Votorantim, para o aproveitamento energético das cidades do entorno, e o segundo em Cerquilha, na antiga usina San Juan, onde há uma escada para a subida dos peixes (SMITH *et al.*, 2014).

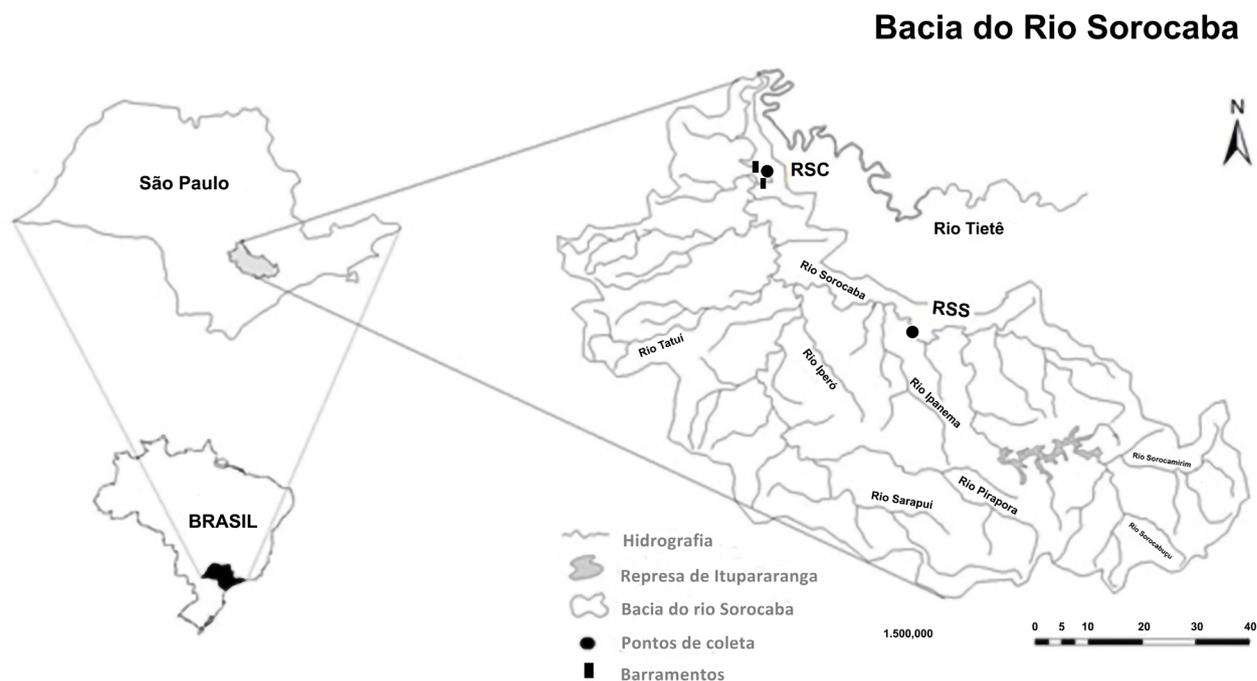


Fig. 1. Mapa esquemático da bacia do rio Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil, indicando os pontos de coleta das espécies de Characiformes, realizadas entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquilha - RSC).

Foram selecionados dois trechos de amostragem, sendo um no trecho médio, na cidade de Sorocaba (ponto: RSS, 23°31'40.17"S e 47°26'53.53"O), onde o rio apresenta uma largura média de dez metros e profundidade média de dois metros, e o outro no baixo Sorocaba, na cidade de Cerquilha (ponto: RSC, 23°08'58.70"S e 47°47'34.54"O), onde o rio tem largura média de 50 m, profundidade em torno de três metros, variando entre 50 cm (corredeiras) e seis metros (poços). Os pontos possuem uma distância de 120 km entre eles e foram escolhidos por representarem diferentes tipos de habitats, alternado trechos de corredeiras e remansos, e por estarem situados em áreas sob influência de barramentos.

Amostragem. As coletas foram realizadas mensalmente durante o período de setembro de 2010 a setembro de 2012 (licença permanente para coleta de material zoológico ICMBIO n. 24151-1). Foram utilizadas tarrafas com cerca de nove metros de roda e cinco centímetros entre nós de malha, sendo realizados dez lances durante um intervalo de tempo de três horas em cada local de coleta e em cada período, diurno e noturno. Também foram utilizadas redes de emalhar de três a doze centímetros entre nós, que permaneceram por doze horas em cada local. Os exemplares capturados foram anestesiados com benzocaina, fixados em formalina 10% e conservados em álcool 70%. As espécies foram identificadas com auxílio de literatura especializada.

Análise de dados. Após a captura, os exemplares foram levados ao laboratório para a determinação do estágio de maturação gonadal. O estágio gonadal foi determinado utilizando um microscópio ou, quando possível, macroscopicamente, considerando as seguintes características: cor, transparência, vasos sanguíneos superficiais e aspecto dos ovócitos. De acordo com uma escala previamente estabelecida, estádios gonadais foram classificados em quatro categorias: A = imaturo, B = em maturação, C = maduro e D = esgotado (VAZZOLER, 1996), tanto para machos quanto para fêmeas. Também foi obtido o Índice Gonadosomático (IGS) dos exemplares machos e fêmeas através da expressão:

(Mg/Mt)·100, sendo: Mg = massa das gônadas em gramas e Mt = massa total do indivíduo em gramas (VAZZOLER, 1996), que avaliou o desenvolvimento gonadal ao longo dos meses através do cálculo das medianas, aplicando-se, posteriormente, o teste de Kruskal–Wallis para verificar se houve diferenças significativas entre os valores do IGS entre os meses.

