



JOÃO DE MAGALHÃES LOPES

**DINÂMICA MIGRATÓRIA E REPRODUTIVA
DE UMA ESPÉCIE REOFÍLICA DE PEIXE
(*Prochilodus costatus*) NO ALTO SÃO
FRANCISCO, MG: DIFERENÇAS ENTRE
POPULAÇÕES LOCAIS E TRANSPOSTAS E
IMPLICAÇÕES PARA A INSTALAÇÃO DE UM
SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES NA
UHE TRÊS MARIAS**

LAVRAS-MG

2017

JOÃO DE MAGALHÃES LOPES

**DINÂMICA MIGRATÓRIA E REPRODUTIVA DE UMA ESPÉCIE
REOFÍLICA DE PEIXE (*Prochilodus costatus*) NO ALTO SÃO
FRANCISCO, MG: DIFERENÇAS ENTRE POPULAÇÕES LOCAIS E
TRANSPOSTAS E IMPLICAÇÕES PARA A INSTALAÇÃO DE UM
SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES NA UHE TRÊS MARIAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Monitoramento de Ecossistemas sob Interferência Antrópica, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu

Orientador

LAVRAS-MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lopes, João de Magalhães.

Dinâmica migratória e reprodutiva de uma espécie reofílica de peixe (*Prochilodus costatus*) no Alto São Francisco, MG: diferenças entre populações locais e transpostas e implicações para a instalação de um sistema de transposição de peixes na UHE Três Marias / João de Magalhães Lopes. - 2017.

261 p.

Orientador: Paulo dos Santos Pompeu.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Migração. 2. Reprodução 3. Radiotelemetria. I. Pompeu, Paulo dos Santos. II. Título.

JOÃO DE MAGALHÃES LOPES

**DINÂMICA MIGRATÓRIA E REPRODUTIVA DE UMA ESPÉCIE
REOFÍLICA DE PEIXE (*Prochilodus costatus*) NO ALTO SÃO
FRANCISCO, MG: DIFERENÇAS ENTRE POPULAÇÕES LOCAIS E
TRANSPOSTAS E IMPLICAÇÕES PARA A INSTALAÇÃO DE UM
SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES NA UHE TRÊS MARIAS**

***MIGRATORY AND REPRODUCTIVE DYNAMICS OF A RHEOPHILIC
FISH SPECIES (*Prochilodus costatus*) AT THE HIGH SÃO FRANCISCO
RIVER, MINAS GERAIS, BRAZIL: DIFFERENCES BETWEEN LOCAL AND
TRANSPOSED POPULATIONS AND IMPLICATIONS TO THE
INSTALLATION OF A FISH PASSAGE IN TRÊS MARIAS HYDRO-ELECTRIC
POWER STATION***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Monitoramento de Ecossistemas sob Interferência Antrópica, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de março de 2017.

Prof. Dr. Alexandre Lima Godinho

UFMG

Prof. Dr. Gilmar Bastos Santos

PUC-MG

Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins da Silva

UFSJ

Prof. Dr. Fernando Mayer Pelicice

UFT

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu
Orientador

LAVRAS-MG

2017

Dedico este trabalho:

Aos meus pais Hugo de Lucena Lopes e Vera Lúcia de Magalhães Lopes. Não há um dia sequer em que não me lembre de seus conselhos e orientações.

Ao pesquisador Manoel Pereira de Godoy que dedicou toda sua vida ao estudo de nossos peixes e que desvendou boa parte do que conhecemos atualmente sobre os seus padrões migratórios.

À memória de Dona Maria Marques da Silva que nos abriu as portas de seu belo sítio situado no topo de uma colina com vista para os rios Pará e São Francisco. Dona Maria sempre nos recebia com um café quentinho e uma boa prosa, em todas as nossas visitas, sempre interessada nos nossos mais novos resultados. Foi com muita tristeza que soube do seu falecimento em 2015.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Viviane e a meu filho Lucas pelo carinho e apoio, ao longo destes quatro anos, além da paciência por minhas longas ausências de casa neste período.

Aos amigos e familiares que foram muito importantes, ao longo destes quatro anos, ao apoiarem e incentivarem a realização do trabalho.

Ao meu orientador Paulo dos Santos Pompeu pelos sábios conselhos e valiosas orientações, durante todo o projeto, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Ao pesquisador Carlos Bernardo Mascarenhas Alves cujo conhecimento técnico foi essencial para o uso da técnica de biotelemetria e que foi apoio essencial e companhia mais do que agradável durante os trabalhos de campo deste projeto.

Aos colegas Ivo Gavião Prado, Fábio Suzuki e Alexandre Peressim que apoiaram ativamente os trabalhos de campo realizados.

Ao amigo Humberto Bruzadelli que me acompanhou, em diversos trabalhos de campo, auxiliando-me e tornando estas viagens bem mais divertidas.

À Fernanda que compartilhou comigo alguns momentos mútuos de angústia quando algo não dava certo em nossos respectivos projetos e muita informação sobre a técnica de telemetria

Aos demais participantes do projeto, em especial, aos pesquisadores Gilmar Bastos Santos, Evanguedes Kalapothakis, Jorge Dergam e Gustavo Rosa que estavam sempre dispostos a trocar ideias sobre os achados técnicos de seus grupos e, com isso, enriqueceram muito este trabalho.

Aos professores e equipe de apoio do Programa de Ecologia Aplicada da UFLA pelos importantes conhecimentos ecológicos adquiridos ao longo desta jornada.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação e de Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA pelas trocas de ideias e conceitos que enriqueceram bastante este trabalho durante o seu desenvolvimento.

Aos colegas da Cemig Geração e Transmissão, em especial, da Superintendência de Gestão Ambiental e do Programa Peixe Vivo que permitiram, incentivaram e apoiaram a realização deste trabalho.

A todos os profissionais que auxiliaram a realização deste trabalho, instalando equipamentos e fornecendo materiais, serviços e equipamentos sem os quais não seria possível a sua realização. À equipe da Fundecc que fez a gestão financeira deste projeto. Agradeço, em especial, à equipe de instalação dos sistemas elétricos para os receptores de telemetria, Caio, Moisés e Daniel que fizeram o trabalho duro se tornar mais leve com o seu bom humor. Também agradeço à equipe de monitoramento aéreo, Comandantes Chiquinho, Lucas e Almy que não pouparam esforços para resolver todos os problemas técnicos que apareceram ao longo do caminho. Agradeço ao Marcone e à Pitchula que instalaram os postes. Por fim, mas não menos importantes, agradeço às equipes de pesca formadas por Cloves, Joãozinho e Walmir que realizaram um excelente trabalho capturando os peixes utilizados neste trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de maneira direta e indireta para o sucesso deste projeto, cedendo gentilmente as suas propriedades para a instalação de equipamentos ou para a captura de peixes. Sr. José Antônio, esposa e filhos (ponto de captura do rio Pará); Sr. Márcio Antônio, esposa e filhos (ponto de captura do São Francisco); Sr. Wesley (Ponto Ribeirão Borrachudo); Sr. Héverson (Ponto Rio do Boi); Sra. Geni e Sr. Gilmar (Ponto do Rio Indaiá); Sr. Luiz Claudio (Ponto do Rio Sucuriú); Sr. Osman e Sr. Modesto

(Ponto do Rio Forquilha); Tenente Álvaro (Ponto do Rio São Vicente); Sr. Juraci, Sr. Edgar e Sra. Maria (in memoriam) (Ponto da Confluência Pará-SF); Sr. Geovânio (Ponto Pará Montante); Sr. Nozinho, esposa e filho (Ponto do Rio Pará-Jusante); Sr. Bené (Ponto do Rio SF Montante); Sr. Adalto e Paulinho (Ponto do Rio SF Jusante).

Agradeço às equipes das Usinas de Três Marias, em especial, Maurício e Marcelo, e Retiro Baixo, em especial, à Ana Alice, por permitirem e apoiarem a instalação de equipamentos nestas usinas.

*Até a cegonha no céu,
Conhece as estações que lhe são determinadas,
E a pomba, a andorinha e o tordo respeitam o tempo,
Da migração (Jeremias, 8:7.).*

Deus não joga dados com o universo (Albert Einstein).

Should I stay or should I go?(The Clash)

RESUMO GERAL

Esta tese é produto de um projeto de P&D Cemig/Aneel que engloba quatro subprojetos. Estes projetos tiveram como motivação demandas técnicas já existentes na empresa acerca da avaliação de necessidade de promover a transposição de peixes pela barragem da UHE Três Marias e um Termo de Ajustamento de Conduta firmado com o Ministério Público do Estado de Minas Gerais (TAC) em 2010. Este TAC exigia que a empresa elaborasse um estudo de viabilidade da instalação de um projeto de Sistema de Transposição de Peixes na barragem. Além dos dados de dinâmica migratória de *Prochilodus costatus* avaliados por radiotelemetria aqui apresentados, subprojetos que estão avaliando a genética (UFMG) e citogenética (UFV) da espécie, além de coletas extensivas de ovos e larvas na bacia do rio São Francisco (PUC-MG) estão em andamento. Para esta tese, dividimos os resultados em três capítulos. No primeiro capítulo apresentamos a dinâmica migratória de populações de *P. costatus* marcadas no trecho lóxico do rio São Francisco, à montante do reservatório de Três Marias. Observamos que os peixes marcados nesta região possuem padrões migratórios regulares e previsíveis nos dois anos estudados. No segundo capítulo, exploramos em mais detalhes a influência que fatores ambientais possuem, no início do processo migratório da espécie, em especial, a precipitação, fase da lua e ciclo solar. Observamos que a precipitação e a lua nova parecem funcionar como importantes gatilhos ambientais para a migração. O terceiro e último capítulo busca responder, com base nos dados coletados em dois anos de estudo, a pergunta feita no TAC assinado pela empresa: se um STP seria necessário na barragem de Três Marias. Neste capítulo, agregamos os dados de dinâmica migratória observados para peixes transpostos para o reservatório de Três Marias e para os trechos lóxicos do São Francisco à montante do reservatório a fim de comparar os padrões exibidos por cada um dos grupos de peixes marcados. Os resultados demonstram que os padrões migratórios observados por peixes transpostos diferem dos apresentados pelas populações locais e que a função ecológica de um STP, na barragem, qual seja, a manutenção de populações viáveis e funcionais da espécie, ao que parece, não será alcançada com a sua instalação. Igualmente avaliamos do ponto de vista teórico a necessidade de instalação do STP tendo como base a literatura existente.

Palavras-chave: Migração. Gatilhos ambientais. Sistema de transposição de peixe.

GENERAL ABSTRACT

This dissertation is the product of a Research and Development project by Cemig/Aneel that encompasses four subprojects. These projects were motivated by existing technical demands regarding the evaluation of the need to promote fish transposition at the Três Marias dam, and a Conduct Adjustment Term (CAT) celebrated with the Public Ministry of the State of Minas Gerais, Brazil, in 2010. The CAT demands that the company elaborate a study on the feasibility of installing a Fish Passage at the dam. In addition to migratory dynamics data of *Prochilodus costatus*, evaluated by radiotelemetry, subprojects evaluating the genetics (UFMG) and cytogenetics (UFV) of the species, as well as extensive collection of eggs and larvae from the São Francisco basin (PUC-MG) are in progress. The results were divided into three chapters. In the first chapter, we present the migratory dynamics of *P. costatus* populations marked in the lotic stretch of the São Francisco River, upstream of the Três Marias dam. The fish marked in this region presented regular and predictable migratory patterns during the study period. In the second chapter, we explore the influence of environmental factors, especially precipitation, phase of the moon and solar cycle, over the beginning of the migratory process. Precipitation and the new moon seemed to act as important environmental triggers for migration. In the third chapter, we seek to answer the question asked in the CAT signed by the company of whether a Fish Passage is necessary at the Três Marias dam. In this chapter, the data from the migratory dynamics, observed for fishes transposed to the Três Marias dam and to the lotic stretches of the São Francisco River upstream to the dam, were aggregated in order to compare the patterns demonstrated by each group of transposed fish. The results showed that the migratory patterns of the transposed fish differ from those presented by local populations and that the ecological function of a Fish Passage, being the maintenance of feasible and functional populations, will not be reached with its installation. The need for the Fish Passage was also evaluated from the theoretical perspective, based on existing literature.

Keywords: Migration. Environmental triggers. Fish Passage.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Área de estudo nos rios São Francisco (esquerda) e Pará (direita).48
- Figura 2 - A) Distribuição de precipitação e temperaturas do ar (média dos últimos 40 anos) e água (média dos últimos 11 anos), na cidade de Pompéu, localizada próxima aos pontos de marcação dos peixes nos rios São Francisco e Pará (Dados de precipitação e temperatura do ar. B) Distribuição de horas do dia com iluminação solar (fotoperíodo), ao longo do ano, na cidade de Divinópolis.49
- Figura 3 - Fotos de marcação. A) Inserção do rádio-transmissor. B) Fechamento da incisão.....52
- Figura 4 - Estação fixa de telemetria.54
- Figura 5 - Distribuição dos estádios de maturação gonadal nos dois pontos de marcação (SF-São Francisco e PA-Pará) e nos dois anos estudados.....65
- Figura 6 - Proporção de padrões migratórios observados na população de peixes marcada (A), e considerando apenas registros válidos (B). Coluna preta – Padrão 0 (poucas detecções); chumbo – Padrão 1 (imóvel); pontos – Padrão 2 (patrulha); cinza claro – Padrão 4 (unidirecional jusante); cinza escuro – Padrão 5 (jusante com retorno); linhas verticais – Padrão 6 (unidirecional montante) e linhas horizontais – Padrão 7 (montante com retorno).66
- Figura 7 - Passagem cumulativa de peixes pela estação fixa São Francisco Jusante nos dois períodos estudados. Abaixo os

	períodos de menor (linha tracejada) e maior (linha contínua) fluxo de passagem de peixes, com os índices de passagem destacados.	69
Figura 8 -	Proporção de peixes que migraram longas distâncias em cada mês nos dois anos estudados.	71
Figura 9 -	Área de vida linear em quilômetros de cada peixe marcado em 2014 e 2015.	72
Figura 10 -	Passagem cumulativa de peixes pela estação fixa São Francisco Montante no sentido de jusante nos dois períodos estudados.	74
Figura 11 -	Comparação da distribuição de peso, comprimento padrão e fator de condição entre os grupos de peixes migrantes e não migrantes (barras indicam o desvio padrão).	75
Figura 12 -	Número de indivíduos por sexo (A) e estágio de maturação gonadal (b) de peixes migrantes e não migrantes.	76
Figura 13 -	Comparação entre as médias de comprimento padrão entre os migradores precoces e os migradores tardios nos dois anos estudados (barras indicam o desvio padrão).	77
Figura 14 -	Distribuição de sexos nas duas janelas migratórias.	77
Figura 15 -	Transparência (A) e vazão (B) dos rios São Francisco e Pará durante o período estudado.	78
Figura 16 -	Vazão no rio São Francisco, medida no ponto Porto das Andorinhas (próximo à confluência com o rio Pará), nos últimos 20 anos.	79
Figura 17 -	Médias de vazões diárias dos últimos 45 anos nos rios São Francisco (A) e Pará (B). Também são apresentadas as médias dos cinco anos com maior e menor vazão nesses 45 anos.	81

Figura 18 - Média do nível de água no rio São Francisco e percentagem de dias com picos de NA em cada mês nos últimos 45 anos.	82
Figura 19 - Precipitação total mensal e média de vazão mensal do rio São Francisco nos dois anos de estudo.....	83
Figura 20 - Mapas de desvios de precipitação acumulada dos meses de novembro a janeiro nos dois períodos de estudo.....	83
Figura 21 - Migração ascendente e vazões do rio São Francisco nos dois anos estudados.....	85
Figura 22 - Abundância de ovos (acima) e larvas (abaixo) nos rios São Francisco (SFM – São Francisco Montante e SFC – São Francisco Confluência) e Pará (PARAM – Pará Montante e PARAC – Pará Confluência) no segundo ano de estudo (2015-16).	86
Figura 23 - Número de ovos coletados no ponto Alto São Francisco e características ambientais ao longo do período reprodutivo do ano de 2015.....	87
Figura 24 - Estágios de desenvolvimento de ovos (a - Da esquerda para direita: Clivagem inicial, embrião inicial, cauda livre e embrião final) e larvas (b - larval vitelino; c - pré-flexão) de Curimba.	88
Figura 25 - A) Vazão do rio São Francisco em Iguatama-Alto São Francisco (linhas pontilhadas) e subida e descida de peixes nos dois anos de estudo (linhas grossas). B) Dados de subida e descida de peixes (linha grossa), vazão (linha pontilhada) e ovos coletados (colunas) na segunda temporada de marcação.....	89
Figura 26 - Médias de Vazão, Nível de Água (linhas) e Precipitação (barras) ao longo do ano e os eventos da dinâmica migratória de <i>P. costatus</i> na região de estudo.....	103

Figura 27 - Resumo dos eventos ambientais e biológicos durante um ano na região de estudo.	106
---	-----

ARTIGO 2

Figura 1 - Área de estudo nos rios São Francisco (esquerda) e Pará (direita).	154
Figura 2 - Velocidades médias de deslocamento dos peixes marcados: A) entre peixes marcados no rio Pará em dois trechos de rio - a confluência entre Pará e São Francisco até a estação SFJ e da estação SFJ à estação SFM; B) entre os peixes marcados nas duas temporadas de marcação para o trecho entre SFJ e SFM; C) entre machos e fêmeas.	172
Figura 3 - Relação entre velocidades natatória e de deslocamento dos peixes em migração ascendente com o tamanho dos peixes marcados, fator de condição e vazão do rio São Francisco no dia de passagem pela estação SFJ.	174
Figura 4 - Distribuição dos destinos dos peixes que retornam, após a migração reprodutiva, aos sítios de alimentação.	177
Figura 5 - A) Distribuição temporal do número de peixes que permanece nos sítios de reprodução ao longo das duas temporadas de marcação. B) Período de estadia (em dias) dos peixes nos trechos altos da bacia do Rio São Francisco nos dois anos. C) Distribuição do uso de tempo dos peixes marcados, ao longo de um ano (em dias), levando-se em conta as médias dos registros realizados.	178
Figura 6 - Relação entre pluviosidade medida na cidade de Pompéu, MG e fase da lua (círculo aberto – cheia; meias luas – crescentes e minguantes; e círculo fechado – lua nova) com o início da	

	migração ascendente de peixes nos rios Pará e São Francisco. Dados: Instituto Nacional de Meteorologia.	179
Figura 7 -	Distribuição de primeiros registros de peixes em migração ascendente em relação às fases da lua.	180
Figura 8 -	Horas nas quais os peixes foram registrados em estações fixas durante a migração ascendente (A) e descendente (B).	181

ARTIGO 3

Figura 1 -	Área de estudo.	222
Figura 2 -	Grau de maturação sexual dos peixes marcados nos dois anos de estudo.	233
Figura 3 -	Distribuição percentual dos padrões migratórios em cada população local (Locais) e transposta (T.) nos anos de 2014 e 2015.	235
Figura 4 -	Comparação entre as áreas de vida lineares médias para peixes locais e transpostos marcados em 2014 e 2015 (barras indicam o desvio padrão).	238
Figura 5 -	Número de peixes transpostos, para o reservatório de Três Marias, que apresentaram registros próximos à fazenda de tanques-rede.	240

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Dados biométricos (média \pm desvio padrão), identificação de sexo e período de marcação dos peixes.63
- Tabela 2 - Dados biométricos de machos e fêmeas.64
- Tabela 3 - Dados de migração para os rios São Francisco e Pará nos dois anos de estudo.68
- Tabela 4 - Datas dos primeiros picos de vazão observados nas áreas superiores da bacia hidrográfica do rio São Francisco e mapeamento da existência de picos de vazão nos últimos três meses do ano nos últimos vinte e dois anos.90

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada). 161
- Tabela 2 - Dados referentes à migração descendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação. 176

ARTIGO 3

- Tabela 1 - Dados biométricos, identificação sexual e período de marcação dos peixes.....232
- Tabela 2 - Dados da migração a montante dos grupos de peixes marcados nos dois anos.237

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	21
1	INTRODUÇÃO	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
3	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	31
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	37
	ARTIGO 1 - O JOGO DA PROBABILIDADE: ESTRATÉGIAS MIGRATÓRIAS E REPRODUTIVAS DE UMA ESPÉCIE REOFÍLICA DE PEIXE EM UM RIO TROPICAL	37
1	INTRODUÇÃO	41
2	METODOLOGIA	47
2.1	Área de estudo.....	47
2.2	Espécie.....	50
2.3	Marcação.....	50
2.4	Captação dos sinais dos peixes marcados e tratamento dos dados.....	53
2.5	Coletas de ovos e larvas.....	59
2.6	Dados hidrológicos e físico-químicos.....	60
2.7	Análises estatísticas.....	61
3	RESULTADOS	63
3.1	Sexo e dados biométricos dos peixes marcados.....	63
3.2	Padrões migratórios.....	65
3.3	Migração para montante.....	67
3.4	Migração para jusante.....	72
3.5	Características dos peixes migradores e não migradores.....	74
3.6	A influência de fatores climatológicos e hidrológicos na migração.....	78
3.7	Desova.....	85
4	DISCUSSÃO	91
4.1	Estratégia migratória, desova e recrutamento de <i>P. costatus</i> no alto São Francisco	91
4.1.1	A janela migratória.....	91
4.1.2	Para onde migrar?.....	94
4.1.3	Quando migrar? O dilema do migrador.....	97
4.1.4	Quando desovar? O dilema do reprodutor.....	100
4.1.5	Retorno pós-reprodutivo.....	104
4.2	Estratégia migratória de <i>P. costatus</i>: um possível migrador parcial	106
4.3	Maturação gonadal e desova	116

4.4	Relação entre tamanho, sexo e período migratório	117
4.5	Questões relacionadas à conservação da espécie na região	118
4.6	Implantação de barragens no Alto São Francisco e proteção às áreas alagáveis	119
4.6.1	Operação de Sistemas de Transposição de Peixes na região	121
4.6.2	Definição do período de defeso	123
4.7	Utilização de vazões ecológicas nas usinas do rio Pará	123
4.8	Realização de repovoamento com <i>P. costatus</i> na área de estudo	124
5	CONCLUSÕES	125
5.1	O jogo da probabilidade	125
5.2	Sugestão de questões a serem investigadas no futuro	129
	REFERÊNCIAS	131
	ARTIGO 2 - VELOCIDADES NATATÓRIAS EM MIGRAÇÃO ASCENDENTE E DESCENDENTE, TEMPO DE ESTADIA EM SÍTIOS REPRODUTIVOS E ALIMENTARES, FIDELIDADE GEOGRÁFICA AOS SÍTIOS ALIMENTARES E INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO, ILUMINAÇÃO SOLAR E LUNAR NA MIGRAÇÃO DO PEIXE <i>Prochilodus costatus</i> NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MG	143
1	INTRODUÇÃO	147
2	METODOLOGIA	153
2.1	Área de estudo	153
2.2	Espécie	154
2.3	Marcação	155
2.4	Estações fixas de captação de sinais	156
2.5	Monitoramentos aéreos	157
2.6	Análises estatísticas	157
3	RESULTADOS	159
3.1	Migração ascendente	159
3.2	Migração descendente	174
3.3	Influência da precipitação, iluminação solar e lunar na migração	178
4	DISCUSSÃO	183
4.1	Características do deslocamento migratório de <i>Prochilodus costatus</i>	183
4.1.1	Período pré-migratório	183
4.1.2	Migração ascendente	183
4.1.3	Período de migração ascendente	187
4.1.4	Migração descendente	188
4.1.5	Fidelidade geográfica no retorno aos sítios de alimentação	189
4.1.6	Ciclo de vida de <i>Prochilodus costatus</i> na área de estudo	191

4.2	Influência da precipitação, iluminação lunar e solar na migração de <i>Prochilodus costatus</i>	193
4.2.1	Precipitação como gatilho migratório.....	193
4.2.2	A influência da iluminação lunar na migração de <i>P. costatus</i>	194
4.2.3	Ciclos de iluminação diária.....	196
5	CONCLUSÕES.....	199
	REFERÊNCIAS.....	203
	ARTIGO 3 - PADRÕES MIGRATÓRIOS EM POPULAÇÕES LOCAIS E TRANSPOSTAS DE UMA ESPÉCIE DE PEIXE NEOTROPICAL: IMPLICAÇÕES PARA PROGRAMAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO.....	211
1	INTRODUÇÃO.....	215
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	221
2.1	Área de estudo.....	221
2.2	Espécie utilizada.....	222
2.3	Marcação.....	223
2.4	Monitoramento.....	225
2.5	Análise dos dados.....	227
2.6	Análises Estatísticas.....	229
3	RESULTADOS.....	231
3.1	Sexo e dados Biométricos.....	231
3.2	Padrões migratórios.....	234
4	DISCUSSÃO.....	241
4.1	Comportamento migratório de peixes locais e transpostos.....	241
4.1.1	Comparação dos padrões migratórios de peixes locais e transpostos na parte lótica da bacia.....	241
4.1.2	Padrão migratório dos peixes transpostos para o reservatório de Três Marias.....	244
4.2	Avaliação da necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes na UHE Três Marias.....	246
5	CONCLUSÕES.....	253
	REFERÊNCIAS.....	255

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Esta tese faz parte de um projeto realizado em parceria entre a Universidade Federal de Lavras (Laboratório de Ecologia de Peixes) e a Cemig Geração e Transmissão (Programa Peixe Vivo). O objetivo principal deste projeto foi avaliar a necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes (STP), na UHE Três Marias, demanda gerada por um Termo de Ajustamento de Conduta firmado entre Cemig e Ministério Público de Minas Gerais, em 2010 e, além disso, por questões técnicas internas da empresa. O projeto, ainda, contou com a parceria da Universidade Federal de Minas Gerais, avaliando questões relativas à genética de populações de espécies migradoras na região de estudo, Universidade Federal de Viçosa que avaliou a citogenética destas populações e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais que trabalhou intensivamente com avaliações de sítios reprodutivos por meio da coleta de ictioplâncton na área de estudo.

Demandas relativas à transposição de peixes têm se tornado cada vez mais comuns no Brasil, suscitadas tanto por necessidades técnicas quanto por determinação de órgãos de controle e fiscalização ambiental (PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). STPs são estruturas físicas construídas em barragens para permitir a passagem de peixes de jusante para montante e vice-versa, apesar de sistemas construídos para permitir a passagem de montante para jusante serem muito menos comuns, em especial, no ambiente neotropical (PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). A instalação de um STP, em determinada barragem, pode ter diversos objetivos tais como a manutenção de rotas migratórias previamente utilizadas por peixes migradores ou a manutenção de estoques de peixes migradores no reservatório, em um sistema de fonte-

sumidouro (GODINHO; KYNARD, 2008; LOPES; SILVA, 2012; MAKRAKIS et al., 2015; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). Estes objetivos devem ser objeto de estudos prévios, para a sua correta avaliação, já que a instalação destes sistemas, sem o devido embasamento técnico, pode trazer riscos para o ambiente como a dispersão de espécies exóticas por novos trechos de rio e o aumento do risco de extinção de espécies nativas por sua transposição para áreas em que não consigam manter taxas reprodutivas viáveis em longo prazo (PELICICE; AGOSTINHO, 2008).

Diante destes desafios, buscou-se avaliar a necessidade de instalação de um STP na barragem da UHE Três Marias por meio da biotelemetria. Indivíduos da espécie *Prochilodus costatus* (curimatá-pioa), uma espécie migradora endêmica da bacia do São Francisco, foram marcados por entre transmissores de rádio. Foram marcados dois grupos de peixes. O primeiro foi capturado nos trechos lóticos dos rios São Francisco e Pará à montante do reservatório de Três Marias. Estes indivíduos se localizam em um trecho da bacia que, ainda, apresenta condições hidrológicas e ambientais próximas às condições originais da bacia visto que o rio São Francisco, neste trecho, não possui barragens em sua calha. A marcação destes indivíduos foi realizada para permitir a avaliação do comportamento migratório da espécie em uma área controle. Os resultados observados para estes indivíduos estão detalhados nos capítulos 1 e 2 desta tese. No capítulo 1, é avaliado o padrão migratório dos indivíduos marcados nos dois anos de estudo e sua relação com fatores hidrológicos e ambientais da área de estudo. Nos dois anos estudados, peixes iniciaram a sua migração no sentido das áreas altas do rio São Francisco, ao final de setembro e a finalizaram ao final de novembro, indicando uma curta janela migratória reprodutiva. Já a migração de retorno pós-reprodutivo ocorreu do final de novembro ao final de abril. A hidrologia, durante o período reprodutivo da espécie, parece ter influenciado na proporção de peixes que realizam a migração reprodutiva, indicando que a

espécie pode ter características de migração parcial, respondendo a estímulos ambientais pelas proporções diferentes da população que migra a cada ano. No capítulo 2, as características natatórias dos indivíduos marcados e os fatores ambientais que parecem atuar como gatilhos ambientais na migração da espécie são avaliados em maior detalhe. As velocidades migratórias observadas neste estudo tanto em migração ascendente quanto descendente foram as maiores já observadas para espécies do gênero *Prochilodus* e estão entre as maiores já observadas para peixes migradores neotropicais. Fatores ambientais como precipitação e fase da lua parecem ser gatilhos migratórios importantes para a espécie, e a iluminação solar parece determinar os níveis de atividade migratória da espécie com os peixes realizando a maior parte de sua migração ascendente ao longo do dia. No capítulo 3, foram comparados os padrões migratórios, observados nos dois anos de estudo, para os indivíduos locais e os indivíduos transpostos de jusante da UHE Três Marias para o reservatório e para os trechos lóticos à montante do reservatório. Observou-se que estes padrões são diferentes entre estes grupos. Os peixes transpostos não parecem possuir os padrões migratórios reprodutivos e pós-reprodutivos regulares dos peixes locais, com uma grande proporção de sua população, realizando deslocamentos erráticos nos pontos de soltura dos trechos lóticos. Já, no reservatório, boa parte dos peixes não conseguiu encontrar tributários em que pudessem se reproduzir, permanecendo por todo o período de monitoramento próximo aos pontos de soltura. Os resultados obtidos com este estudo não sugerem a necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes, na UHE Três Marias, sendo recomendado, no entanto que estudos que trabalhem com outras espécies e por um período maior de coleta de dados sejam realizados na região para uma resposta definitiva a esta questão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos que avaliam a dinâmica migratória de peixes neotropicais se iniciaram na primeira metade do século XX. Nestes estudos trabalharam-se com técnicas de marcação e recaptura para inferir o período e as rotas migratórias que peixes de bacias sul americanas possuíam (BAYLEY, 1973; BONETTO et al., 1981; GODOY, 1959, 1967, 1972, 1975; PETRERE JÚNIOR, 1985; SVERLIJ; ESPINACH-ROS; ORTI, 1993; WELCOMME, 1979). Os esforços de pesquisa acerca da migração, reprodução e história de vida deste grupo de peixes se intensificaram, nas décadas de 1970, 80 e 90, incentivados em grande parte pelo crescimento do número de barragens hidrelétricas instaladas em bacias hidrográficas brasileiras (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016). Grupos de pesquisa que trabalhavam diretamente em bacias hidrográficas importantes do país, como as bacias hidrográficas do rio Paraná e do rio São Francisco, que tiveram um grande número de usinas hidrelétricas instaladas, puderam aumentar os seus esforços de pesquisa ao receberem recursos provenientes das concessionárias de energia responsáveis pela geração destas usinas (AGOSTINHO et al., 1994; AGOSTINHO; GOMES; ZALEWSKI, 2001; GODINHO; SANTOS; SATO, 2003; HARVEY; CAROSLFELD, 2003; SATO; CARDOSO; AMORIM, 1988). Ao mesmo tempo em que estas bacias passavam por grandes alterações, em suas características hidrológicas, o que aumentava os impactos sobre os seus peixes migradores nativos, houve, inclusive, um aumento exponencial do conhecimento sobre estas espécies com o aumento do número de pesquisadores que estudavam a sua biologia.

O modelo conceitual básico que explica a dinâmica migratória de espécies de peixes neotropicais prevê migrações para os trechos altos das bacias hidrográficas, durante a estação chuvosa, a reprodução nos pontos superiores da bacia e o retorno aos trechos inferiores após a desova

(AGOSTINHO et al., 2003; BAILY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; FERNANDES et al., 2009; GODINHO; KYNARD, 2008; GODINHO; LAMAS; GODINHO, 2010; HARVEY; CAROSFELD, 2003; MAKRAKIS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015; POMPEU; GODINHO, 2003, 2006; RESENDE et al., 1995; SUZUKI et al., 2009; SVERLIJ; ESPINACH-ROS; ORTI, 1993). Os peixes migradores aproveitam a janela hidrológica favorável do período chuvoso, para lançarem seus ovos pela corrente do rio, para que alcancem áreas de extravasamento laterais, as chamadas lagoas marginais, nas quais as condições para o desenvolvimento da prole são adequadas. Como os tributários localizados nos trechos superiores dos rios são pobres em alimento para os adultos, estes peixes retornam aos trechos inferiores, após a desova, para acumular reservas nutricionais que lhes permitam repetir o processo reprodutivo no ano seguinte. Os peixes migradores neotropicais são, desta forma, iteróparos podendo realizar a reprodução por vários anos subsequentes. Este grupo, em geral, além disso, possui a desova total podendo produzir milhares de ovos em uma única estação reprodutiva, apostando na quantidade de gametas a serem produzidas, pois não apresentam cuidado parental com a prole (GODINHO; LAMAS; GODINHO, 2010; HARVEY; CAROSFELD, 2003).

