

EFETOS DA REGULARIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS NA ICTIOFAUNA DO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO

EFFECTS OF REGULATING RESERVOIRS ON THE ICHTHYOFAUNA OF SÃO FRANCISCO RIVER LOWER COURSE

Katia Núbia Chaves Santana

Graduanda de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal da Bahia.
(katiasantana1@gmail.com)

Cássia Juliana Fernandes Torres

Doutoranda do Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente da Universidade Federal da Bahia.
(torres_cjf@yahoo.com.br)

Andrea Sousa Fontes

Doutora em Geofísica pela Universidade Federal da Bahia. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
(asfontes@gmail.com)

André Ramos Costa

Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia.
(andreramosc@msn.com)

Marlene Campos Peso-Aguiar

Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos. Universidade Federal da Bahia. (mpeso@ufba.br)

Alexandre Clistenes Alcântara Santos

Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) pelo Museu Nacional. Universidade Estadual de Feira de Santana.
(alexandreclistenes@gmail.com)

Yvonilde Dantas Pinto Medeiros

Doutora em Hidrologia pela University of Newcastle Upon Tyne - UK. Universidade Federal da Bahia.
(yvonilde.medeiros@gmail.com)

Resumo:

O Rio São Francisco passou por grandes alterações no ecossistema aquático a partir da construção e do início da operação dos reservatórios Três Marias, localizados no Estado de Minas Gerais e Sobradinho, no Estado da Bahia. Este artigo objetiva caracterizar e analisar a ictiofauna presente no baixo curso do rio São Francisco devido à regularização dos reservatórios. Para tanto, foi feito o levantamento da ictiofauna presente na área de estudo, e conduzida a simulação do comportamento da altura média do nível d'água e da velocidade média da seção transversal no mesmo período da coleta, no intuito de averiguar a condição desses parâmetros hidrodinâmicos. Como principal resultado, foi verificada a predominância da espécie *Prochilodus argenteus* "Chira" na área de estudo, sendo caracterizado o aumento do número de indivíduos maduros no mesmo período que ocorreu aumento da velocidade e da altura do nível d'água, indicando que essa espécie está respondendo ao aumento da velocidade da corrente, apesar da regulação causada pelas barragens. Para fornecer a restauração ecológica, as regras de operação do reservatório devem considerar a sazonalidade natural dos fluxos ao longo do ano, a fim de atender às demandas do ecossistema aquático e às comunidades costeiras, permitindo que espécies de peixes menos tolerantes possam responder aos estímulos do aumento do fluxo de água exigidos em seus processos reprodutivos.

Palavras-chave: Modelagem Hidrodinâmica 1D, *Prochilodus argenteus*

Abstract:

Basin of the São Francisco river has undergone major changes in the aquatic ecosystem from the construction and early operation of the reservoirs: Três Marias' located in Minas Gerais, and Sobradinho, in Bahia. This article aims to describe and analyze the present fish fauna in the lower course of the São Francisco River due to the regularization of the reservoirs. Therefore, lifting the fish fauna present in the study area was made, and conducted the average height of behavior simulation of water level and the average speed of the cross section in the same period of collecting, intuited to ascertain the condition of these parameters hydrodynamics. The main result was verified the predominance of the species *Prochilodus argenteus* "Chira" in the study area, and characterized the increase in the number of mature individuals in the same period there was an increase of speed and water level height, indicating that this species is responding to the increased chain speed, although the regulation caused by the dams. To provide ecological restoration, the reservoir operation rules should consider the natural seasonality of flows throughout the year in order to meet the demands of the aquatic ecosystem and coastal communities, allowing less tolerant fish species can respond to stimuli increasing the water flow required in the reproductive processes.

Keywords: Hydrodynamic Model – 1D, *Prochilodus argenteus*

INTRODUÇÃO

O rio São Francisco sofreu modificações significativas no seu ecossistema aquático a partir da construção e do início da operação de reservatórios, principalmente devido à barragem de Sobradinho (1979), localizada no Estado da Bahia, com a finalidade de atender aos múltiplos usos da água, em especial a geração de energia hidroelétrica.

A região do baixo curso do rio São Francisco, localizada entre os Estados de Sergipe e Alagoas, vem passando por consecutivas alterações nos diferentes aspectos, social, econômico, ambiental e ecológico, sendo um dos trechos do rio mais impactado em virtude das diversas intervenções feitas ao longo do seu curso (MARTINS, *et al.*, 2011).

Para Matos *et al.* (2010), a necessidade de expandir o armazenamento de água em grandes reservatórios para atender às demandas, principalmente, de geração de energia hidroelétrica, causa impactos negativos no âmbito ecológico e social. De fato, a construção de barragens provoca significativos impactos no regime fluvial, modificando suas características hidrodinâmicas e provocando alterações nos componentes, processos e funções do ecossistema do rio. Quando a operação do reservatório é direcionada para a geração de energia hidroelétrica, provoca danos às

espécies nativas, muitas vezes ocorrendo a substituição por espécies exóticas, por serem mais resistentes às variações de vazão, cota e velocidade. A velocidade das correntes fluviais é um parâmetro crucial na seleção das espécies aquáticas, a qual está relacionada com as suas características natatórias (VICENTINI; MARTINEZ, 2009).

Fatores, como diâmetro dos sedimentos, vazão, velocidade, tensões de cisalhamento, forças de arraste, declividade do leito e descarga de sedimentos, interferem em todo o ciclo de vida das espécies aquáticas. Neste sentido, O'Keeffe e Quesne (2008) destacam a importância da vazão ambiental para preservação dos ambientes aquáticos e atendimento ao consumo humano de água. O termo vazão ambiental refere-se à quantidade, qualidade e sazonalidade de água necessária para a manutenção da integridade dos ecossistemas aquáticos (THE BRISBNE DECARATION, 2007; WANG *et al.*, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2013), sendo uma condição básica para sua restauração.