Também foram obtidos o índice pluviométrico, através do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e a temperatura, verificada na superfície da água em todos os pontos e datas das coletas. A correlação entre os estádios de maturação gonadal (repouso, em maturação, maduro e esgotado) e os dados abióticos foi testada através de teste de Spearman. Para verificar as possíveis diferenças na proporção sexual entre machos e fêmeas foi utilizado o Teste Qui-Quadrado ($\alpha=0,05$) com a correção de Yates, adotando valor mínimo de dez indivíduos para a análise. Foi realizada ainda análise de agrupamento (Cluster) baseada no Método de Wards, com a finalidade de avaliar a similaridade na abundância entre os meses de coleta e na distribuição temporal das sete espécies estudadas.

RESULTADOS

Para a análise das estratégias reprodutivas foram utilizados 410 indivíduos pertencentes a sete espécies, distribuídas em quatro famílias da ordem Characiformes. As espécies estudadas foram: *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875), *Psalidodon cf. fasciatus* (Cuvier 1819), *Megaleporinus obtusidens* (Valenciennes 1837), *Parodon nasus* Kner, 1859, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837), *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 e *Triporthus nematurus* (Kner, 1858). A espécie mais abundante foi *P. cf. fasciatus*, com 154 indivíduos, representando 37,56% dos indivíduos. A segunda mais abundante foi *A. lacustris*, representando 21,95%, seguida de *P. nasus*, representando 19,02%, *P. lineatus*, representando 11,46%, *S. hilarii*, representando 8,53%, *M. obtusidens*, com 1,21%, e *T. nematurus*, representando 0,24% dos indivíduos (Tab.I).

Tab. I. Número total de indivíduos de espécies de Characiformes avaliadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquilha - RSC), estado de São Paulo, Brasil.

| Táxon / Ponto | RSS | RSC | TOTAL |
|--|------------|------------|------------|
| ORDEM CHARACIFORMES | | | |
| Characidae | | | |
| <i>Psalidodon cf. fasciatus</i> (Cuvier, 1819) | 96 | 58 | 154 |
| <i>Astyanax lacustris</i> Garutti & Britski, 2000 | 79 | 11 | 90 |
| <i>Triporthus nematurus</i> (Kner, 1858) | 0 | 1 | 1 |
| <i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850 | 25 | 10 | 35 |
| Parodontidae | | | |
| <i>Parodon nasus</i> Kner, 1859 | 78 | 0 | 78 |
| Prochilodontidae | | | |
| <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1837) | 25 | 22 | 47 |
| Anostomidae | | | |
| <i>Megaleporinus obtusidens</i> (Valenciennes, 1837) | 0 | 5 | 5 |
| TOTAL | 303 | 107 | 410 |

A análise de agrupamento a partir dos dados de abundância das capturas mensais (Fig. 2) mostrou a formação de dois grupos interpretáveis, sendo o grupo “A” composto, basicamente, por espécies abundantes ao longo do ano, enquanto o grupo “B” composto por espécies mais abundantes na época chuvosa. Esse grupo é separado em B1 (*P. nasus*), abundante e capturado apenas no trecho RSS (médio Sorocaba), B2 (*P. lineatus* e *S. hilarii*), abundante e capturado nos dois trechos, e o grupo B3 (*T. nematurus* e *M. obtusidens*) pouco abundante e capturado unicamente no trecho RSC (baixo Sorocaba).

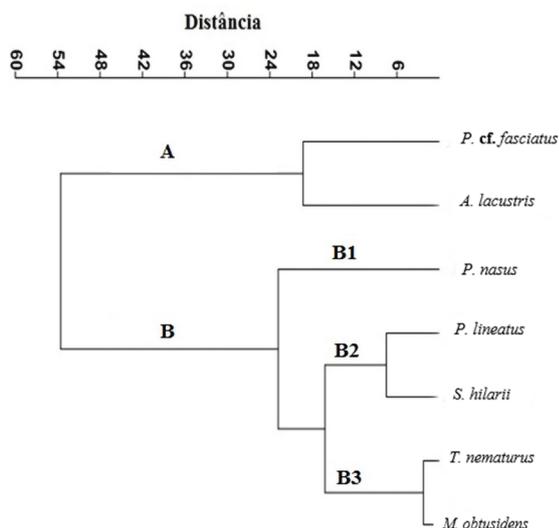


Fig. 2. Dendrograma da análise de agrupamento baseada nos dados de abundância das espécies de Characiformes, mostrando a formação dos grupos similares A, B, B1, B2 e B3 entre as amostragens realizadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC), estado de São Paulo, Brasil. Coeficiente de Correlação Cofenética 0,88, método de Wards.

Através dos dados de índice pluviométrico e de temperatura obtidos durante o período estudado, foram identificadas duas épocas: seca (maio a outubro) e chuvosa (novembro a abril) (Fig. 3), sendo que os dois parâmetros foram significativamente correlacionados com a abundância de indivíduos das espécies estudadas de acordo com a correlação de Spearman (Tab. II).

A figura 4 mostra que as maiores capturas das espécies estudadas ocorreram nos meses chuvosos e com temperaturas mais altas. Considerando *P. cf. fasciatus*, 53,24% dos exemplares foram capturados nos meses de janeiro e março de 2012. Além disso, *P. lineatus* e *S. hilarii* foram capturadas apenas entre os meses de novembro a março nos dois anos avaliados. Não houve diferença significativa na proporção sexual para quatro das espécies analisadas (Tab. III). A maior frequência dos indivíduos das espécies coletadas encontrava-se com as gônadas no estágio B (em maturação) ou no estágio C (maduras) (Tab. IV). É possível verificar, ainda, maior incidência de gônadas esgotadas nos meses referentes à época seca e ocorrência de gônadas em maturação mais concentrada nos meses de cheia (Fig. 5).