Apesar de já existir um grande volume de conhecimento acerca da biologia de peixes migradores neotropicais, existem ainda grandes lacunas de conhecimento quanto a este grupo (HANH, 2012; SCHULZ; LEAL, 2012). Não se observa, por exemplo, se este modelo conceitual se aplica a todas as espécies e bacias em que ocorrem. Diversos estudos realizados em bacias hidrográficas distintas têm apontado características

próprias das espécies que nelas habitam. Na bacia do rio Uruguai, por exemplo, tem-se avaliado que boa parte dos ovos e larvas de peixes migradores não alcançam áreas alagáveis, porque este rio é bastante encaixado (ZANIBONI; SCHULZ, 2003). Já, na bacia amazônica, a migração para algumas espécies pode ser um fenômeno que leva muitos anos para se concluir com os indivíduos, utilizando trechos diferentes de rio, ao longo de sua vida para realizar a desova (ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003).

Nos últimos anos, estas questões têm sido exploradas por meio de novas técnicas de estudo que têm se tornado disponíveis para peixes neotropicais. Dentre estas técnicas, destaca-se o uso da biotelemetria e da análise de ictioplâncton. A biotelemetria iniciou a ser utilizada em bacias sul-americanas ao final do século XX. Estudos se iniciaram, em bacias das regiões Sul e Sudeste brasileiro, em especial, nas do Paraná e São Francisco, expandindo-se para bacias da região Norte, nos últimos anos, com a expansão da instalação de usinas hidrelétricas na bacia amazônica (ALVES, 2012; ALVES; SILVA; GODINHO, 2007; FRIES, 2013; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; HAHN et al., 2007, 2011; PESOA; SCHULZ, 2010; PÉREZ, 2014; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012; SUZUKI, 2014). Uma das principais vantagens do uso de biotelemetria é a capacidade de se localizar indivíduos marcados com grande precisão, permitindo melhor avaliação de sua capacidade migratória no espaço e no tempo (COOKE et al., 2011; HOCKERSMITH; BEEMAN, 2012; LUCAS; BARRAS, 2000). Já o uso da análise de ictioplâncton permite a determinação de pontos e épocas de desova de peixes migradores nas bacias onde ocorrem (NAKATANI et

al., 2001; REYNALTE-TATAJE et al., 2011; SUZUKI; POMPEU, 2016). A avaliação dos estágios de desenvolvimento de ovos e larvas coletados podem permitir que estes pontos sejam determinados com grande precisão, ao se conhecer características ambientais como a velocidade e temperatura da água na região.

3 CONCLUSÃO

Neste estudo buscou-se consorciar a técnica de biotelemetria com a avaliação de ictioplâncton para se entender às dinâmicas migratórias e reprodutivas de uma espécie de peixe migradora, *P. costatus*. No total, foram marcados 403 indivíduos da espécie, nos anos de 2014 e 2015, na região do alto São Francisco, em Minas Gerais. Estes peixes foram rastreados por via aérea e náutica e foi montada uma rede com quatorze estações fixas de captação de sinal na área de estudo. Os resultados obtidos são coerentes com o modelo reprodutivo proposto para peixes neotropicais com a migração de indivíduos para os trechos altos da bacia, durante o início da primavera, a desova ocorrendo, durante os períodos chuvosos e o retorno dos adultos, para os pontos inferiores da bacia, após as desovas. As técnicas utilizadas neste estudo, no entanto permitiram a obtenção de dados ainda inéditos para peixes neotropicais como a extensão de sua janela migratória em dois anos subsequentes e o período que passam em cada ponto da bacia e em seus deslocamentos migratórios. A influência de fatores ambientais, como a precipitação e a fase da lua, também, pôde ser avaliada em mais detalhes, graças à técnica de biotelemetria utilizada. Por fim, diferenças no comportamento migratório de peixes locais e transpostos, da mesma forma, foram avaliadas levando à conclusão de que a instalação de um Sistema de Transposição de Peixes na UHE Três Marias não seria uma ação de manejo adequada, ao menos com os dados obtidos até o momento. Novos estudos que avaliem outras espécies e períodos mais longos devem ser incentivados na região para que esta questão possa ser melhor avaliada.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2016. 243 p.
- AGOSTINHO, A. A. et al. Itaipu reservoir: impacts on the ichthyofauna and biological bases for its management. In: UNITED NATIONS CENTRE FOR REGIONAL DEVELOPMENT (Ed.). **Environmental and social dimensions of reservoir development and management in the La Plata River Basin**. Japan: UNCRD, 1994. p. 135-148.
- _____. Migratory fish from the upper Paraná River basin, Brazil. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of south america: biology, social importance and conservation status**. Victoria: World Fisheries Trust, 2003. p. 19-98.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; ZALEWSKI, M. The importance of floodplain for dynamics of fish communities of upper Paraná River. **International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology**, Lodz, v. 1, n. 1, p. 209-217, 2001.
- ALVES, C. B. M. A ictiofauna e a escada experimental para peixes do rio Paraopeba – UTE Igarapé, Bacia do Rio São Francisco (Minas Gerais). In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.
- ALVES, C. B. M.; SILVA, L. G. M. da; GODINHO, A. Radiotelemetry of a female jaú, *Zungaro jahu* (Ihering, 1898) (Siluriformes: Pimelodidae), passed upstream a Funil Dam, Rio Grande, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 229–232, 2007.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; RUFFINO, M. L. Migratory fishes of the brazilian Amazon. In: In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 233-301.
- BAILLY, D.; AGOSTINHO, A. A.; SUZUKI, H. I. 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**, Chichester, v. 24, n. 9, p. 1218-1229, 2008.

BAYLEY, P. B. Studies on the migratory characin, *Prochilodus platensis* Holmberg 1989, Pisces, Characoidei in the River Pilcomayo, South America. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 5, n. 1, p. 25-40, 1973.

BONETTO, A. A.; VERÓN, M. C.; ROLDÁN, D. Nuevos aportes al conocimiento de las migraciones de peces em el Río Paraná. **Ecosur**, Buenos Aires, v. 8, n. 16, p. 29-40, 1981.

COOKE, S. J. et al. Advancing the surgical implantation of electronic tags in fish: a gap analysis and research agenda based on a review of trends in intracoelomic tagging effects studies. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 21, n. 1, p. 127-151, 2011.

FERNANDES, R. et al. Effects of the hydrological regime on the ichthyofaunal of riverine environments of the Upper Paraná River floodplain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 669–680, 2009.

FRIES, L. C. C. **Movimentos e distribuição longitudinal de um peixe migrador (*Salminus brasiliensis*) em um reservatório de usina hidrelétrica**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Migration and spawning of radio-tagged zulega *Prochilodus argenteus* in a Dammed Brazilian River. **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 135, n. 3, p. 811–824, 2006.

_____. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River Research and Applications**, Chichester, v. 25, n. 6, p. 702-712, 2008.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B.; GODINHO, H. Migration and spawning of female surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*, Pimelodidae) in the São Francisco River, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 80, n. 4, p. 421–433, 2007.

GODINHO, A. L.; LAMAS, I. R.; GODINHO, H. P. Reproductive ecology of Brazilian freshwater fishes. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 87, n. 2, p. 143-162, 2010.

GODINHO, H. P.; SANTOS, J. E.; SATO, Y. Ontogênese larval de cinco espécies de peixes do São Francisco. In. GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora da PUC, 2003. p. 133-148.

GODOY, M. P. Age, growth, sexual maturity, behavior, migration, tagging and transplanted of the curimatá (*Prochilodus scrofa* Steindacher, 1881) of the Mogi Guassu river, São Paulo state, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 447-477, 1959.

_____. Brazilian tagging experiments, fishes migration, and upper Paraná River basin ecosystem. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 32, n. 4, p. 473-484, 1972.

_____. Dez anos de observações sobre periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guassu. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 27, n. 1, p. 1-12, 1967.

_____. **Peixes do Brasil, sub-ordem Characoidei, bacia do Rio Mogi-Guaçu**. Piracicaba: Editora Franciscana, 1975. 627 p.

HAHN, L. et al. Preliminary study on the application of radio-telemetry techniques to evaluate movements of fish in the Lateral Canal at Itaipu Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 103–108, 2007.

_____. Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. **Endangered Species Research**, Kiel, v. 15, n. 2, p. 103–114, 2011.

HAHN, L. The application of radio telemetry to fisheries research in Brazil's large rivers. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 237-252.

HARVEY, B.; CAROSLFELD, J. B. Fishes of the floods. In: CAROSLFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 1-18.

HOCKERSMITH, E. E.; BEEMAN, J. W. A history of telemetry in fishery research. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 7-19.

LOPES, J. M.; SILVA, F. O. Metodologia para o planejamento, implantação, definição de objetivos e monitoramento de sistemas de transposição de peixes pela Cemig. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 19-34.

LUCAS, M. C.; BARAS, E. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 1, n. 4, p. 283–316, 2000.

MAKRAKIS, M. C. et al. Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 2, p. 866-881, 2012.

MAKRAKIS, S. et al. Premissas e critérios mínimos para implantação, avaliação e monitoramento de Sistemas de Transposição para Peixes. **Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia**, Londrina, v. 114, p. 16-23, 2015.

NAKATANI, K. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001. 349 p.

OLIVEIRA, A. G. et al. Interspecific variation in migratory fish recruitment in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of floods. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 98, n. 5, p. 1327-1337, 2015.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Fish-passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. **Conservation Biology**, Boston, v. 22, n. 1, p. 180-188, 2008.

PEREZ, A. G. **Movimentos e mortalidade crônica de peixes nos rios Grande e Paranaíba**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PESOA, N. A.; SCHULZ, U. H. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 4, p. 1169–1177, 2010.

PETRERE JÚNIOR, M. **Migraciones de peches de agua dulce em America Llatina: algunos comentários**. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1985. 18 p.

POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. **River Research and Applications**, Chichester, v. 28, n. 4, p. 504-512, 2011.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora da PUC, 2003. p. 361-372.

_____. Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2006.

RESENDE, E. K. et al. **Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do Rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil**. Cuiabá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 73 p.

REYNALTE-TATAJE, D. A. et al. Temporal distribution of ichthyoplankton in the Ivinhema River (Mato Grosso do Sul State/Brazil): influence of environmental variables. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 427-436, 2011.

RIBEIRO, T. C. **Migração de peixes neotropicais em rios com barramentos sucessivos**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SATO, Y.; CARDOSO, E. L.; AMORIM, J. C. C. **Peixes das lagoas marginais do rio São Francisco, a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais)**. Brasília: CODEVASF, 1988. 42 p.

SCHULZ, U. H.; LEAL, M. E. Effects of stocking density on dispersal behavior of Brazilian freshwater dourado (*Salminus brasiliensis*) in a subtropical river headwater. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, p. 409-415, 2012.

SILVA, L. G. M. Parâmetros migratórios e transposição de curimatás e mandis-amarelos no médio rio Grande. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.

SUZUKI, F. M. **Estudo do comportamento de peixes no canal de fuga da usina hidrelétrica de Três Marias utilizando telemetria acústica**. 2014. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SUZUKI, F. M.; POMPEU, P. S. Influence of abiotic factors on ichthyoplankton occurrence in stretches with and without dams in the upper Grande River basin, South-eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 99-108, 2016.

SUZUKI, H. I. et al. Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 649-660, 2009.

SVERLIJ, S. B.; ESPINACH-ROS, A.; ORTI, G. **Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sabalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847)**. Argentina: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1993. 64 p.

WELCOMME, R. L. **Fisheries ecology of floodplain rivers**. London: Longman, 1979. 325 p.

ZANIBONI, E.; SHULZ, U. H. Migratory fishes of the Uruguay River. In: In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 157-194.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

**ARTIGO 1 - O JOGO DA PROBABILIDADE: ESTRATÉGIAS
MIGRATÓRIAS E REPRODUTIVAS DE UMA ESPÉCIE REOFÍLICA DE
PEIXE EM UM RIO TROPICAL**

***THE PROBABILITY GAME: MIGRATORY AND REPRODUCTIVE
STRATEGIES OF A RHEOPHILIC FISH SPECIES IN A TROPICAL RIVER***

João de Magalhães Lopes¹ e Paulo Santos Pompeu²

¹ Cemig Geração e Transmissão S.A. – e-mail: joaoml@cemig.com.br. Av. Barbacena, 1200, Belo Horizonte. CEP 30180-121.

² Universidade Federal de Lavras.

**ARTIGO FORMATADO CONFORME A NBR 6022 (ABNT, 2003),
conforme Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos da
UFLA.**

RESUMO

A dinâmica migratória de peixes reofílicos neotropicais tem sido estudada, já há algumas décadas, mas dados de movimentação destas espécies obtidos por meio de radiotelemetria, em rios livres de barramento, ainda, são raros. Estes dados são essenciais para se conhecer especificidades da migração reprodutiva e trófica bem como os períodos de desova da espécie. A técnica se torna mais efetiva, se consorciada com a coleta de ictioplâncton, que pode indicar os sítios reprodutivos utilizados na região bem como os períodos em que as desovas ocorrem. O objetivo deste estudo foi avaliar as características da migração reprodutiva, da desova e da migração trófica de *Prochilodus costatus* na bacia hidrográfica do alto São Francisco, MG. Foram marcados com transmissores de radiotelemetria, nos anos de 2014 e 2015, 177 indivíduos da espécie em dois pontos: o primeiro, no rio São Francisco e o segundo, no rio Pará, ambos próximos à confluência dos dois rios. Vinte nove (16%) dos peixes não tiveram o seu padrão migratório avaliado por não apresentarem detecções suficientes e outros quarenta e quatro (25%) parecem ter permanecido próximos aos pontos de soltura, indicando que podem ter morrido após as marcações. Os restantes cento e quatro indivíduos (59%) puderam ter o seu padrão migratório avaliado. Os padrões variaram entre os dois anos estudados. No primeiro, uma proporção pequena dos peixes ativos realizou migrações reprodutivas, para as cabeceiras do rio São Francisco e tributários, 34%, enquanto, no segundo ano, essa proporção chegou a 64%. Fatores ambientais, em especial, os maiores volumes de precipitações na região e vazão do rio São Francisco parecem ter contribuído para essa maior proporção de migrantes de longa distância no segundo ano de marcação. Os peixes, que migraram, fizeram-no do final do mês de setembro ao final de novembro, nos dois anos, indicando uma curta janela de migração ascendente. Os maiores volumes de ovos e larvas foram coletados, no trecho alto do rio São Francisco, destino preferencial dos peixes marcados, nos meses de novembro e dezembro de 2015. Os peixes retornaram, aos sítios de alimentação, próximos aos pontos de captura, de dezembro a abril do ano seguinte. Os resultados obtidos com esse estudo indicam que a dinâmica migratória de *P. costatus*, no alto São Francisco, é bastante regular entre os anos, com eventos sincrônicos que dependem intimamente das características ambientais da região. Os resultados, além do mais, indicam que a espécie pode ser um migrante parcial, com proporções diferentes da população, empreendendo migrações reprodutivas, em anos distintos, em função da hidrologia de cada ano.

Palavras-chave: Dinâmica migratória. Ovos e larvas. Desova.

ABSTRACT

The migratory dynamics of tropical rheophilic fish has been studied for a few decades, but the data of their movement obtained by radiotelemetry, in rivers free from damming, are still rare. These data are essential in order to know specificities of reproductive and trophic migrations, as well as the spawning periods of the species. The technique is more effective if in consortium with the collection of ichthyoplankton, which can indicate the reproductive sites used and the periods in which spawning occur. The objective of this study was to evaluate the characteristics of reproductive migration, spawning and trophic migration of *Prochilodus costatus* in the hydrographic basin of the high São Francisco River in Minas Gerais, Brazil. Radiotelemetry transmitters were used to mark, in the years of 2014 and 2015, 177 individuals of the species in two points: in the São Francisco River and in the Pará River, both near confluence of both rivers. The migratory pattern of twenty-nine (16%) fishes was not evaluated for not presenting sufficient detections, and another forty-four (25%) seem to have remained near the release points, indicating that they might have died after being marked. The remaining one hundred and four individuals (59%) had their migratory pattern evaluated. The patterns vary between both years studied. During the first year, a small portion of active fish (34%) performed reproductive migration to the head of the São Francisco River and tributaries, while in the second this proportion reached 64%. Environmental factors, especially the higher volumes of precipitation in the region and flow of the São Francisco River, seem to have contributed for this higher proportion of long-distance migrations in the second year. The fish that migrated have done so from the end of September to the end of November, in both years, indicating a short window of upstream migration. The larger volumes of eggs and larvae were collected at the stretch of the high São Francisco River, destination preferred by the marked fish, during the months of November and December of 2015. The fish returned to the feeding sites, near the points of capture, from December to April of the following year. The results indicate that the migratory dynamics of *P. costatus* in the high São Francisco River is relatively regular in both years, with synchronic events that intimately depend on the environmental characteristics of the region. The results also indicate that the species may be partially migratory, with different proportions of the population performing reproductive migrations in distinct years and in function of the hydrology of each year.

Keywords: Migratory dynamics. Eggs and larvae. Spawning.

1 INTRODUÇÃO

O deslocamento migratório de um animal pode ser entendido como uma estratégia selecionada, ao longo da história evolutiva de algumas espécies, para otimizar o uso de recursos escassos em um ambiente estratificado espacial e temporalmente. O desenvolvimento da estratégia migratória, em determinada espécie, dá-se por meio de um processo de seleção de indivíduos que obtêm sucesso reprodutivo diferenciado, ao se deslocarem regularmente, como resposta a fatores ambientais (DINGLE; DRAKE, 2007). Se observamos hoje determinado padrão migratório, devemos considerar o princípio de que os benefícios obtidos pelos organismos que o apresentam suplantam os custos envolvidos no processo, ou seja, o resultado líquido para a perpetuação de seus genes é positivo (HINCH et al., 2006). O desenvolvimento da estratégia migratória, em determinada espécie, pode se dar, para se aproveitar janelas temporais definidas, nas quais recursos essenciais estão presentes, em determinada área geográfica, para diminuir efeitos deletérios causados por interações bióticas como predação, competição ou parasitismo ou para evitar condições ambientais adversas como frio ou seca extrema (ALERSTAM; HEDENSTROM; AKESSON, 2003). Apesar de espécies que realizam migrações em massa serem mais conhecidas em razão do interesse que despertam no público, em geral, a grande maioria das espécies migradoras apresenta variabilidade no comportamento migratório de seus indivíduos, o que da mesma forma tem raízes no processo evolutivo que o gera (DINGLE; DRAKE, 2007). Em geral, populações terão indivíduos com propensões diferenciadas, a empreenderem a migração, tanto na decisão binária principal (a decisão por migrar ou não) quanto em quesitos complementares (quando migrar, qual distância migrar, para onde migrar).

A ictiofauna neotropical é uma das mais ricas do planeta, e o Brasil é o país com o maior número de espécies, com mais de 2400 espécies catalogadas

(BUCKUP; MENEZES; GHAZZI, 2007) e boa parte destas espécies apresenta comportamento migratório em algum grau. As dinâmicas migratória e reprodutiva de peixes neotropicais já são estudadas há bastante tempo. Godoy (1959, 1972) realizou trabalhos pioneiros com técnicas de marcação e recaptura, na bacia hidrográfica do rio Grande, Brasil, mostrando que havia padrões migratórios definidos para as espécies reofílicas estudadas, com a utilização de sítios específicos para a reprodução, durante a época chuvosa, e outros para a manutenção da população adulta durante o ano. As espécies neotropicais de água doce que empreendem grandes migrações entre seus sítios de reprodução e alimentação são, em sua maioria, potamódromas e iteróparas. O modelo conceitual mais utilizado para explicar a migração e reprodução de grandes migradores neotropicais (espécies que realizam migrações acima de 100km, para se reproduzir, conforme Agostinho et al. (2004)) prevê a migração rio acima, durante o período chuvoso, primavera e verão, para a maioria das bacias; a desova nas cabeceiras, à deriva de ovos, para áreas médias da bacia nas quais se formam as lagoas marginais, e a saída de juvenis destas lagoas para se juntarem à população, também, com o retorno dos peixes que se reproduziram para os sítios de alimentação previamente ocupados. Neste caso, peixes migradores neotropicais aproveitariam a janela hidrológica favorável, caracterizada pelo aumento das chuvas, para alcançar pontos superiores da bacia, lançando, então, ovos rio abaixo, em busca de áreas de alta produtividade, criadas pela inundação de trechos laterais do rio, as chamadas lagoas marginais (AGOSTINHO et al., 2003; BAILY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; GODINHO; KYNARD, 2008; FERNANDES et al., 2009; GODINHO; LAMAS; GODINHO, 2010; HARVEY; CAROSFELD, 2003; MAKRAKIS et al., 2012; OLIVEIRA et al.; 2015; POMPEU; GODINHO, 2003, 2006; RESENDE et al., 1995; SUZUKI et al., 2009; SVERLIJ; ESPINACH-ROS; ORTI, 1993).

Ainda existem, no entanto muitas lacunas de conhecimento em relação a espécies migradoras neotropicais (SHULZ; LEAL, 2012). Em decorrência da alta diversidade de espécies e de ambientes que as bacias sul-americanas possuem, é bastante provável que existam diversas variações a este modelo conceitual básico (GODINHO; KYNARD, 2008; HARVEY; CAROSFELD, 2003; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011; ZANIBONI; SHULZ, 2003). Algumas questões que merecem maior investigação, quanto às espécies migradoras são: período migratório, pontos da bacia que alcançam, grau de fidelidade a sítios de reprodução e alimentação, gatilhos ambientais, influência de fatores ambientais na atividade migratória, velocidade natatória em migração, período de desova, fatores ambientais que desencadeiam a desova, distância média percorrida pelos embriões, pontos de crescimento inicial e recrutamento, influência da hidrologia nos eventos reprodutivos, a influência da região em que os peixes se encontram, na bacia hidrográfica nos eventos reprodutivos, os efeitos de características geográficas e geomorfológicas da bacia na dinâmica migratória, dentre outras. Percebe-se que ainda existem diversos aspectos do processo reprodutivo e de história de vida de espécies migradoras de peixes neotropicais que demandam atenção científica. Todas estas questões são importantes para a melhor definição de estratégias efetivas de conservação destas espécies em bacias sul- americanas.

Apesar de existirem hoje diversos grupos de pesquisa, na América do Sul, dedicados à avaliação do processo reprodutivo de peixes migradores, ainda temos, proporcionalmente, um baixo número de estudos que utilizam as técnicas de biotelemetria como ferramentas (HAHN, 2012; HARVEY; CAROSFELD, 2003). Estes estudos se intensificaram, no início deste século, em bacias da região Sul e Sudeste do Brasil (ALVES, 2012; ALVES; SILVA; GODINHO, 2007; ANDRADE-NETO, 2008; FRIES, 2013; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; MARTINEZ, 2007; HAHN et al., 2007, 2011; PÉREZ,

2014; PESOA; SCHULZ, 2010; RIBEIRO, 2013; SCHULZ; LEUCHTENBERGER, 2006; SILVA, 2012; SUZUKI, 2014) e tem se expandido para outras bacias, principalmente, para a região amazônica, pelo aumento da pressão pela construção de usinas hidrelétricas nesta área. O uso de radiotelemetria ou de telemetria acústica traz vantagens claras, em relação à técnica de marcação e recaptura, comumente usada. Os sinais captados dos transmissores inseridos nos peixes permite que se conheça a localização exata dos indivíduos marcados, ao longo de diversas detecções, tornando os padrões migratórios mais claros ao longo do tempo (CHOMYSHYN; MCCONNACHIE; COOKE, 2011; COOKE et al., 2011; HOCKERSMITH; BEEMAN, 2012; KOEHN, 2012; LIEDTKE; RUB, 2012; LUCAS; BARRAS, 2000). No caso da marcação e recaptura, tem-se, em geral, apenas o registro de marcação e o de captura, as informações de trajeto entre estes dois eventos não são conhecidas. A maior limitação às técnicas de telemetria, no entanto são os seus custos, ainda, elevados e os impactos indiretos resultantes do processo de inserção do transmissor. Como este processo é realizado por meio de métodos invasivos, em geral, por incisões cirúrgicas, a posterior recuperação do animal e o seu retorno ao comportamento típico podem demorar a ocorrer, ou, em casos extremos, a técnica pode levar a óbito do animal ou a um aumento de suas chances de ser predado ou pescado (COOKE et al., 2011; LOPES et al., 2016; THIEM et al., 2011; THOREAU; BARAS, 1997).

O consórcio de diferentes técnicas de avaliação da atividade reprodutiva de peixes migradores, ainda assim, pode levar a um melhor entendimento das dinâmicas migratórias e reprodutivas destas espécies. Uma técnica muito utilizada, para se detectar períodos e áreas de desova, em estudos realizados em bacias hidrográficas brasileiras, é a coleta de ovos e larvas de peixes reofílicos. Em diversos estudos verifica-se a utilização dessa técnica para se determinar possíveis pontos de reprodução de espécies migradoras de maneira a suportar a

sua conservação (AGOSTINHO et al., 2007; BAUMGARTNER et al., 2008; LOPES et al., 2014; NAKATANI et al., 2001; REYNALTE-TATAJE et al., 2011, 2012; SILVA et al., 2014; SUZUKI; POMPEU, 2016). No entanto, ainda, não há estudos realizados no Brasil que consorciem a avaliação de rotas migratórias pelas técnicas de telemetria com a coleta de ovos e larvas. A junção destes métodos é importante para se verificar se as migrações observadas têm realmente a finalidade reprodutiva e para se avaliar o grau de sincronia entre a dinâmica migratória e desova da espécie analisada. A avaliação do ciclo migratório/reprodutivo das espécies migradoras neotropicais é uma ferramenta importante, a fim de que sejamos capazes de preservar trechos de rios que, ainda, mantêm condições ecológicas necessárias, para a conservação deste grupo de espécies que, em virtude de suas características, é um dos grupos mais vulneráveis da fauna brasileira (HAHN et al., 2011; HARVEY; CAROSFELD, 2003).

O objetivo do presente estudo foi avaliar aspectos da dinâmica migratória e reprodutiva de *Prochilodus costatus*, uma espécie reofílica neotropical, na bacia hidrográfica do alto rio São Francisco. Neste sentido, conciliamos dados de radiotelemetria com coletas de ovos e larvas, associados às condições hidrológicas locais, de forma a responder as seguintes perguntas:

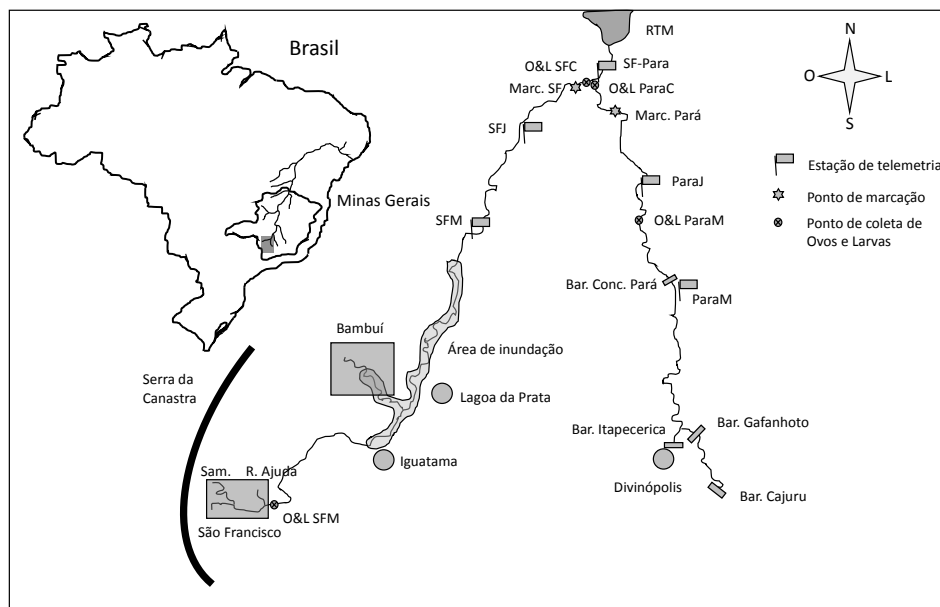
- a) Quais são os sítios de alimentação e reprodução que a espécie utiliza na região?
- b) Quando ocorrem as migrações reprodutivas e tróficas?
- c) Como a hidrologia de determinado ano influi na dinâmica migratória da espécie?

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado, na bacia do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, Brasil. O rio São Francisco é um dos maiores rios do Brasil. Nasce na serra da Canastra, no Sul do estado de Minas Gerais e se estende por 2.814Km até desaguar no oceano Atlântico entre os estados de Alagoas e Sergipe. Neste percurso, ele atravessa cinco estados da região Sudeste e Nordeste do país. Essa bacia hidrográfica já possui mais de 200 espécies descritas (ALVES; SILVA; GODINHO, 2007) e cerca de 8% delas são consideradas migradoras, geralmente, as espécies com maior importância para a pesca e de maior valor comercial (SATO; GODINHO, 2003). O estudo foi realizado, na parte alta da bacia, no trecho lótico à montante do reservatório de Três Marias. Este trecho ainda possui cerca de 500 km de rio livre até as nascentes e alguns tributários importantes como o rio Pará, que possui diversos barramentos em sua calha, o rio Bambuí e o rio Samburá (FIGURA 1).

Figura 1 - Área de estudo nos rios São Francisco (esquerda) e Pará (direita).

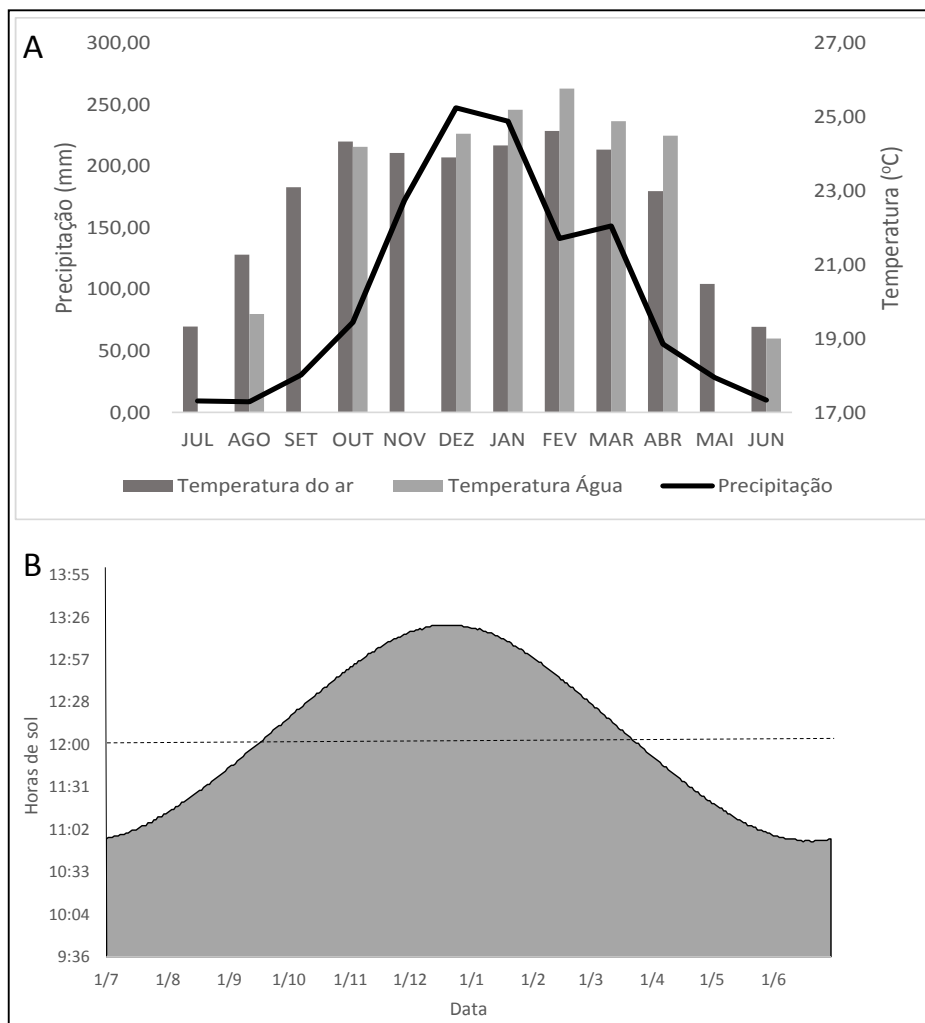


Nota: Destaque para os pontos de marcação de peixes nos rios São Francisco (S.F.) e Pará (Marc.), estações fixas de captação de dados (SF-Pará, SFJ, SFM, ParaJ, ParaM), áreas de coleta de ovos e larvas (O&L SFM, SFC, ParaC, ParaM), barragens, reservatório de Três Marias (RTM), área de inundação no médio São Francisco (área destacada), barragens localizadas na calha do rio Pará (retângulos) e pontos de reprodução dos peixes identificados nos rios Bambuí, Samburá, Ribeirão da Ajuda e São Francisco (destacados em cinza claro).

Fonte: Dados do autor (2016)

O clima da região, do tipo Cwa, é caracterizado por um período chuvoso e com temperaturas altas, de outubro a abril, e um com temperaturas mais baixas e com baixa pluviosidade, de maio a setembro (FIGURA 2). A temperatura do ar, a temperatura da água e o número de horas do dia com iluminação solar, igualmente, seguem este padrão, com temperaturas maiores e maior número de horas do dia com iluminação solar durante os meses chuvosos e menores no período de seca.

Figura 2 - A) Distribuição de precipitação e temperaturas do ar (média dos últimos 40 anos) e água (média dos últimos 11 anos), na cidade de Pompéu, localizada próxima aos pontos de marcação dos peixes nos rios São Francisco e Pará (Dados de precipitação e temperatura do ar. B) Distribuição de horas do dia com iluminação solar (fotoperíodo), ao longo do ano, na cidade de Divinópolis.