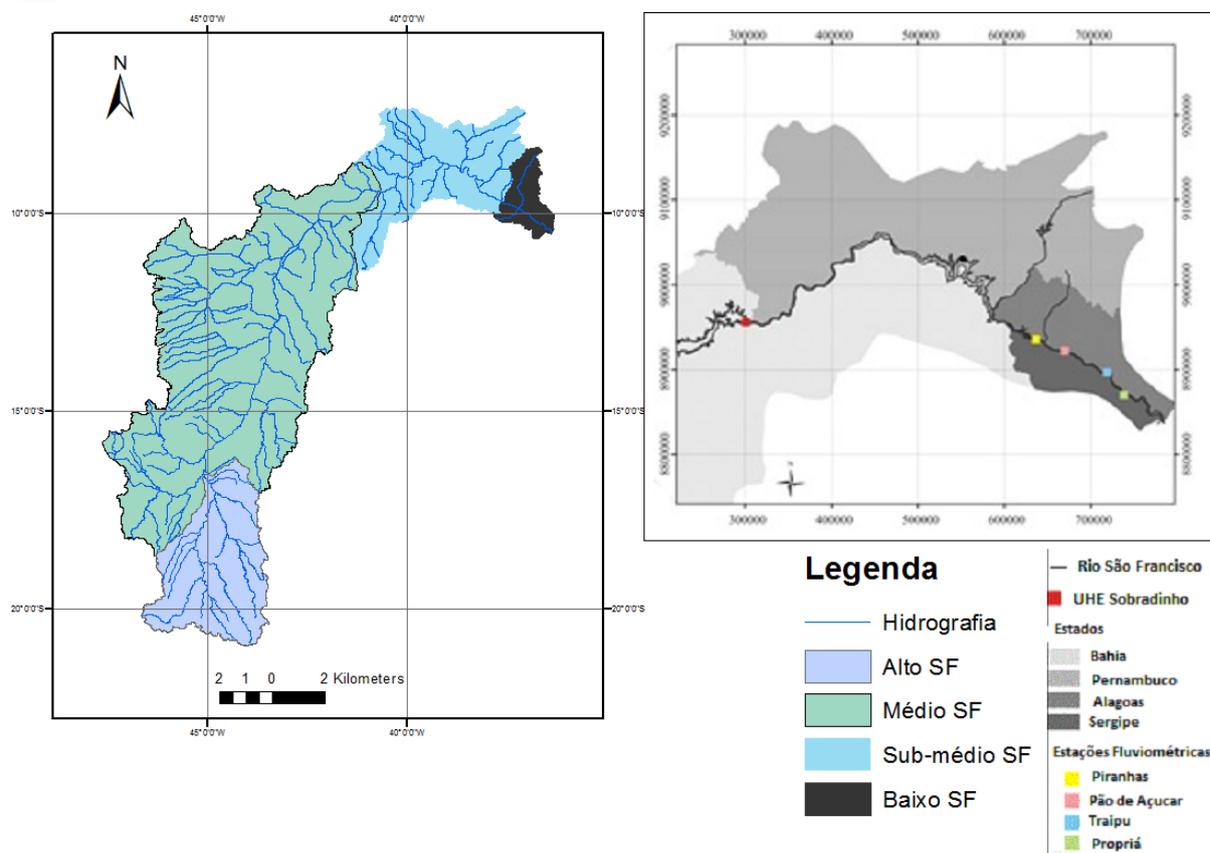
O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (BRASIL, 2000) define restauração ou restituição de um ecossistema ou população silvestre degradada como um retorno, o mais próximo possível, da sua condição original. Como exemplo de uma tentativa de restauração da ictiofauna original do baixo curso do rio São Francisco (jusante UHE Xingó), que tem sido praticada como medida mitigadora, é a

introdução de alguns alevinos de espécies nativas visando repovoar o rio. Godinho e Godinho (2003) acrescentam que várias espécies de peixes foram introduzidas na bacia do rio São Francisco e, hoje, apresentam populações estabelecidas. A partir do exposto, este artigo tem por objetivo caracterizar e analisar a ictiofauna presente no baixo curso do rio São Francisco devido à regularização dos reservatórios.

METODOLOGIA

O trecho em estudo tem um percurso total de 152 km, do município de Piranhas até o município de Propriá (Figura 1 e Quadro 1), sendo uma área com grande influência da operação dos reservatórios localizados à montante, em especial do reservatório de Sobradinho, tornando este trecho o de maior regularização de vazão no rio.

Figura 1: Localização do baixo rio São Francisco



Fonte: adaptado de Martins *et al.* (2011).

Quadro1: Localização das seções fluviométricas utilizadas no estudo

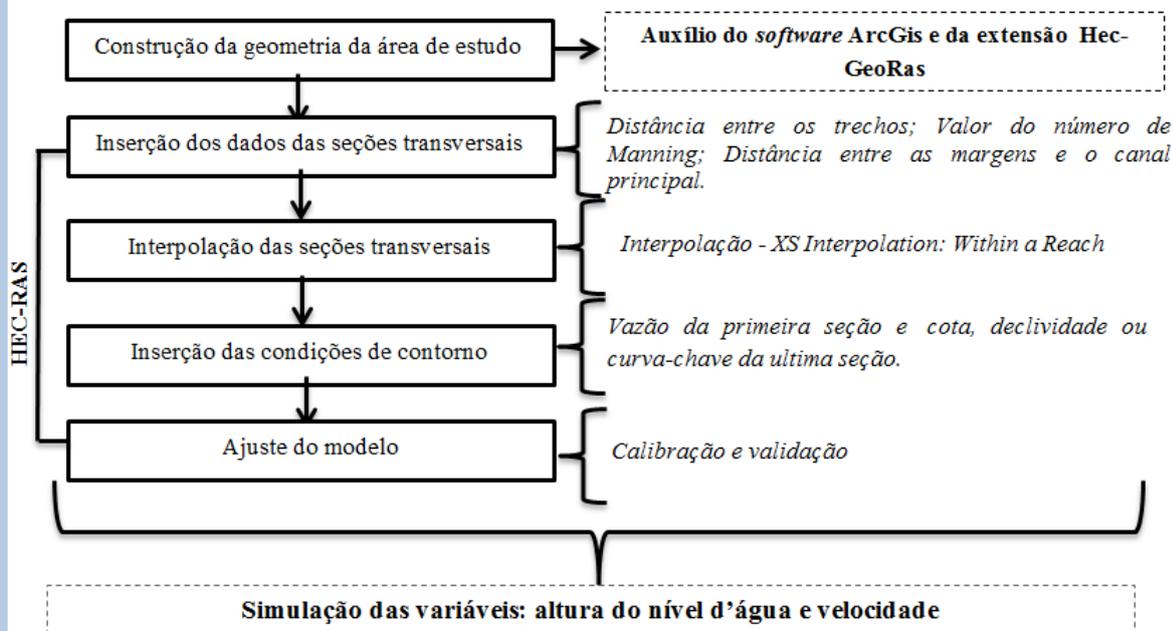
SEÇÃO	CODIGO	LOCALIZAÇÃO	LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)
PIRANHAS	49330000	PIRANHAS – AL	(E) 636623	(N) 8935760
PÃO DE AÇUCAR	49370000	PÃO DE AÇUCAR – AL	(E) 670355	(N) 8921826
TRAIPIU	49660000	TRAIPIU – AL	(E) 719014	(N) 8897023
PROPRIÁ	49705000	PROPRIÁ – SE	(E) 738389	(N) 8870132

Fonte: ANA (2015).