As variações mensais do Índice Gonadossomático dos indivíduos de *P. cf. fasciatus*, *A. lacustris*, *P. nasus*, *P. lineatus* e *S. hilarii* estão representados na figura 6. Entre novembro de 2010 a maio de 2012 foi possível fazer análise dos exemplares, já os meses “zero” representam aqueles onde não houve captura das espécies ou não foi possível analisar o material. *Prochilodus lineatus* e *S. hilarii* apresentaram um período de desova curto, sendo restrito aos meses de cheia dos rios (novembro a março), enquanto as demais espécies apresentaram desova ao longo de todos os meses, porém, em menor quantidade. Foram encontradas diferenças significativas entre as medianas das amostras

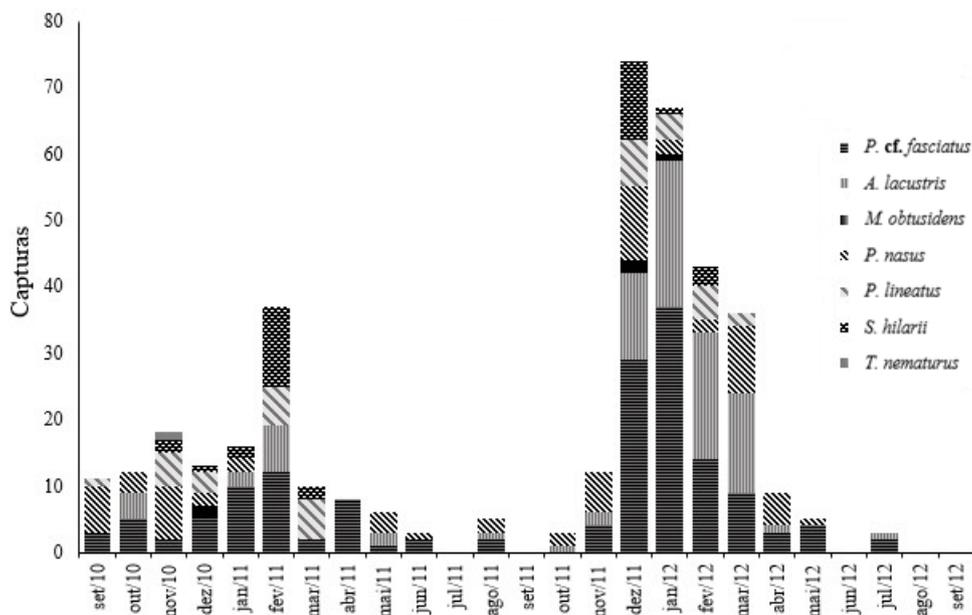


Fig. 3. Número de exemplares das espécies de Characiformes capturadas mensalmente durante as campanhas realizadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC), estado de São Paulo, Brasil.

para machos ($p=0,003$) e fêmeas ($p=0,038$) comparando as cinco espécies durante os meses. Não foi possível calcular o IGS das amostras de *T. nematurus* e *M. obtusidens* devido ao número reduzido de indivíduos capturados dessas espécies. A

correlação entre as medianas dos valores de IGS foi positiva ($p<0,05$) entre os estádios em maturação e maduro com as variáveis temperatura e pluviosidade. Os estádios em repouso e esgotado não apresentaram correlação significativa (Tab. II).

Tab. II. Correlação de Spearman entre os parâmetros ambientais (temperatura e pluviosidade) e abundância e estádios de maturação gonadal das espécies de peixes avaliadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC) estado de São Paulo, Brasil.

| | | Spearman r | p |
|--------------|--------------|------------|--------|
| Pluviosidade | Temperatura | 0,61 | <0,001 |
| Abundância | Pluviosidade | 0,60 | <0,001 |
| Abundância | Temperatura | 0,79 | <0,001 |
| Repouso | Pluviosidade | -0,096 | 0,6492 |
| Repouso | Temperatura | -0,16 | 0,46 |
| Em maturação | Pluviosidade | 0,56 | <0,001 |
| Em maturação | Temperatura | 0,61 | <0,001 |
| Maduro | Pluviosidade | 0,61 | <0,001 |
| Maduro | Temperatura | 0,76 | <0,001 |
| Esgotado | Pluviosidade | -0,14 | 0,5 |
| Esgotado | Temperatura | -0,2 | 0,35 |

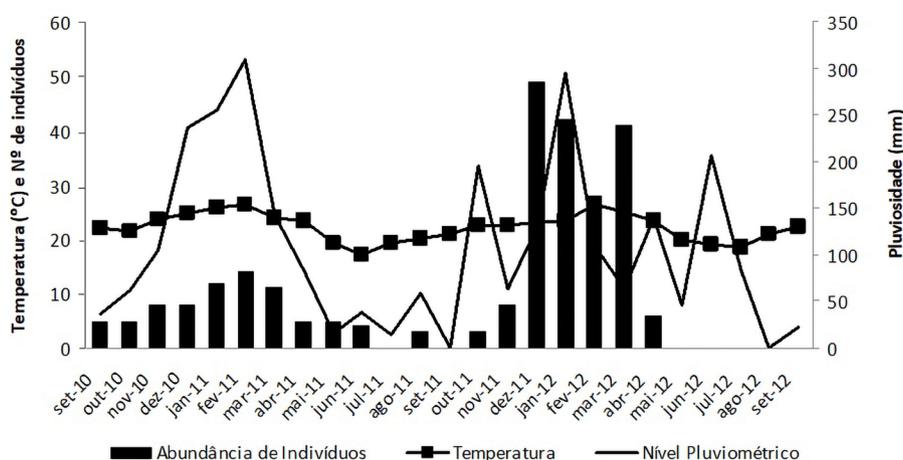


Fig. 4. Distribuição dos valores médios mensais da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de pluviosidade (mm) e n° de indivíduos das espécies de Characiformes capturadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC), estado de São Paulo, Brasil.