Fonte: Figura A - CPTEC/INPE; dados de temperatura da água, CEMIG; Figura B - (Serviço de Informação Aeronáutica).

2.2 Espécie

Foram marcados 177 indivíduos de *Prochilodus costatus* (Valenciennes, 1850), conhecida popularmente como curimatá-pioa. *P. costatus* é uma espécie endêmica do rio São Francisco sendo uma das espécies mais importantes para a pesca comercial em toda a extensão da bacia (SATO; GODINHO, 2003). Espécies do gênero *Prochilodus* têm hábito alimentar bentóforo-detritívoro, possuindo importante papel na ciclagem de nutrientes (FLECKER, 1996; MARINKE et al., 2010; RESENDE et al., 1995). Diversos estudos anteriores apontaram o gênero *Prochilodus*, que é distribuído por rios de toda a América do Sul, incluindo *P. costatus*, como migradores de longa distância (AGOSTINHO et al., 2004, 2007; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; SATO; GODINHO, 2003). Esta espécie foi escolhida por sua importância ecológica e econômica e por ser considerada um modelo adequado para se avaliar a dinâmica migratória de peixes que empreendem grandes migrações na região.

2.3 Marcação

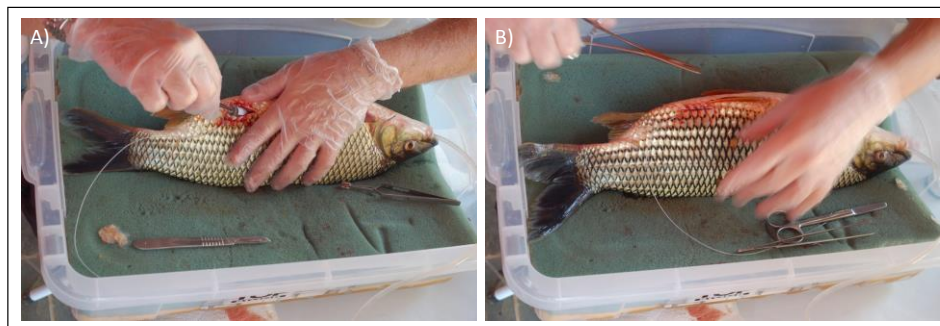
Os peixes foram marcados com transmissores de radiotelemetria (modelo MCFT2-3EM Lotek; 10 gramas no ar; vida útil de 528-860 dias) tendo sido capturados em dois pontos na bacia (FIGURA 1): nos rios São Francisco (a cerca de 10km da confluência com o rio Pará) e rio Pará (a cerca de 15km da confluência com o rio São Francisco). As marcações foram realizadas, em dois anos consecutivos, 2014 e 2015, do início de setembro a meados de outubro. Em 2014, foram marcados 43 peixes no rio São Francisco e 54 peixes no rio Pará. Em 2015, foram marcados 40 peixes no rio São Francisco e 40 peixes no rio Pará. As marcas utilizadas emitiam sinais em três frequências diferentes (148/320, 148/900 e 149/420Mhz). O tempo entre a emissão de sinal das marcas variou entre 5.5, 6.0 e 6.5 segundos para minimizar a colisão de sinais. O peso

mínimo de peixes a serem marcados foi definido como 500g, para evitar que as marcas excedessem 2% do peso total, conforme recomendado na literatura (NIELSEN, 1992; WINTER, 1996).

Os peixes foram capturados em cada ponto (S.F. e Pará) por meio de tarrafa e transportados em caixas aeradas na embarcação até a margem do rio em que a ilha cirúrgica foi montada. Na margem, os peixes foram acondicionados, em um cercado montado no próprio rio, no qual esperavam o momento da inserção do transmissor. As capturas ocorreram, durante todo o dia e, em alguns casos, durante a noite. Todos os peixes foram marcados, em um período inferior a 24 horas, após a captura, a maioria sendo marcada poucas horas depois. Para a inserção dos transmissores, os peixes foram transferidos para uma caixa d'água aerada e com concentração de eugenol de 0,05 mg/l. Os peixes foram mantidos nesta caixa até atingirem o estágio IV de anestesia, caracterizado por perda de movimentos espontâneos (SUMMERFELT; SMITH, 1990). Após a anestesia inicial, os dados biométricos eram medidos e os peixes transferidos para a ilha cirúrgica. O fator de condição de Fulton ($K=(P/CP^3)$) foi calculado utilizando-se as medidas de comprimento padrão (CP - cm) e peso (P - g). Na ilha cirúrgica, as brânquias do peixe em cirurgia eram irrigadas, permanentemente, com uma solução de eugenol de concentração 0,035 mg/l e água. O transmissor foi inserido na cavidade celomática dos peixes por meio de incisão cirúrgica em seu abdômen, em ponto posterior às nadadeiras pélvicas e, lateralmente, à linha alba. Após a inserção do transmissor, a antena era perpassada por entre um trocáter pela parede abdominal e a incisão cirúrgica era fechada por meio de linha cirúrgica de monofilamento de nylon (diâmetro de 0,200 a 0,249mm). Em geral, eram feitas de 4 a 5 suturas com nós quadrados para o fechamento da incisão (FIGURA 3). Todo o material cirúrgico e os transmissores passavam por processo de assepsia, sendo lavados, inicialmente, com água e detergente neutro e permanecendo, em seguida, em banho maria em álcool 70 por cerca de 20

minutos, antes do próximo procedimento cirúrgico. Após a cirurgia, os peixes eram acondicionados, novamente no cercado, até o efeito da anestesia cessar, o que acontecia em cerca de 10 minutos. Em seguida, os peixes eram soltos no rio.

Figura 3 - Fotos de marcação. A) Inserção do rádio-transmissor. B) Fechamento da incisão.



Fonte: Dados do autor (2016)

Durante a cirurgia, o sexo do animal era identificado pela visualização direta da gônada. Isto era possível, na maioria das vezes, apenas para peixes que estavam preparados sexualmente já que o testículo se torna túrgido e esbranquiçado e o ovário se encontra repleto de ovócitos. Caso não conseguíssemos observar o sexo, o peixe era classificado como tendo o sexo não identificado. Quando visualizada a gônada, os peixes tiveram o seu grau de maturação avaliado como imaturo (quando não puderam ser visualizados ovócitos nos ovários em fêmeas ou produção de sêmen em machos); em maturação inicial (quando era possível observar a presença de ovócitos ainda não vitelogênicos e em baixo volume nos ovários e testículos esbranquiçados, porém com baixo volume em machos) ou em maturação final (quando era observada grande quantidade de ovócitos vitelogênicos e grande volume do ovário em fêmeas e a presença de testículo com grande volume de sêmen e a espermiacão após leve compressão em machos).

2.4 Captação dos sinais dos peixes marcados e tratamento dos dados

Foram instaladas cinco estações fixas de telemetria, na área de estudo, que consistiam de um poste de concreto de sete metros, fixado em ponto próximo ao rio, em que os equipamentos de monitoramento eram instalados a cerca de 4 metros do solo. Os equipamentos de rastreamento consistiam de duas antenas Yagi de 5 elementos apontadas uma para jusante e outra para montante e um receptor SRX-DL da marca Lotek. Para gerar energia ao equipamento, foram instalados receptores solares que abasteciam uma bateria estacionária ligada ao receptor. Todo este conjunto de equipamentos era acondicionado dentro de uma caixa metálica de proteção e o conjunto era protegido de descargas elétricas por um para-raios instalado no topo do poste e aterrado (FIGURA 4). O receptor rastreava as três frequências utilizadas nas marcas de maneira sequencial em intervalos de 7 segundos. A sequência de escaneamento se iniciava com a antena 1 para todas as frequências, seguida pela antena 2 para todas as frequências. As estações fixas foram instaladas nos seguintes pontos (FIGURA 1): a cerca de 100m a jusante da confluência dos rios São Francisco e Pará (Estação SF-Pará); duas estações a 50km a montante da confluência, nos dois rios (Estações SFJ e PARAJ – J se referindo a jusante) e a 100km a montante da confluência nos dois rios (Estações SFM e PARAM – M se referindo a montante). O download dos dados das estações fixas era realizado com o intervalo máximo de três meses.

Figura 4 - Estação fixa de telemetria.



Fonte: Dados do autor (2016)

Adicionalmente, monitoramentos foram realizados por aeronave monomotor. A aeronave sobrevoava a área de estudo exatamente sobre os rios São Francisco e Pará, a uma velocidade média de 110-120km/h e a uma altitude média de 165 metros (500 pés). A área monitorada se estendia das áreas superiores dos rios Samburá e São Francisco até a junção desse rio com o reservatório de Três Marias, totalizando cerca de 400 km linear de rio. O rio Pará, do mesmo modo, foi rastreado até a estação fixa PARAM, com cerca de 100km linear de rio rastreado. Em rastreamentos aéreos específicos, realizados durante a estação chuvosa, os tributários dos rios São Francisco e Pará, similarmente, foram sobrevoados para se avaliar a presença de peixes marcados. Em geral, cada rastreamento levava cerca de 12 horas de voo, distribuídos em dois dias. Realizamos os rastreamentos, em novembro e dezembro de 2014, fevereiro, abril, julho e outubro de 2015, fevereiro e abril de 2016, totalizando 8

campanhas de rastreamento aéreo. Foi instalada uma antena H na haste de junção da asa com a aeronave, ligada a dois receptores LOTEK SRX600 no interior da aeronave. Como os peixes foram assinalados com marcas de três frequências distintas, optamos por utilizar dois receptores simultaneamente ligados à mesma antena. Os dois receptores rastreavam as três frequências, em sequências de sete segundos, mas enquanto um receptor rastreava uma frequência, o outro rastreava outra, aumentando a probabilidade de se capturar o sinal de uma marca em um determinado ponto do rio. Como a aeronave sobrevoava o rio com uma velocidade média de 110 a 120km/h, este procedimento diminuía as chances de se perder um sinal em determinado ponto de rio.

- Avaliação de falso-positivo e falso-negativo.

Tanto na captação de dados via estações fixas quanto na captação via rastreamentos aéreos existe o risco de se obter registros falso positivos e falso negativos. No caso de registros falso negativos, a marca não é registrada pelo receptor e, no caso de falso positivos, algum tipo de interferência existente no ambiente é registrado como se fosse uma marca.

No caso dos receptores fixos, tomamos medidas para evitar os dois problemas. Os receptores foram instalados, em áreas escolhidas próximo ao rio, para evitar grandes distâncias entre as estações fixas e o ponto por onde poderiam transitar os peixes marcados, evitando-se, assim, a perda de sinais. O receptor que ficou mais distante foi o SFJ que estava a cerca de 30 metros da margem do rio, pois na área havia uma mata ciliar que dificultava a instalação deste receptor na margem. Neste caso, realizamos testes de recepção de sinal para garantir que o receptor seria capaz de captar e registrar as marcas que passassem pelo rio próximo a ele. Fizemos os testes por meio de embarcação com o transmissor envolvido por tecido e em profundidade de cerca de 5 metros.

A marcas testadas foram captadas e registradas de maneira satisfatória durante os testes. O ganho dos receptores, igualmente, foi ajustado a distância e em condições externas dos pontos nos quais foram instalados. Desta forma, em áreas mais ermas, os ganhos foram ajustados para cerca de 60, enquanto, em áreas com maior atividade humana, estes ganhos foram diminuídos para cerca de 40 para evitar grande influxo de interferências no receptor.

No caso dos receptores utilizados na aeronave, procuramos garantir que tivessem o menor nível de interferência possível, testando motores de diversas aeronaves e optando pelo que causou a menor interferência em testes realizados em solo. Para estes testes, colocávamos 3 marcas das três frequências utilizadas a cerca de 300 metros da aeronave e tentávamos captar os sinais com o receptor próximo à asa da aeronave, após o motor ser ligado. Ao final, percebemos que o motor Continental de 6 cilindros é o que causa menor interferência no equipamento e passamos a utilizar aeronave com este motor nos rastreamentos aéreos.

Após o download dos dados, observávamos a planilha criada no excel para avaliar se um sinal poderia ser um falso-positivo. No caso de estações fixas, não utilizamos sinais que tinham força registrada no receptor menor do que 30 (força máxima de detecção é de 255) e, além disso, procurávamos por marcas registradas, em sequência, em uma mesma antena ou, sequencialmente, nas duas antenas. O registro de marcas com forças de sinais crescentes entre as duas antenas indicava grande confiabilidade no registro, pois registrava a movimentação do peixe em algum dos sentidos do rio. Em alguns casos, o peixe era registrado, em apenas uma antena, caso estivesse parado em um ponto a jusante ou a montante da antena. Mesmo neste caso, a presença sequencial dos registros, com força de sinais diferentes, indicava a movimentação do peixe e aumentava a segurança de ser um registro verdadeiro. No caso dos registros na planilha dos receptores móveis, utilizávamos outros processos de análise. O

primeiro deles era verificar se determinada marca era captada pelos dois receptores no mesmo ponto de rio. Isto diminuía a chance de ser interferência e ocorria com bastante frequência, diminuindo a necessidade de análises complementares. Mesmo que a marca tivesse sido registrada por apenas um receptor, isto, ainda, poderia contar como um registro válido, porque o avião se deslocava com uma certa velocidade. Para avaliar se era um registro válido, nós analisávamos a força do sinal, que deveria ser superior a 30 (foi possível notar, ao longo do projeto, que sinais em sequência sem um sentido claro, em geral, eram registrados com força inferior a 30) e a coerência entre os registros anteriores. A questão da coerência e redundância dos dados foi bastante utilizada, para se avaliar a veracidade de registros, ao longo de todo o projeto. Um sinal de um peixe registrado, em ponto superior da bacia, seja no São Francisco ou Pará e que não tivesse sido registrado pelas estações fixas existentes nestes rios, dificilmente seria verdadeiro. Este processo de avaliação retroativa dos sinais, para avaliar a sua confiabilidade, foi utilizado a cada novo rastreamento ou download de dados de estações fixas e se mostrou bastante eficaz para se evitar falso-positivos.

- Avaliação de padrões de movimentação.

Cada registro considerado verdadeiro foi plotado em programa de representação espacial (Google Earth). A data do registro, número da marca, frequência do sinal e sentido de passagem (no caso das estações fixas) foram registrados na nomenclatura do ponto plotado. No caso dos peixes, que realizaram migrações para montante, as distâncias percorridas, do mesmo modo, foram medidas por meio deste programa. A plotagem dos dados permitiu uma melhor visualização espacial e temporal da movimentação dos peixes.

Os dados utilizados para este trabalho foram registrados do início de setembro de 2014 (começo das marcações) ao final de junho de 2016,

totalizando 22 meses. Para facilitar a análise dos padrões gerais de movimentação dos peixes, foram criadas sete categorias de padrões migratórios. Esses padrões foram atribuídos aos peixes, durante o período migratório/reprodutivo, de setembro ao final de abril do ano subsequente. As categorias criadas foram:

- a) Padrão 0: neste caso, o peixe parece ter sido pescado antes de poder avaliar o seu padrão migratório ou os dados foram insuficientes para isso.
- b) Padrão 1: imobilidade. Neste padrão, o peixe não se distancia mais do que cerca de 1km do ponto em que foi solto.
- c) Padrão 2: patrulha. Neste padrão, o peixe faz pequenas movimentações próximas ao ponto de soltura não se distanciando mais do que cerca de 15km deste ponto.
- d) Padrão 3: errático. Neste padrão, o peixe pode migrar por grandes distâncias, mas em um padrão errático, com muitas idas e vindas, em um mesmo ponto, como se procurasse melhores condições ambientais.
- e) Padrão 4: unidirecional jusante. Neste padrão, o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido jusante.
- f) Padrão 5: direcional jusante com retorno. Neste padrão, o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido jusante e retorna próximo ao ponto de soltura.
- g) Padrão 6: unidirecional montante. Neste padrão, o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido montante.
- h) Padrão 7: direcional montante com retorno. Neste padrão, o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido montante e retorna próximo ao ponto de soltura.

Não consideramos, nas análises posteriores, os padrões de movimentação 0 e 1. No caso do padrão 0, não havia dados suficientes para a análise e, no caso do padrão 1, o peixe, provavelmente, morreu após a cirurgia ou foi pescado e o transmissor jogado no rio.

- Cálculo de área de vida linear:

A área de vida linear foi calculada para todos os peixes que apresentaram padrões migratórios de 2 a 7. Para o cálculo, foi medida a distância entre o registro mais a montante, e o registro mais a jusante neste mesmo rio. Para os peixes que utilizaram mais de um rio, em seus deslocamentos, a área de vida linear foi a distância entre o registro mais a montante em um rio e o registro mais a montante no outro rio.

2.5 Coletas de ovos e larvas

No segundo ano de projeto, realizamos a coleta de ovos e larvas de peixes em quatro pontos na área de estudo. Fizemos isso, após analisar as movimentações dos peixes marcados no primeiro ano de projeto, de forma a determinar se os pontos nos quais os peixes se mantinham em maior número, durante o período reprodutivo, eram realmente pontos de desova da espécie. Os pontos de coleta foram: Ponto São Francisco Montante (SFM) que se localizava próximo à confluência do rio São Francisco e rio Samburá cerca de 350 km à montante da confluência Pará-São Francisco; Ponto São Francisco Confluência (SFC) que se localizava logo antes da confluência com o rio Pará; Ponto Pará Montante (PARAM) que se localizava acima da estação Pará Jusante, a cerca de 70 km da confluência com o rio São Francisco; e Ponto Pará Confluência (PARAC) que se localizava logo antes da confluência com o rio São Francisco (FIGURA 01).

As coletas foram realizadas nestes pontos por rede de coleta de plâncton cônica com malha de 500 micrômetros. A rede era submersa no rio por 10 minutos, ao anoitecer, de três em três dias, a partir da segunda quinzena de setembro de 2015 até a primeira quinzena de março de 2016. Um fluxômetro foi instalado à rede para medir o volume de água filtrado. O material coletado foi fixado em formaldeído 4% ou álcool absoluto e levado ao laboratório para análise em lupa. Os ovos e larvas foram identificados até o menor nível taxonômico possível, de acordo com a experiência dos observadores e de acordo com a literatura disponível.

2.6 Dados hidrológicos e físico-químicos

Os dados hidrológicos e de temperatura da água foram obtidos por meio de estações automáticas de medição de vazão de propriedade da Cemig Geração e Transmissão S.A. A empresa possui duas estações de medição de vazão no rio São Francisco e uma no rio Pará, cujos dados foram utilizados neste trabalho. No rio São Francisco, uma das estações se localiza próxima à confluência com o rio Pará (estação Porto das Andorinhas) e outra na cidade de Iguatama (estação Iguatama). No rio Pará, a estação se localiza próxima à confluência com o rio São Francisco (estação Porto Pará).

Os dados de pluviosidade e temperatura do ar, para a região de estudo, foram obtidos pelo site do Centro de Previsões e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais. Os dados utilizados são dos municípios de Pompéu e Bambuí, que se localizam próximos aos pontos de marcação dos peixes e de reprodução (FIGURA 1).

Os coletores de ovos e larvas realizaram medições da transparência da água por meio de Disco de Secchi no segundo ano do projeto.

2.7 Análises estatísticas

A avaliação de diferenças nos dados biométricos dos peixes foi realizada pela ANOVA Two Way, levando em conta o ponto e ano de coleta. Diferenças biométricas entre machos, fêmeas e peixes com o sexo não identificado foram avaliadas pela ANOVA One Way. A discriminação dos grupos que foram similares e diferentes entre si foi realizada pelo Teste de Tukey. A comparação entre os dados biométricos de peixes que realizaram migrações de longa distância e peixes que não o fizeram foi realizada pelo teste de Mann-Whitney. A avaliação da distribuição normal dos dados foi realizada pelo teste Shapiro-Wilk. A avaliação da distribuição de sexo e graus de maturação sexual entre peixes que migraram longas distâncias e os que não migraram foi realizada pelo teste de Chi-Quadrado, bem como a avaliação entre a proporção de sexos que migram nas duas janelas migratórias de outubro e novembro. Diferenças entre o comprimento padrão entre peixes que migram nas duas janelas migratórias foram avaliadas pelo teste T.

3 RESULTADOS

3.1 Sexo e dados biométricos dos peixes marcados

Os peixes marcados apresentaram comprimento padrão médio de 34,6 cm (comprimento padrão) e 1041,5g (peso) (TABELA 1). Os peixes marcados no ponto do rio São Francisco foram significativamente menores (ANOVA Two Way, $p=0,0001$) e menos pesados (ANOVA Two Way, $p=0,00008$) do que os marcados no rio Pará, mas não houve diferença significativa entre as amostras entre os anos (TABELA 1) e não houve interação entre ponto de captura e ano de coleta para as características biométricas dos peixes (ANOVA Two Way). No que diz respeito ao fator de condição, foram observadas diferenças significativas entre os anos amostrados (ANOVA Two Way, $p=0,000005$) sendo o fator de condição dos peixes do primeiro ano maiores do que os do segundo. A identificação do sexo dos peixes marcados foi possível para 72% da população marcada (TABELA 1).

Tabela 1 - Dados biométricos (média \pm desvio padrão), identificação de sexo e período de marcação dos peixes.

	2014		2015	
	São Francisco	Pará	São Francisco	Pará
Número de Peixes Marcados	43	54	40	40
Comprimento Padrão (cm)	33,2 \pm 0,7	36,1 \pm 0,5	32,7 \pm 0,7	35,9 \pm 0,5
Peso Corporal (g)	940 \pm 63	1233 \pm 54	862 \pm 79	1071 \pm 50
Fator de Condição de Fulton	2,45	2,51	2,27	2,25
Sexo				
Macho	11	18	14	11
Fêmea	22	16	20	15
Não Identificado	10	20	6	14
Data de início da marcação	23/09/2014	17/09/2014	22/09/2015	09/09/2015
Data de finalização da marcação	17/10/2014	10/10/2014	02/10/2015	07/10/2015

Fonte: Dados do autor (2016)

As fêmeas foram, significativamente, maiores do que os machos e peixes não identificados tanto em relação ao comprimento padrão (Anova One Way, $p=0,0006$) quanto em relação ao peso (ANOVA One Way, $p=0,00001$) (TABELA 2). Não houve diferença significativa nos valores do fator de condição entre machos, fêmeas e peixes com o sexo não identificado (ANOVA One Way, $p=0,07$). Estes resultados sugerem que boa parte dos peixes que não tiveram o sexo identificado podem ser machos, mas a proporção exata de machos e fêmeas nesta categoria não pode ser extrapolada.

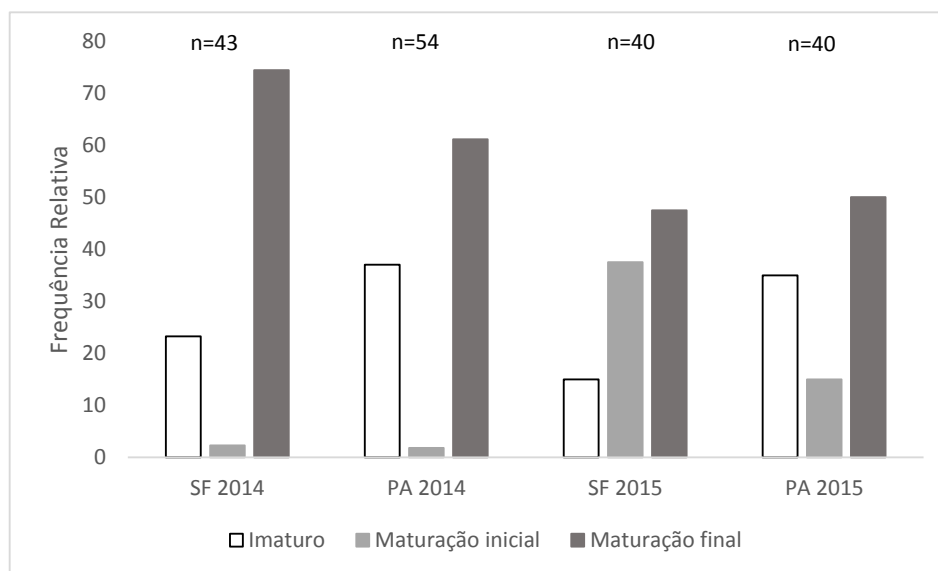
Tabela 2 - Dados biométricos de machos e fêmeas.

	Machos	Fêmeas	Não Ident.
Comprimento Padrão (cm)	33,4±0,5	36,06±0,6	33,8±0,5
Peso corporal (g)	888,7±39	1.221,1±61,6	944,2±43,4
Fator de Condição	2,32±0,04	2,45±0,04	2,36±0,04

Fonte: Dados do autor (2016)

Boa parte dos peixes mostrou algum grau de desenvolvimento gonadal entre o começo de setembro e primeira quinzena de outubro, período de marcação nos dois anos (FIGURA 5). No primeiro ano, uma alta proporção de peixes já se encontrava, em estágio de maturação gonadal avançada neste período, enquanto, no segundo, a proporção de peixes em estágio inicial foi superior à observada no primeiro ano. Ainda assim, a maior proporção da população marcada estava em estágio avançado de maturação mesmo no segundo ano. Quanto aos pontos de coleta, os peixes coletados no rio São Francisco, apesar de menores do que os coletados no rio Pará, apresentaram maiores proporções de indivíduos em maturação gonadal nos dois anos.

Figura 5 - Distribuição dos estádios de maturação gonadal nos dois pontos de marcação (SF-São Francisco e PA-Pará) e nos dois anos estudados.



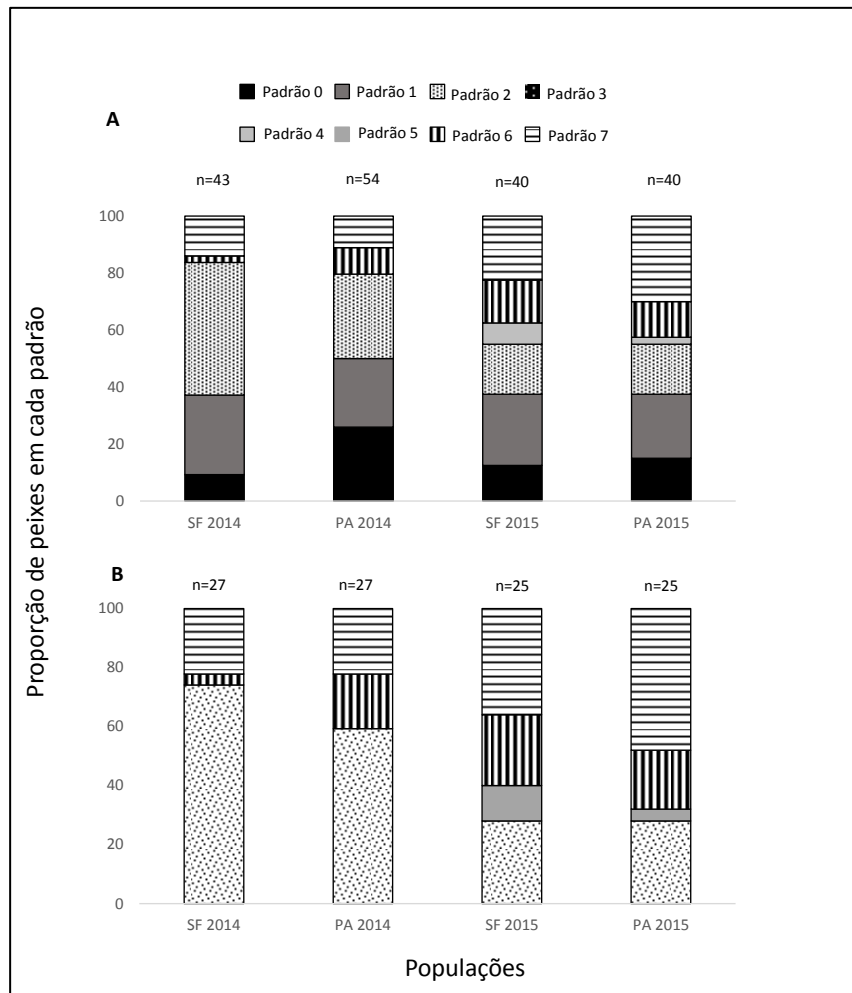
Fonte: Dados do autor (2016)

3.2 Padrões migratórios

O número de peixes que não pôde ter o seu padrão observado pode ser considerado alto. Dos 177 peixes marcados, 73 (41,2%) ou não tiveram um número de registros confiável, durante o estudo (44, 25%), o que pode indicar que foram pescados, ou não se movimentaram após marcados (29, 16%), indicando que morreram após a inserção da marca (FIGURA 6A). Considerando-se apenas os demais padrões, houve pouca variação entre as populações marcadas no São Francisco e no Pará nos mesmos anos e grande variação entre os anos (FIGURA 6B). No primeiro ano, a maior parcela dos peixes com sinais válidos (60%) fez pequenas movimentações próximas ao ponto de marcação (padrão 2) enquanto, no segundo ano, a maior proporção de peixes (62%) apresentou comportamento migratório de longa distância para montante (padrões 6 e 7). O padrão migratório de longa distância para jusante

foi o menos comum entre os observados, nas populações marcadas, nos dois anos e o padrão 3, o de comportamento errático não foi observado.

Figura 6 - Proporção de padrões migratórios observados na população de peixes marcada (A), e considerando apenas registros válidos (B). Coluna preta – Padrão 0 (poucas detecções); chumbo – Padrão 1 (imóvel); pontos – Padrão 2 (patrulha); cinza claro – Padrão 4 (unidirecional jusante); cinza escuro – Padrão 5 (jusante com retorno); linhas verticais – Padrão 6 (unidirecional montante) e linhas horizontais – Padrão 7 (montante com retorno).



Fonte: Dados do autor (2016).

3.3 Migração para montante

Quase a totalidade dos peixes que realizaram grandes migrações (padrões migratórios 6 e 7), nos dois períodos, migrou pelo rio São Francisco (TABELA 3). Mesmo os peixes marcados no rio Pará, seguiram pelo São Francisco em sua rota migratória, o que significa que estes peixes migraram cerca de 15km para jusante no rio Pará até a confluência com o São Francisco e seguiram por esse rio. Além disso, a maioria dos peixes que migraram para montante no rio Pará (1 em 2014 e 3 em 2015) já haviam migrado, para montante no rio São Francisco, na mesma temporada reprodutiva. Estes peixes retornaram ao ponto de marcação e, em seguida, migraram para montante no rio Pará o que gera dúvidas se esta migração foi reprodutiva ou se ocorreu uma dispersão pós-reprodutiva.

Dezesseis dos quarenta e oito peixes que realizaram migrações reprodutivas para o rio São Francisco nos dois anos têm o seu destino identificado por meio de monitoramentos aéreos. Em consequência da duração de cada campanha de rastreamento aéreo, era necessário que houvesse a previsão de bom tempo, em toda a área de estudo de ao menos 5 dias. Tanto em 2015 quanto em 2016 só obtivemos esta previsão nos meses de fevereiro, o que impossibilitou que identificássemos os pontos de desova para um número maior de peixes. Dos 16 peixes identificados, nestes rastreamentos, 5 têm o ponto de desova no rio Samburá, 2 no rio São Francisco, acima da confluência com o Samburá, 1 no Ribeirão da Ajuda que fica próximo à esta confluência (8 peixes na região do alto São Francisco) e 8 no rio Bambuí.

Tabela 3 - Dados de migração para os rios São Francisco e Pará nos dois anos de estudo.

	2014		2015	
	São Francisco	Pará	São Francisco	Pará
Número de migradores de longa distância para montante	18	1	30	5
Data de início da migração ascendente	30/09/2014	08/12/2015	30/09/2015	21/01/2016
Data de término da migração ascendente	26/11/2014	08/12/2015	22/11/2015	21/02/2016
Número de peixes que realizam a migração descendente	12	*	21	1
Data de início da migração descendente	30/11/2014	*	06/12/2015	04/02/2016
Data de término da migração descendente	28/04/2015*	*	13/04/2016	04/02/2016
Tempo médio (em dias) de permanência nos pontos altos da bacia.	100	*	75	*

* um peixe marcado em 2014 retornou, em novembro de 2015, mas como estamos trabalhando com os dados até o final de maio de 2016, estamos excluindo este peixe das análises para termos a mesma janela de análise nos dois anos.

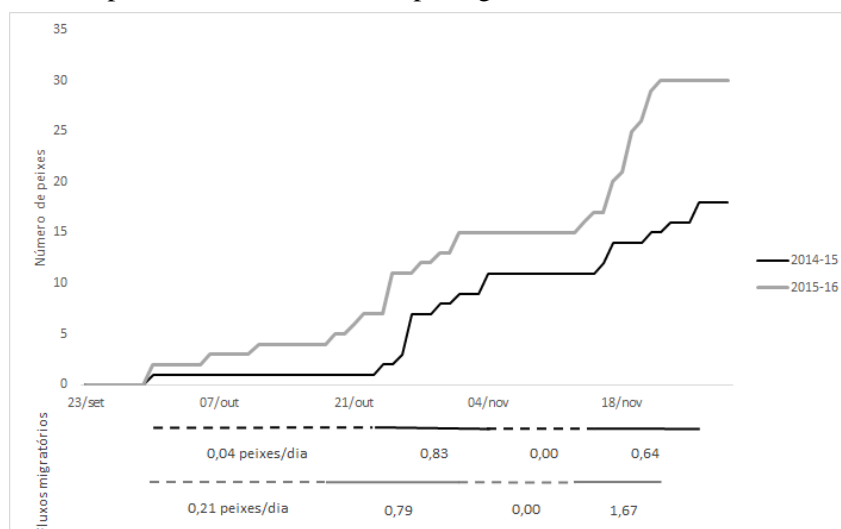
Fonte: Dados do autor (2016)

Os dados das migrações pelo rio São Francisco, registradas nos dois anos, parecem indicar uma janela curta de migração para montante que se estende do final de setembro até o final de novembro, cerca de dois meses. A primeira detecção de um peixe em sua rota de migração ascendente, realizada pela estação fixa SFJ (a primeira estação pela qual todos os peixes em migração ascendente têm que passar em seu caminho para montante no São Francisco), ocorreu no dia 30 de setembro nos dois anos estudados. A última detecção de peixes em migração ascendente por esta estação ocorreu, no dia 26 de novembro em 2014 (uma janela de 58 dias) e no dia 22 de novembro em 2015 (uma janela

de 54 dias). Os dados revelam uma estreita sincronia no período migratório que se repete nos dois anos.