A partir das seções levantadas no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), foi utilizado o modelo hidrodinâmico unidimensional (1D) HEC-RAS – *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*, versão 4.1, com a finalidade de simular o comportamento das variáveis altura do nível d’água e velocidade ao longo das seções em estudo, para o período de 2009, que corresponde ao ano das campanhas realizadas no levantamento da ictiofauna. A utilização do modelo HEC-RAS foi relevante para a interpolação das variáveis entre as seções transversais ao longo do

trecho em estudo, uma vez que existem apenas quatro seções fluviométricas em todo o trecho do rio, que corresponde a 152 Km de extensão. Os dados das estações fluviométricas foram utilizados para inserir informações no modelo (perfil transversal, vazão da primeira seção e curva-chave da última seção), auxiliar na construção da geometria da área de estudo, bem como permitir a sua calibração e validação. A Figura 2 ilustra as etapas para a modelagem matemática. A versão utilizada do *software* foi a 4.1, lançada no ano de 2010, e foi considerado o escoamento em regime não-permanente.

Figura 2: Etapas da modelagem unidimensional do Hec-Ras



Fonte: os autores.

A geometria do rio foi feita a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT), obtido através de Imagem de Satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da ASTER GEDEM, com resolução de 30 m. Fez-se a calibração do modelo para o período de 2009, utilizando o ajuste do Coeficiente de Manning definido no estudo de Mélo Júnior *et al.* (2009). A validação foi realizada para dois períodos: 1997 – 2000 e 2009 – 2013, conforme estudos de Santana *et al.* (2015).

O modelo HEC-RAS, apesar de representar o comportamento das variáveis hidrodinâmicas ao longo do canal do rio, possui algumas limitações por se tratar de um modelo unidimensional, logo, fornece velocidades e altura do nível d’água médio ao longo de cada perfil transversal.

Caracterização da ictiofauna

A avaliação dos estágios do ciclo de vida de populações ícticas de interesse dos

pescadores, no baixo curso do rio São Francisco, foi realizada através de campanhas de amostragem durante o desenvolvimento do projeto em rede ECOVAZAO (Edital nº45/2006 – CTHidro – Vazão Ecológica em Bacias Hidrográficas Brasileiras – Projetos de Pesquisa), no ano de 2009.

As coletas ocorreram bimestralmente, a partir de um esforço de captura efetuado por pescadores nativos, oriundos das colônias de pesca da região de estudo, após a realização de orientações técnicas quanto ao procedimento da amostragem, os quais utilizaram embarcações próprias durante o período da noite. Com objetivo de mostrar a diversidade da ictiofauna, foram usados vários petrechos de pesca, incluindo rede de espera, rede de arrasto, tarrafas, peneiras, entre outros.

Os trabalhos de laboratório envolveram a sexagem e biometria do comprimento total (Lt cm) e do peso total (Wt g) dos indivíduos, a caracterização e a classificação dos estádios de maturidade macroscópica das gônadas e das épocas de reprodução (desova).

Após a tomada do peso e do comprimento total dos indivíduos, os animais foram dissecados para a exposição das gônadas na cavidade abdominal, as quais foram retiradas apenas nas espécies de maior abundância nas amostras. Após o reconhecimento do sexo, as gônadas foram retiradas, pesadas, inspecionadas e classificadas, de acordo com a escala modificada de Vazzoler (1982), em:

- **Indeterminado (imaturo ou recuperado):** gônada sem apresentação de nenhum indício de gametas que pudessem permitir o reconhecimento de qualquer um dos sexos,
- **Enchimento (maturação):** ovários foliáceos, translúcidos, podendo apresentar um número variável de ovócitos; vascularização evidente, enquanto nos machos os testículos apresentavam-se sob a forma de filetes, variando de translúcidos a levemente esbranquiçados.
- **Cheio (maduro):** ovários repletos de ovócitos livres, ocupando porção significativa da cavidade abdominal;

coloração amarelada ou arroxeadada, de acordo com a espécie; vascularização intensa, enquanto nos machos os testículos apresentando-se mais desenvolvidos que a fase anterior, com a coloração branco-leitosa,

- **Esgotado (desovado):** ovários flácidos; alteração da coloração com aspecto hemorrágico, geralmente com ovócitos residuais, enquanto nos machos os testículos esvaziados eram translúcidos ou opacos, com aspecto hemorrágico em algumas regiões, visando à caracterização das prováveis épocas de reprodução (desova) das populações em estudo.

Toda a estatística foi feita com base em Peso-Aguiar e Verani, (1998). A partir da caracterização da ictiofauna, foram feitas as simulações realizadas no modelo hidrodinâmico para os parâmetros altura do nível d'água e velocidade média das seções transversais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a relação entre a variabilidade de vazão, para quatro estações fluviométricas (ANA, 2015) do baixo curso do Rio São Francisco, e a precipitação média da bacia (CBHSF, 2004).

A partir da Figura 3, observam-se diferenças entre os picos de vazões com os picos de chuva da região. Na condição natural da bacia, no trecho situado na região Nordeste, o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março e o período seco, de abril a setembro. O gráfico apresenta um comportamento diferente dos períodos chuvoso e seco, cujo pico de vazão apresenta-se deslocado, sendo característico no mês de maio. Esse comportamento pode ser justificado pela regularização da vazão do rio, considerando a finalidade da construção de um reservatório de acumular reservas no período úmido para disponibilizá-las no período seco, conseqüentemente, modificando a vazão natural do rio (secas severas e enchentes).