Tab. III. Resultado do teste do Qui-quadrado, com correção de Yates, para a proporção sexual considerando as espécies avaliadas em que foi possível diferenciar o sexo, no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba c RSS e Município de Cerquillo v RSC) estado de São Paulo, Brasil. *, diferença significativa ($p<0,05$).

| Espécies | Sexo | | | | Total | $\chi^2_{0,05}$ |
|---|--------|-------|--------|-------|-------|-----------------|
| | Machos | | Fêmeas | | | |
| | N.º | % | N.º | % | | |
| <i>Psalidodon fasciatus</i> (Cuvier, 1819) | 68 | 46,25 | 79 | 53,74 | 147 | 0,68 |
| <i>Astyanax lacustris</i> Garutti & Britski, 2000 | 34 | 42,5 | 46 | 57,5 | 80 | 1,51 |
| <i>Parodon nasus</i> Kner, 1859 | 36 | 46,15 | 42 | 53,84 | 78 | 0,32 |
| <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1837) | 20 | 42,55 | 27 | 57,44 | 47 | 0,76 |
| <i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850 | 14 | 42,42 | 19 | 57,57 | 33 | 0,48 |

Tab. IV. Frequência dos estádios de maturação gonadal (%A= percentagem de indivíduos com gônadas imaturas, %B = percentual de indivíduos com gônadas em maturação, %C = percentual de indivíduos com gônadas maduras, %D = percentagem de indivíduos com gônadas esgotadas) das espécies de peixes avaliadas (N = número de indivíduos capturados) entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados do rio Sorocaba (Município de Sorocaba -RSS e Município de Cerquillo - RSC) estado de São Paulo, Brasil.

| Espécie | N | Estádio de Maturação Gonadal | | | |
|--|----|------------------------------|------|------|------|
| | | %A | %B | %C | %D |
| <i>Psalidodon fasciatus</i> (Cuvier, 1819) | 44 | 9,1 | 31,8 | 38,6 | 20,5 |
| <i>Astyanax lacustris</i> Garutti & Britski, 2000 | 37 | 10,8 | 35,1 | 32,4 | 21,6 |
| <i>Parodon nasus</i> Kner, 1859 | 31 | 12,9 | 41,9 | 29,0 | 16,1 |
| <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1837) | 10 | 10,0 | 40,0 | 40,0 | 10,0 |
| <i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850 | 9 | 11,1 | 55,6 | 33,3 | 0 |
| <i>Megaleporinus obtusidens</i> (Valenciennes, 1837) | 2 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| <i>Triportheus nematurus</i> (Kner, 1858) | 1 | 0 | 0 | 100 | 0 |

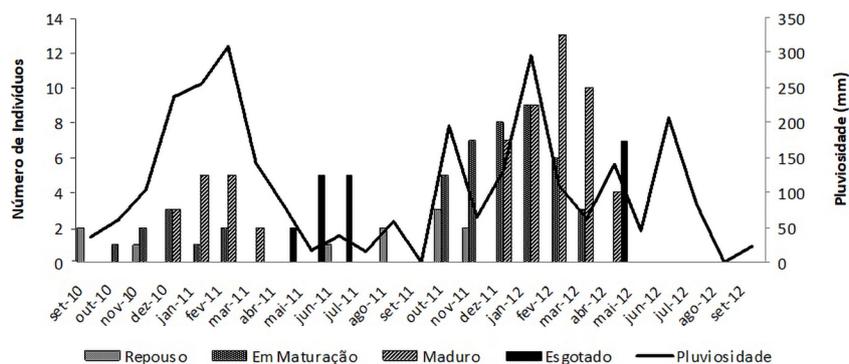


Fig. 5. Número de indivíduos das espécies de Characiformes nos diferentes estádios gonadais capturadas no rio Sorocaba e a pluviosidade entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC), estado de São Paulo, Brasil.

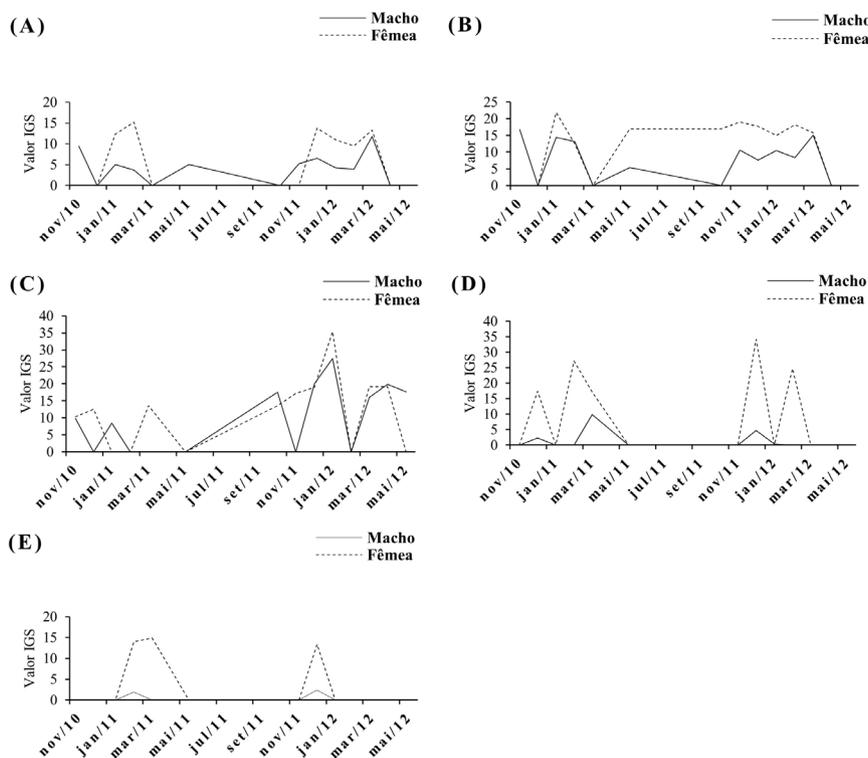


Fig. 6. Variação mensal das medianas do Índice Gonadossomático (IGS) para machos e fêmeas de *Psalidodon cf. fasciatus* (A), *Astyanax lacustris* (B), *Parodon nasus* (C), *Prochilodus lineatus* (D) e *Salminus hilarii* (E), capturadas no rio Sorocaba entre setembro de 2010 e setembro de 2012 nos dois trechos estudados (Município de Sorocaba - RSS e Município de Cerquillo - RSC), estado de São Paulo, Brasil.