O número de peixes que migraram para montante, no segundo período reprodutivo (30), foi bastante superior aos que migraram no primeiro período (18), apesar do número de peixes operantes ser próximo nos dois anos de estudo (54 no ano 1 e 50 no ano 2) (FIGURA 7). Este número superior de migrantes de longa distância, no segundo ano, não se deve à subida de peixes marcados no primeiro ano, visto que apenas um peixe marcado, no primeiro ano, migrou no segundo. Este peixe que migrou, nos dois anos de estudo, foi um macho de 580g marcado no rio São Francisco. No primeiro ano, ele foi detectado na estação SFJ no dia 23/11/2014 enquanto, no segundo ano, a detecção ocorreu no dia 17/11/2015, dias muito próximos nos dois anos, o que pode indicar algum tipo de fidelidade temporal ao período migratório para montante.

Figura 7 - Passagem cumulativa de peixes pela estação fixa São Francisco Jusante nos dois períodos estudados. Abaixo os períodos de menor (linha tracejada) e maior (linha contínua) fluxo de passagem de peixes, com os índices de passagem destacados.



Fonte: Dados do autor (2016)

O processo migratório de *P. costatus*, na área de estudo, não parece se dar de maneira homogênea ao longo do tempo. No caso da migração ascendente, é possível perceber duas janelas de alto fluxo de peixes para montante, uma que ocorre de meados de outubro ao início de novembro e outra que ocorre em novembro (FIGURA 8). Na primeira temporada, o primeiro período de alto fluxo ocorreu de 24 de outubro a 4 de novembro (12 dias). Neste período, subiram 10 peixes (0,83 peixes por dia). O segundo período de alto fluxo em 2014 ocorreu de 16 de novembro a 26 de novembro (11 dias) em que passaram 7 peixes (0,64 peixes por dia). Apenas um peixe subiu fora destes dois períodos em 2014. Na segunda temporada, o primeiro período de alto fluxo de peixes se iniciou no dia 19 de outubro e se estendeu até o dia 1 de novembro (14 dias). Neste período, subiram 11 peixes (0,79 peixes por dia). O segundo período se iniciou no dia 14 de novembro e terminou no dia 22 de novembro (9 dias). Quinze peixes migraram para montante neste período (1,67 peixes por dia). Fora destes períodos de alto fluxo apenas 4 peixes subiram o rio São Francisco em 2015. É interessante notar que, nos dois anos estudados, a soma dos dias de alto fluxo de peixes foi de 23 dias. Classificamos os peixes como migradores precoces, se migram até o final da primeira janela de alto fluxo, e migradores tardios, se migram na segunda janela de alto fluxo.

As proporções de peixes que migram longas distâncias para montante, nos dois anos em cada mês, foram similares (FIGURA 8). Uma pequena proporção migra em setembro e esta proporção aumenta até novembro quando cerca de 55% dos peixes o fazem. A área de vida linear foi maior ($p < 0,037$) para os peixes marcados em 2015 (média 112 km) do que os marcados em 2014 (67,6 km) (FIGURA 9). Esta diferença se deve à maior proporção de peixes que migraram para montante na segunda temporada monitorada. A maior área de vida medida pertence a um indivíduo marcado, em 2015, sendo de 450,9 km. Este peixe, que não teve o sexo identificado, foi marcado no rio Pará, migrou

para montante pelo rio São Francisco, em outubro de 2015, tendo a marca identificada no rio Samburá, retornou para a confluência do rio Pará e São Francisco, em dezembro de 2015 e migrou para montante no rio Pará, em janeiro de 2016, subindo o rio até o tributário São João. É importante notar, todavia que, para a maioria dos peixes que realizaram migrações para montante, a área de vida linear está subestimada, já que boa parte dos peixes não teve a sua localização registrada após passar pela estação SFM.

Figura 8 – Proporção de peixes que migraram longas distâncias em cada mês nos dois anos estudados.

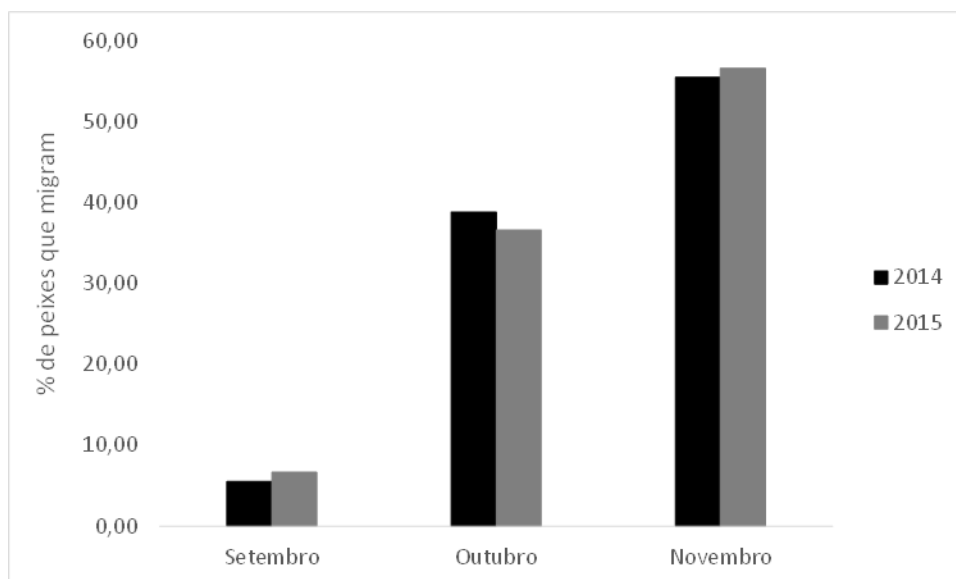
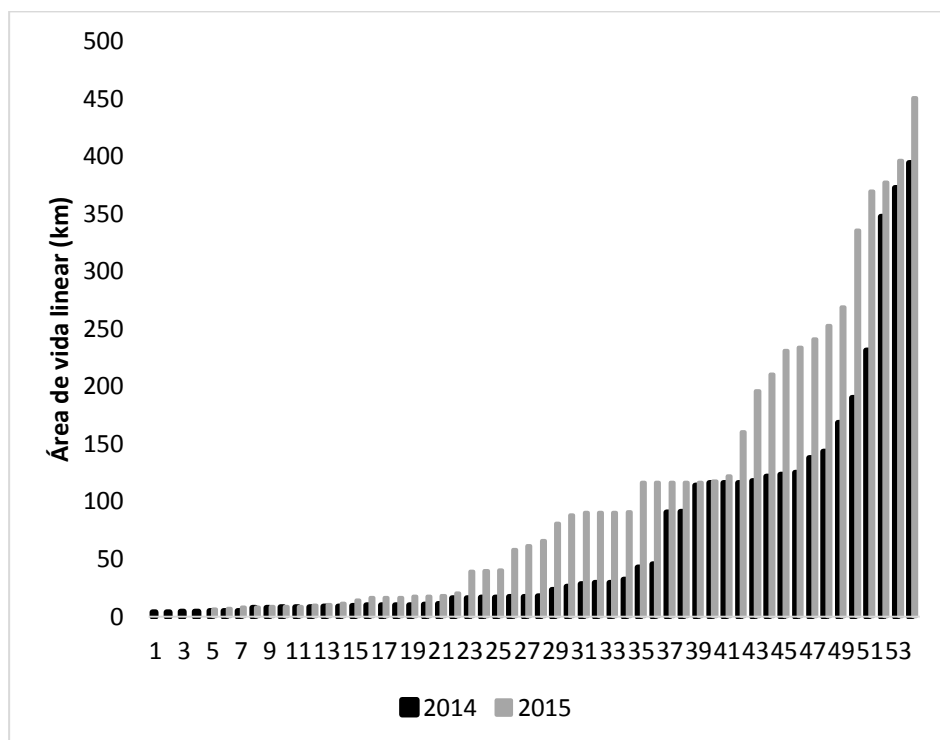


Figura 9 - Área de vida linear em quilômetros de cada peixe marcado em 2014 e 2015.



Fonte: Dados do autor (2016)

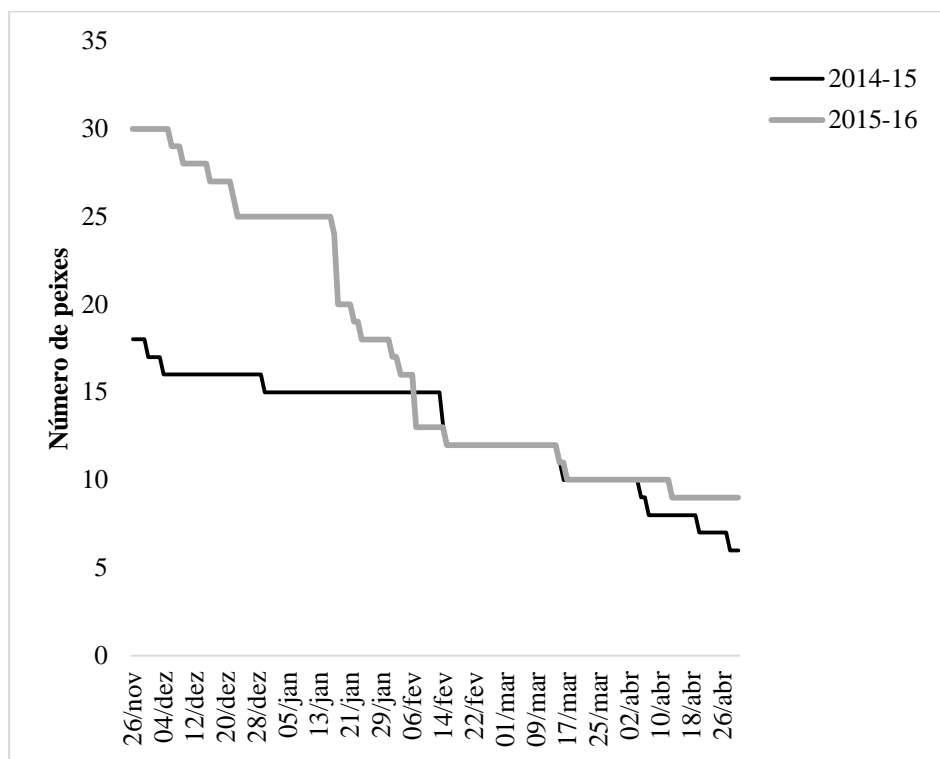
3.4 Migração para jusante

O retorno dos peixes que subiram o rio São Francisco, para as áreas inferiores da bacia, ocorreu sempre após as migrações ascendentes, ou seja, todos os peixes realizam migração ascendente para iniciar a migração descendente, ou seja, não há fluxo de peixes migrando em sentidos contrários do rio São Francisco ao mesmo tempo (FIGURA 10). Essas migrações ocorrem, em sua maioria, em uma janela de cinco meses que vai do final de novembro/início de dezembro até abril. No primeiro período reprodutivo, 11 dos 18 peixes que migraram para montante (61%) retornaram para os sítios de alimentação até o

final de abril. Um peixe retornou apenas ao final de novembro o que pode indicar que este indivíduo permaneceu, durante todo o ano, nos pontos superiores da bacia. Já, no segundo período reprodutivo, nossos dados foram contabilizados apenas até o final de maio, quando 21 (70%) peixes já haviam retornado aos sítios de alimentação. O peixe marcado, em 2014 e que realizou a migração reprodutiva, nos dois anos avaliados, foi detectado pela estação SFM, no dia 28/04/2014 e, no dia 17/03/2015, o que parece indicar que a fidelidade temporal da migração para jusante não é tão alta quanto a da migração de montante. Este resultado é esperado, dado que a janela migratória para jusante é maior do que para montante. Na primeira temporada de marcação, a janela migratória para jusante foi de 151 dias e, na segunda, de 130 dias.

Os padrões de migração descendentes parecem ser mais flexíveis dos que os ascendentes. Na primeira temporada de marcação, poucos peixes regressaram para jusante até fevereiro de 2015, quando o fluxo para jusante se intensificou. Já, na segunda temporada, a descida de peixes apresentou maior atividade, a partir de dezembro de 2015, intensificando-se a partir da segunda quinzena de janeiro (FIGURA 10).

Figura 10 - Passagem cumulativa de peixes pela estação fixa São Francisco Montante no sentido de jusante nos dois períodos estudados.

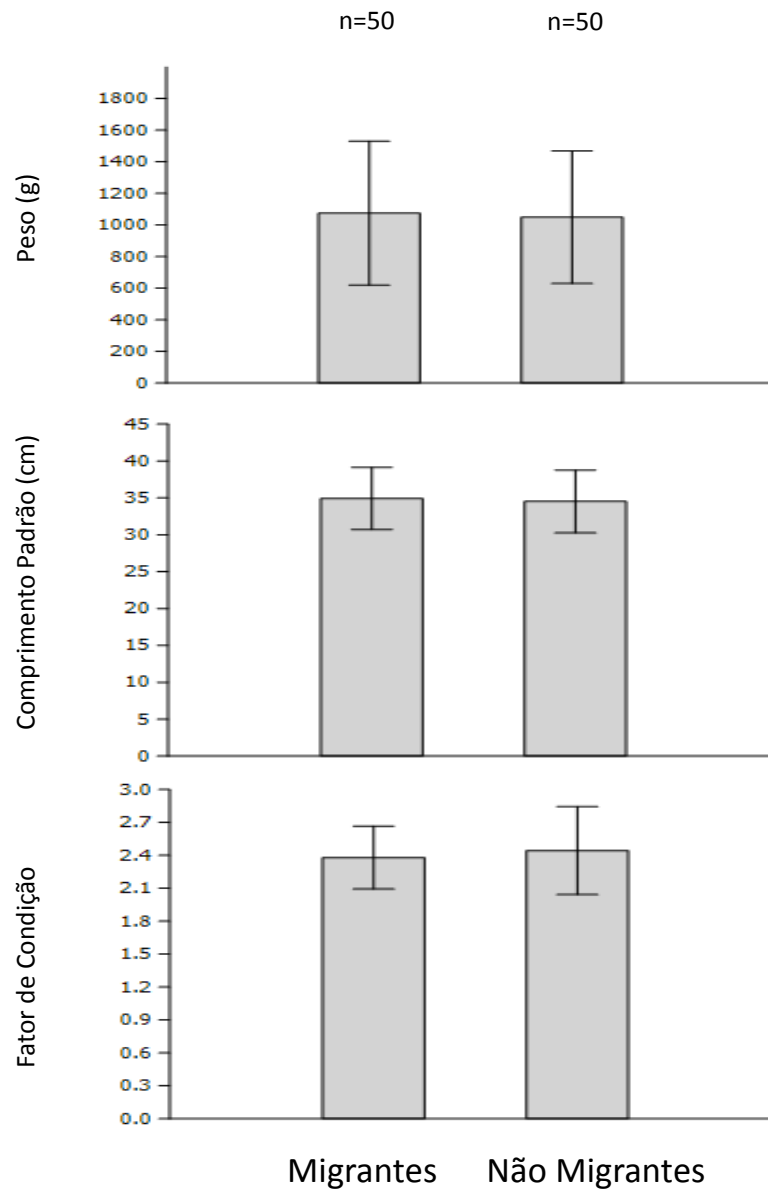


Fonte: Dados do autor (2016)

3.5 Características dos peixes migradores e não migradores

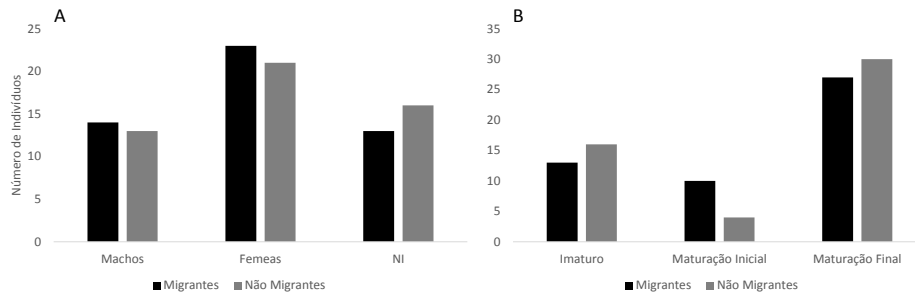
Não houve diferença significativa no peso (Mann-Whitney, $p=0,88$), comprimento padrão (Mann-Whitney, $p=0,82$) e fator de condição (Mann-Whitney, $p=0,57$) entre migrantes (padrões 6 e 7) e não migrantes (padrão 2) o que parece indicar que não são os peixes maiores ou os em melhor estado nutricional que empreendem a migração (FIGURA 11). Também não foram observadas diferenças quanto à proporção do sexo (Chi-quadrado, $x^2=4,44$; $p=0,8$) ou em relação ao estágio de maturação gonadal entre migrantes e não migrantes (Chi-quadrado, $x^2=3,04$; $p=0,22$) (FIGURA 12).

Figura 11 - Comparação da distribuição de peso, comprimento padrão e fator de condição entre os grupos de peixes migrantes e não migrantes (barras indicam o desvio padrão).



Fonte: Dados do autor (2016)

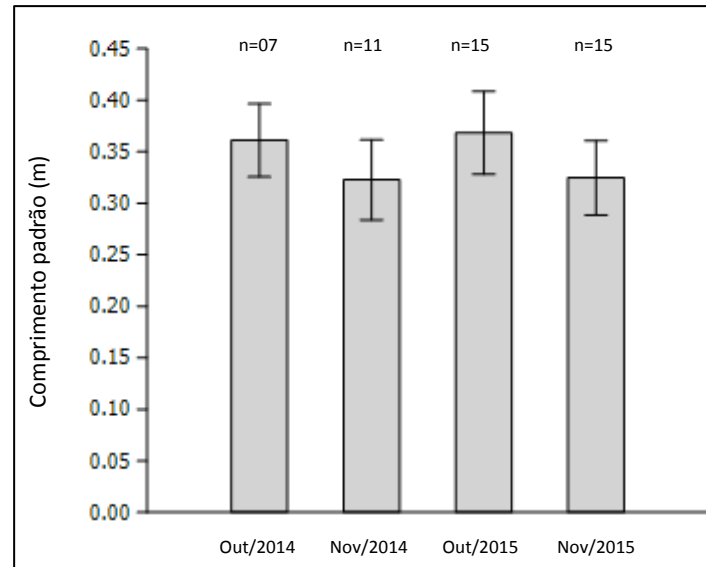
Figura 12 - Número de indivíduos por sexo (A) e estágio de maturação gonadal (b) de peixes migrantes e não migrantes.



Fonte: Dados do autor (2016)

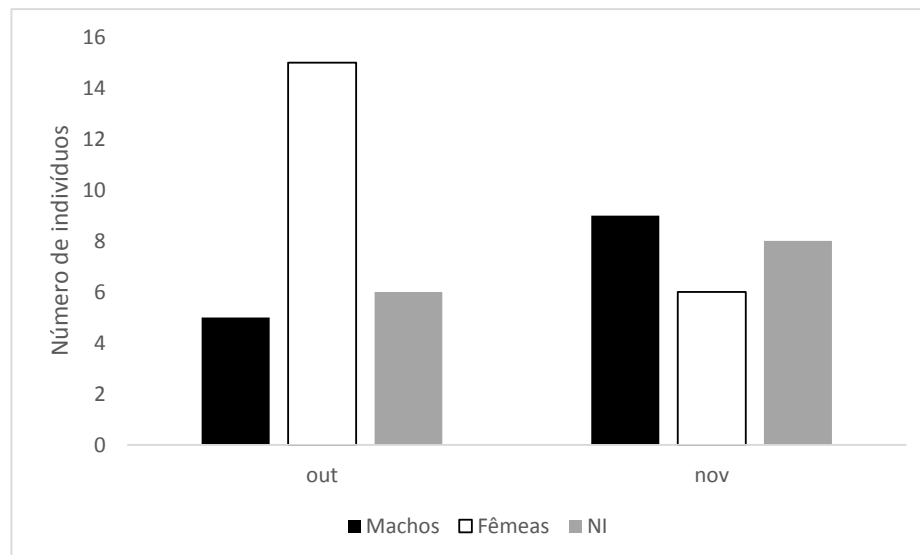
Migradores precoces tiveram o comprimento padrão significativamente maior (Teste T, $p=0,0003$) do que os migradores tardios (FIGURA 13). Em relação ao sexo dos peixes migradores, temos a prevalência de fêmeas como migradoras precoces, enquanto mais machos são migradores tardios, apesar de não haver diferença significativa nessas proporções (Chi-quadrado, $x^2=5,12$; $p=0,08$). Ao que tudo indica, há algum grau de separação entre os períodos migratórios de machos e fêmeas, apesar de fêmeas migrarem, identicamente, em novembro e machos em outubro e termos, nos dois períodos, uma proporção alta de peixes que não puderam ter o seu sexo identificado (FIGURA 14).

Figura 13 - Comparação entre as médias de comprimento padrão entre os migradores precoces e os migradores tardios nos dois anos estudados (barras indicam o desvio padrão).



Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 14 - Distribuição de sexos nas duas janelas migratórias.

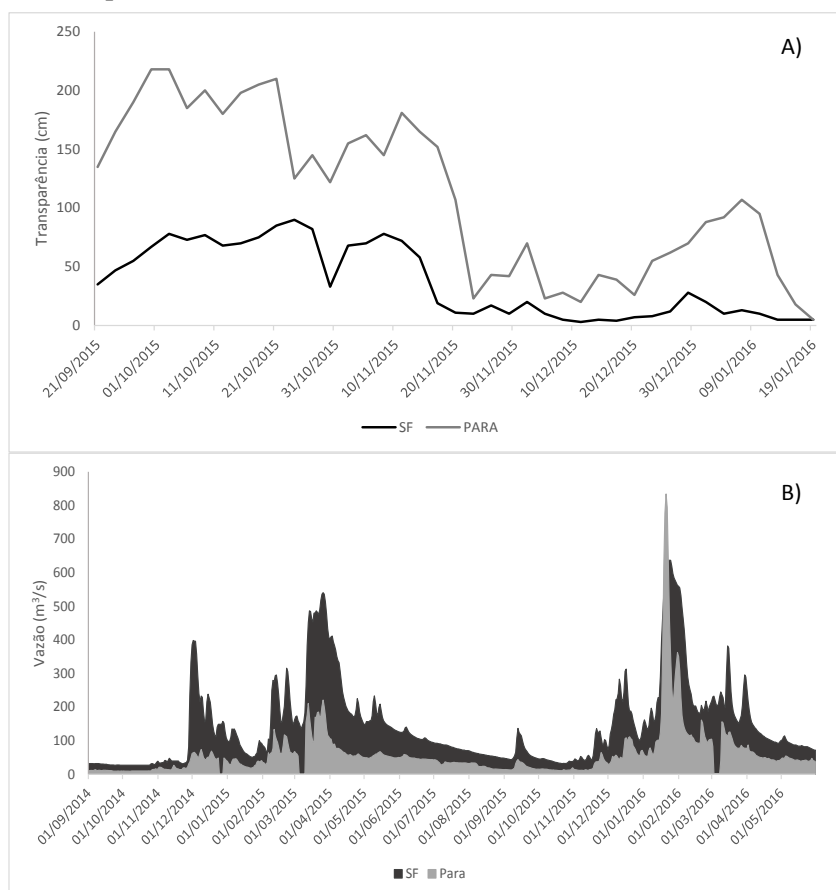


Fonte: Dados do autor (2016)

3.6 A influência de fatores climatológicos e hidrológicos na migração

O rio São Francisco apresentou transparência da água menor e vazões maiores do que o rio Pará. A turbidez dos dois rios se acentua, no período chuvoso, a partir de novembro e o rio São Francisco permanece mais turvo neste período (FIGURA 15). É provável que, ao menos parte desta maior turbidez, deva-se ao fato do rio São Francisco não possuir barragens neste trecho, enquanto o rio Pará possui várias barragens em sua calha principal e tributários.

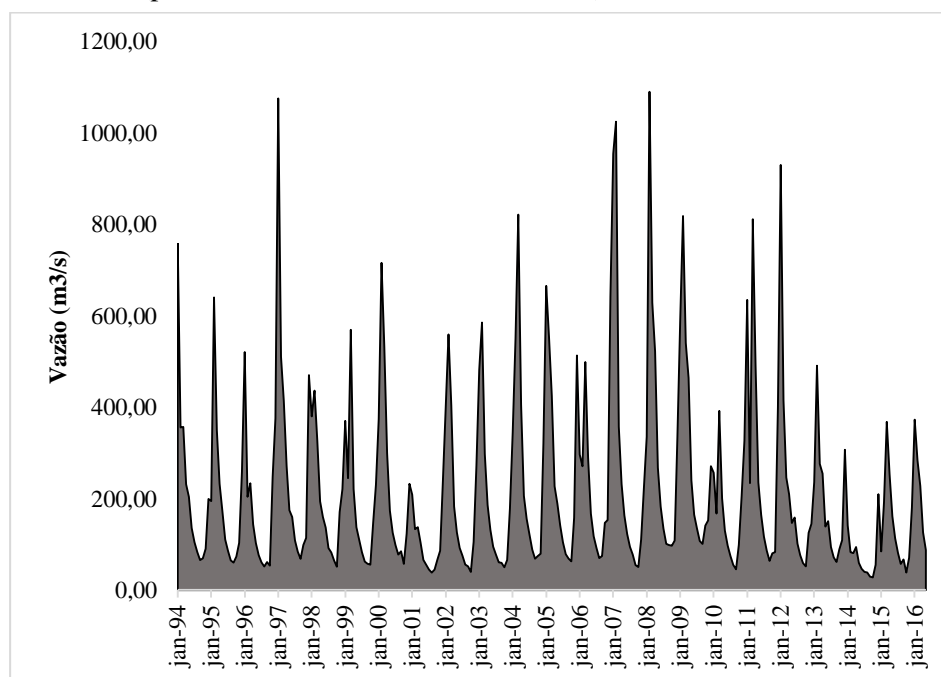
Figura 15 - Transparência (A) e vazão (B) dos rios São Francisco e Pará durante o período estudado.



Fonte: Dados do autor (2016)

Existe um padrão sazonal de vazões no rio São Francisco bastante marcado dentro de cada ano, com picos de vazão nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e baixas vazões em junho, julho, agosto e setembro, que, em geral, é o mês nas quais as vazões são menores (FIGURA 16). Este padrão se repetiu, em todos os anos, nos últimos vinte anos, mas em alguns é possível se observar picos de vazão maiores, como em dezembro de 1997, março de 2007 e fevereiro de 2008. Outros anos apresentam picos menores como 2001, 2014, 2015 e 2016. Há, ainda, anos que apresentam dois picos, em um mesmo período chuvoso, como 1998, 1999, 2006 e 2011. Isto mostra que, apesar de existir um padrão sazonal marcado na vazão do rio São Francisco na região, também, existe grande variação interanual nos padrões de vazão observados.

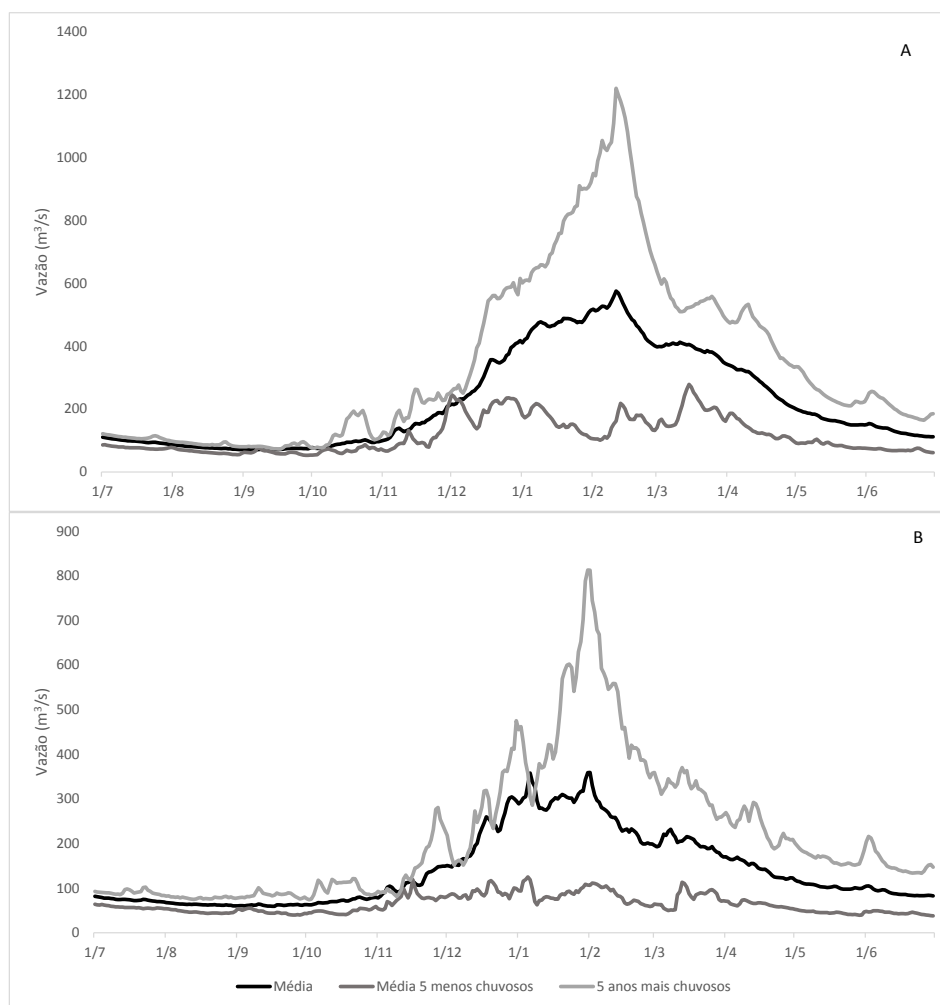
Figura 16 - Vazão no rio São Francisco, medida no ponto Porto das Andorinhas (próximo à confluência com o rio Pará), nos últimos 20 anos.



Fonte: Dados do autor (2016)

Observamos padrão sazonal similar de vazão, nos rios Pará e São Francisco, com um aumento gradual que atinge o seu pico, nos meses de janeiro e fevereiro, decrescendo até o mês de setembro (FIGURA 17). No entanto é interessante observar a diferença dos padrões observados, nos anos mais chuvosos, em relação aos anos menos chuvosos. Enquanto nos anos mais chuvosos podemos ter mais do que o dobro da média de vazão, observada nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, nos anos menos chuvosos, os picos de vazão nestes meses são praticamente inexistentes. O Nível de Água (NA) do rio São Francisco apresenta padrão similar aos de vazão (FIGURA 18). Percebe-se um aumento gradativo, a partir de outubro, com picos em janeiro e fevereiro. Ao se calcular o número de dias em que o NA está em seu pico, em cada mês do ano (considerando como pico os valores 20% mais altos da série histórica de 45 anos), percebe-se que, em média, o NA está em seus maiores valores em 1,3% dos dias de outubro, 8,3% dos dias em novembro, 36,5% dos dias em dezembro, 60,6% dos dias em janeiro, 58,4% dos dias em fevereiro, 50% dos dias em março, 24,8% dos dias em abril e 2,6% dos dias em maio.

Figura 17 - Médias de vazões diárias dos últimos 45 anos nos rios São Francisco (A) e Pará (B). Também são apresentadas as médias dos cinco anos com maior e menor vazão nesses 45 anos.

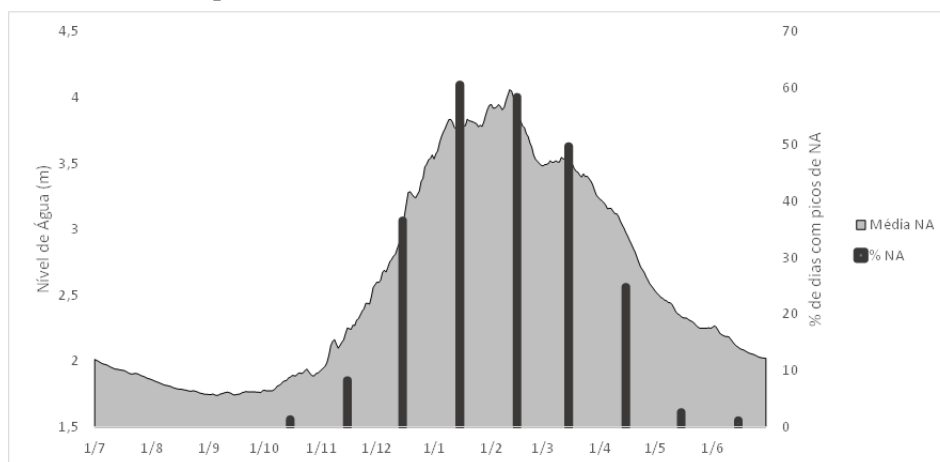


Fonte: Dados do autor (2016)

O período 2015-16 parece apresentar um perfil de vazão mais típico, para a época de chuvas na região, com um aumento crescente da precipitação de novembro a janeiro e picos de vazão ocorrendo em janeiro e fevereiro. Já, em 2014-15, é possível observar um pico de vazões em novembro, meses de

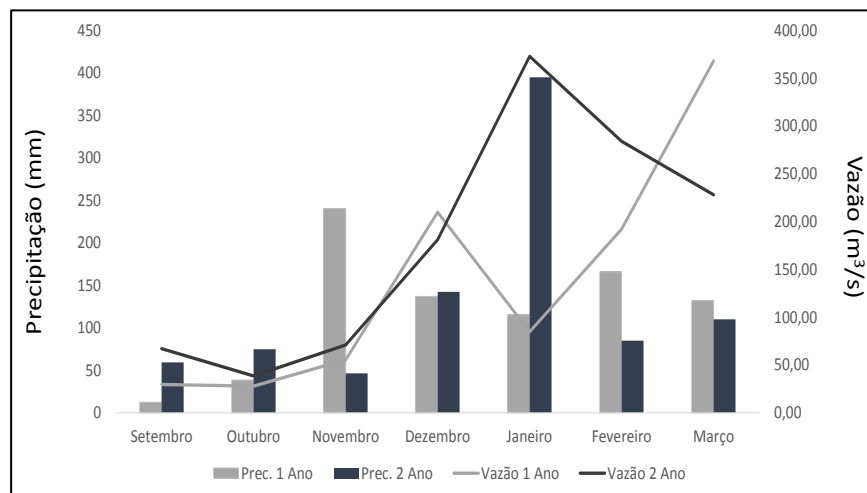
dezembro e janeiro, atipicamente secos e um outro pico de vazão em março (FIGURA 19). Este padrão pode, também, ser visualizado em mapas de precipitação, para o estado de Minas Gerais, apresentados na Figura 20. Em novembro de 2014, as precipitações foram maiores do que a média histórica, mas, nos meses de dezembro e janeiro de 2015, foram muito inferiores. Na segunda temporada de marcação, os meses de novembro e dezembro não se desviaram muito da média histórica, mas janeiro teve precipitações muito superiores.