A regularização da vazão, o deslocamento e redução do pulso de

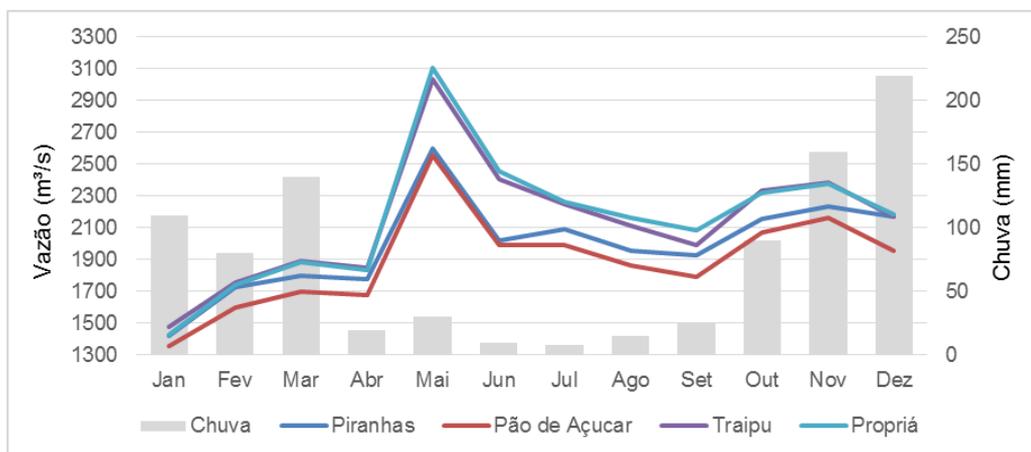
inundação têm contribuído para a alteração do ecossistema aquático, principalmente por modificar as condições do *habitat* natural. Segundo Pompeu *et al.* (2009), devido à redução dos picos de vazão e à alteração dos padrões temporais desses picos no rio São Francisco, possivelmente, o recrutamento das espécies dependentes das lagoas marginais está sendo ou já foi interrompido.

É importante frisar que a comparação entre o índice pluviométrico da região e o hidrograma local não é suficiente para analisar o comportamento da vazão do rio, uma vez que devem ser aferidos com maior

profundidade outros aportes de vazão, como contribuição de afluentes, e dos aquíferos (escoamento de base, como o aquífero Uruçuia). Conforme Godinho e Godinho (2003), a hidrodinâmica do rio é determinada pelo regime de chuvas que incidem na bacia de drenagem, associada às características do substrato, tais como tipos de solos, topografia, presença ou ausência de cobertura vegetal, dentre outros aspectos.

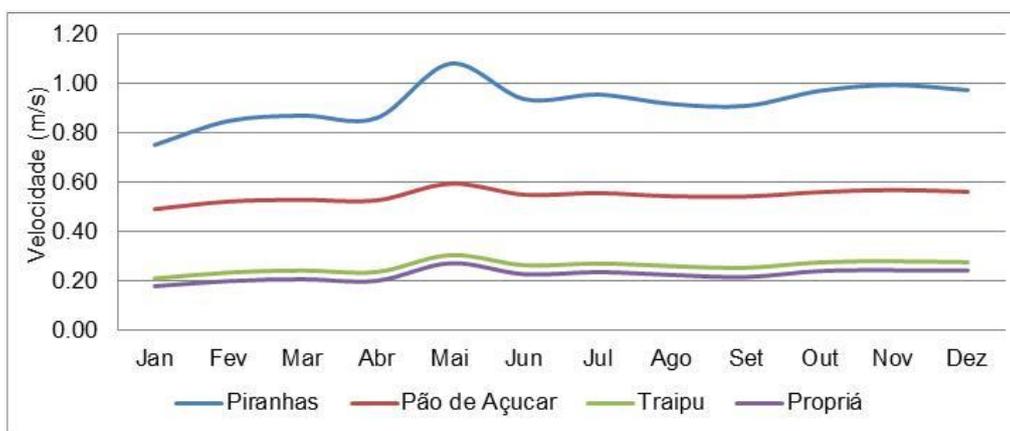
As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados das simulações para os parâmetros velocidade e altura do nível d'água (N.A), respectivamente.

Figura 3: Variabilidade mensal (Ano de 2009) para vazão nas seções fluviométricas do baixo trecho do Rio São Francisco e precipitação média da Bacia



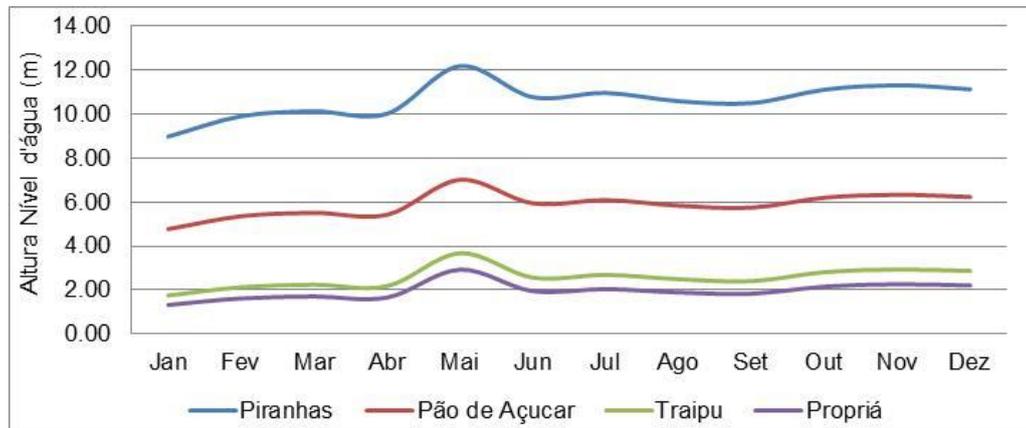
Fonte: os autores.

Figura 4: Resultados da simulação para o parâmetro velocidade média na seção transversal



Fonte: os autores.

Figura 5: Resultados da simulação para o parâmetro altura média do nível d'água (N.A) na seção transversal



Fonte: os autores.