DISCUSSÃO

Ictiofauna e a bacia do rio Sorocaba. O presente trabalho é inédito na bacia do rio Sorocaba e as áreas estudadas são reportadas na literatura como áreas de migração reprodutiva da ictiofauna (VILLARES JUNIOR. *et al.*, 2007; SMITH *et al.*, 2014). Entre as espécies estudadas, a elevada abundância de *P. cf. fasciatus* e *A. lacustris* já foi documentada nos rios Jacaré-Pepira e Corumbataí, dois tributários do rio Tietê (GOMIERO & BRAGA, 2007). Para a bacia do rio Sorocaba, os mesmos resultados foram encontrados por SMITH *et al.* (2003; 2009). São espécies comuns na cabeceira (CETRA *et al.*, 2012), tributários e no próprio rio principal (SMITH *et al.*, 2003; 2009), o que se deve à capacidade das duas espécies de ocupar diferentes habitats e de se ajustar a diferentes condições ambientais (ORSI *et al.*, 2004).

As demais espécies capturadas, apesar de serem menos abundantes, são consideradas comuns na bacia, com registros para o rio Sorocaba (SMITH *et al.*, 2003; 2009), com exceção de *T. nematurus* (SMITH *et al.*, 2013). De acordo com SMITH *et al.* (2002) e SMITH (2006), *T. nematurus* ocorre no Médio Tietê, dado evidenciado pela captura de inúmeros indivíduos a montante do reservatório de Barra Bonita. *Prochilodus lineatus* e *S. hilarii* apresentam ampla distribuição na bacia, com ocorrência no rio Sorocaba e seus tributários; ambas têm preferência por habitar trechos maiores e lóticos do rio (SMITH, 2003; SMITH *et al.*, 2003, 2014).

O rio Sorocaba oferece uma riqueza de biotópos ao longo do seu curso (VILLARES-JUNIOR & GOITEIN, 2006), pois há muitas corredeiras, sendo esses ambientes importantes para a reprodução das espécies estudadas (SMITH, 2003). Além disso, SMITH & BARRELLA (2000) verificaram a importância das lagoas marginais do rio Sorocaba para *P. lineatus*, salientando ainda que esses ambientes muitas vezes oferecerem condições mais satisfatórias do que o rio, fornecendo abrigo, alimentação e local para o desenvolvimento dos alevinos. Essas afirmações podem ser estendidas às demais espécies estudadas, pois as lagoas marginais e várzeas são importantes para o ciclo de vida delas. *Parodon nasus* esteve presente em praticamente todas as coletas no trecho RSS e ausente no trecho RSC. Foi registrada em estudos anteriores no alto Sorocaba (CETRA *et al.*, 2012) e no médio e baixo Sorocaba (SMITH *et al.*, 2003; 2009), sempre em trechos lóticos.

Reprodução e distribuição temporal das espécies. *Megaleporinus obtusidens*, registrado apenas no trecho RSC, apresentou baixa captura. SMITH *et al.* (2003) afirmaram que *M. obtusidens* prefere os maiores trechos do rio Sorocaba. A sua baixa captura se deve, possivelmente, à existência da barragem de San Juan, o que dificulta ou impede seu deslocamento a montante do rio. Isso é reforçado pelas capturas terem sido realizadas na época chuvosa, ou seja, no período reprodutivo. Segundo SMITH *et al.* (2014), nesse local algumas espécies não conseguem ultrapassar o obstáculo e, dessa forma, sua reprodução é prejudicada, assim como eventuais fluxos dos indivíduos para trechos a montante.

A maior captura de indivíduos das espécies estudadas no trecho RSS pode ser explicada por este ter menor incidência

de impactos, maior diversidade de habitats para a ictiofauna e maior aporte de tributários e de lagoas marginais. As afirmações acima são reforçadas por AGOSTINHO *et al.* (2004); GODINHO *et al.* (2007) e BAILLY *et al.* (2008), que atribuem o sucesso reprodutivo das espécies com a presença de sítios de desenvolvimento e com a conectividade entre esses e os sítios de desova.

Segundo VAZZOLER & MENEZES (1992), os Characiformes da bacia do rio Paraná iniciam sua atividade reprodutiva no mês de outubro e entre dezembro e fevereiro. As espécies estudadas no rio Sorocaba se enquadraram no padrão descrito acima. Os valores do Índice Gonadossomático para machos e fêmeas foram maiores nos meses de cheia para espécies migradoras de maior porte, como *P. lineatus*. O mesmo resultado foi observado em outros estudos, como o de BARBIERI *et al.* (2000b), em que as medianas do Índice Gonadossomático foram maiores nos meses de novembro e dezembro para a mesma espécie no rio Mogi-Guaçu, evidenciando as características de peixes de desova total e período curto de reprodução. BARBIERI *et al.* (2000b) ressaltaram ainda, através das medianas da Relação Gonadossomática de *P. lineatus* que o período de abril a julho (seca) foi o menos favorável à reprodução, resultado semelhante ao do presente estudo.

De acordo com LOWE-McCONNELL (1999), em ambientes tropicais é evidente a relação entre as variações no nível pluviométrico e os deslocamentos reprodutivos dos peixes, associados à maior atividade reprodutiva durante as cheias (VAZZOLER, 1996; AGOSTINHO *et al.*, 2000). O presente trabalho reforça essas afirmações através da correlação positiva e significativa entre a pluviosidade, temperatura, captura e os estádios em maturação e maduro para os indivíduos. AGOSTINHO *et al.* (2004) e SUZUKI *et al.* (2004) verificaram a tendência de aumento da atividade reprodutiva próximo a picos de cheias na bacia do Alto Paraná.