Figura 18 - Média do nível de água no rio São Francisco e percentagem de dias com picos de NA em cada mês nos últimos 45 anos.



Fonte: Dados do autor (2016)

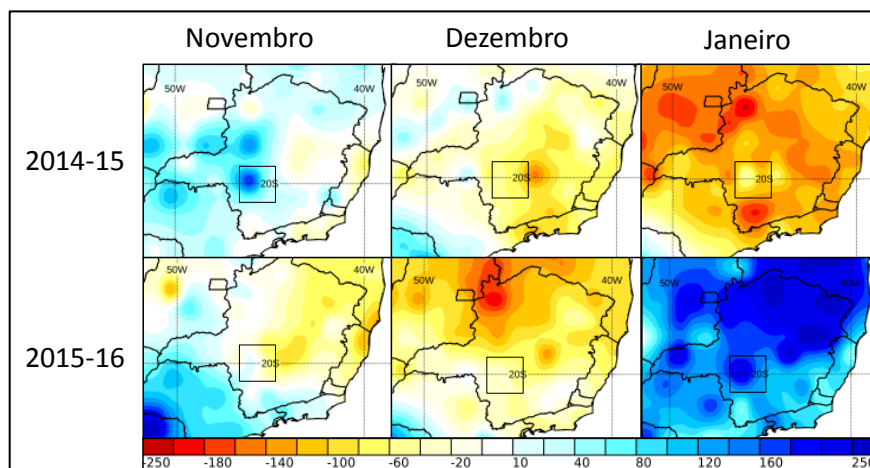
Figura 19 - Precipitação total mensal e média de vazão mensal do rio São Francisco nos dois anos de estudo.



Nota: Os dados de vazão foram retirados do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para uma estação localizada na cidade de Pompéu, MG. Os dados de vazão foram cedidos pela Cemig.

Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 20 - Mapas de desvios de precipitação acumulada dos meses de novembro a janeiro nos dois períodos de estudo.

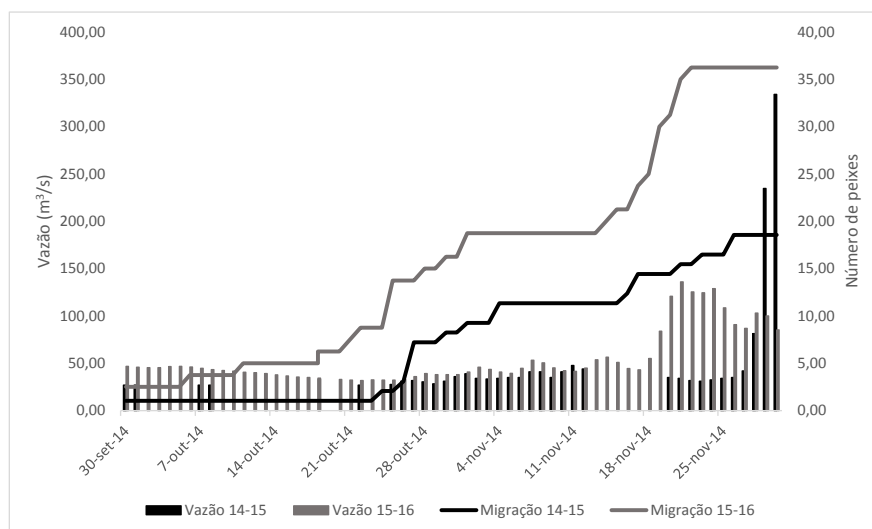


Nota: As cores representam desvios da média histórica de precipitação na região. A área de estudo aproximada está destacada em todos os mapas.

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (2016)

Conforme apresentado anteriormente, o período migratório pode ser dividido em 4 fases nos dois anos. Na primeira fase, que se inicia ao final de setembro, poucos peixes empreendem a subida até o início da primeira janela de alto fluxo de subida em outubro (segunda fase). Neste período temos intensa atividade de passagem de peixes pela estação SFJ. Ao final desta fase, subiram o São Francisco os migradores precoces. A terceira fase se caracteriza por uma inatividade, na passagem de peixes nos dois anos, até o início da segunda janela de alto fluxo de passagem de peixes em meados de novembro (quarta fase). Ao final desta fase, deslocaram-se para montante os migradores tardios. Quando comparamos as fases de subida de peixes, nos dois anos estudados, com as vazões observadas em cada fase, é possível perceber que, no segundo ano nas fases 1 e 4, temos vazões superiores ao primeiro ano (FIGURA 21). Isto é particularmente claro para a última fase de subida de peixes, em 2015, que coincide com um pequeno pico de vazões observado neste ano. O maior volume do rio coincide com maiores taxas de passagem de peixes, conforme calculado na Figura 7, o que parece indicar uma relação entre a vazão do rio e o número de migrantes ao longo da janela migratória.

Figura 21 - Migração ascendente e vazões do rio São Francisco nos dois anos estudados.



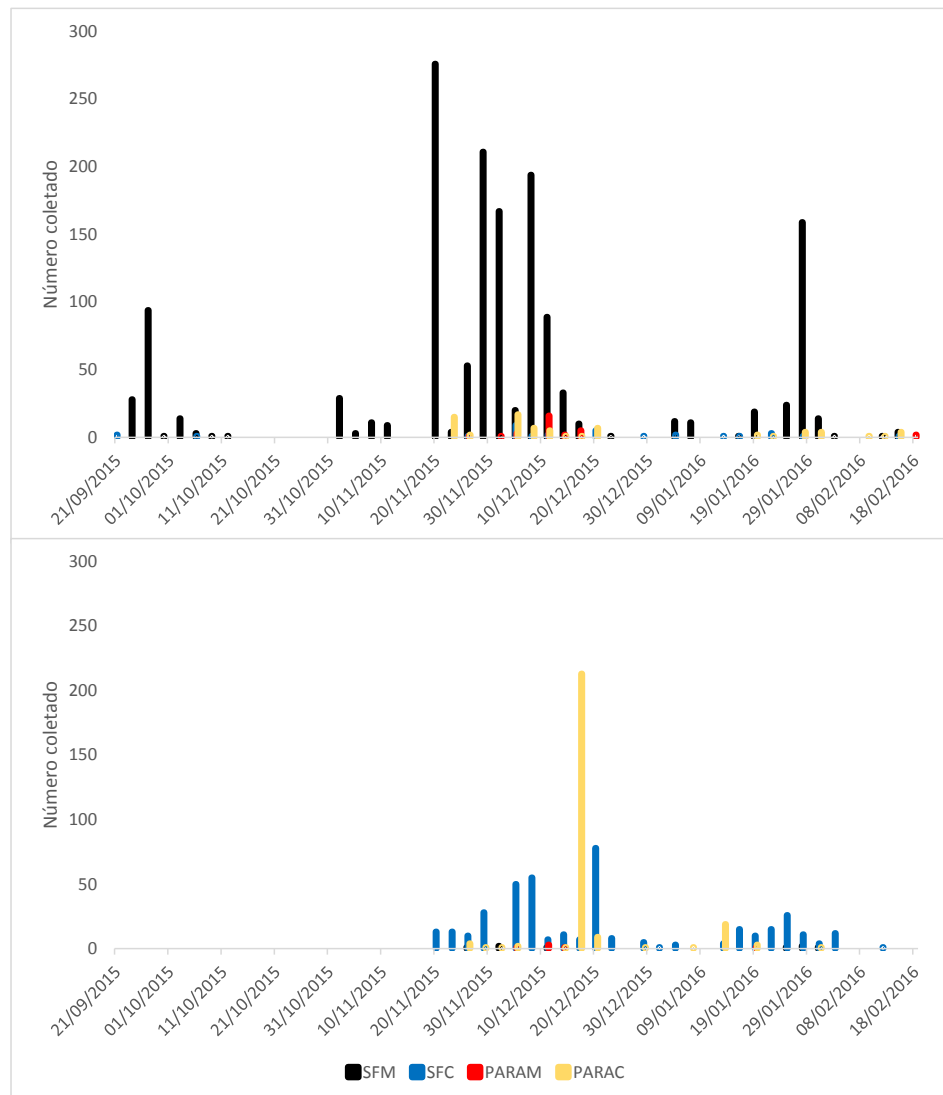
Fonte: Dados do autor (2016)

3.7 Desova

O maior número de ovos de peixes reofílicos (ovos flutuantes com grande espaço perivitelínico) foi coletado, no ponto São Francisco Montante, localizado próximo à confluência com o rio Samburá. O número de ovos coletados neste ponto foi bastante superior ao coletado nos outros três pontos amostrados. Três picos de ovos podem ser observados neste ponto. O primeiro pico ocorreu, ao final de setembro, o segundo e maior deles aparece de meados de novembro a meados de dezembro e o último foi observado ao final de janeiro. No caso das larvas, o padrão espacial de abundância é diferente, com maiores coletas nos pontos do São Francisco e Pará próximos à sua confluência. Temporalmente, as larvas foram mais observadas do final de novembro ao final de dezembro de 2015, apesar de terem sido coletadas larvas até o início de fevereiro de 2016. Estes padrões parecem indicar que os pontos superiores da bacia do rio São Francisco constituem uma área importante, para a desova para

peixes da região e que os ovos derivam pelo rio e ao menos parte deles alcança os trechos inferiores da bacia, já como larvas (FIGURA 22).

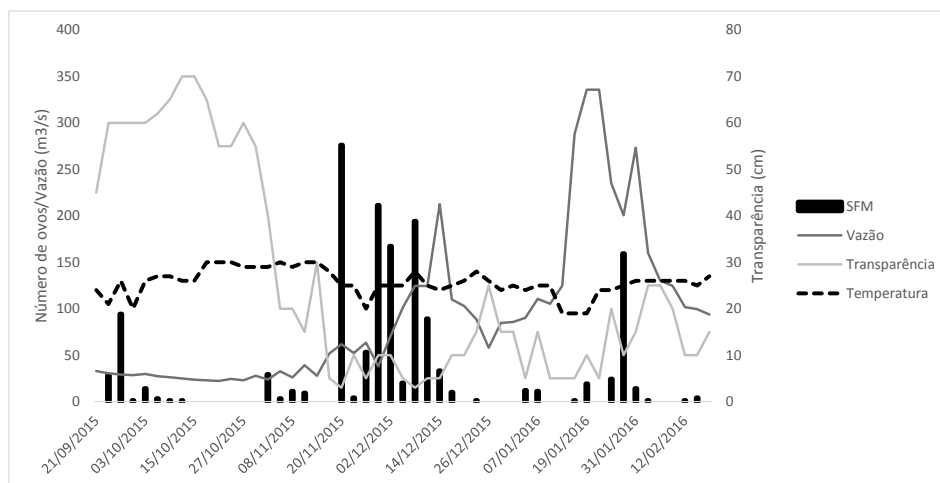
Figura 22 - Abundância de ovos (acima) e larvas (abaixo) nos rios São Francisco (SFM – São Francisco Montante e SFC – São Francisco Confluência) e Pará (PARAM – Pará Montante e PARAC – Pará Confluência) no segundo ano de estudo (2015-16).



Fonte: Dados do autor (2016)

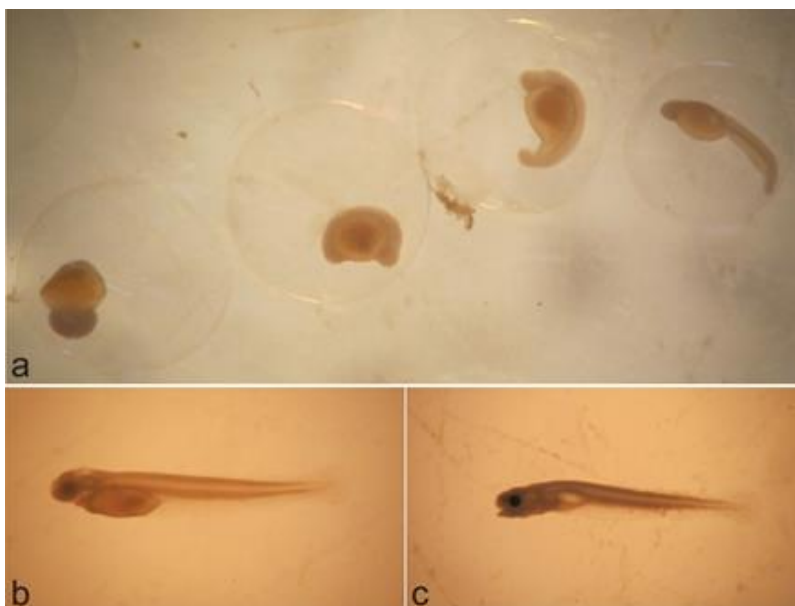
Dos três picos de desova observados no ponto Alto São Francisco o maior ocorreu entre meados de novembro e meados de dezembro. Este pico tem o seu início, logo após a diminuição da transparência da água na região, o que indica a intensificação das chuvas e se estende até a ocorrência do primeiro pico de vazão (FIGURA 23). Apesar de não ser possível a identificação de ovos de cada espécie de maneira precisa, ovos com características mais próximas de ovos de Characiformes foram coletados, ao final deste pico de desova, em meados de dezembro (FIGURA 23). Em relação a larvas, o maior pico se estende do início de dezembro à segunda quinzena de janeiro. Dezenove larvas foram identificadas, positivamente, como sendo do gênero *Prochilodus* (FIGURA 24). Destas larvas, 4 foram capturadas no ponto PARAC, 1 no ponto PARAM e 14 no ponto SFC. Todas estas larvas foram capturadas entre o final de dezembro e final de janeiro nestes pontos.

Figura 23 - Número de ovos coletados no ponto Alto São Francisco e características ambientais ao longo do período reprodutivo do ano de 2015.



Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 24 - Estágios de desenvolvimento de ovos (a - Da esquerda para direita: Clivagem inicial, embrião inicial, cauda livre e embrião final) e larvas (b - larval vitelino; c - pré-flexão) de Curimba.

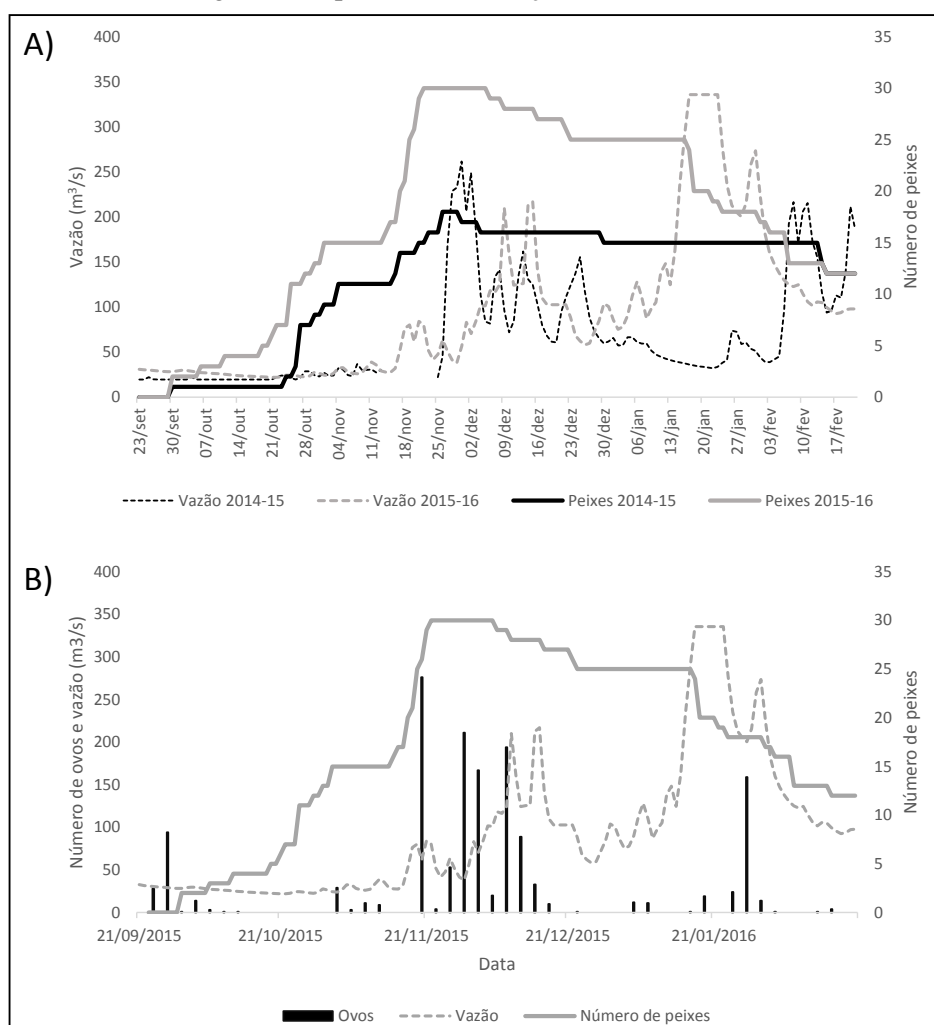


Fonte: Dados do autor (2016)

O início da descida de peixes ocorreu, após o início da ocorrência de picos de vazão, nos dois anos de estudo (FIGURA 25 A). Em 2014, o pico de vazão ocorre, a partir do dia 28 de novembro e o primeiro peixe a empreender a migração para jusante o faz no dia 30 de novembro. Já, em 2015, os picos de vazão se iniciam por volta do dia 4 de dezembro e, no dia 6 de dezembro, o primeiro peixe migra para jusante nesta temporada. Supostamente, a desova dos peixes que migraram em direção às cabeceiras do rio São Francisco começa a partir da ocorrência do primeiro pico de vazões na região. O gráfico, também, mostra a intensificação dos movimentos migratórios para jusante, nos dois anos, após picos de vazão ocorridos em janeiro (2016) e fevereiro (2015), o que parece indicar que existe mais de um pico de desova durante a estação reprodutiva. Na segunda temporada, isto pôde ser observado, com a ocorrência de um segundo

pico de desova, ao final de janeiro, coincidindo com o segundo período com picos de vazão neste ano (FIGURA 25 B).

Figura 25 - A) Vazão do rio São Francisco em Iguatama-Alto São Francisco (linhas pontilhadas) e subida e descida de peixes nos dois anos de estudo (linhas grossas). B) Dados de subida e descida de peixes (linha grossa), vazão (linha pontilhada) e ovos coletados (colunas) na segunda temporada de marcação.



Fonte: Dados do autor (2016)

A Tabela 4 apresenta as datas nas quais foram observados os primeiros picos de vazão, nos últimos 22 anos no ponto de medição, localizado na cidade de Iguatama, no alto São Francisco. Este ponto fica a cerca de 75 km a jusante dos pontos de desova identificados para a espécie no alto São Francisco. Consideramos como picos de vazão, vazões acima de 150m³/s. Em dois dos anos medidos, os primeiros picos ocorreram, em outubro, em outros dois ocorreram, na primeira quinzena de novembro, em seis ocorreram, na segunda quinzena de novembro e em onze ocorreram em dezembro. No ano de 2012, não foram observados picos de vazão nesses meses do ano. Estes dados indicam que a probabilidade de ocorrência de picos de vazão, na região do Alto São Francisco, aumenta muito a partir da primeira quinzena de dezembro.

Tabela 4 - Datas dos primeiros picos de vazão observados nas áreas superiores da bacia hidrográfica do rio São Francisco e mapeamento da existência de picos de vazão nos últimos três meses do ano nos últimos vinte e dois anos.

Ano	Data do primeiro pico de vazão	Outubro		Novembro		Dezembro	
		1a Quinzena	2a Quinzena	1a Quinzena	2a Quinzena	1a Quinzena	2a Quinzena
1994	24/12						x
1995	14/12					x	x
1996	18/11				x	x	x
1997	22/10		x			x	x
1998	5/11			x			x
1999	15/12					x	
2000	21/11				x		x
2001	18/12						x
2002	14/12					x	x
2003	10/12					x	
2004	11/12					x	x
2005	27/11				x	x	x
2006	8/10	x	x			x	x
2007	8/11			x			x
2008	15/12					x	x
2009	6/12					x	x
2010	17/11				x	x	x
2011	4/12					x	x
2012	-						
2013	24/11				x	x	
2014	27/11				x	x	x
2015	9/12					x	
Soma		1	2	2	6	16	17
%		5%	9%	9%	27%	73%	77%
Soma Mensal		2		8		21	
% Mensal		9%		36%		95%	

Fonte: Dados do autor (2016)

4 DISCUSSÃO

4.1 Estratégia migratória, desova e recrutamento de *P. costatus* no alto São Francisco: A janela migratória

Os peixes marcados neste estudo apresentaram uma dinâmica migratória similar e coerente nos dois anos de estudo. As migrações ascendentes ocorreram do final de setembro ao final de novembro, nos dois anos, com períodos nos quais ocorre um alto fluxo de passagem de peixes e outros nos quais, praticamente, não há passagem de peixes para montante. A partir do final de novembro, não foram observadas mais passagens ascendentes de peixes marcados pelas estações de telemetria instaladas, no rio São Francisco, tanto em 2014 quanto em 2015. Diversos estudos já investigaram a dinâmica migratória de peixes neotropicais e levantaram informações sobre o período migratório destas espécies, apontando o fato de que espécies do gênero *Prochilodus* seriam migradores precoces, deslocando-se no início da temporada reprodutiva com o início das primeiras chuvas (AGOSTINHO et al., 2003, 2007; ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003; DIAZ-SARMIENTO; ALVAREZ-LEON, 2003; GODOY, 1967; RESENDE, 2003; RESENDE et al., 1995). Não havia, contudo, na literatura, dados que indicassem que a janela migratória destes peixes pudesse ser tão limitada e regular ao longo dos anos. Apesar de termos até o momento apenas dois anos de marcação, a regularidade da janela migratória ascendente de *P. costatus* indica uma alta capacidade da espécie em identificar estímulos ambientais externos para iniciar e finalizar o seu período migratório.

Peixes migradores, geralmente, iniciam sua migração reprodutiva em períodos regulares e previsíveis ao longo dos anos (HODGSON; QUINN, 2002). Este grupo consegue fazer isto por meio do uso de parâmetros ambientais como pistas que sinalizam momentos favoráveis para o deslocamento e reprodução. O uso destas pistas é, particularmente importante, para espécies que possuem alta

fecundidade e baixo cuidado parental, posto que boa parte do seu sucesso reprodutivo virá da realização da reprodução, em períodos em que as condições ambientais estão adequadas, para o recrutamento de sua prole (FORSYTHE et al., 2012). Diversos estímulos como fotoperíodo, precipitação, temperatura da água, vazões, turbidez, condutividade, entre outros, já foram descritos na literatura (AGOSTINHO et al., 2003; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; GODOY, 1975; PETRERE JUNIOR, 1985; ZHDANOVA; REEBS, 2006;). No caso de *P. costatus*, na região de estudo, acreditamos que diversos destes estímulos devem atuar de maneira simultânea e sinérgica como gatilhos para o processo migratório. O fotoperíodo, certamente, é o estímulo mais constante ao longo dos anos. Na região, os dias começam a se tornar mais longos do que as noites, no dia 15 de setembro (próximo ao início da primavera), o que deve ser um sinalizador importante para os peixes migradores de que o período do verão, quando chuvas mais frequentes e temperaturas maiores se aproximam. Indivíduos de espécies migradoras devem, necessariamente, ter uma alta capacidade de avaliar as estações do ano de forma a aproveitar as janelas de oportunidade que se abrem com cada uma delas e o fotoperíodo, certamente, é uma das maneiras mais eficazes de avaliar estas janelas. Peixes possuem um número, relativamente, alto de genes que regulam o seu ciclo circadiano, responsáveis por mudanças em seu comportamento ao longo do ano (ZHDANOVA; REEBS, 2006). O hormônio melatonina, por exemplo, é produzido apenas durante a noite e tem sido apontado como um importante regulador de atividades reprodutivas e locomotoras em peixes. Com o aumento das horas de iluminação solar, a sua produção decresce, o que gera mudanças nos padrões de atividade do indivíduo (ZHDANOVA; REEBS, 2006). O fotoperíodo tem sido apontado, também, como responsável por regular outros grupos de hormônios reprodutivos, em peixes migradores, muitos deles ligados ao comportamento migratório e maturação de gametas (CROSSIN et al., 2009;

HINCH et al., 2006; PATTERSON et al., 2004; RAMENOSFSKY; WINGFIELD, 2007).

Outros estímulos ambientais, certamente, influenciam o processo migratório de *P. costatus*. O aumento da temperatura da água, observado a partir de setembro na região, acelera o metabolismo desses animais, tornando-os mais ativos e fisiologicamente mais aptos a utilizar a sua musculatura em natação de longa distância. O início das chuvas parece ser um gatilho importante, para o início do processo migratório, bem como o aumento da vazão, turbidez e condutividade causadas pelo aumento das chuvas, a partir de outubro. É importante notar que estes estímulos devem atuar em conjunto de forma a indicar ao peixe não só a época adequada, para realizar a migração reprodutiva, mas também dar ao indivíduo algum grau de previsibilidade acerca da estação chuvosa que se aproxima. Enquanto fotoperíodo e temperatura da água devem ser estímulos ambientais que desencadeiam respostas fisiológicas específicas que basicamente informam ao peixe quando migrar, precipitação, turbidez, condutividade, vazão e nível de água do rio, também, produzem informações preditoras de como deve ser a estação de chuvas, neste caso, dando pistas se ocorrerá um ano favorável ou desfavorável do ponto de vista hidrológico. As populações de *P. costatus* na região, certamente, apresentam mecanismos complexos para responder às mudanças, observadas no ambiente, durante todo o ano e ajustam a sua fisiologia e seu comportamento a estas informações. Estes peixes evoluíram de maneira a aumentar as suas probabilidades de sobrevivência e da passagem de seus genes para a próxima geração, ao conseguirem responder adequadamente às pistas ambientais, que sinalizam janelas propícias para a sua migração, reprodução e recrutamento de juvenis (DINGLE; DRAKE, 2007).

4.1.1 Para onde migrar?

A grande maioria dos peixes, marcados neste estudo, migrou para o rio São Francisco, mesmo os peixes marcados no rio Pará. Os dados de coleta de ovos e larvas, também, indicam que o rio São Francisco possui concentrações de ictioplâncton bem superiores às encontradas no Pará, indicando que não só há uma rota preferencial de migração pelo São Francisco, mas que este rio é mais importante como sítio de reprodução. É provável que as causas para esta migração e consequente desova preferencial pelo rio São Francisco e seus tributários tenham raízes em duas características da região, uma geográfica e outra histórica, ambas interligadas. Do ponto de vista geográfico, o rio São Francisco é mais extenso, apresenta menor declividade e possui maiores vazões do que o rio Pará. Estas características, provavelmente, apresentam maior atratividade para espécies migradoras, pois aumentam o número de tributários que podem ser utilizados para desova, diminuem o número de obstáculos naturais na extensão do rio e possibilitam um maior número de áreas alagáveis para o recrutamento de alevinos dos peixes que se reproduzem nas áreas altas da bacia. Sato, Cardoso e Amorim (1988) mapearam 81 lagoas no rio São Francisco entre as cidades de Iguatama e Pompéu, trecho utilizado pelos peixes, marcados neste estudo, como rota de migração. Os autores, também, encontraram nestas lagoas alevinos de diversas espécies reofílicas, incluindo *P. costatus*, visto que esta espécie foi uma das mais comuns nesses ambientes. A presença destas áreas alagáveis faz com que o rio São Francisco seja mais produtivo do que o Pará, apesar deste rio, também, possuir áreas alagáveis e, desta forma, suporte um maior número de peixes migradores se reproduzindo em suas cabeceiras. Caso haja algum fator relacionado ao homming ou algum grau de fidelidade de retorno a sítios reprodutivos, seria esperado que um maior número de peixes utilizasse o rio São Francisco, como consequência de sua maior produtividade. Esta questão deverá ser investigada em estudos futuros.

Do ponto de vista histórico, temos o fato de existir um número maior de barragens no rio Pará. Segundo a ANEEL, o rio Pará possui, atualmente, 4 barragens em seu leito principal e outras 7 em tributários, somando cerca de 39MWh de produção hidrelétrica. Estas barragens estão localizadas em todos os trechos do rio (baixo, médio e alto). Já o rio São Francisco, acima do reservatório de Três Marias, possui apenas uma barragem, no rio Samburá, de apenas 1 MWh. Em relação às barragens do rio Pará, existe uma barragem de acumulação de água em sua calha a cerca de 100 km à montante de sua confluência com o rio São Francisco. Apesar de ser uma barragem de apenas 3 metros, ela impede a passagem de peixes em períodos de baixa precipitação e vazão. Nos anos de estudo, este parece ter sido o caso, a não ser por um pico de vazão observado em janeiro de 2016 no rio Pará. Ainda assim, não foram encontrados peixes marcados acima dessa barragem durante toda a duração deste estudo. O rio Pará, ainda, possui outras duas grandes barragens em sua calha, as barragens de Gafanhoto (170 km da confluência) e Cajuru (200 km da confluência), ambas destinadas à geração de energia e intransponíveis para peixes migradores. Ainda são encontradas barragens, em vários dos tributários do rio Pará, como os rios Itapecerica, São João e Lambari. Estas barragens já estão instaladas a tempo considerável no curso do rio Pará e alteraram as suas características hidrológicas e de qualidade de água por todos estes anos. Estas alterações podem ter consequências deletérias sobre a capacidade das populações de *P. costatus* existentes na região de responder a estímulos ambientais para a migração e, desta forma, podem ter reduzido o número de peixes que empreendem migração para o rio Pará. Sato e Godinho (2003) comenta que este rio que já foi considerado uma importante região pesqueira, na bacia do São Francisco, apresentou reduções significativas em suas capturas de peixes migradores como consequência de impactos antrópicos. O impacto mais claro é a interrupção de rotas, previamente, utilizadas pelas espécies migradoras

entre seus pontos de alimentação, reprodução e recrutamento (AGOSTINHO et al., 2003). Porém as alterações do regime hidrológico causadas pela instalação de barragens, também, podem ser consideradas impactos significativos, ao regularem pistas hidrológicas e de qualidade de água necessárias, para a migração e desova de espécies reofílicas (AGOSTINHO; THOMAZ; GOMES, 2004b; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; HUMPHRIES; LAKES, 2000; LUZ-AGOSTINHO et al., 2009). No caso do rio Pará, as barragens alteram os picos de vazão a jusante e parâmetros de qualidade de água como a turbidez. Os resultados apresentados aqui sugerem que barragens instaladas em bacias hidrográficas podem não só reduzir a área livre disponível, para o deslocamento dos peixes, mas podem, também, desestimular o processo migratório de populações localizadas em pontos distantes da bacia, ao suprimirem estímulos ambientais, utilizados como gatilhos pelas espécies migradoras. Fenômeno parecido já foi descrito, para o trecho de jusante da UHE Três Marias, no próprio rio São Francisco. Nesta região, os peixes são mais susceptíveis aos estímulos ambientais provenientes do rio Abaeté, um tributário não barrado, do que aos estímulos ambientais do próprio rio São Francisco a jusante da barragem (ANDRADE-NETO, 2008; CASARIM, 2014; GODINHO; KYNARD, 2006). O rio Abaeté provê picos de vazão, águas mais túrbidas e de maior temperatura, o que parece atrair os peixes durante o período reprodutivo. A distância entre o rio Abaeté e a barragem de Três Marias é de apenas 34 km. No caso das barragens localizadas no rio Pará, este efeito parece se estender por um trecho maior de rio, cerca de 150km.

Apesar de termos observado maiores densidades de ovos e larvas, no rio São Francisco, é importante ressaltar que a espécie, também, parece utilizar tributários e a calha do rio Pará para desovar. Rosa (2015) observou picos de desova de *Prochilodus*, em tributários da região inferior do rio Pará, em especial, no rio Picão, durante o mês de dezembro. É possível que, em anos com

maiores volumes de precipitação, estes tributários e, mesmo a calha do rio Pará, sejam mais utilizados para a desova da espécie. Neste estudo, também, observamos a presença de larvas de *Prochilodus*, no trecho inferior do rio Pará, apesar de em quantidades inferiores às observadas no rio São Francisco.