A altura do nível d'água interfere na dinâmica quantitativa das populações de peixes. A princípio, quanto maior for a profundidade d'água, maior será a quantidade de peixes devido à ampliação da disponibilidade de *habitat*, entretanto, características do corpo d'água relacionadas à qualidade do ecossistema aquático influenciam, sobremaneira, na abundância e diversidade da ictiofauna. Vazões sazonais durante o ano são necessárias para manter esses ambientes favoráveis à ocorrência de ciclos completos de vida de um peixe, além de propiciar o fornecimento de refúgios durante todo o período (DEPHILIP; MOBERG, 2010).

Na área de estudo, a sazonalidade foi reduzida em virtude da regularização da vazão, logo, a velocidade e a altura do nível d'água foram alterados. Como consequência, alguns impactos têm prejudicado a dinâmica do rio: redução da planície de inundação, redução da biodiversidade de espécies aquáticas (CALLISTO *et al.*, 2009; POMPEU *et al.*, 2009); aumento de espécies invasoras (POMPEU *et al.*, 2009; PESO-AGUIAR, *et al.*, 2009)); aparecimento de bancos de areia permanentes; alteração da qualidade da água; assoreamento causado pelo desmatamento das margens do rio; diminuição da velocidade do fluxo hídrico (MEDEIROS *et al.*, 2010); intrusão salina (NASCIMENTO, 2013) e; alteração da sazonalidade da vazão natural do rio, em virtude da implantação e operação de reservatórios (LUZ, 2010).

Apesar das Figuras 4 e 5 apresentarem as variáveis altura do nível d'água e velocidade com baixa sazonalidade, ao longo das seções, é importante considerar nessa análise o fato do modelo ser unidimensional. Além da simulação efetuada, esta pesquisa considera a baixa sazonalidade significativa por ser relatado também por Luz (2010).

A partir das análises do comportamento da velocidade e da altura do nível d'água, foi feito o levantamento da ictiofauna da área de estudo a partir de visitas a campo. Ao longo do baixo curso do rio São Francisco, identificaram-se quarenta e sete (47) espécies de peixes (PESO-AGUIAR, *et al.*, 2009), dentre as quais, a Tabela 1 apresenta algumas espécies de interesse comercial encontradas à jusante da barragem de Xingó e amostradas nas localidades de estudo.

Amostragens bimestrais realizadas por redes de espera padronizadas destacaram a ocorrência e abundância de *Prochilodus argenteus* Agassiz (1829), pertencente à família Prochilodontidae, e vulgarmente conhecida na região por "chira ou bambá". Essa é uma espécie endêmica e de grande importância comercial no baixo curso do rio São Francisco. Possui hábito alimentar iliófago e suas fêmeas crescem mais que os machos, com registros de captura de indivíduos de até 15 kg, tendo grande importância na pesca artesanal continental (SATO; GODINHO, 1999; EMBRAPA, 2011). Embora seja endêmica do rio São Francisco, espécimes

têm sido introduzidas em vários rios do nordeste do Brasil (GODINHO; GODINHO,

2003; CASTRO; VARI, 2004).

Tabela 1: Espécies de peixes de interesse comercial registradas no baixo trecho do rio São Francisco

ESPÉCIES		CARACTERÍSTICAS	ILUSTRAÇÃO
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO		
Chira ou Bambá	<i>Prochilodus argenteus</i>	NATIVA - Espécie exclusiva de água doce. São iliofágos (detritívoras), alimentando-se principalmente de algas e detritos. Seu período reprodutivo estende-se de Novembro a Janeiro, em épocas de cheias. É uma espécie migradora.	
Piau Cutia	<i>Leporinus cf. obtusidens</i>	INVASORAS - Espécie migratória e de alimentação onívora. Seu período reprodutivo estende-se de dezembro a janeiro, para desova completa, com pico sazonal.	
Piau Preto	<i>Leporinus piau</i>	NATIVA - Espécie migratória e de alimentação onívora. Pode atingir porte acima dos 400 gramas de peso corporal.	
Piau Branco	<i>Schizodon knerii</i>	NATIVA - Espécie migratória e de alimentação onívora. Alcança um tamanho adulto de 23 cm; Suporta um pH variando entre 6,2 a 7,2 e uma temperatura entre 22 a 28°C.	

Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

A espécie *Prochilodus argenteus* se destacou tanto em frequência quanto em abundância, ocorrendo em todas as localidades amostradas no baixo curso, em ambos os períodos do ciclo hidrológico (chuvoso: Janeiro, Março e Novembro; seco: Maio, Julho e Setembro). Considerando essa predominância quantitativa, nas amostragens, essa espécie foi selecionada para interpretar os possíveis efeitos da vazão sobre o seu ciclo biológico. Assim, foram amostrados 241 indivíduos (Tabela 2), sendo contabilizados 134 indivíduos no período chuvoso e 107 no período seco, sem registro de diferenças significativas entre esses períodos do ciclo anual ($p=0,45$).

De acordo com a distribuição das frequências de comprimento total (CT), apresentada na Figura 6, os indivíduos de menor tamanho dessa espécie ocorreram

entre 10,1cm e 17,3cm, nos meses entre julho e novembro. O acompanhamento deste grupo modal mostra que após um ciclo anual, esses indivíduos apresentavam CT=38,9cm. Um segundo grupo modal foi registrado a partir de março com CT= 20,9 cm, e puderam ser acompanhados até setembro com CT=42,5cm, quando, então, não foram mais registrados nas amostragens.

Conforme Nakatani *et al.* (2001), a espécie *Prochilodus argenteus* é endêmica do rio São Francisco e sua primeira maturação sexual ocorre nas fêmeas em torno de 33,0 cm de CT. O período reprodutivo estende-se de novembro a janeiro coincidindo com a estação chuvosa. Bazzoli (2003) destaca o período reprodutivo entre novembro e fevereiro, e os menores indivíduos tornam-se maduros com CT = 27,0 cm. Para Melo (2011), o período reprodutivo ocorre no

período de chuvas mais intensas, referente à piracema, e a desova ocorre de dezembro a março, em condições normais, podendo