A relação entre fatores abióticos e maturação gonadal evidenciada durante este estudo é corroborada por RIZZO *et al.* (1996), que afirmaram que, nos trópicos, chuva e nível d'água são os principais agentes da indução da reprodução. LOWE-McCONNELL (1999) já havia observado que, em regiões tropicais, a desova é estimulada pelas chuvas locais ou por um aumento do nível de água em toda a bacia. Trabalhos desenvolvidos por NOMURA (1975), AGOSTINHO *et al.* (1984) e SANTOS *et al.* (1995) relataram que *A. lacustris* e *P. fasciatus* apresentam gônadas maduras principalmente na primavera e verão.

Estudos que investigaram o ciclo reprodutivo de tabaranas mostraram que o seu período reprodutivo varia entre os meses de outubro a fevereiro (GODOY, 1975; VILLARES JUNIOR *et al.*, 2007), mesmo padrão encontrado no presente trabalho e para as espécies de piracema na bacia do Alto Paraná (VAZZOLER & MENEZES, 1992). Estudo recente realizado por ARAÚJO *et al.* (2020) avaliou a indução da reprodução e caracterizou o desenvolvimento embrionário de *S. hilarii*, constatando a influência da temperatura da água sobre os eventos reprodutivos da espécie. Para o rio Sorocaba, o maior número de indivíduos nos estádios em

maturação e maduros nos meses de novembro e dezembro, indicam um padrão sazonal reprodutivo para as espécies estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados na bacia do rio Mogi-Guaçu por GODOY (1975).

A temperatura foi o fator abiótico com maior interferência no ciclo reprodutivo das espécies, que foi inferido pelas mais elevadas correlações deste com os parâmetros captura, estádios em maturação e maduro, ou seja, a maior frequência de peixes em período de reprodução ocorreu quando a temperatura se encontrou mais elevada. Isso é reforçado por VAZZOLER & MENEZES (1992), que afirmaram que a elevação da temperatura é um dos fatores mais importantes para a reprodução. SUZUKI *et al.* (2004) relacionaram a intensidade reprodutiva com variáveis ambientais e concluíram que a temperatura e o fotoperíodo constituem gatilhos preditivos que desencadeiam o processo de maturação gonadal, sendo que o início das cheias é o gatilho sincronizador da desova e o pico das cheias o gatilho finalizador do período reprodutivo. Tais afirmações são corroboradas pelos resultados apresentados no presente trabalho.

Pesquisas que avaliaram a reprodução de peixes observaram maior número de fêmeas capturadas em relação aos machos (BARBIERI *et al.*, 2001; FEITOSA *et al.*, 2004; RODRIGUEZ-OLARTE & TAPHORN, 2006). Neste trabalho, as espécies estudadas não apresentaram diferenças significativas na razão sexual, considerando todo o período de coleta e pontos amostrais. De acordo com VAZZOLER (1996), a proporção sexual dos peixes pode variar ao longo do seu ciclo de vida, sendo a mortalidade e o crescimento os fatores que atuam diferencialmente sobre os sexos, nas diferentes fases de crescimento. A estratégia reprodutiva das espécies avaliadas nesse trabalho pode ser caracterizada como do tipo sazonal, definida pela reprodução cíclica e anual, com um tempo relativamente longo que geralmente coincide com o ciclo reprodutivo e baixos níveis de cuidados com a prole (WINEMILLER, 1989).

O presente manuscrito traz informações inéditas sobre aspectos da reprodução de Characiformes no rio Sorocaba, o que representa um avanço para o conhecimento ictiológico da bacia. As espécies estudadas encontram condições satisfatórias a reprodução, entre elas as duas principais espécies migradoras da bacia (*P. lineatus* e *S. hilarii*), o que reforça a importância da conservação dos trechos estudados com seus biótopos, além de importantes ecossistemas adjacentes como as lagoas marginais e as várzeas. Entre as espécies investigadas, foi constatado um padrão sazonal reprodutivo, com a reprodução ocorrendo nos meses de cheia (novembro à março), os quais apresentaram os maiores índices de maturação das gônadas, como resultado da interação entre fatores abióticos como a temperatura e o nível pluviométrico.