4.1.2 Quando migrar? O dilema do migrador.

A Figura 26 esquematiza os eventos mais importantes, ao longo do ano, na história de vida da população estudada. Percebemos que cada evento é delimitado por uma janela de tempo definida e regular, ao longo dos dois anos estudados. Para alguns destes eventos, como as migrações ascendentes e descendentes, temos dados mais confiáveis, tomados ao longo dos últimos dois anos. Outros eventos, como a desova, foram medidos em apenas um ano de estudo e outros são apenas inferidos tendo como base os aspectos ambientais e biológicos já observados e a literatura disponível, como o recrutamento de alevinos da espécie, na área alagável do rio São Francisco entre as cidades de Iguatama e Pompéu (SATO; CARDOSO; AMORIM, 1988). A regularidade dos eventos do ciclo migratório de *P. costatus* é guiada pelas probabilidades de que determinado fenômeno ambiental ocorra no futuro (FIGURA 26). Desta forma, a migração ascendente ocorreu do final de setembro ao final de novembro. Este não é o período no qual a vazão do rio São Francisco e seu nível de água estão no seu máximo. Se observarmos no gráfico, neste período, estes parâmetros ainda estão aumentando na região, atingindo o seu pico apenas em janeiro e fevereiro, ao menos 30 dias após o final da migração ascendente. O que os peixes fazem, ao migrar precocemente, é apostar que estes parâmetros, que são essenciais para o recrutamento de alevinos e, conseqüentemente, para o seu sucesso reprodutivo, chegarão ao pico algum tempo depois de sua migração reprodutiva. Estes peixes utilizam uma janela migratória na qual a temperatura da água já está alta o bastante (acima de 23°C na área de estudo) e o fotoperíodo

já tem preponderância de luz solar, permitindo as condições fisiológicas, para que realizem longas migrações (VAZZOLER, 1996) nas quais a vazão do rio São Francisco, ainda, não está tão alta que demande grandes esforços musculares, para se alcançar os pontos de reprodução. É possível que, se os peixes realizassem as suas migrações ascendentes, no período de picos de vazão, a velocidade da água seria muito mais alta do que no período em que realmente as realizam, demandando gastos energéticos também altos para se alcançar os pontos de desova (HINCH et al., 2006; RAND; HINCH, 1998). Pelos vistos, as populações de *P. costatus* estudadas buscam otimizar o seu consumo energético, durante a migração ascendente, ao custo de não saberem exatamente como será o período hidrológico daquele determinado ano, possuindo apenas pistas ambientais que revelam o seu potencial.

O peixe migrador está sob a pressão de duas forças ecológicas importantes ao escolher o período adequado à migração. A primeira é a necessidade de estocar energia suficiente para empreender a migração em determinado ano. Quanto mais tarde for a migração do indivíduo naquele ano, mais tempo ele terá para permanecer no sítio de alimentação e aumentar seu estoque energético, diminuindo, assim, os riscos de esgotamento físico durante o seu deslocamento para montante. Contudo existem outras forças atuando conjuntamente a esta, como o risco de se chegar atrasado ao início da desova e o aumento da vazão dos rios. Caso o peixe migre durante altas vazões, o estoque energético extra não compensará o maior gasto energético da subida. O atraso, também, pode acarretar a dessincronização da sua desova com os demais indivíduos da população. Quanto mais tempo o peixe aguardar no sítio de alimentação, maiores as chances de que picos de vazão ocorram na região e que o processo de desova do grupo que migrou para as cabeceiras se inicie. Os custos de se atrasar para a desova são grandes, pois um indivíduo que alcance os sítios de reprodução, ao final do período de desova, certamente, terá impacto em

seu fitness, ao produzir um número de embriões inferior ao que que poderia produzir, se estivesse neste ponto no início do período reprodutivo. O indivíduo, desta forma, encontra-se em um dilema entre otimizar o seu estoque energético e evitar se atrasar para o início da desova. Janelas migratórias curtas e regulares são descritas para várias espécies migradoras. O timing migratório é considerado como um traço evolutivo chave para populações que dependem de fatores ambientais externos e regulares, como no caso de *P. costatus*, utilizando janelas estreitas de oportunidade, quando as condições observadas nos sítios de reprodução são ótimas para a sobrevivência da prole (CROSSIN et al., 2009).

O maior pico de desova na região ocorreu do final de novembro a meados de dezembro, no alto São Francisco, que é o ponto em que quase a totalidade dos ovos foram coletados neste estudo. Ovos com características compatíveis com ovos de curimba foram coletados, em meados de dezembro neste ponto, enquanto larvas de curimba foram coletadas do final de dezembro ao final de janeiro próximo à confluência dos rios Pará e São Francisco. Em dezembro, temos um grande incremento nas médias de precipitação da região e os níveis de água e vazão dos rios, também, aumentam consideravelmente. A chance de termos picos de nível de água pula de 8% dos dias em novembro, para 35% dos dias em dezembro (FIGURA 18), mas esta probabilidade não é uniformemente distribuída, ao longo do mês, visto que à medida que os dias de dezembro passam, as chances de maiores precipitações e aumento de vazão do rio, também, aumentam. Outro fator importante é a presença de picos de vazão, na região alta da bacia do rio São Francisco, principalmente, a partir da primeira quinzena de dezembro. Isto parece indicar que os peixes utilizam uma janela migratória na qual as chances da ocorrência de picos de vazão, ainda, não são grandes, ou seja, a chance de chegarem “atrasados” aos pontos de reprodução é baixa. Novamente a espécie utiliza as probabilidades em seu favor, escolhendo janelas de deslocamento ascendente que minimizem as chances dos seus

indivíduos não estarem posicionados nos pontos adequados para a desova antes do início do aparecimento de picos de vazão na região.

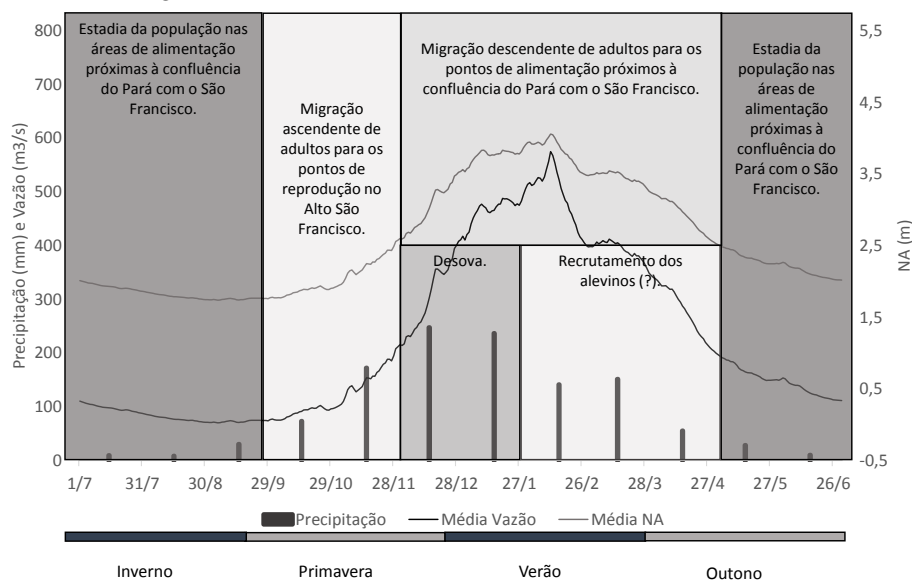
4.1.3 Quando desovar? O dilema do reprodutor

Acreditamos que a desova de curimba deva ocorrer, após o aparecimento dos picos de vazão, na região do alto São Francisco, porque os primeiros peixes a empreender a migração descendente só o fazem após estes eventos nos meses de dezembro e janeiro. Padrões de desova similares já foram observados, para espécies do gênero *Prochilodus*, na bacia do São Francisco e em outras bacias hidrográficas (ARANTES et al., 2011; GODINHO; KYNARD, 2006; GODOY, 1959; MARINKE et al., 2010; MOCHEK; PAVLOV, 1998; PETRERE JUNIOR, 1985; REYNALTE-TATAJE et al., 2011). Agostinho et al. (2003) comentam que os pulsos de vazão observados no Alto-Paraná são sincronizadores importantes para a desova dos peixes migradores dessa bacia. Os peixes parecem aguardar, após a migração ascendente nos sítios de reprodução, nos rios Samburá, Alto São Francisco e Bambuí, a partir do início de outubro, quando os primeiros peixes empreendem a migração ascendente, por uma sinalização ambiental que indique o momento propício para o início da desova. Resende et al. (1995), também, observaram a migração precoce de indivíduos de *P. lineatus* no alto rio Paraguai, em outubro e novembro e a espera desses peixes nos pontos altos da bacia pelo início de picos de vazão, em dezembro e janeiro, para iniciarem a desova. Esta sinalização parece ter dois componentes essenciais: a diminuição da transparência da água que indica o aumento de chuvas na região e que pode funcionar como uma estratégia para se diminuir a predação sobre os ovos e larvas por predadores visuais (AGOSTINHO et al., 2007; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011), e a própria chegada de picos de vazão, relacionados ao aumento do nível de água do São Francisco e conseqüente formação de lagoas marginais no seu trecho médio.

Neste ponto, a temperatura da água já está alta (acima de 25°C) no principal ponto de desova no alto São Francisco. Para o ano de 2015, podemos consorciar estes dados para ter uma visão mais clara do processo de desova. Neste ano, parecem existir duas ondas principais de retorno, para jusante dos peixes marcados, após picos de vazão e de picos de coleta de ovos no Alto São Francisco, a primeira se estendendo do final de novembro a meados de dezembro e a segunda em meados de janeiro. O período de desova, desta forma, começaria com o início dos picos de vazão na região, que, em 2015, ocorreu ao final de novembro e se estenderia até meados de janeiro. É bastante provável que existam variações deste período, ao longo dos anos, de acordo com as características ambientais e hidrológicas na região. É possível que em anos nos quais os picos de vazão ocorram, antes de dezembro, haja desovas precoces. É também possível que, em anos em que estes picos atrasem, os peixes aguardem nas cabeceiras para iniciar a desova, quando eles ocorrem, sendo até possível que não desovem, caso estes picos de vazão não aconteçam dentro de uma janela temporal definida. De maneira geral, é provável que o período típico de desova da espécie se inicie ao final de novembro e se estenda até janeiro na região. Rosa (2015), estudando o rio Pará, por exemplo, observou desovas de *Prochilodus* apenas em dezembro. Braga-Silva e Galetti Júnior (2016) propõem que exista algum tipo de estruturação genética temporal entre estes períodos de desova. Estes autores trabalharam no alto São Francisco e Samburá e propõem que a população que desova em novembro nesses trechos é diferente da que desova em fevereiro. Nosso estudo não apresentou resultados que corroborem esta avaliação, porquanto os peixes marcados por nós chegam todos aos pontos de desova, ao final de novembro, início de dezembro. É preciso um período de coletas mais amplo, com um número maior de anos coletados, para se avaliar as características temporais da desova da espécie na região.

Ao aguardar o início dos picos de vazão, para iniciar a desova, os peixes maximizam duas características hidrológicas importantes para sobrevivência e recrutamento de seus ovos, larvas e alevinos. Primeiramente eles aguardam o momento na qual a velocidade de água nos pontos de desova está mais alta o que aumenta a velocidade na qual os ovos são transportados para jusante e, conseqüentemente, a distância pela qual são transportados (MARINKE et al., 2010), evitando, também, que os ovos decantem por velocidades baixas da água (AGOSTINHO et al., 2003). Quanto maior a distância transportada maior será a probabilidade destes ovos serem lançados em áreas laterais ao rio, planícies de inundação e suas lagoas marginais, nas quais as condições de produtividade são melhores pela decomposição de material orgânico depositado, ao longo do ano e onde as condições de refúgio são também adequadas pela maior complexidade estrutural formada pela vegetação submersa (Pompeu & Godinho, 2006; Silva et al., 2014). Outra característica hidrológica importante é o próprio nível de água do rio São Francisco. Quanto maior a vazão maior a chance do nível de água subir e transpor as margens do rio, criando as áreas alagadas que servirão como berçário de larvas e alevinos (ALVES et al., 2013; ARAUJO-LIMA; OLIVEIRA, 1998; BAYLEY, 1973; WELCOMME, 1979). Os peixes, desta forma, aguardam condições propícias para a desova, já posicionados nos pontos altos da bacia acima das áreas sazonalmente alagadas, de maneira a aumentar as chances de sobrevivência de sua prole e, conseqüentemente, a sua participação genética na próxima geração. Neste caso, há uma clara avaliação de custo benefício na desova. Quanto antes a desova ocorrer, maior o período que os alevinos terão, para se desenvolver até o inverno, quando as condições ambientais se tornam menos favoráveis, mas, ao mesmo tempo, se a desova ocorrer antes dos picos de vazão, as vantagens obtidas com o desenvolvimento precoce da prole serão perdidas.

Figura 26 - Médias de Vazão, Nível de Água (linhas) e Precipitação (barras) ao longo do ano e os eventos da dinâmica migratória de *P. costatus* na região de estudo.



Fonte: Dados do autor (2016)

Os indivíduos que migraram, também, encontram-se em um dilema. Se o indivíduo desova mais cedo, durante o período reprodutivo, sua prole tem mais tempo para se desenvolver, antes do início das condições climáticas adversas do inverno e isto pode ser particularmente importante para peixes de crescimento lento como a curimba (GODINHO; SANTOS; SATO, 2003; SANTOS; LUZ, 2009). A sobrevivência do alevino, durante o inverno, terá relação direta com o seu tamanho inicial, durante este período de menores temperaturas, baixa precipitação e menor disponibilidade de alimento. Não obstante uma desova que ocorra muito cedo no período chuvoso pode significar que os embriões, larvas e alevinos gerados não encontrem áreas propícias para o seu desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2015). Apenas, quando há o aumento de precipitação e, conseqüentemente, de vazão, haverá a formação de áreas alagadas. Desovar

muito cedo pode significar falta de ambientes adequados, para o desenvolvimento da prole, mas muito tarde pode significar menor chance de sobrevivência da prole durante o inverno subsequente. Os indivíduos, desta forma, aguardam pistas ambientais que indiquem o período adequado, como a diminuição da turbidez e, principalmente, a chegada de picos de vazão, para só então realizar a liberação dos gametas. Uma outra vantagem de uma desova precoce e única é a possibilidade do retorno mais rápido dos indivíduos, aos sítios de alimentação, para iniciar sua recuperação energética para o próximo período reprodutivo (GODINHO; LAMAS; GODINHO, 2010).

4.1.4 Retorno pós-reprodutivo

Após a desova, os peixes iniciam a migração descendente, que se estende de dezembro ao final de abril. A janela migratória descendente é mais do que o dobro mais longa do que a janela de migração ascendente. Isto faz sentido dado que, durante a subida, os peixes estão lidando com eventos ambientais muito bem regulados como o aumento da temperatura da água (que permite as condições fisiológicas necessárias para o gasto energético requerido pela migração ascendente) e o início das chuvas (que aumentará vazão e NA de forma a dificultar a migração ascendente com o aumento da velocidade da água e, ao mesmo tempo, permitirá a formação das áreas alagadas necessárias para o recrutamento de larvas e alevinos). Já na descida, os peixes lidam apenas com as suas próprias condições e necessidades fisiológicas. Estes indivíduos passaram por um intenso estresse fisiológico e tiveram gastos energéticos consideráveis, após a migração e desova, sendo necessário agora que se recuperem de forma a repetir o ciclo no próximo ano. Resende et al. (1995), avaliando a migração descendente de *P. lineatus* no rio Miranda, no Pantanal Mato-grossense, coletou indivíduos os quais classificou como em condições “miseráveis” após a migração reprodutiva. Estes indivíduos haviam esgotado suas reservas lipídicas,

usadas para a migração ascendente e se encontravam extremamente magros. Peixes que realizaram a migração reprodutiva, provavelmente, têm como prioridade, logo após a desova, recuperar suas condições normais, porém indivíduos que tenham se ferido ou apresentem alguma enfermidade pós-reprodutiva, provavelmente, permanecem por mais tempo nas partes altas da bacia para se recuperarem, enquanto indivíduos que não tenham se desgastado tanto com a migração ascendente podem retornar, rapidamente, aos pontos de jusante. Interessante notar que ao menos uma pequena fração dos peixes que realizam a migração ascendente só retorna aos sítios de alimentação ao final do ano seguinte. Foi o que ocorreu com um macho marcado no rio Pará, que retornou para o sítio de alimentação, ao final de novembro de 2015, após migrar para montante em outubro de 2014. Não é possível avaliar se este peixe chegou a se reproduzir, neste segundo período reprodutivo, após ficar todo o ano no sítio de reprodução. Registro parecido foi feito por Resende et al. (1995) que observaram peixes que não retornam aos sítios de alimentação, após a desova, os quais, na região do Pantanal, são chamados de “moradores”.

O retorno para jusante é, provavelmente, importante para se intensificar a ingestão de alimentos e consequente criação de reservas energéticas para o próximo período reprodutivo (FIGURA 27). Como a migração ascendente ocorre, logo após o inverno, é possível que os peixes nesta região obtenham a maior parte de suas reservas, ainda, durante o verão anterior à reprodução, aproveitando a maior quantidade de energia que entra no sistema por meio das chuvas que ocorrem neste período (RESENDE et al., 1995; SVERLIJ; ESPINACH-ROS; ORTI, 1993). Resende et al. (1995) observaram que os estômagos de indivíduos de *P. lineatus*, capturados em um tributário do rio Paraguai, estavam vazios, o que parece indicar que reduzem a ingestão de alimento durante os meses mais frios do ano. A Figura 27 resume os eventos

ambientais e biológicos observados em um ciclo reprodutivo de *P. costatus* ao longo dos meses.

Figura 27 - Resumo dos eventos ambientais e biológicos durante um ano na região de estudo.

	Eventos Físico-Químicos	Eventos Biológicos
Setembro	<ul style="list-style-type: none"> . Aumento de temperatura da água . Fotoperíodo: Dias ficam mais longos do que as noites no dia 23. Início da primavera. . Começam a ocorrer as primeiras chuvas do período reprodutivo. 	<ul style="list-style-type: none"> . 60 a 70% da população de <i>P. costatus</i> já está em preparação gonadal inicial ou final. . Primeiros peixes iniciam migração para montante ao final do mês (levam cerca de 10-15 dias para alcançar pontos de reprodução)
Outubro	<ul style="list-style-type: none"> . Temperatura da água continua a aumentar. . Fotoperíodo continua a aumentar. . Chuvas começam a aumentar. . As vazões do rio São Francisco e Pará ainda estão baixas. 	<ul style="list-style-type: none"> . População de <i>P. costatus</i> continua preparada. . Primeiros grandes fluxos migratórios para montante se iniciam. Peixes parecem preferir períodos lunares específicos.
Novembro	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas continuam a aumentar. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. começam a aumentar. . Águas começam a ficar mais turbidas, principalmente no S.F. . Fotoperíodo continua a aumentar. 	<ul style="list-style-type: none"> . Os fluxos migratórios para montante continuam e se encerram ao final do mês.
Dezembro	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas na região atingem o pico. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. continuam a aumentar. . Rios continuam com as águas turbidas (o Pará tem a água mais claras devido a barragens de montante) e temperaturas altas. . Fotoperíodo continua a aumentar até o dia 22 que é o dia mais longo do ano. 	<ul style="list-style-type: none"> . Peixes iniciam a desova no início de dezembro. . Larvas chegam a áreas inferiores da bacia. . Alguns peixes começam a retornar para jusante.
Janeiro	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas continuam altas. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. chegam ao pico. . Rios continuam com as águas turbidas e temperaturas continuam altas. 	<ul style="list-style-type: none"> . Peixes continuam a desova até meados de janeiro. . Desenvolvimento inicial dos alevinos ocorre em lagoas marginais do rio (?). . Aumenta o número de peixes retornando para jusante.
Fev. e Março	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas começam a diminuir. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. continuam altas. . Rios continuam com as águas turbidas e temperaturas altas. . Fotoperíodo: no dia 20 de março noites começam a ser mais longas do que os dias (outono) 	<ul style="list-style-type: none"> . Peixes continuam retornando para jusante. . Alevinos se desenvolvem em lagoas marginais(?).
Abril e Maio	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas continuam diminuindo. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. decrescem. . Turbidez e temperatura da água começam a decrescer. 	<ul style="list-style-type: none"> . Últimos peixes retornam para jusante. . Alevinos se juntam à população de adultos (?).
Junho, julho, agosto	<ul style="list-style-type: none"> . Chuvas atingem o mínimo do ano. . Vazões e NA dos rios Pará e S.F. atingem nível baixo. . Turbidez e temperatura da água são baixas. . Fotoperíodo: em junho os dias são os mais curtos do ano. Início do inverno. 	<ul style="list-style-type: none"> . Peixes se mantêm nas áreas baixas da bacia. . Desenvolvimento gonadal se inicia.

Fonte: Dados do autor (2016)

4.2 Estratégia migratória de *P. costatus*: um possível migrador parcial

A proporção de peixes que empreenderam a migração ascendente variou nos dois anos estudados. No primeiro ano, cerca de 33% dos peixes com sinais válidos migraram para montante enquanto, no segundo ano, esta proporção foi de cerca de 64%. Esta diferença parece indicar que algum fator, interno ou externo à população, fez com que quase o dobro de peixes empreendesse a migração no segundo ano. Diversos estudos têm avaliado o fenômeno conhecido

como migração parcial em peixes. A migração parcial se caracteriza como uma estratégia migratória em que parte da população migra e outra permanece nos mesmos pontos e tem sido considerada como a estratégia predominante nas espécies de peixes consideradas migradoras (CHAPMAN et al., 2012; DINGLE; DRAKE, 2007). As causas para o desenvolvimento dessa estratégia são variadas, mas podem ser agrupadas nas que levam em conta as características dos próprios indivíduos migrantes como a presença de estruturação hierárquica e comportamento territorialista (ex: indivíduos dominantes se mantêm, nas áreas reprodutivas, após a desova enquanto indivíduos, hierarquicamente inferiores, buscam outras áreas para forrageamento) e a interação destes fatores individuais às características do ambiente, em que os peixes vivem, como variações na disponibilidade de recursos em diferentes anos (SHAW; LEVIN, 2011). Uma categoria comum dentro do fenômeno de migração parcial é a reprodução intermitente (“skipped breeding”) (SHAW; LEVIN, 2011). Nesta categoria, os peixes deixam de migrar em determinado ano em decorrência da falta de condições fisiológicas, ou como resposta a mudanças no ambiente, caracterizando um comportamento altamente plástico dos indivíduos da população (CHAPMAN et al., 2012).

No caso de ambientes aquáticos tropicais, o ciclo hidrológico tem papel fundamental nas estratégias reprodutivas de espécies de peixes reofílicas (FERNANDES et al., 2009; POMPEU; GODINHO, 2006). A quantidade e a distribuição da chuva sobre uma bacia hidrográfica determinam em grande escala os recursos disponíveis para populações de peixes, ao longo do ano (conceito do Pulso de Inundação – Junk, Bayley e Sparks, (1989)) e, também, entre anos distintos (AGOSTINHO et al., 2003; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; LOWE-MCCONNELL, 1987). Apesar de haver um forte fator sazonal na distribuição de chuvas na região de estudo, observamos, também, um fator de imprevisibilidade na magnitude destas chuvas, durante a primavera e

verão entre os anos. Podemos chamar esta imprevisibilidade de variação interanual do ciclo hidrológico, fenômeno já descrito por outros autores (ABUJANRA; AGOSTINHO; HANH, 2009; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; FERNANDES et al., 2009; LUZ-AGOSTINHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2015; SUZUKI et al., 2009). Ao avaliar o regime hidrológico dos rios São Francisco e Pará, nos últimos anos, percebe-se que, apesar de termos um padrão sazonal característico, também, temos grandes variações entre anos distintos nesta distribuição de vazão (FIGURA 16). Existem anos nos quais os picos de vazão atingem $1100\text{m}^3/\text{s}$, enquanto em outros, estes picos não atingem $250\text{m}^3/\text{s}$. A duração destes picos de vazão, também, é bastante variável entre os anos, determinando, em grande medida, os recursos que estarão disponíveis tanto para a prole quanto para os adultos das espécies migradoras. Essas variações têm impacto na capacidade do ambiente, em recrutar novos indivíduos, para a geração seguinte e peixes que dependem da hidrologia, para passar seus genes à próxima geração serão impactados por essas variações.

Alguns resultados obtidos com espécies migradoras neotropicais já sugeriram a possibilidade de haver variações interanuais no comportamento migratório e no recrutamento em diferentes bacias hidrográficas sul-americanas. Agostinho, Gomes e Zalewski (2001) observaram, por exemplo, que o número de indivíduos preparados sexualmente entre as espécies consideradas como grandes migradoras era maior em anos com maiores pluviosidades no Alto-Paraná. Agostinho et al. (2004) verificaram que, em anos de alta pluviosidade, a produção de *Prochilodus lineatus* nas planícies de inundação do alto Paraná chegava a ser quarenta vezes maior do que em anos de baixa pluviosidade, fenômeno, também, observado por Resende (2003) no Pantanal Brasileiro. Marinke et al. (2010) sugerem que anos com alta pluviosidade podem ser responsáveis pela produção desproporcionalmente alta de novos entrantes na população de *P. lineatus*, no rio Pilcomayo, mantendo esta população em anos

de baixa pluviosidade. Oliveira et al. (2015) avaliaram que, em anos em que o aumento de vazão no Alto Paraná demora a ocorrer, algumas espécies migradoras precoces, como *P. lineatus*, podem ter a sua migração reprodutiva inibida. Este fato parece ser corroborado em um estudo, realizado no alto rio Uruguai (REYNALTE-TATAJE et al., 2012), no qual se observou que apenas em anos que que ocorreram grandes cheias foi possível observar a desova de *P. lineatus* na região. Makrakis et al. (2012), também, observaram padrões migratórios diversos em espécies consideradas grandes migradoras marcadas com marcas externas no alto rio Paraná, ao longo de dez anos. Alguns indivíduos marcados não realizaram longas migrações, em todas as estações reprodutivas, fazendo com que os autores propusessem a hipótese de que alguns indivíduos não realizam migrações, em alguns dos períodos reprodutivos ou mesmo ao longo de toda a sua vida, utilizando áreas de vida menores. A mesma observação foi feita por Bonetto, Verón e Roldán (1981), estudando espécies migradoras no rio Paraná. Abujanra, Agostinho e Hanh (2009) comentam que existem variações nas condições nutricionais de peixes migradores detritívoros no alto Paraná em anos com baixa e alta pluviosidade. Em anos de baixa pluviosidade os peixes apresentam melhor estado nutricional do que nos de alta. Os autores atribuem este efeito à maior disponibilidade de alimentos de alto valor nutritivo, o que seria favorecido pela maior penetração de luz no ambiente aquático. Uma outra possibilidade, neste caso, seria essas espécies migradoras gastarem menos energia, nestes anos de baixa pluviosidade, ao não empreenderem longas migrações reprodutivas. É possível que o resultado final seja uma composição entre esses dois fatores. Dessa forma, anos de baixa pluviosidade seriam importantes para favorecer o acúmulo nutricional, nas espécies migradoras, aumentando o sucesso reprodutivo em anos subsequentes. Na região estudada, a baixa produtividade, em anos de pouca precipitação, também, foi observada. Sato, Cardoso e Amorim (1988) observaram que, em

anos com poucas chuvas, as águas do rio São Francisco não conseguem atingir as lagoas marginais localizadas entre as cidades de Iguatama e Pompéu, levando a uma baixa taxa de recrutamento na região.

Espécies de peixes neotropicais que realizam migrações são, em geral, iteróparas, ou seja, podem realizar a migração e desova em vários anos sequenciais (HARVEY; CAROSFELD, 2003). Infelizmente, dados demográficos dessas espécies são raros em ambientes naturais. Temos poucas informações sobre o tamanho populacional, tempo médio de vida, proporções sexuais, taxas de crescimento, entre outras. Esses dados são essenciais, para a correta avaliação das estratégias de vida dessas espécies, em diferentes bacias hidrográficas e entre diferentes pontos em uma mesma bacia. Podemos, ainda assim, inferir algumas características com base no conhecimento que já possuímos acerca da dinâmica migratória dessas espécies. A primeira inferência que podemos fazer é que o processo migratório é um evento que aumenta os riscos para os indivíduos que o realizam. Peixes que empreendem longas migrações, como as observadas neste estudo, de 350 a 400km rio acima (e o dobro dessa distância ao considerarmos o retorno aos pontos de alimentação) têm maiores chances de morrer em razão do estresse fisiológico, aparecimento de patógenos decorrentes de depleção imunológica causada pelo alto gasto energético requerido pela migração e predação (ou pesca). Peixes que migram aumentam a sua exposição, ao deixar pontos de rio conhecidos, para nadar por diferentes pontos, inclusive, chegando a áreas com baixos volumes de água nas cabeceiras dos rios, o que aumenta a sua exposição relativa a predadores. A migração, dessa forma, é um evento que possui custos aos indivíduos que a realizam (SHAW; LEVIN, 2011).

Existem, entretanto diversos benefícios ligados ao processo migratório de peixes. No caso de *P. costatus*, peixes que migram para áreas superiores da bacia hidrográfica encontram condições melhores, para a liberação de seus

gametas, aumentando a probabilidade de que ovos, larvas e alevinos se desenvolvam e encontrem áreas propícias para completarem o seu ciclo e se integrem à população no futuro. Na definição da estratégia migratória dos indivíduos e, conseqüentemente, da população, deve-se ter em mente estes aspectos e a migração só será a estratégia escolhida caso os seus benefícios suplantem os seus custos. Caso contrário, esta estratégia não se estabelecerá na população (HINCH et al., 2006).

É importante notar que os custos e benefícios do processo migratório não são distribuídos de maneira regular ao longo dos anos. Anos que apresentem características hidrológicas favoráveis, como alta precipitação, vazões e níveis de água, têm benefícios ecológicos líquidos relativamente superiores a anos hidrológicamente desfavoráveis (SHAW; LEVIN, 2011). Estes benefícios ecológicos líquidos nada mais são do que o número de indivíduos gerados por cada um dos migrantes (sua prole) e a sua própria chance de sobrevivência para se reproduzir novamente em períodos reprodutivos subsequentes. Os melhores anos do ponto de vista hidrológico diminuem as chances de mortalidade na migração ascendente, ao proporcionar maior área alagada aos peixes, diminuindo a sua exposição relativa (LUZ-AGOSTINHO et al., 2009) e ao proporcionar maior influxo de recursos alóctones para o rio aumentando as chances de recuperação energética dos migrantes, após a desova e, ao mesmo tempo, aumentam as chances de sobrevivência da prole ao criar maiores áreas alagadas para o desenvolvimento inicial dos peixes (AGOSTINHO et al., 2004). Seria de esperar, dessa forma, que espécies que dependem intimamente das condições ambientais e que vivem em ambientes nos quais estas condições apresentam grande amplitude, em anos diferentes, desenvolvessem mecanismos capazes de avaliar se determinado ano hidrológico será ou não favorável, ajustando, dessa forma, a sua estratégia migratória a essas condições. Shaw e Levin (2011) desenvolveram um modelo que avalia as chances de um indivíduo

migrador não empreender a migração reprodutiva em determinado ano. Estes autores observaram que estas chances aumentam, em ambientes nos quais as condições ambientais são mais estocásticas, em anos nas quais as condições ambientais chave para o sucesso reprodutivo não são favoráveis. Uma característica já descrita para diversas espécies migradoras é a capacidade de preempção, que é a habilidade que indivíduos migradores possuem de iniciar o processo migratório por meio de pistas ambientais que indiquem mudanças em parâmetros ambientais, antes que estas mudanças atinjam o seu pico (RAMENOFSKY; WINGFIELD, 2007). Assim, indivíduos podem iniciar o processo migratório antes que o inverno se torne muito frio ou que a densidade populacional se torne tão alta que deplecione os recursos alimentares em determinada região. No caso de peixes migradores neotropicais, parece que esta habilidade é utilizada para avaliar o período hidrológico de determinado ano.

Os dois anos estudados neste projeto foram ambos menos chuvosos do que a média da região. O período hidrológico de 2014-2015, porém foi, especialmente pobre, em relação à média histórica, com poucas chuvas em meses chave para o processo reprodutivo, como janeiro e fevereiro (FIGURAs 19 e 20). O segundo ano hidrológico estudado, foi relativamente mais típico, apresentando maiores níveis de precipitação e vazão na janela de migração ascendente de *P. costatus* na região (FIGURA 21). Teoricamente, estas características ambientais são essenciais para determinar a proporção de migrantes neste período crítico de escolha do indivíduo acerca da migração ascendente. A precipitação e a vazão durante esta janela parecem funcionar como previsores de como será o ano hidrológico e podem determinar a proporção de peixes que se submetem aos riscos inerentes ao processo migratório para obter os benefícios genéticos nas próximas gerações. Em estudos têm-se demonstrado que dentro de uma população de peixes existem “personalidades” (ou síndromes comportamentais) diferentes entre seus

integrantes (BRODERSEN et al., 2012; SIH; BELL; JOHNSON, 2004). Existem indivíduos que são mais propensos ao risco e que exploram ativamente o seu ambiente, chamado de proativos, e indivíduos menos propensos a riscos e a explorarem, chamados de reativos. Entre esses extremos existe toda uma gama de personalidades intermediárias (SIH; BELL; JOHNSON, 2004). Uma outra definição apresentada classifica indivíduos de uma população como responsivos ou não responsivos. Indivíduos responsivos mudam suas características migratórias, de acordo com variações ambientais em anos distintos, enquanto indivíduos não responsivos mantêm suas características migratórias, mesmo em anos nos quais as características ambientais variam consideravelmente (BRODERSEN et al., 2012). Provavelmente o número de peixes que migram, em determinado ano em uma população, leva em conta não só os fatores ambientais, mas também a proporção de cada uma dessas personalidades dentro da população. Em anos pouco favoráveis hidrologicamente, peixes mais proativos estariam propensos a realizar a migração reprodutiva, enquanto, em anos mais favoráveis, uma maior parcela da população estaria disposta a correr os riscos migratórios. A presença de proporções diferentes de síndromes comportamentais dentro de uma população é uma ferramenta evolutiva importante, em especial, em ambientes que sofrem rápidas variações por mudanças ambientais ou antropogênicas (SIH; BELL; JOHNSON, 2004).