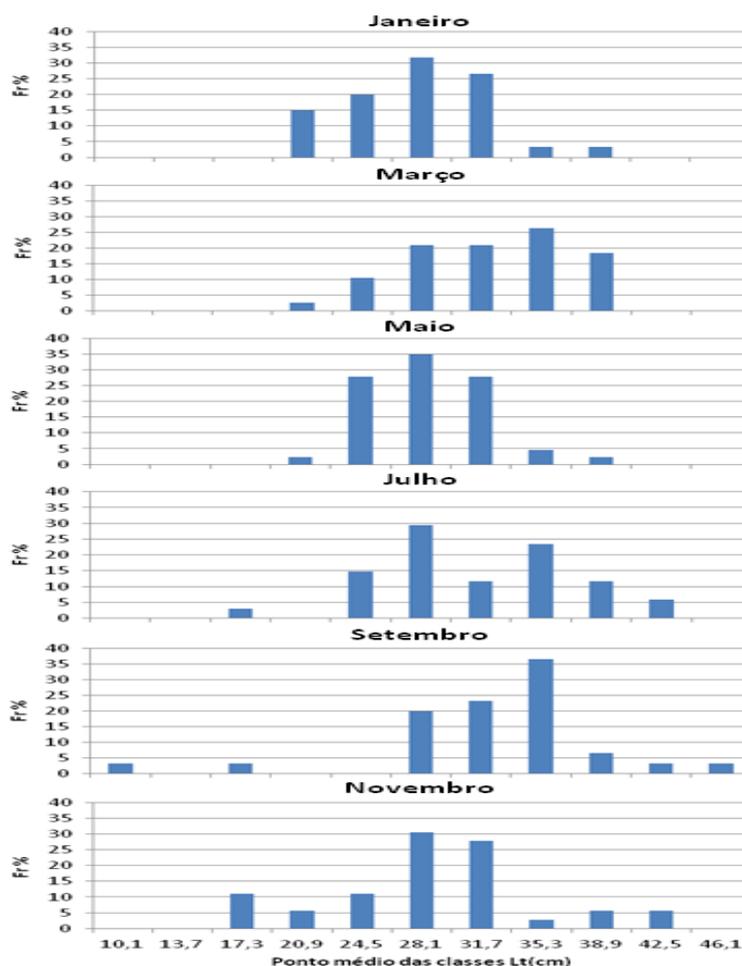
ocorrer variações de acordo com as condições climáticas. Nesse período, os exemplares da espécie acumulam-se em grandes cardumes.

Tabela 2: Número total de *Prochilodus argenteus* capturados dentre as populações mais frequentes nas campanhas de amostragem, durante os períodos chuvoso e seco, realizadas nas localidades no Baixo curso do Rio São Francisco

PONTOS DE COLETA	Chuvoso		Seco			Chuvoso	TOTAL
	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	
PIRANHAS	2	3	5	2	4	4	20
PÃO DE AÇÚCAR	26	21	19	1	16	19	102
PENEDO	24	9	14	29	5	9	90
PIAÇABUÇU	8	5	5	2	5	4	29
TOTAL GERAL	60	38	43	34	30	36	241

Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

Figura 6: Distribuição por frequência de comprimento de *Prochilodus argenteus* no trecho do baixo curso do rio São Francisco



Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

Prochilodus argenteus, a “chira”, foi a única espécie migradora encontrada em alta abundância no trecho do rio amostrado. Embora outras espécies tenham sido capturadas com baixa abundância, nota-se a presença de várias espécies migradoras, provavelmente devido às ações de peixamento com espécies nativas e à maior parte dessas espécies realizar migrações curtas. No entanto, a ocorrência de várias espécies não nativas na área, como tucunarés, tilápias, carpas e tambaquis, entre outras, conforme relatado por Lowe-McConnell (1999), vem sendo facilitada pelas modificações do *habitat*, principalmente pela regulação do fluxo, visto que a maior parte das espécies invasoras é sedentária.

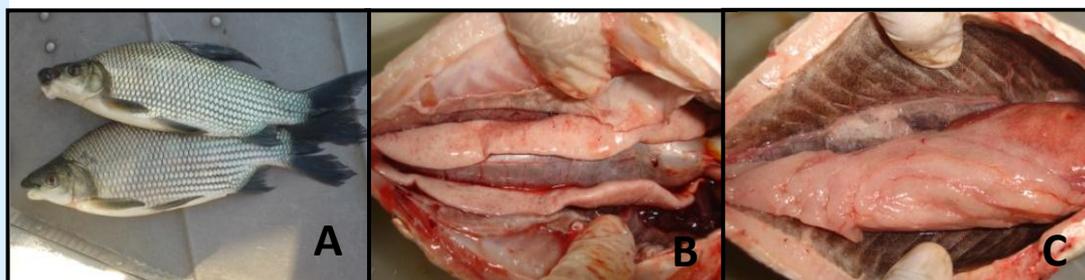
Caiola *et al.* (2014) encontraram fortes evidências, para o rio Ebro, o maior da Espanha, de que o sucesso do estabelecimento e dispersão de espécies de

peixes introduzidas é reforçado pela redução da velocidade do fluxo de água.

Particularmente, em relação à *P. argenteus*, pode-se destacar que a ocorrência de indivíduos menores, no início do período chuvoso, coincide com o início do aumento do nível d’água e da velocidade da corrente no baixo curso do rio, indicando uma resposta ao estímulo causado pelo aumento das massas de água.

Em relação aos estádios de maturação gonadal, conforme a Figura 7 ilustra, observa-se que a maior parte dos indivíduos analisados encontrava-se nesse estágio (160). O maior número de exemplares maduros (19) foi registrado entre janeiro e maio, correspondendo ao final do período chuvoso. Ressalta-se que entre julho e outubro apenas dois indivíduos maduros foram registrados (Tabela 3 e Figura 8).