Agradecimentos. Ao Laboratório de Ecologia Estrutural e Funcional de Ecossistemas, Universidade Paulista/UNIP, campus Sorocaba, pelo apoio logístico; a Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa e ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica à primeira autora. Agradecemos a Paulo dos Santos Pompeu e Alexandre Wagner Silva Hilsdorf pelas sugestões e leitura crítica do manuscrito e a Bruno Mello pela elaboração do mapa.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. & PELICICE, F. M. 2007. **Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil**. Maringá, EDUEM. 501p.
- AGOSTINHO, A. A.; JULIO JR., H. F.; GOMES, L. C.; BINI, M. L. & AGOSTINHO, S. C. 1997. Composição, abundância e distribuição espaço - temporal da ictiofauna. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. eds. **A Planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá, EDUEM, p.179-208.
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ S. M. & GOMES, L. C. 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. **Ecohydrology & Hydrobiology** 4:255-268.
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; MINTE-VERA, C. V. & WINEMILLER, K. O. 2000. Biodiversity in the high Paraná river floodplain. In: GOPAL, B.; JUNK, W. J. & DAVIS, J. A. **Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation**. Leiden, Backhuys Publishers, p. 89-118.
- AGOSTINHO, C. A.; MOLINARI, S. L.; AGOSTINHO, A. A. & VERANI, JR. 1984. Ciclo reprodutivo e primeira maturação sexual de fêmeas do lambari, *Astyanax bimaculatus* (L.) (Osteichthyes-Characidae) do rio Ivaí, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Biologia** 44:31-36.
- ARAÚJO, B. C.; MELLO, P. H.; MOREIRA, R. G.; HILSDORF, A. W. S.; MARQUES, V. H. & HONJI, R. M. 2020. Spawning induction and embryonic development of *Salminus hilarii* (Characiformes: Characidae). **Zygote** 1-11.
- BAILLY, D. A. A.; AGOSTINHO, A. A. & SUZUKI, H. I. 2008. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá river, upper Pantanal, Brazil. **River Research and Applications** 24:1218-1229.
- BARBIERI, G. 1995. Biologia populacional de *Cyphocharax modesta* (Hensel, 1869) (Characiformes, Curimatidae) na represa do Lobo (Estado de São Paulo). II. Dinâmica da reprodução e influência de fatores abióticos. **Boletim do Instituto de Pesca** 22:57-62.
- BARBIERI, G. & BARBIERI, M. C. 1983. Dinâmica da reprodução de *Gymnotus carapo* na Represa do Lobo, Estado de São Paulo. Influência de fatores abióticos. (Pisces, Gymnotidae). **Tropical Ecology** 24:244-259.
- BARBIERI, G.; SALLES, F. A. & CESTAROLLI, M. A. 2000a. Análise populacional do curimbatá, *Prochilodus lineatus* do rio Mogi Graçu, Pirassununga (Characiformes, Prochilodontidae). **Boletim do Instituto de Pesca** 26:17-25.
- BARBIERI, G.; SALLES, F. A. & CESTAROLLI, M. A. 2000b. Influência de fatores abióticos na reprodução do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimbatá, *Prochilodus lineatus* do rio Mogi Guaçu (Cachoeira de Emas, Pirassununga/SP). **Acta Limnologica Brasiliensia** 12:85-91.
- BARBIERI, G.; SALLES, F. A. & CESTAROLLI, M. A. 2001. Growth and first sexual maturation size of *Salminus maxillosus* Valenciennes, 1849 (Characiformes, Characidae), in Mogi Guaçu river, state of São Paulo, Brazil. **Acta Scientiarum, Biological Sciences** 23:453-459.
- BASILE-MARTINS, M. A.; GODINHO, H. M.; FENERICH, N. A. & BARKER, J. M. B. 1975. Influências de fatores abióticos sobre a maturação dos ovários de *Pimelodus maculatus* Lac. 1803 (Pisces, Siluroidei). **Boletim do Instituto de Pesca** 4:1-28.
- CAPELETI, A. R. & PETRERE JR., M. 2006. Migration of the curimbatá *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Pisces, Prochilodontidae) at the water fall "Cachoeira de Emas" of the Mogi Guaçu river - São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 66:651-659.
- CETRA, M.; BARRELLA, W.; LANGEANI NETO, F.; MARTINS, A. G.; MELLO, B. J. & ALMEIDA, R. S. 2012. Fish fauna of headwater streams that cross the Atlantic Forest of south São Paulo state. **CheckList** 8:421-425.
- COSTA, R. S.; OKADA, E. K.; AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L. C. 2012. Variação temporal no rendimento e composição específica da pesca artesanal do Alto rio Paraná, PR-Brasil: os efeitos crônicos dos barramentos. **Boletim do Instituto de Pesca** 38:199-213.
- ESPER, M. L. P.; MENEZES, M. S. & ESPER, W. 2000. Escala de desenvolvimento gonadal e tamanho de primeira maturação de fêmeas de *Mugil platanus* Günther, 1880 da Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. **Acta Biológica Paranaense** 29:255-263.
- FEITOSA, L. A.; FERNANDES, R.; COSTA, R. S.; GOMES, L. C. & AGOSTINHO, A. A. 2004. Parâmetros populacionais e simulação do rendimento por