Outra questão que parece corroborar esta observação é a diferença observada na proporção de peixes migradores precoces e tardios nos dois anos estudados. A proporção de peixes precoces, no primeiro ano, foi de 61% (11 de 18) do total de migrantes. Já no segundo ano estudado a proporção de peixes precoces foi de 50% (15 de 30). Isto significa que a maior variação observada na migração entre os dois anos ocorreu entre os peixes tardios, os que migram ao final da janela migratória. No primeiro ano, apenas 7 peixes migraram nesta janela, enquanto, no segundo, ano foram 15. Os peixes que migram durante esta

janela são menores dos que os precoces e têm maior proporção de machos. É possível que estes peixes sejam mais influenciados pela hidrologia do ano, para realizar a migração, posto que o fazem em um momento em que já estão ocorrendo chuvas prolongadas na área estudada. O aumento da vazão nos rios tropicais é um importante sinalizador para a migração (SUZUKI et al., 2009; VAZZOLER, 1996). Por serem indivíduos menores, os riscos associados à realização da migração serão maiores do que os riscos associados a peixes maiores e com mais recursos energéticos estocados, que migram precocemente. Esta pode ser uma estratégia utilizada por este grupo de peixes para maximizar a relação custo-benefício associada à migração reprodutiva. Eles aguardam até o final da janela migratória, quando já há mais informações sobre o volume de chuvas na região, para se deslocarem às áreas altas da bacia. Espécies que realizam migrações parciais, geralmente, possuem algum tipo de estratificação interna que leva alguns indivíduos a serem mais susceptíveis à variação de seu comportamento. Isto pode se dar em relação ao sexo, idade ou tamanho dos migrantes (ALERSTAM; HEDENSTROM; AKESSON, 2003).

Com os resultados obtidos neste projeto, propomos a hipótese de que *Prochilodus costatus*, bem como outras espécies dentro do gênero *Prochilodus* e mesmo outras espécies reofílicas neotropicais, possam ser migrantes parciais. Esta hipótese já foi levantada por outros estudos que trabalharam com técnicas de telemetria. Godinho e Kynard (2006) e Godinho, Kynard e Godinho (2007), por exemplo, propuseram que o comportamento migratório de *Prochilodus argenteus* e *Pseudoplatystoma corruscans* no alto São Francisco, abaixo da barragem de Três Marias, seria dualístico. Neste caso, alguns peixes permanecem próximos aos sítios de reprodução, durante todo o ano, por encontrar recursos alimentares nestas áreas enquanto parte da população apresenta o comportamento clássico de realizar longas migrações entre os sítios de alimentação e reprodução. Hanh et al. (2011) observaram que um dos

dourados (*Salminus brasiliensis*), marcados no rio Uruguai, realizou migrações reprodutivas, em dois anos não subsequentes, deixando de realizar a migração no ano intermediário. Perez (2014) e Ribeiro (2013), também, levantaram a hipótese da migração parcial nas populações por eles estudadas nos rios Grande e Paranaíba, respectivamente.

A hipótese proposta neste estudo leva em conta uma maior flexibilidade do comportamento migratório de indivíduos dentro de uma mesma população, com a proporção de migrantes variando, em relação às características ambientais de cada ciclo hidrológico/reprodutivo e em relação às condições fisiológicas dos indivíduos. Dada a característica estocástica dos eventos ambientais/hidrológicos interanuais que determinam as condições ecológicas para o sucesso reprodutivo da espécie, no ambiente tropical, acreditamos que *P. costatus* (e, possivelmente, outras espécies migradoras neotropicais) deva apresentar a estratégia reprodutiva denominada “reprodução intermitente” por Shaw e Levin (2011), na qual a proporção de migrantes, em determinado ano, varia em função das condições ambientais daquele período. Acreditamos que esta estratégia deverá ser mais comum em populações que ocorram em ambientes nos quais a variabilidade hidrológica ambiental seja maior, como áreas altas de bacias hidrográficas e trechos não barrados de rios, pois a imprevisibilidade na disponibilidade de recursos críticos, para o sucesso reprodutivo (neste caso em especial, áreas alagadas para o recrutamento da prole), é um fator importante para a adoção dessa estratégia por populações de peixes migradores. É importante ressaltar, ainda assim que o sucesso reprodutivo desta e de outras espécies migradoras não depende apenas de sua migração e desova. O recrutamento de alevinos é, também, altamente dependente da hidrologia no período pós-reprodutivo e, dessa forma, mesmo anos em que grande proporção das populações migre e se reproduza, podem não apresentar altos níveis de recrutamento caso as cheias não persistam no período pós-desova. A estratégia de migração parcial diminui os

riscos de se migrar e reproduzir, em anos pouco favoráveis para os indivíduos, mas não é capaz de evitá-los completamente.

4.3 Maturação gonadal e desova

A relação entre maturação gonadal, migração e desova de peixes reofílicos, ainda, não está totalmente esclarecida (BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008). Diversos estudos têm demonstrado que peixes migradores neotropicais começam a maturação de suas gônadas antes do início da estação chuvosa. Marinke et al. (2010) observaram que a maturação gonadal de *Prochilodus lineatus*, no rio Pilcomayo (Paraguai-Argentina), está ligada ao aumento de sólidos dissolvidos na água no período de seca e que a desova se relaciona à diminuição desta concentração com a chegada das chuvas. As gônadas de *Prochilodus lineatus* aceleram o seu desenvolvimento, no rio Miranda, no Pantanal brasileiro, a partir de agosto (RESENDE et al., 1995). Entretanto a relação entre a maturação gonadal e desova não fica clara, porque é difícil se avaliar em campo se um indivíduo que maturou as suas gônadas efetivamente desovou ou se suas gônadas foram reabsorvidas sem que os gametas tenham sido liberados na desova. A desova, em determinado ponto da bacia hidrográfica, só pode ser confirmada pela coleta de ovos ou larvas das espécies de interesse (NAKATANI et al., 2001). Neste estudo, observamos que boa parte dos peixes que foram marcados estavam em grau avançado de maturação gonadal (FIGURA 5), já a partir de setembro, antes do início das chuvas. Porém, quando observamos os peixes que efetivamente migraram para realizar a desova, percebemos que muitos dos peixes que migraram não estavam preparados, quando foram marcados, o que indica que a maturação gonadal deve ter ocorrido entre a marcação e a migração e que muitos dos peixes que não migraram (padrão migratório 2) estavam preparados quando foram marcados (FIGURA 12). Este fato parece indicar que a maturação gonadal ocorre antes do

início do processo migratório na região de estudo. Provavelmente, a própria realização dos deslocamentos de longa distância serve como gatilho, para a maturação final das gônadas, conforme já sugerido por alguns autores (GODOY, 1967; PETRERE JÚNIOR, 1985).

Outro fato importante apreendido destes dados é que muitos peixes desenvolvem as suas gônadas até determinado ponto, antes de realizar a migração e, ao que tudo indica, abortam o processo. Neste caso, pode ser que o indivíduo reabsorva as gônadas sem realizar a migração reprodutiva e a desova. Isto parece corroborar a hipótese de *P. costatus* apresentar comportamento migratório parcial. Outros estudos já haviam apontado esta possibilidade (BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; HUMPHRIES; KING; KOEHN, 1999). Como há a possibilidade de se converter a energia utilizada, para a formação de gônadas em outros tecidos, por meio da reabsorção, o indivíduo pode evitar os riscos de uma migração realizada em ano desfavorável, reutilizar os recursos alocados na formação de gônadas para a sua manutenção e se preparar para o próximo período reprodutivo, tendo como vantagem sobre os peixes que migraram naquele ano o uso dessa energia extra. Estes dados, também, indicam que é preciso cuidado, ao inferir a ocorrência ou não de reprodução de determinada espécie, em um local ou período específicos, com base na avaliação de sua maturação gonadal. Mesmo que boa parte dos indivíduos de determinada população estejam preparados sexualmente, isto não significa, necessariamente, que a desova e o recrutamento ocorrerão, naquele local, ou mesmo, que ocorrerão naquele período reprodutivo.

4.4 Relação entre tamanho, sexo e período migratório

Neste estudo, observamos um padrão migratório ainda pouco conhecido para espécies de peixes neotropicais. Presumivelmente, há uma estratificação no tamanho e sexo dos peixes ao longo do período de migração reprodutiva. Os

peixes que migram na primeira janela migratória, migradores precoces, são, em geral, maiores do que os que migram, ao final do período, migradores tardios. O primeiro grupo, também, possui mais fêmeas do que machos enquanto, no segundo, esta relação é inversa. A migração estratificada por tamanho já foi descrita por Resende et al. (1995) para a espécie *P. lineatus* na bacia do Alto-Paraguai. Os autores apontam que adultos jovens tendem a migrar, ao final da janela migratória na região, enquanto peixes maiores e mais velhos o fazem o início da janela.

O fato da migração ocorrer de maneira estratificada, também, parece explicar o fato da desova da espécie ocorrer apenas ao final da janela migratória. Aparentemente, todos os peixes alcançam os pontos de reprodução antes do início da desova. Como machos e fêmeas chegam a estes pontos, em proporções diferentes ao longo da janela, faz sentido que se aguarde a chegada de todos os indivíduos migrantes de determinado ano para se iniciar a desova. Isto maximiza o aproveitamento dos gametas dos dois sexos, ao aumentar a diversidade de parceiros do sexo oposto, que estão nos pontos de reprodução.

4.5 Questões relacionadas à conservação da espécie na região

Estratégias efetivas para a conservação de peixes migradores, no Brasil, já vêm sendo discutidas há bastante tempo (AGOSTINHO et al., 2007; GODOY, 1959). Este grupo possui grande importância tanto ecológica quanto comercial e a manutenção de populações selvagens é um grande desafio, em especial, em razão dos seus requisitos de história de vida que demandam longos trechos de rio não barrados e sem controles hidrológicos (SUZUKI et al., 2009) e sua grande sensibilidade a diferentes impactos antrópicos como poluição e pesca. Dada a importância do tema, nesta seção, serão apresentadas sugestões, para a conservação da população de *P. costatus*, existente na região do alto São Francisco, tendo como base os resultados previamente apresentados nesta tese.

4.6 Implantação de barragens no Alto São Francisco e proteção às áreas alagáveis

A implantação de barragens, na região do Alto São Francisco, deve ser cuidadosamente avaliada à luz dos resultados obtidos com este estudo. A área de vida de *P. costatus* na região se estende da confluência com o rio Pará às cabeceiras da bacia incluindo seus tributários. Barragens implantadas nesta região terão sérias consequências, para o ciclo de vida desta espécie (e, possivelmente, de outras espécies reofílicas também), ao fragmentar a área e suprimir pistas ambientais. Como pôde ser observado neste estudo, a implantação de barragens, mesmo que em trechos de montante da bacia, pode ter influência marcada sobre a dinâmica migratória da espécie. A preferência migratória dos indivíduos pelo rio São Francisco parece se dever, em grande parte, aos efeitos que as barragens implantadas no rio Pará exercem, mesmo em populações da espécie localizadas a mais de 100km a jusante. Mudanças nos fluxos hidrológicos, na temperatura da água e em sua transparência, parecem interferir com a dinâmica migratória de populações de *P. costatus* que habitam a região da confluência com o rio São Francisco. Barragens inseridas no rio São Francisco próximas à confluência com o Pará, caso tenham Sistemas de Transposição de Peixes, poderiam até permitir a migração reprodutiva e desova, mas podem ter impacto significativo nos gatilhos ambientais para a migração, ao alterar parâmetros de vazão e qualidade de água; nas áreas de recrutamento da espécie com a formação do reservatório; e no processo de migração descendente. Como discutido, a vazão do rio São Francisco parece ser um gatilho importante, para o processo migratório da espécie na região e barragens, nesta região, certamente interfeririam nesta sinalização. Já barragens que fossem instaladas na região alta da bacia, próximas aos tributários, certamente teriam impactos negativos na desova da espécie. Estas barragens poderiam modificar as áreas utilizadas para a desova com a formação do reservatório e a deriva de ovos para

regiões de jusante, em que o recrutamento de alevinos ocorre. Os dados de inventário de novos empreendimentos hidrelétricos, para este trecho do rio São Francisco, disponibilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, apontam que nove novas barragens estão em estudo na região, com um potencial de geração de 340MWh. Existem barragens sendo avaliadas, para todas as regiões deste trecho do rio São Francisco, estendendo-se da confluência com o rio Pará, passando por sua região média na qual se localizam as áreas alagáveis até os seus trechos altos.

Todo o ciclo de vida de *P. costatus* e, muito provavelmente, das demais espécies migradoras existentes no alto São Francisco, depende intimamente da existência de áreas alagáveis, ao longo da calha principal do rio e de seus tributários, em especial, o rio Bambuí. Estas áreas são responsáveis pelo recrutamento de uma grande proporção dos novos entrantes na população da espécie existente na área. Mas o ritmo de ocupação destas áreas é bastante elevado na região. Culturas como a da cana-de-açúcar têm se espalhado por grandes extensões e estão diminuindo as áreas requeridas, para o desenvolvimento da prole de peixes migradores, tanto no rio Bambuí quanto na calha principal do rio São Francisco. Sato e Godinho (2003) comentam que cerca de 20% das lagoas marginais perenes deste trecho já foram drenadas pela expansão agrícola na região. No planejamento destas culturas deveria ter em mente a importância de se manter estas áreas necessárias para garantir a produtividade destes peixes no alto São Francisco. Áreas alagáveis, ao longo da planície de inundação de rios tropicais, devem ser áreas prioritárias para a conservação (POMPEU; GODINHO, 2006).

Assim, tendo em vista a importância que este trecho do rio São Francisco tem para a espécie na região, sugerimos que seja mantido livre de barragens em toda a sua extensão. Uma possibilidade seria a transformação do rio São Francisco e seus afluentes, à montante da confluência com o rio Pará,

bem como suas planícies de inundação, em Rios de Preservação Permanente pelo governo do Estado de Minas Gerais.

4.6.1 Operação de Sistemas de Transposição de Peixes na região

Foi observado que a janela migratória da espécie estudada é bastante limitada. Apesar de não termos dados similares em outras áreas, é possível supor que, com algum grau de variabilidade, o padrão se repita ao longo da bacia do rio São Francisco. Isto indica que com um ciclo migratório/reprodutivo tão regulado, seja necessário que se tomem cuidados redobrados, na operação de Sistemas de Transposição de Peixes, em usinas localizadas nesta bacia hidrográfica. Na própria região do alto São Francisco, existem dois destes sistemas operados nas usinas de Retiro Baixo (elevador de peixe) e Igarapé (escada de peixes), ambas localizadas no rio Paraopeba. Caso se deseje manter o ciclo reprodutivo de *P. costatus* neste rio, será necessário que sejam avaliadas formas de transpor indivíduos desta espécie, logo no início da estação chuvosa, a partir do final de setembro. Desta forma, estes indivíduos conseguirão alcançar os pontos superiores da bacia, ao final de novembro e realizar a desova, quando os picos hidrológicos se iniciarem na região. No caso de elevadores de peixes, este cuidado é ainda mais importante já que não há a passagem passiva de peixes pelo sistema. Muitos dos elevadores operados, no Brasil, iniciam as suas atividades em novembro, quando já pode ser tarde para garantir a migração reprodutiva de suas espécies alvo. Uma das razões para este início tardio está relacionada à legislação (período de piracema estabelecido), mas pesa bastante o fato de que, em novembro, com as maiores vazões, as perdas de geração com a operação do sistema são menos expressivas (POMPEU; MARTINEZ, 2005).

Outro aspecto a ser observado, no caso de STPs, é o retorno dos peixes para pontos de alimentação a jusante. Caso as áreas de forrageamento estejam localizadas, em trechos inferiores do rio Paraopeba, será necessário considerar

estratégias, para que os indivíduos que migraram para montante alcancem estas áreas de dezembro a abril, quando realizam a migração descendente. No caso da migração descendente, há um complicador que é o próprio reservatório que pode funcionar como barreira à descida dos peixes (PELICICE; POMPEU; AGOSTINHO, 2015). Estas questões precisam ser melhor avaliadas para se definir estratégias efetivas de conservação da espécie na região.

Outras espécies do gênero *Prochilodus* ou mesmo de outras espécies reofílicas neotropicais podem, também, apresentar janelas migratórias curtas e regulares. Este fenômeno ainda não foi observado em outros estudos de telemetria realizados no Brasil, mas isto, provavelmente, deve-se ao fato da grande maioria destes estudos terem sido realizados em rios barrados, ou logo a jusante de grandes usinas hidrelétricas ou no próprio reservatório formado por estas usinas (ALVES, 2012; ALVES; VIEIRA; POMPEU, 2007; ANDRADE NETO, 2008; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; HAHN et al., 2007, 2011; PÉREZ, 2014; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012). A alteração dos perfis hidrológicos nestes rios, certamente, mascara os padrões migratórios naturais das espécies reofílicas da região. Neste estudo, percebemos que a grande maioria dos peixes que empreenderam migrações reprodutivas para montante, fizeram-no, em um rio não barrado, o rio São Francisco, enquanto migrações para o rio Pará, um rio barrado, foram raras. Caso esta janela migratória curta para montante se repita, em outras espécies e em outras bacias, será necessário cuidado especial na operação de STPs em todas as bacias hidrográficas neotropicais. Pequenos atrasos na migração ascendente podem causar reduções drásticas do fitness destas populações, visto que os eventos ambientais necessários, para a desova e o recrutamento de ovos, larvas e alevinos têm, em geral, uma relação temporal estreita. Peixes que alcancem os pontos de reprodução, no meio de dezembro, por exemplo, podem perder os primeiros picos hidrológicos necessários para o carreamento e

desenvolvimento de sua prole. A reprodução atrasada desta população pode, também, ocasionar o subdesenvolvimento de sua prole, formando alevinos menores, ao final do verão, quando deveriam estar preparados para enfrentarem a estação mais seca e fria e aumentando as taxas de mortalidade destes indivíduos quando devem se juntar à população adulta.

4.6.2 Definição do período de defeso

O padrão migratório dos peixes, marcados neste estudo, apresentou informações importantes para a definição do período de proteção à espécie na região de estudo. Em geral, o período de defeso, período no qual a pesca de espécies migradoras é restrita, inicia-se em novembro. Porém, na região estudada, cerca de 45% dos peixes já realizaram a migração ascendente antes do mês de novembro. Apesar de a desova ter ocorrido apenas em dezembro, acreditamos ser importante estender o prazo do defeso para englobar, também, as migrações realizadas em outubro. Durante a migração ascendente, os peixes se tornam muito mais susceptíveis a pescas, principalmente, as que são realizadas por meio de redes de espera, porque aumentam muito as suas taxas de movimentação. Sugerimos que os órgãos ambientais brasileiros utilizem esta informação, para aumentar a proteção a esta e outras espécies reofílicas, bem como realizem e apoiem novos estudos, para determinar as épocas adequadas à restrição da pesca em diferentes regiões. Andrade Neto (2008), também, sugeriu que o mês de outubro fosse adicionado ao período de defeso na região, logo a jusante da UHE Três Marias, ao avaliar os padrões migratórios de dourado (*Salminus franciscanus*).

4.7 Utilização de vazões ecológicas nas usinas do rio Pará

Supostamente, parte do desestímulo à migração e desova de peixes no rio Pará se deve à regulação artificial da vazão pelas usinas localizadas à montante dos sítios de alimentação de *P. costatus*. Alguns autores

(FERNANDES et al., 2009; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; SANTOS et al., 2012) têm sugerido a regulação da vazão das usinas, para atender requisitos ecológicos de populações de peixes localizadas a jusante (vazões ecológicas) como uma forma de se aumentar a produtividade destes sistemas. Este processo poderia ser benéfico no rio Pará com a realização de picos de vazão e períodos de alta vazão regulados pelas pequenas centrais elétricas de Cajuru e Gafanhoto, que se localizam na calha principal do rio. Todo o processo deverá ser monitorado, caso ocorra, para verificar os melhores regimes hidrológicos, para a espécie na região e para determinar os benefícios reais que estas manobras teriam.

4.8 Realização de repovoamento com *P. costatus* na área de estudo

A estação de piscicultura da CODEVASF, localizada na cidade de Três Marias, realiza o repovoamento com esta espécie, no reservatório de Três Marias e, também, nos rios São Francisco e Pará em seus trechos lóticos há algumas décadas. Os resultados deste estudo indicam que, no trecho lótico do rio São Francisco, do reservatório de Três Marias aos seus tributários superiores, parece haver uma população funcional de *P. costatus*. Os indivíduos desta população migram para as cabeceiras, desovam e novos entrantes são recrutados nas lagoas do trecho médio do rio. Não há indícios de que haja necessidade da suplementação desta população com indivíduos reproduzidos na estação de piscicultura de Três Marias, tendo, também, em vista que os reprodutores utilizados são provenientes de outra população existente a jusante da UHE Três Marias. Sugerimos que os peixamentos sejam suspensos nessa região e que as populações de *P. costatus* na região sejam monitoradas nos próximos anos para avaliar se há algum desequilíbrio. Os resultados deste monitoramento deverão orientar os gestores ambientais acerca da necessidade de suplementação populacional.

5 CONCLUSÕES

5.1 O jogo da probabilidade

Neste capítulo, propomos um modelo migratório para *P. costatus* no Alto São Francisco, baseado em avaliações probabilísticas que cada indivíduo realiza, a cada ciclo reprodutivo, acerca de suas chances de sucesso reprodutivo. Estas avaliações levam em consideração vários níveis de escolha. O indivíduo precisa avaliar se migrará ou não em determinada temporada reprodutiva; quando realizará a migração, para onde migrará, quando desovará e quando retornará ao sítio de alimentação. Todas estas decisões tomadas pelos indivíduos, a cada ciclo reprodutivo, compõem a estratégia migratória da espécie na área de estudo, tendo sido selecionadas, ao longo da história evolutiva da espécie. Em teoria, as escolhas individuais devem ser tomadas de maneira a maximizar as chances de participação, no pool genético da população e isto parece ser feito pela avaliação das condições internas e por fatores ambientais externos para aumentar as probabilidades de sucesso reprodutivo. É como se cada indivíduo de *P. costatus* participasse de um jogo, a cada ciclo reprodutivo, cujo objetivo é diminuir suas chances de óbito e aumentar as suas chances de sucesso reprodutivo ao longo de seu tempo de vida. A estratégia reprodutiva adotada pela espécie pode ser definida como “Reprodução Intermitente” (SHAW; LEVIN, 2011).

Para realizar a primeira decisão, migrar ou não, o indivíduo deve ter em vista dois cenários distintos, o cenário interno e o externo. Inicialmente ele avalia as suas próprias condições fisiológicas, como seu estado nutricional e seu estado sanitário. Cada indivíduo só será capaz de empreender a migração, caso atinja um limiar mínimo, em suas condições fisiológicas internas tais como um estado nutricional que lhe assegure energia suficiente, para realizar a migração e a ausência de patógenos e infecções que impeçam o seu deslocamento. Os

indivíduos, também, analisam o cenário externo a que estão expostos a cada ciclo reprodutivo. Este cenário, provavelmente, é muito mais complexo e difícil de se avaliar do que o interno. Existem parâmetros externos que são regulares, ao longo dos anos, como o fotoperíodo, um importante sinalizador de que o período reprodutivo se aproxima, e a temperatura da água. Outros fatores, contudo podem apresentar grandes variações, ao longo de anos distintos, como a condutividade e turbidez da água e, talvez, os mais importantes fatores decisórios, a vazão dos rios e a precipitação. Como a janela migratória ocorre antes que estes fatores ambientais atinjam o seu pico na região de estudo, os indivíduos parecem utilizar pistas ambientais que lhes permitam prever o panorama que as condições hidrológicas de determinado ano criarão. Por meio da avaliação destes cenários internos e externos, cada indivíduo parece tomar a decisão de migrar ou não, em determinado ano, avaliando os riscos e benefícios envolvidos na decisão. Com base neste ponto, a “personalidade migratória” de cada indivíduo e padrões de formação de cardume influem no processo, mas, a cada ano uma proporção específica da população migrará como resposta a este modelo comportamental. Como estes parâmetros externos estão mais claros, ao final da janela migratória que ocorre ao final do mês de novembro, o segundo período de alto fluxo de peixes parece ser mais influenciado por eles do que o primeiro, como pudemos observar neste estudo. No segundo ano, a proporção de peixes que migrou, ao final da janela migratória, foi muito superior à observada no primeiro ano quando as condições hidrológicas foram menos favoráveis. Sugerimos que novos estudos, que avaliem o padrão migratório de espécies reofílicas neotropicais, levem em conta a possibilidade de trabalhar com migrantes parciais (reprodução intermitente) e que informações complementares como a estrutura etária da população e parâmetros fisiológicos dos indivíduos que migram e dos que permanecem nos sítios alimentares sejam utilizados para a sua avaliação.

Outro aspecto importante relativo à população de *P. costatus* estudada é a regularidade apresentada por sua janela migratória reprodutiva. Ao interpretar pistas ambientais, ao longo do ano, indivíduos da espécie as utilizam para prever eventos ambientais futuros de forma a maximizar suas chances de sobrevivência e sucesso reprodutivo. Estes indivíduos buscam utilizar parâmetros climatológicos e de qualidade de água, para avaliar a probabilidade de que janelas de oportunidade se abram e, desta forma, aumentam a sua própria probabilidade de sucesso. A íntima relação existente entre condições ambientais e o comportamento reprodutivo da espécie se traduz nas janelas migratórias definidas e regulares observadas entre os anos de estudo. Acreditamos que o comportamento migratório regular, observado neste estudo, deve se repetir para a mesma espécie, ou mesmo para outras espécies do gênero *Prochilodus*, em outros pontos da bacia do São Francisco ou outras bacias neotropicais, mas com variações locais que dependerão das características e timing dos eventos ambientais, que desencadeiam cada uma das respostas (migração ascendente, desova e migração descendente) na região em que ocorrem. Ao migrar para as regiões altas da bacia hidrográfica do rio São Francisco, indivíduos de *P. costatus* aumentam a chance de que seus ovos e larvas alcancem áreas favoráveis para o seu desenvolvimento inicial. Ao liberar seus gametas acima das áreas sazonalmente alagáveis e fazendo isso, durante a ocorrência de picos de vazão, que aumentam a velocidade e distância percorrida por esses gametas, indivíduos de *P. costatus* aproveitam condições hidrológicas favoráveis, para dispersá-los para lagoas marginais, que servirão como berçário e que, também, são formadas neste período.

O modelo migratório, proposto neste estudo para *P. costatus*, não difere estruturalmente dos modelos já propostos por outros autores para peixes migradores neotropicais. Os dados aqui apresentados, todavia apresentam detalhes da dinâmica migratória da espécie, muitos dos quais ainda inéditos,

posto que a técnica de telemetria é relativamente nova no estudo de espécies de peixes neotropicais. O uso de radiotransmissores permitiu maior acurácia, na avaliação dos períodos das migrações ascendentes e descendentes, na identificação das rotas migratórias utilizadas, na avaliação de diferenças no timing migratório de machos e fêmeas e no entendimento dos padrões migratórios escolhidos por cada indivíduo marcado. Estes dados reforçam a importância de se utilizar técnicas de telemetria, para se avaliar o comportamento migratório de peixes, em rios ainda não barrados, para que os padrões observados sejam utilizados para a tomada de decisões de manejo e conservação direcionadas às necessidades ecológicas das espécies migradoras. O uso da técnica em estudos prévios à construção de hidrelétricas, por exemplo, pode apontar os habitats críticos que devem ser protegidos na região, podendo, inclusive, suscitar a análise sobre a viabilidade do projeto como um todo, caso se observe que não existem técnicas de manejo que irão garantir a proteção das espécies migratórias. Para estes estudos, é importante que o planejamento experimental leve em conta dois fatores básicos: 1) que o número de peixes marcados de cada espécie estudada seja suficiente para identificar os padrões migratórios, levando-se em conta as variações individuais apresentadas e 2) que o período de estudo seja suficientemente longo, para abranger ao menos alguns ciclos reprodutivos, tendo em vista que as características ambientais e hidrológicas entre os períodos reprodutivos podem ser muito variáveis.

Os dados obtidos com este estudo trazem informações importantes para as estratégias de conservação de *P. costatus* e, também, a outras espécies migradoras existentes na região de estudo e, mesmo em outras regiões e bacias hidrográficas. Dentre elas destacamos a necessidade de se ajustar os períodos de operação de Sistemas de Transposição de Peixes às janelas migratórias das espécies de peixes alvo de transposição e a determinação de períodos de proibição de pesca compatíveis com o período migratório das espécies a serem

protegidas. A possibilidade de se manter o rio São Francisco no trecho que vai do reservatório de Três Marias às suas cabeceiras, incluindo tributários como rio Bambuí e Samburá, como um rio de Preservação Permanente, também, deve ser avaliada, pois esta região parece contribuir de forma significativa para a manutenção de estoques de peixes migradores nesta bacia hidrográfica.

5.2 Sugestão de questões a serem investigadas no futuro

Com base nos resultados apresentados por este estudo, sugerimos algumas questões que, em nossa opinião, devem ser melhor exploradas em estudos futuros que ocorram no alto São Francisco, em outras regiões da bacia e, também, em outras bacias hidrográficas neotropicais. São elas:

- a) Demografia da espécie na região do Alto São Francisco. Devem ser avaliados: o tamanho populacional, estrutura etária, proporção sexual, expectativa de vida, taxas de crescimento, dentre outros.
- b) Dinâmica populacional da espécie: é possível que existam subpopulações espalhadas, ao longo da calha dos rios São Francisco e Pará, desde os pontos de reprodução na parte alta da bacia até os trechos inferiores, próximo à confluência entre os dois rios. É preciso que entendamos as características migratórias dos indivíduos destas populações, caso existam e os fatores que as determinam (territorialismo, estruturação etária ou sexual, dentre outros).
- c) A importância dos tributários menores na reprodução e recrutamento da espécie: neste projeto, não trabalhamos diretamente com os tributários menores tanto do São Francisco quanto do Pará. É possível que estes tributários sejam importantes, para a reprodução e recrutamento da espécie na região, em especial, em

anos mais chuvosos. É preciso que esta questão seja melhor investigada em estudos futuros.

- d) As consequências fisiológicas da migração/reprodução: é importante avaliar as modificações fisiológicas pelas quais os peixes passam antes, durante e após a migração, bem como os custos fisiológicos associados à migração. Somente por meio da avaliação do gasto energético, modificações hormonais e sanidade dos peixes que migram e dos que não o fazem, em determinado ano, entenderemos as relações de custo/benefício associadas ao processo migratório e reprodutivo.
- e) O impacto que o processo de marcação possui sobre os peixes. É preciso avaliar se a marcação altera o comportamento, aumenta as taxas de mortalidade, predação e pesca dos peixes para se ter uma noção exata de seu impacto nas populações marcadas.
- f) Avaliações em longo prazo sobre o processo migratório. Os efeitos da hidrologia sobre as estratégias migratórias de espécies reofílicas neotropicais só poderão ser avaliados com estudos em longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ABUJANRA, F.; AGOSTINHO, A. A.; HANH, N. S. Effects of the flood regime on the body condition of fish of different trophic guilds in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 469-479, 2009.
- AGOSTINHO, A. A. et al. Fish ladder of Lajeado Dam: migrations on one-way routes? **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 121-130, 2007.
- _____. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 14, n. 1, p. 11-19, 2004.
- _____. Migratory fish from the upper Paraná River basin, Brazil. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 19-98.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo dos recursos pesqueiros em reservatório do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; ZALEWSKI, M. The importance of floodplain for dynamics of fish communities of upper Paraná River. **International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology**, Lodz, v. 1, n. 1, p. 209-217, 2001.
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Lodz, v. 4, n. 3, p. 255-256, 2004.
- ALERSTAM, T.; HEDENSTROM, A.; AKESSON, S. Long-distance migration: evolution and determinants. **Oikos**, Lund, v. 103, n. 2, p. 247-260, 2003.
- ALVES, C. B. M. A ictiofauna e a escada experimental para peixes do rio Paraopeba – UTE Igarapé, Bacia do Rio São Francisco (Minas Gerais). In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.
- ALVES, C. B. M.; SILVA, L. G. M. da; GODINHO, A. Radiotelemetry of a female jaú, Zungaro jahu (Ihering, 1898) (Siluriformes: Pimelodidae), passed

upstream a Funil Dam, Rio Grande, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 229–232, 2007.

ALVES, C. B. M.; VIEIRA, F.; POMPEU, P. S. **Ictiofauna da bacia hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, 2007. 211 p.

ALVES, D. C. et al. Hydrological attributes and rheophilic freshwater fish: stock assessment. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 23, n. 3, p. 375-394, 2013.

ANDRADE NETO, F. R. **Migração e conservação do dourado (*Salminus franciscanus*, Lima & Britski 2007) em um trecho do rio São Francisco**. 2008. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ARANTES, F. P. et al. Collapse of the reproductive process of two migratory fish (*Prochilodus argenteus* and *Prochilodus costatus*) in the Três Marias Reservoir, São Francisco River, Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, Berlin, v. 27, n. 3, p. 847-853, 2011.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; OLIVEIRA, E. C. Transport of larval fish in the Amazon. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 53, n. sA, p. 297-306, Dec. 1998.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; RUFFINO, M. L. Migratory fishes of the brazilian Amazon. In: In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 233-301.