Figura 7: Fase do estágio reprodutivo em *Prochilodus argenteus* (A) com gônadas cheias (maduro): macho (B) e fêmea(C), no rio São Francisco (2009)



Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

Tabela 3: Distribuição mensal dos estados de maturação gonadal para a "chira" (*Prochilodus argenteus*) no baixo curso do Rio São Francisco

Estágio gonadal	Janeiro	Março	Maio	Julho	Setembro	Novembro	Total
Imaturo ou recuperação	32	2	3	1	4	14	56
Maturação	20	25	37	32	25	21	160
Maduro	5	9	3	0	1	1	19
Esgotada ou desovada	3	2	0	0	0	0	5
TOTAL	60	38	43	33	30	36	241

Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

Peixes necessitam de velocidade da água para estimular o esforço muscular, o qual acarreta em um aumento de hormônios relacionados ao seu processo reprodutivo. Normalmente, esse estímulo ocorre em virtude

do aumento do nível d’água e, conseqüentemente, aumento da correnteza. Pode-se observar, a partir das Figuras 4, 5 e 8, que a espécie *P. argenteus* apresentou indivíduos maduros no mesmo período que

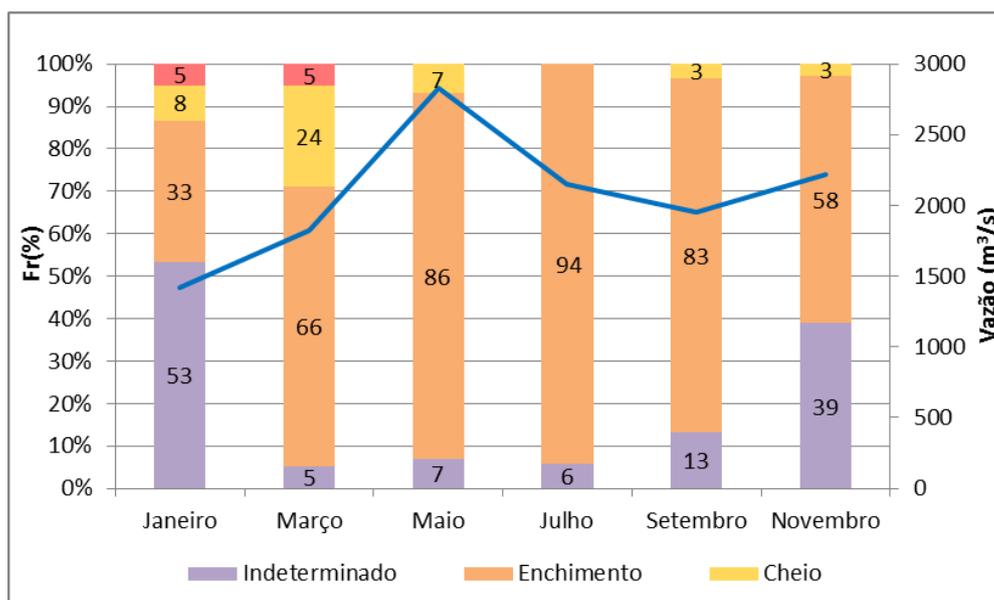
ocorreu o aumento do nível d'água e da velocidade, e os recrutas surgem logo após esse período, indicando que essa espécie está respondendo ao aumento da velocidade da corrente, apesar da regulação causada pelas barragens.

Com relação à dieta, o fato da espécie *P. argenteus* ser iliófaga e se alimentar basicamente de detrito, também pode contribuir para o sucesso da mesma, apesar das condições atuais do rio, principalmente pelo fato da "chira" não possuir grandes exigências em relação à dieta. Para Gomes e Verani (2003), em estudo feito sobre espécies de peixes do rio São Francisco, os frutos e insetos terrestres tiveram pouca participação na dieta da "chira", indicando a baixa

participação de alimentos de origem alóctone na dieta desses peixes, como consequência da retirada da vegetação ribeirinha. Desta forma, espécies carnívoras ou onívoras seriam mais afetadas em sua dieta, devido à mudança na disponibilidade de presas registradas usualmente em suas dietas.

Estas informações obtidas através de uma espécie abundante e migradora como modelo evidenciam que a restauração ecológica do baixo curso do rio São Francisco, principalmente considerando a sazonalidade natural dos fluxos ao longo do ano, poderia contribuir fortemente para a recuperação das populações de outras espécies reofílicas da bacia.

Figura 8: Distribuição temporal das frequências relativas dos estádios de desenvolvimento gonadal de *Prochilodus argenteus* e sua relação com a variabilidade da vazão no baixo curso do Rio São Francisco 2009



Fonte: Peso-Aguiar *et al.* (2009).

CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a ictiofauna do baixo curso do rio São Francisco, devido à regularização das vazões pelos reservatórios, tendo como variáveis de análise a altura do nível d'água e a velocidade média das seções transversais. Foi verificada a predominância da espécie *Prochilodus argenteus*, a "Chira", na área de estudo, sendo caracterizado o aumento de indivíduos maduros no mesmo

período que ocorreu o aumento da velocidade e da altura do nível d'água, indicando que essa espécie está respondendo ao aumento da velocidade da corrente.

Para fornecer a restauração ecológica, as regras de operação do reservatório devem considerar a sazonalidade natural dos fluxos ao longo do ano, a fim de atender às demandas do ecossistema aquático e às comunidades costeiras, permitindo que espécies de peixes menos tolerantes possam

responder aos estímulos do aumento do fluxo de água exigidos em seus processos reprodutivos.

No entanto, os resultados apresentados são preliminares e, para entender o comportamento das espécies de peixes frente às mudanças ambientais ocorridas no rio São Francisco, seria necessária a implementação de um programa de amostragens de médio/longo prazo através de coletas com diferentes artes de pesca, em diferentes microhabitats, sob diferentes condições hidrológicas de vazão e velocidade da corrente.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 2015.
- BAZZOLI, N. Parâmetros reprodutivos de peixes de interesse comercial na região de Pirapora. In: GODINHO, H.P.; GODINHO, A. L. (Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 291-306.
- BRASIL. **Lei nº 9985 de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília: DOU: 19.07.2000.
- CAIOLA, N.; IBÁEZ, C.; VERDÚ, J.; MUNNÉ, A. Effects of flow regulation on the establishment of alien fish species: a community structure approach to biological validation of environmental flows. **Ecological Indicators**, v. 45, p. 598-604, 2014. [DOI:10.1016/j.ecolind.2014.05.012](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.012).
- CALLISTO, M.; SILVA, D.R.O.S.; ÂNGELO, V.G.A. Avaliação da perda da biodiversidade bentônica devido à regularização das vazões do baixo curso do rio São Francisco. Relatório Final – Projeto de Pesquisa – **Estudo do regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco**: uma abordagem multicriterial. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- CASTRO, R. M. C.; VARI, R. P. *Astyanax biotae*, a new species of stream fish from the Rio Paranapanema basin, upper Rio Paraná system, southeastern Brazil (Ostariophysi: Characiformes: Characidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, v. 117, n. 3, p. 330-338, 2004.
- CBHSF – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Módulo 1. Resumo Executivo. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco PBHSF (2004-2013).
- DEPHILIP, M.; MOBERG, T. **Ecosystem flow recommendations for the Susquehanna river basin**. Harrisburg, PA: The Nature Conservancy, 2010.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Peixes nativos do Rio São Francisco adaptados para o cultivo**. Documento online, 2011. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/digital/bitstream/item>>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- GODINHO, H.P.; GODINHO, A.L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. 468p.
- GOMES, J.H.C.; VERANI, J.R. Alimentação de espécies de peixes do reservatório de Três Marias. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 195-227.
- LOWE-MCCONNELL, R.H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. (Trads.: Vazzoler, A.E.A. de M.; Agostinho, A.A.; Cunningham, P.T.M.). São Paulo: EDUSP, 1999. p. 19-38.
- LUZ, L.D. (Coord.). Identificação de regime hidrológico compatível com objetivos ecológicos para o baixo curso do Rio São Francisco. Relatório Final – **Projeto de Pesquisa Estudo do regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco**: uma abordagem multicriterial. Universidade Federal da Bahia/Grupo de pesquisa em Geo-Eco-Hidrologia 2010.
- MARTINS, D.M.F.; CHAGAS, R.M.; NETO, J.O.M.; JÚNIOR, A.V.M. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho

no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 1054-1061, 2011.

MATOS, J.P.; COHEN, J.T.; BOILLAT, L.; SCHLEISS, A.J.; PORTELA, M.M. Analysis of flow regime changes due to operation of large reservoirs on the Zambezi River. In: CHRISTODOULOU & STAMOU (Ed.) **Environmental Hydraulics**. London: Taylor & Francis Group, 2010. p. 337-342.

MEDEIROS, Y.D.P.; FREITAS, I.M.P.; STIFELMAN, G.M.; FREIRE, R.R.; O'KEEFFE, J. Participation in the environmental flow assessment: the São Francisco River case study. **Gesta – Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.1, p.122-130, 2013.

_____; PINTO, I.M.; STIFELMAN, G.M.; FARIA, A.S.F.; PELLI, J.C.S.; RODRIGUES, R.F.; SILVA, E.R.; COSTA, T.; BOCCACIO, M.X.; SILVA, E.B.G. Projeto 3.1 - **Participação Social no Processo de Alocação de Água, no Baixo Curso do Rio São Francisco**. Estudo do regime de vazão ecológica para o Baixo curso do rio São Francisco: uma abordagem multicriterial. Universidade Federal da Bahia, 2010.

MÉLLO JÚNIOR, A.V.; CHAGAS, R.M.; MARTINS, D. **Modelagem hidrodinâmica do baixo rio São Francisco para avaliação dos escoamentos e cenários de vazões ecológicas**. Relatório Final. Universidade Federal de Sergipe, Aracajú, 2009.

MELO, B.F. **Genética de populações de *Prochilodus argenteus* e *P. costatus* do médio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Genética) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A.A.; BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P.V.; MAKRAKIS, M.C.; PAVANELLI, C.S. **Ovos e larvas de peixes de água doce**: desenvolvimento e manual de identificação. Maringá: EDUEM, 2001. 378p.

NASCIMENTO, M.C. **Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São**

Francisco. (Melchior Carlos do Nascimento, Carlos Eduardo Ribeiro Júnior, Antenor de Oliveira Aguiar Netto – equipe técnica). Maceió, AL, 2013. 175p.

O'KEEFFE, J.; QUESNE, T.L. An Overview of Environmental Flows and Their Assessment for All Levels of Users. Keeping Rivers Alive: Managing Water Resources for Sustainable Use. Draft, July, 2008.

PESO - AGUIAR, M.; ZANATA, A. M.; ADORNO, E.V.; FIUZA, J. M. S.; MAFALDA, P. J.; ANDRADE, W. S.; SILVA, A. M.; BRUGER, R.; PEREIRA, F. C. B.; PENA, J. C. C.; PORTELA, K. L. T.; FRAGA, V. O. F. Relatório Final - Projeto 2.4 – Caracterização de ictiofauna bioindicadora da vazão ecológica para o Baixo Curso do Rio São Francisco. In: **Estudo do regime de vazão ecológica para o Baixo curso do rio São Francisco: uma abordagem multicriterial**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2009.

_____; VERANI, J.R. *Macoma constricta* (Bivalvia-Tellinidae) as biomonitor of the chronic environmental contamination by petroleum in Todos os Santos Bay (Salvador, Bahia, Brazil). **Verh. Internat. Verein Limnol.**, Stuttgart, v. 26, p. 2015-2018, 1998.

POMPEU, P.S.; SANTOS, M.L.; ALVES, C.B.M.; SANTOS, H.A.; CHAVES, C.; OKUMA, D.K.L. Avaliação da perda da biodiversidade aquática devido à regularização das vazões do baixo curso do rio São Francisco: Componente Ictiofauna. Relatório Final – Projeto de Pesquisa – **Estudo do regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco**: uma abordagem multicriterial. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009.

SANTANA, K.N.C.; TORRES, C.J.F.; MEDEIROS, Y.D.P.; FONTES, A.S. Alteração do regime hidrodinâmico no baixo curso do rio São Francisco, Brasil. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA – SILUSBA, 21. 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: ABRH; Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2015.

SATO, Y.; GODINHO H.P. Peixes da bacia do rio São Francisco. In: LOWE MCCONNELL, R. (Ed.). **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São

Paulo: EDUSP, 1999. p. 401-413.

THE BRISBANE DECLARATION.
Environmental Flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being. Austrália, Brisbane, 2007.

VICENTINI, G. C.; MARTINEZ, C. B.
Levantamento da velocidade prolongada de peixes – Um estudo de caso com o Mandi (Pimelodus Maculatus). **Revista Brasileira de**

Recursos Hídricos, v. 14, n. 10, p.113-122, ago. 2009.

WANG, J; DONG, Z; LIAO, W; LI, C.; FENG, S.; LUO, H.; PENG, Q. An environmental flow assessment method based on the relationships between flow and ecological response: a case study of the Three Gorges Reservoir and its downstream reach. [Science China Technological Sciences](#), v. 56, p. 1471-1484, [Issue 6](#), June 2013.