- recruta de *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) do Alto rio Paraná. **Acta Scientiarum**, Biological Sciences **26**:317-323.
- GODINHO, A. L.; KYNARD, B. & GODINHO, H. P. 2007. Migration and spawning of female surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*, Pimelodidae) in the São Francisco River, Brazil. **Environmental Biology of Fishes** **80**:421-433.
- GODINHO, A. L.; LAMAS, I. R. & GODINHO, H. P. 2010. Reproductive ecology of Brazilian freshwater fishes. **Environmental Biology of Fishes** **87**:143-162.
- GODOY, M. P. 1975. **Peixes do Brasil: sub-ordem Characoidei; bacia do rio Mogi Guaçu**. Piracicaba, Editora Franciscana. 440p.
- GOMIERO, L. M. & BRAGA, F. M. S. 2007. Reproduction of a fish assemblage in the state of São Paulo, southeastern. **Brazilian Journal of Biology** **67**:283-292.
- HARTZ, S. M. & BARBIERI, G. 1994. Dinâmica da reprodução de *Cyphocharax voga* (Hensel, 1869) da Lagoa Emboaba, RS, Brasil (Characiformes, Curimatidae). **Revista Brasileira de Biologia** **54**:459-468.
- LETCHER, B. H.; NISLOW, K. H.; COOMBS, J. A.; O'DONNELL, M. J. & DUBREUIL, T. L. 2007. Population response to habitat fragmentation in a stream dwelling brook trout population. **PlosOne** **2**:1-11.
- LOPES, J. DE M.; ALVES, C. B. M.; PERESSIN, A. & POMPEU, P. S. 2018. Influence of rainfall, hydrological fluctuations, and lunar phase on spawning migration timing of the Neotropical fish *Prochilodus costatus*. **Hydrobiologia** **818**:145-161.
- LOWE-McCONNELL, R. H. 1987. **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge, Cambridge University Press. 382p.
- LOWE-McCONNELL, R. H. 1999. **Estudos ecológicos em comunidades de peixes tropicais**. São Paulo, EDUSP. 584p.
- MACHADO-ALLISON, A. 1990. Ecología de los peces de las áreas inundables de los llanos de Venezuela. **Interciência** **15**:411-423
- NOMURA, H. 1975. Fecundidade, maturação sexual e índice gônado-somático de lambaris do gênero *Astyanax* Baird and Girard, 1854 (Osteichthyes, Characidae), relacionados com fatores ambientais. **Revista Brasileira de Biologia** **35**:775-798.
- ORSI, M. L.; CARVALHO, E. D. & FORESTI, F. 2004. Biologia Populacional de *Astyanax altiparanae* Garuti & Britski (Teleostei, Characidae) no Médio Rio Parapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** **21**:207-218.
- REIS, R. E.; KULLANDER, S. O. & FERRARIS-JR, C. J. 2003. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre, EDIPUCRS. 742p.
- RIBEIRO, C. S. & MOREIRA, R. G. 2012. Fatores ambientais e reprodução dos peixes. **Revista Bioética** **8**:58-61.
- RIZZO, E.; SATO, Y.; FERREIRA, R. M. A.; CHIARINI-GARCIA, H. & BAZZOLI, N. 1996. Reproduction of *Leporinus reinhardti* Lütken, 1874 (Pisces: Anostomidae) from the Três Marias reservoir, São Francisco river, Minas Gerais, Brazil. **Ciência e Cultura** **48**:189-192.
- RODRIGUEZ-OLARTE, D. & TAPHORN, B. D. C. 2006. Abundance, feeding and reproduction of *Salminus* sp. (Pisces: Characidae) from mountain streams of the Andean piedmont in Venezuela. **Neotropical Ichthyology** **4**:73-79.
- SANTOS, R. A.; GIAMAS, M. T. D.; CAMPOS, E. C.; CAMARA, J. J. C. & VERMULM JUNIOR, H. 1995. Dinâmica da nutrição do tambuí *Astyanax bimaculatus* Linnaeus, 1758 (Pisces, Characiformes, Characidae) na represa de Ibitinga, Estado de São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca** **22**:115-124.
- SMITH, W. S. 2003. **Os Peixes do Rio Sorocaba: A história de uma bacia hidrográfica**. Sorocaba, Editora TCM – Comunicação. 162p.
- SMITH, W. S. 2006. A pesca no rio Tietê. **Ciência Hoje** **38**:223-227.
- SMITH, W. S. & BARRELLA, W. 2000. The ichthyofauna of the marginal lagoons of the Sorocaba river, SP, Brazil: Composition, abundance and effect of the anthropogenic actions. **Revista Brasileira de Biologia** **60**:627-632.
- SMITH, W. S.; BIAGIONI, R. C. & HALCSIK, L. 2013. Fish fauna of Floresta Nacional de Ipanema, São Paulo State, Brazil. **Biota Neotropica** **13**:175-181. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032013000200016>.
- SMITH, W. S.; BIAGIONI, R. C. & BARRELLA, W. 2014. Ictiofauna do Município de Sorocaba. In: **Biodiversidade do Município de Sorocaba**. Sorocaba, Prefeitura Municipal de Sorocaba, Secretaria do Meio Ambiente, p.158-172.
- SMITH, W. S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; PEREIRA, C. C. G. F. & ROCHA, O. 2002. Impactos dos reservatórios do médio e baixo Tietê (SP) na composição das espécies de peixes e na atividade de pesca. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; MAUAD, F. F.; SCHALCH, V.; ROCHA, O.; FELICIDADE, N. & RIETZLER, A. C. eds. **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos, Rima, p. 57-72.
- SMITH, W. S.; PETRERE JR, M. & BARRELLA, W. 2003. The fish fauna in tropical rivers: The case of the Sorocaba river basin, SP, Brazil. **Revista de Biologia Tropical** **5**:769-782.
- SMITH, W. S.; PETRERE JR, M. & BARRELLA, W. 2009. The fish community of the Sorocaba River Basin in different habitats (State of São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Biology** **69**:1015-1025.
- SMITH, W. S.; SILVA, F. L. & BIAGIONI, R. 2019. Desassoreamento de rios: Quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. **Ambiente & Sociedade** **22**:1-20.
- SUZUKI, H. I.; VAZZOLER, A. E. A. M.; MARQUES, E. E.; PEREZ-LIZAMA, M. A. & INADA, P. 2004. Reproductive ecology of the fish assemblages. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. eds. **The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical Aspects, Ecology and Conservation**. Leiden, Backhuys Publishers. p.271-292.
- TOLEDO FILHO, S. A.; GODOY, M. P. & SANTOS, E. P. 1986. Delimitação populacional do curimatá, *Prochilodus scrofa* (Pisces, Prochilodontidae) do rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Biologia** **47**:501-506.
- TOLEDO FILHO, S. A.; GODOY, M. P. & SANTOS, E. P. 1987. Curva de migração do curimatá, *Prochilodus scrofa* (Pisces, Prochilodontidae) na Bacia Superior do rio Paraná. **Revista Brasileira de Biologia** **46**:447-452.
- VAZZOLER, A. E. A. M. 1996. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá, EDUEM. 169p.
- VAZZOLER, A. E. A. M. & MENEZES, N. A. 1992. Síntese de conhecimento sobre comportamento reprodutivo de Characiformes da América do Sul (Teleostei, Ostariophysi). **Revista Brasileira de Biologia** **52**:627-640.
- VILLARES JUNIOR, G. A. & GOITEIN, R. 2006. Fish, Sorocaba basin, São Paulo State, Brazil. **CheckList** **2**:68-73.
- VILLARES JUNIOR, G. A.; MULLER GOMIERO, L. & GOITEIN, R. 2007. Relação peso-comprimento e fator de condição de *Salminus hilarii* Valenciennes 1850 (Osteichthyes, Characidae) em um trecho da bacia do rio Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil. **Acta Scientiarum**, Biological Sciences **29**:407-412.
- WINEMILLER, K. O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. **Oecologia** **81**:225-241.