BAILLY, D.; AGOSTINHO, A. A.; SUZUKI, H. I. 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**, Chichester, v. 24, n. 9, p. 1218-1229, 2008.

BAUMGARTNER, G. et al. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná river, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, n. 2, v. 71, p. 115-125, 2008.

BAYLEY, P. B. Studies on the migratory characin, *Prochilodus platensis* Holmberg 1989, Pisces, Characoidei in the River Pilcomayo, South America. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 5, n. 1, p. 25-40, 1973.

BONETTO, A. A.; VERÓN, M. C.; ROLDÁN, D. Nuevos aportes al conocimiento de las migraciones de peces em el Río Paraná. **Ecosur**, Buenos Aires, v. 8, n. 16, p. 29-40, 1981.

BRAGA-SILVA, A.; GALETTI JUNIOR, P. M. Evidence of isolation by time in freshwater migratory fish *Prochilodus costatus* (Characiormes, Prochilodontidae). **Hydrobiologia**, Haia, v. 765, n. 1, p. 159-167, 2016.

BRODERSEN, J. et al. Variable individual consistency in timing and destination of winter migrating fish. **Biology Letters**, Londres, v. 8, n. 1, p. 21-23, 2012.

BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. 195 p.

CASARIM, R. C. P. **Dinâmica da migração e reprodução dos peixes na região da foz do rio Abaeté, alto São Francisco, MG**. 2014. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CHAPMAN, B. B. et al. Partial migration in fishes: causes and consequences. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 2, p. 456-478, 2012.

CHOMYSHYN, L.; MCCONNACHIE, S. H.; COOKE, S. J. Evaluation of water entry into the coelom and different levels of aseptic technique during surgical implantation of electronic tags in freshwater fish. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 21, n. 1, p. 61-70, 2011.

COOKE, S. J. et al. Advancing the surgical implantation of electronic tags in fish: a gap analysis and research agenda based on a review of trends in intracoelomic tagging effects studies. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 21, n. 1, p. 127-151, 2011.

CROSSIN, G. T. et al. Mechanisms influencing the timing and success of reproductive migration in a capital breeding semelparous fish species, the sockeye salmon. **Physiological and Biochemical Zoology**, Chicago, v. 82, n. 6, p. 635-652, 2009.

DIAZ-SARMIENTO, J. A.; ALVAREZ-LEON, R. Migratory fishes of the colombian Amazon. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 303-344.

DINGLE, H.; DRAKE, V. A. What is migration? **BioScience**, New York, v. 57, n. 2, p. 113-121, 2007.

FERNANDES, R. et al. Effects of the hydrological regime on the ichthyofaunal of riverine environments of the Upper Paraná River floodplain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 669–680, 2009.

FLECKER, A. S. Ecosystem engineering by a dominant detritivore in a diverse tropical stream. **Ecology**, Washington, v. 77, n. 6, p. 1845-1854, 1996.

FORSYTHE, P. S. et al. Environmental and lunar cues are predictive of the timing of river entry and spawning-site arrival in lake sturgeon *Acipenser fulvescens*. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 1, p. 35-53, 2012.

FRIES, L. C. C. **Movimentos e distribuição longitudinal de um peixe migrador (*Salminus brasiliensis*) em um reservatório de usina hidrelétrica**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Migration and spawning of radio-tagged zulega *Prochilodus argenteus* in a Dammed Brazilian River. **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 135, n. 3, p. 811–824, 2006.

_____. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River Research and Applications**, Chichester, v. 25, n. 6, p. 702-712, 2008.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B.; GODINHO, H. Migration and Spawning of female surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*, Pimelodidae) in the São Francisco River, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 80, n. 4, p. 421–433, 2007.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B.; MARTINEZ, C. B. Supplemental water releases for fisheries restoration in a Brazilian floodplain river: a conceptual model. **River Research and Applications**, Chichester, v. 23, n. 9, p. 947-962, 2007.

GODINHO, A. L.; LAMAS, I. R.; GODINHO, H. P. Reproductive ecology of Brazilian freshwater fishes. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 87, n. 2, p. 143-162, 2010.

GODINHO, H. P.; SANTOS, J. E.; SATO, Y. Ontogênese larval de cinco espécies de peixes do São Francisco. In. GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L.

(Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora da PUC, 2003. p. 133-148.

GODOY, M. P. Age, growth, sexual maturity, behavior, migration, tagging and transplanted of the curimatá (*Prochilodus scrofa* Steindacher, 1881) of the Mogi Guassu river, São Paulo state, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 447-477, 1959.

_____. Brazilian tagging experiments, fishes migration, and upper Paraná River basin ecosystem. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 32, n. 4, p. 473-484, 1972.

_____. Dez anos de observações sobre periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guassu. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 27, n. 1, p. 1-12, 1967.

_____. **Peixes do Brasil, sub-ordem Characoidei, bacia do Rio Mogi-Guaçu**. Piracicaba: Editora Franciscana, 1975. 627 p.

HAHN, L. et al. Preliminary study on the application of radio-telemetry techniques to evaluate movements of fish in the Lateral Canal at Itaipu Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, n. 2, p. 103–108, 2007.

_____. Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. **Endangered Species Research**, Kiel, v. 15, n. 2, p. 103–114, 2011.

HAHN, L. The application of radio telemetry to fisheries research in Brazil's large rivers. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 237-252.

HARVEY, B.; CAROSFELD, J. B. Fishes of the floods. In: CAROSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 1-18.

HINCH, S. G. et al. Behavioural physiology of fish migrations: salmon as a model approach. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press, 2006. p. 240-296.

HOCKERSMITH, E. E.; BEEMAN, J. W. A history of telemetry in fishery research. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 7-19.

HODGSON, S.; QUINN, T. P. The timing of adult sockeye salmon migration into fresh water: adaptations by populations to prevailing thermal regimes. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 80, n. 3, p. 542–555, 2002.

HUMPHRIES, P.; KING, A. J.; KOEHN, J. D. Fish, flows and flood plains: links between freshwater fishes and their environment in the Morray-Darling River system, Australia. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 56, p. 129-151, 1999.

HUMPHRIES, P.; LAKES, P. S. Fish larvae and the management of regulated rivers. **Regulated Rivers: research & management**, Chichester, v. 16, n. 1/2, p. 421-432, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/boletimAgroclimatologico>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 106, n. 1, p. 469-487, 1989.

KOEHN, J. D. Designing studies based on acoustic or radio telemetry. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 21-44.

LIEDTKE, T. L.; RUB, M. W. Techniques for telemetry transmitter attachment and evaluation of transmitter effects on fish performance. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 45-87.

LOPES, C. A. et al. Temporal distribution of ichthyoplankton in the Forquilha river, upper Uruguay river – Brazil: relationship with environmental factors. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 59-65, 2014.

LOPES, J. M. et al. Effect of anesthetic, tag size, and surgeon experience on postsurgical recovering after implantation of electronic tags in a neotropical fish: *prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837)(Characiformes:Prochilodontidae). **Neotropical Ichthyology**, Maringá, v. 14, n. 3, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-62252016000300209&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 mar. 2016.

LOWE-MCCONNELL, R. H. **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 382 p.

LUCAS, M. C.; BARAS, E. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 1, n. 4, p. 283–316, 2000.

LUZ-AGOSTINHO, K. D. G. et al. Effects of flooding regime on the feeding activity and body condition of piscivorous fish in the Upper Paraná River floodplain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 481-490, 2009.

MAKRAKIS, M. C. et al. Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 2, p. 866-881, 2012.

MARINKE, J. M. S. et al. Population dynamics of the migratory fish *Prochilodus lineatus* in a neotropical river: the relationships with river discharge, flood pulse, El Niño and fluvial megafan behavior. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 113-122, 2010.

MOCHEK, A. D.; PAVLOV, D. S. The ecology of Sábalo *Prochilodus lineatus* (Curimatidae, Characoidei) of the Pilcomayo River (South America). **Journal of Ichthyology**, Silver Spring, v. 38, n. 1, p. 28-36, 1998.

NAKATANI, K. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001. 349 p.

NIELSEN, L. A. **Methods of marking fish and shellfish**. Bethesda: American Fisheries Society, 1992. 208 p.

OLIVEIRA, A. G. et al. Interspecific variation in migratory fish recruitment in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of floods. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 98, n. 5, p. 1327-1337, 2015.

PATTERSON, D. A. et al. The effect of exercise and captivity on energy partitioning, reproductive maturation, and fertilization success in adult sockeye salmon. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 64, n. 4, p. 1039-1059, 2004.

PELICICE, F. M.; POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 16, n. 4, p. 697-715, 2015.

PEREZ, A. G. **Movimentos e mortalidade crônica de peixes nos rios Grande e Paranaíba**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PESOA, N. A.; SCHULZ, U. H. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 4, p. 1169–1177, 2010.

PETRERE JUNIOR, M. **Migraciones de peches de agua dulce em America Llatina**: algunos comentarios. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1985. 18 p.

POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. **River Research and Applications**, Chichester, v. 28, n. 4, p. 504-512, 2011.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. In: Godinho, H. P.; Godinho, A. L. (Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora da PUC, 2003. p. 361-372.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2006.

POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Estabelecimento de regra-operativa de um mecanismo de transposição de peixes do tipo elevador com caminhão tanque. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 31-42, 2005.

RAMENOSFSKY, M.; WINGFIELD, J. C. Regulation of migration. **BioScience**, New York, v. 57, n. 2, p. 135-143, 2007.

RAND, P. S.; HINCH, S. G. Swim speeds and energy use of upriver migrating sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): Simulating metabolic power and assessing risk of energy depletion. **Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science**, Ottawa, v. 55, n. 8, p. 1832-1841, 1998.

RESENDE, E. K. et al. **Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil**. Cuiabá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 73 p.

RESENDE, E. K. Migratory fishes of the Paraguay-Paraná basin excluding the upper Paraná basin. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 99-156.

REYNALTE-TATAJE, D. A. et al. Spawning of migratory fish species between two reservoirs of the upper Uruguay River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 829-835, 2012.

_____. Temporal distribution of ichthyoplankton in the Ivinhema River (Mato Grosso do Sul State/Brazil): influence of environmental variables. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 427-436, 2011.

RIBEIRO, T. C. **Migração de peixes neotropicais em rios com barramentos sucessivos**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ROSA, G. R. **Distribuição especial e temporal de ovos e larvas de peixes em uma sub-bacia do alto rio São Francisco (Brasil)**. 2015. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Vertebrados) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SANTOS, G. B. et al. Marcação e recaptura da Curimatá-Pioa (*Prochilodus costatus*) em um afluente do rio São Francisco e avaliação da necessidade da transposição de peixes na UHE Gafanhoto. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 35-58.

SANTOS, H. A.; POMPEU, P. S.; KENJI, D. O. L. Changes in the flood regime of São Francisco River (Brazil) from 1940 to 2006. **Regional Environmental Change**, Dordrecht, v. 12, n. 1, p. 123-132, 2012.

SANTOS, J. C.; LUZ, R. K. Effect of salinity and prey concentrations on *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus costatus* and *Lophiosilurus alexandri* larviculture. **Aquaculture**, Estados Unidos, v. 287, n. 3, p. 324-328, 2009.

SATO, Y.; CARDOSO, E. L.; AMORIM, J. C. C. **Peixes das lagoas marginais do rio São Francisco, a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais)**. Brasília: CODEVASF, 1988. 42 p.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Migratory fishes of the São Francisco River. In: CAROSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 195-232.

SCHULZ, U. H.; LEAL, M. E. Effects of stocking density on dispersal behavior of Brazilian freshwater dourado (*Salminus brasiliensis*) in a subtropical river headwater. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 409-415, 2012.

SCHULZ, U. H.; LEUCHTENBERGER, C. Activity patterns of the South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 2A, p. 565-574, 2006.

SHAW, A.; LEVIN, S. A. To breed or not to breed: a model of partial migration. **Oikos**, Lund, v. 121, n. 10, p. 1871-1879, 2011.

SIH, A.; BELL, A.; JOHNSON, J. C. Behavioral syndromes: an ecological and evolutionary overview. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 19, n. 7, p. 372-378, 2004.

SILVA, L. G. M. Parâmetros migratórios e transposição de curimbatás e mandis-amarelos no médio rio Grande. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.

SILVA, P. S. et al. Importance of reservoir tributaries to spawning of migratory fish in the upper Paraná River. **River Research and Applications**, Chichester, v. 31, n. 3, p. 313-322, 2014.

SUMMERFELT, R. C.; SMITH, L. S. Anesthesia, surgery and related techniques. In: SCHRECK, C. B.; MOYLE, P. B. (Ed.). **Methods for fish biology**. Bethesda: American Fisheries Society, 1990. p. 213-272.

SUZUKI, F. M. **Estudo do comportamento de peixes no canal de fuga da usina hidrelétrica de Três Marias utilizando telemetria acústica**. 2014. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SUZUKI, F. M.; POMPEU, P. S. Influence of abiotic factors on ichthyoplankton occurrence in stretches with and without dams in the upper Grande River basin, South-eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 99-108, 2016.

SUZUKI, H. I. et al. Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 649-660, 2009.

SVERLIJ, S. B.; ESPINACH-ROS, A.; ORTI, G. **Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sabalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847)**. Argentina: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1993. 64 p.

THIEM, J. D. et al. Trends in the reporting of tagging procedures for fish telemetry studies that have used surgical implantation of transmitters: a call for more complete reporting. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Hobart, v. 21, n. 1, p. 117-126, 2011.

THOREAU, X.; BARAS, E. Evaluation of surgery procedures for implanting telemetry transmitters into the body cavity of tilapia *Oreochromis aureus*. **Aquatic Living Resources**, Les Ulis, v. 10, n. 4, p. 207-211, 1997.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: EDUEM, 1996. 169 p.

WELCOMME, R. L. **Fisheries ecology of floodplain rivers**. London: Longman, 1979. 352 p.

WINTER, J. Advances in underwater biotelemetry. In: MURPHY, B. R.; WILLIS, D. W. (Ed.). **Fisheries techniques**. Maryland: American Fisheries Society, 1996. p. 555-590.

ZANIBONI, E.; SHULZ, U. H. Migratory fishes of the Uruguay River. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America**: biology, social importance and conservation status. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 157-194.

ZHDANOVA, I. V.; REEBS, S. G. Circadian rhythms in fish. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press, 2006. p. 197-239.

**ARTIGO 2 - VELOCIDADES NATATÓRIAS EM MIGRAÇÃO
ASCENDENTE E DESCENDENTE, TEMPO DE ESTADIA EM SÍTIOS
REPRODUTIVOS E ALIMENTARES, FIDELIDADE GEOGRÁFICA
AOS SÍTIOS ALIMENTARES E INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO,
ILUMINAÇÃO SOLAR E LUNAR NA MIGRAÇÃO DO PEIXE
PROCHILODUS COSTATUS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, MG**

***SWIMMING SPEED IN UPSTREAM AND DOWNSTREAM
MIGRATIONS, TIME OF STAY IN REPRODUCTIVE AND FEEDING
SITES, GEOGRAPHIC FIDELITY TO FEEDING SITES AND
INFLUENCE OF PRECIPITATION AND SOLAR AND MOONLIGHT
OVER THE MIGRATION OF *PROCHILODUS COSTATUS* AT THE SÃO
FRANCISCO RIVER BASIN IN MINAS GERAIS, BRAZIL***

João de Magalhães Lopes¹ e Paulo Santos Pompeu²

1. Cemig Geração e Transmissão S.A. – e-mail: joaoml@cemig.com.br. Av. Barbacena, 1200, Belo Horizonte. CEP 30180-121.

2. Universidade Federal de Lavras

**ARTIGO FORMATADO CONFORME A NBR 6022 (ABNT, 2003),
conforme Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos da
UFLA.**

RESUMO

O ciclo migratório de peixes neotropicais, ainda, é pouco conhecido para a maioria das espécies. Estudos que utilizam técnicas de biotelemetria, em rios não barrados, são raros e detalhes da dinâmica migratória de peixes, que habitam estes sistemas, ainda, são pouco entendidos. Este estudo teve como objetivo avaliar as características natatórias e alguns fatores ambientais que influenciam a migração da espécie *P. costatus*, em um trecho do rio São Francisco ainda não barrado, acima do reservatório de Três Marias. O período migratório estimado para *P. costatus*, em migração reprodutiva, varia de 8 a 13 dias, nos meses de outubro e novembro. Para o deslocamento contra a corrente por distâncias de 250 a 350 km, este é um período bastante curto, o que deve acarretar uma alta demanda energética. Em natação ascendente, os indivíduos marcados nadaram a uma velocidade média de 35 km/dia, velocidade média superior à registrada para a espécie em estudos anteriores. Ao que tudo indica, esta alta demanda energética da migração ascendente faz com que os peixes permaneçam, nos pontos de reprodução, mesmo após a ocorrência da desova, para se recuperarem. Os indivíduos marcados ficaram, em média, 90 dias nos trechos altos da bacia, retornando, ao longo dos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, mesmo que a desova pareça ocorrer já no início da estação chuvosa nos meses de dezembro e janeiro. A espécie apresenta uma alta fidelidade, no retorno aos sítios alimentares, com cerca de 85% dos peixes retornando, exatamente, ao mesmo ponto de marcação ou a pontos próximos no mesmo rio. A ocorrência das primeiras chuvas, na região nos meses de outubro e novembro, parece ser um importante gatilho para o início da migração ascendente, em conjunto com fases da lua de menor iluminação. Essa pode ser uma estratégia da espécie para evitar predadores que se orientam, visualmente, durante o período noturno. Já a iluminação solar parece exercer papel importante, no nível de atividade da espécie, quando em migração ascendente, já que a maior parte dos registros nesse tipo de migração ocorreu durante o dia.

Palavras-chave: Velocidade natatória. Fidelidade geográfica. Fase da lua. Chuva. Iluminação solar.

ABSTRACT

The migratory cycle of most species of neotropical fish is little known. Studies using biotelemetric techniques in non-dammed rivers are rare, and the details regarding the dynamics of the migratory fish that inhabit these systems is still little understood. This study had the objective of evaluating the swimming characteristics and a few environmental factors that influence the migration of the *P. costatus* species in a non-dammed stretch of the São Francisco River, upstream of the Três Marias Dam. The migratory period estimated for *P. costatus* in reproductive migration ranges from 8 to 13 days, during the months of October and November. For dislocating against the current, for the distances of 250 to 350 km, this is a relatively short period, which must entail high energetic demand. In upstream swimming, the marked individuals swam at an average speed of 35 km/day, average speed superior to that registered for the species in previous studies. Presumably, this high energetic demand for upstream migration allow the fish to remain at the reproduction points even after spawning, in order to recover. The marked individuals remained in the high stretches of the basin for an average of 90 days, returning over the months of December, January, February, March and April, even if spawning occurs at the beginning of the rainy season, in December and January. The species presents high fidelity in returning to the feeding sites, with close to 85% of the fish returning to the same point of marking or to near points in the same river. The occurrence of the first rains in the region, in the months of October and November, and the moon phases with lower illumination seem to be an important trigger for the beginning of upstream migration. This can be a strategy for the species to avoid predators that visually orient themselves during the night. Solar light seems to have an important role in the level of activity in upstream migration, since most reports on this type of migration occurred during the day.

Keywords: Swimming speed. Geographical fidelity. Moon phases. Rain. Solar illumination.

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica migratória de peixes neotropicais é uma questão que vem despertando um crescente interesse no Brasil. O aumento da intensidade e abrangência dos impactos antrópicos sobre os corpos d'água continentais demandam respostas baseadas em conhecimento científico que ainda é escasso para estas espécies (AGOSTINHO et al., 2003). Características do processo migratório/reprodutivo como o período migratório, a extensão da migração, as características natatórias dos indivíduos, a influência de parâmetros ambientais, a exata localização de sítios de desova e reprodução, os períodos de desova e áreas de recrutamento de alevinos, dentre outras, ainda são pouco conhecidos para a maioria das espécies migradoras que ocorrem em bacias sul-americanas (GODINHO; KYNARD, 2008; HARVEY; CAROSFELD, 2003; SILVA, 2012). Essas informações são essenciais, para se entender as estratégias ecológicas utilizadas por estas espécies, para dimensionar o impacto que determinada intervenção humana terá sobre este grupo e as medidas necessárias para a sua mitigação (HANH, 2012; HANH et al., 2011; PETRERE JÚNIOR, 1985).

Parte da falta de conhecimento científico mais detalhado acerca das características migratórias e reprodutivas de espécies neotropicais se deve ao fato de termos ainda poucos estudos realizados na região que utilizem técnicas de biotelemetria, apesar deste número estar em franca expansão nos últimos anos (HANH, 2012; LOPES et al., 2014). Boa parte dos estudos realizados no Brasil utiliza a coleta de indivíduos (ARANTES et al., 2011; ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003; RESENDE, 2003; RESENDE et al., 1995; PERINI et al., 2013) ou marcação e recaptura (ALVES, 2012; GODOY, 1959, 1967, 1972; MAKRAKIS et al., 2012; SANTOS et al., 2012) para inferir as etapas do ciclo migratório/reprodutivo de espécies existentes em determinada bacia hidrográfica. Apesar de muito importantes para o levantamento das características gerais e para o conhecimento dos macropadrões existentes, estas

técnicas não conseguem identificar as características migratórias das espécies estudadas com maior detalhamento, porque não permitem a obtenção de informações individuais periódicas das atividades dos indivíduos de uma população (LUCAS; BARAS, 2000).

Adicionalmente, como boa parte da pesquisa realizada com peixes migradores é financiada por concessionárias de energia elétrica, quase que a totalidade dos estudos que utilizam técnicas de biotelemetria é realizada em trechos de rio que já sofreram ou que estão sofrendo intervenções antrópicas no período estudado (ALVES, 2012; ALVES; SILVA; GODINHO, 2007; ANDRADE NETO, 2008; FRIES, 2013; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; HAHN et al., 2007; PÉREZ, 2014; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012; SUZUKI, 2014). O mais comum é a realização de estudos de migração de peixes em rios nos quais já existem cascatas de reservatórios, em trechos localizados a jusante de barragens ou em rios que estão sendo barrados durante a execução do projeto. As mudanças hidrológicas e ambientais já existentes e os impactos crescentes nestas áreas, certamente, interferem na dinâmica migratória dos indivíduos marcados e podem mascarar padrões previamente existentes, desenvolvidos ao longo da história evolutiva da espécie. Espécies migradoras são altamente susceptíveis a mudanças nas condições ambientais, pois as utilizam como sinalizadoras de momentos favoráveis à migração reprodutiva, desova e retorno aos sítios de alimentação (FORSYTHE et al., 2012). Mudanças causadas por impactos antrópicos, certamente, irão interferir em padrões previamente existentes, podendo tornar a dinâmica migratória da espécie estudada menos representativa do padrão geral original. A transformação de um rio em um reservatório leva a mudanças na qualidade de água, na dinâmica hidrológica e a alterações nos padrões espaciais/geográficos de determinado ponto do rio que podem interferir no timing, extensão e duração do processo migratório (AGOSTINHO et al., 2003;

AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; PEREZ, 2014; SUZUKI, 2014). É rara a oportunidade de se estudar populações de peixes neotropicais por meio da biotelemetria em trechos de rios ainda livres de barramentos.

Como exemplo de características ainda pouco conhecidas, para peixes migradores neotropicais, temos as suas velocidades natatórias quando em migração ascendente e descendente. Apesar destes dados já existirem, para algumas espécies em condições de laboratório (DUARTE; RAMOS; SANTOS, 2012; DUARTE; SANTOS, 2014; SAMPAIO et al., 2010, 2012; Santos et al., 2012a; SANTOS; POMPEU; MARTINEZ, 2009), essas informações ainda são pouco conhecidas para indivíduos, no ambiente natural e, em grande parte, foram obtidas em estudos de marcação e recaptura que podem subestimá-las consideravelmente (AGOSTINHO et al., 1994; DELFINO; BAIGUN, 1985; GODOY, 1975). Na natureza, poucos foram os estudos que conseguiram medir a velocidade de natação de espécies neotropicais, quando em migração reprodutiva ou quando do seu retorno, para seus sítios de alimentação por meio de biotelemetria (ANDRADE NETO, 2008; FRIES, 2013; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; PEREZ, 2014). A velocidade natatória pode ser utilizada para melhor se estimar os períodos migratórios, sua duração média, gastos energéticos da migração, períodos de partida dos sítios de alimentação e chegada em sítios de reprodução e vice-versa. Mudanças temporais na dinâmica migratória, causadas por obstáculos artificiais, podem ter custos expressivos no sucesso reprodutivo de espécies migradoras tanto em termos de aumento dos gastos energéticos para os indivíduos que migram quanto na diminuição de seu sucesso reprodutivo em razão de atrasos em seu período de desova. Os períodos de estadia nos sítios alimentares e reprodutivos e os períodos migratórios constituem informação essencial para se entender o ciclo de vida de peixes migradores. Por quanto tempo os indivíduos permanecem nos sítios de alimentação e reprodução, qual a duração média das migrações reprodutivas e

tróficas? Estes períodos variam em anos distintos ou em pontos distintos da bacia hidrográfica? Quais as relações que essas variáveis possuem com a hidrologia e com a disponibilidade de recursos ao longo da área de vida das espécies? Essas e outras questões são ainda pouco conhecidas para espécies neotropicais.

O grau de fidelidade geográfica de indivíduos de determinada espécie aos seus sítios de alimentação e reprodução (homing), também, é pouco conhecido para espécies migradoras de peixes neotropicais. Alguns estudos têm inferido que, ao menos em algum grau, indivíduos destas espécies retornam a pontos de reprodução e alimentação previamente ocupados durante o ciclo migratório (GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; GODOY, 1975). Apesar disso não se verifica qual a proporção de indivíduos dentro de uma população que apresentam esta fidelidade, o grau de fidelidade do mesmo indivíduo em anos subsequentes e as variações entre os níveis de fidelidade geográfica entre populações da mesma espécie que ocorrem em pontos diferentes da bacia hidrográfica. A própria ocorrência do fenômeno ainda não é um consenso para a maioria das espécies neotropicais. A fidelidade geográfica de determinada espécie é uma característica importante para se entender as suas estratégias ecológicas e para se mitigar impactos ambientais em determinada bacia hidrográfica (ANTONIO et al., 2007; DUPONCHELLE et al., 2016). Caso uma barragem seja instalada em tributário de determinado rio, isto significará a extinção local de determinada proporção da população que o utiliza para se reproduzir?

Por fim, existem diversas características ambientais que parecem influenciar diretamente no ciclo de vida de peixes migradores, mas cujas relações com o processo migratório e reprodutivo ainda são pouco conhecidas. Alguns desses parâmetros sinalizam períodos favoráveis para a migração e desova, quando ultrapassam certo limiar ao longo do ano, como a temperatura da

água (VAZZOLER, 1996) ou fotoperíodo, por exemplo (FORSYTHE et al., 2012). Outros, como os ciclos de iluminação solar diária e as fases da lua, são características ambientais cíclicas que podem definir períodos de maior e menor atividades migratórias (BIZZOTTO et al., 2009; HANSON et al., 2008; KUPARINEN; O'HARA; MERILA, 2009; PESOA; SCHULZ, 2010), e a precipitação já foi apontada por diversos estudos como um gatilho ambiental para o início do processo migratório (GODOY, 1962, 1975; HARVEY; CAROSFELD, 2003; PETRERE JÚNIOR, 1985; RESENDE et al., 1995;). A forma como essas características ambientais atuarão dependerá da espécie de peixe e do ambiente avaliado, porque existe uma gama de diferentes estratégias que podem ser utilizadas para se maximizar o sucesso reprodutivo de peixes migradores. Diferentes espécies possuem diferentes requisitos ambientais que determinam seu padrão migratório e reprodutivo e populações da mesma espécie, em diferentes ambientes, podem, também, desenvolver limiares de resposta específicos e adaptados às características ambientais locais. O conhecimento desses requisitos para cada espécie e região de ocorrência permitirá que projetos de conservação de espécies de peixes migradores utilizem estratégias baseadas em preferências específicas. Espécies migradoras de peixes estão entre os grupos mais ameaçados do planeta. Os requisitos ambientais e geográficos que estas espécies demandam, para completar o seu ciclo reprodutivo, tornam-nas altamente vulneráveis a impactos antrópicos (HINCH et al., 2006).

Diante desses desafios, o objetivo deste estudo foi avaliar as características migratórias de indivíduos de *Prochilodus costatus* marcados com transmissores de radiotelemetria em um trecho da bacia do alto rio São Francisco. Algumas perguntas específicas que guiaram o estudo foram:

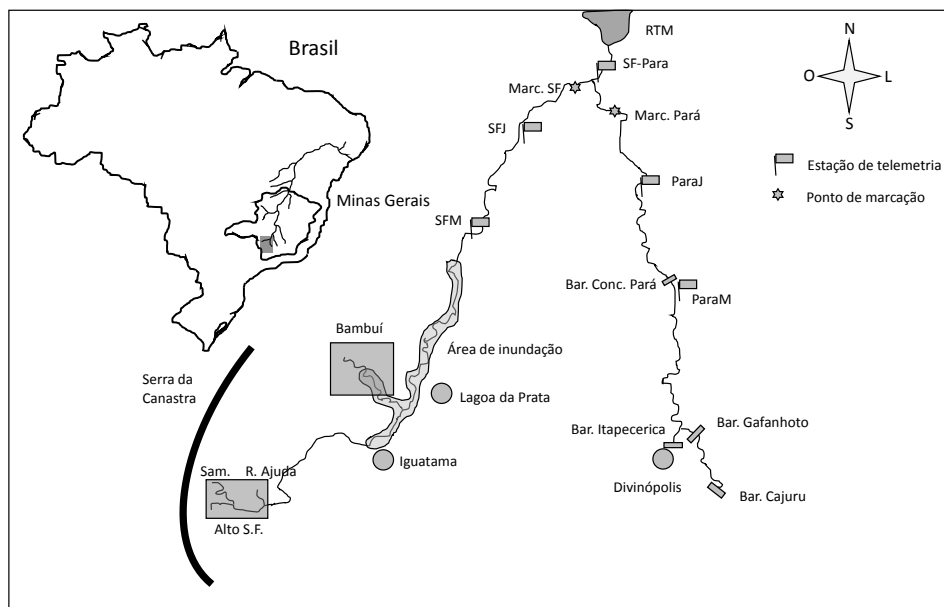
- a) Quais as velocidades natatórias e de deslocamento dos indivíduos marcados quando em migração ascendente e descendente?
- b) Por quanto tempo os indivíduos marcados permanecem em seus sítios de alimentação e reprodução durante o ciclo reprodutivo?
- c) Há fidelidade geográfica dos indivíduos marcados aos seus sítios de alimentação?
- d) Qual a influência que a precipitação, a iluminação solar e a iluminação lunar exercem no processo migratório da espécie?

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O rio São Francisco é um dos mais importantes do país, cobrindo cerca de 7,4% do território nacional. O rio nasce em Minas Gerais, na Serra da Canastra e deságua no oceano Atlântico após percorrer vários estados do Nordeste do país (SATO; GODINHO, 2003). O estudo foi realizado, no trecho superior da bacia, à montante do reservatório de Três Marias em Minas Gerais. Nesta região, o rio possui cerca de 450 km de rio livre, sem barramentos em sua calha principal. Tem como principais tributários o rio Pará e o rio Bambuí (FIGURA 1). O trecho abrange as áreas próximas à nascente do São Francisco e Bambuí, na serra da Canastra e o trecho médio do rio Pará, dado que este rio é barrado a cerca de 70km à montante de sua foz com o rio São Francisco.

Figura 1 - Área de estudo nos rios São Francisco (esquerda) e Pará (direita).



Nota: Destaque para os pontos de marcação de peixes nos rios S.F. e Pará (Marc.), estações fixas de captação de dados (SF-Pará, SFJ, SFM, ParaJ, ParaM), barragens, reservatório de Três Marias (RTM), área de inundação no médio São Francisco (área destacada), barragens localizadas na calha do rio Pará (retângulos) e pontos de reprodução dos peixes identificados nos rios Bamuí, Samburá e Alto S.F. (destacados em cinza claro).

Fonte: Dados do autor (2016)

2.2 Espécie

A espécie utilizada no estudo foi *Prochilodus costatus* um peixe reofílico de médio porte. O gênero *Prochilodus* se distribui pelas principais bacias hidrográficas do continente sul-americano, possuindo grande importância ecológica por ser detritívoro, atuando na ciclagem de nutrientes em que ocorre e por apresentar um número grande de indivíduos no alto São Francisco, sendo uma das espécies mais pescadas na região (SATO; GODINHO, 2003). A espécie é considerada uma grande migradora, possuindo desova total de ovos com grande espaço perivitelínico, o que permite que se dispersem por grandes

distâncias após a desova (GODOY, 1975; SATO, CARDOSO; AMORIM, 1988).

2.3 Marcação

Foram marcados 177 peixes nos anos de 2014 e 2015. Os peixes foram capturados em dois pontos na bacia. Um ponto na calha do rio São Francisco a cerca de 10km à montante da confluência com o rio Pará e outro ponto no rio Pará a cerca de 15 km à montante da confluência com o rio São Francisco. Os peixes foram capturados com tarrafa e mantidos em um cercado às margens do ponto de captura sendo marcados e soltos no mesmo dia de captura. Foram utilizados transmissores de radiotelemetria modelo MCFT2-3EM Lotek (10 gramas no ar). Os transmissores foram inseridos na cavidade celomática dos peixes, por meio de cirurgia, de acordo com protocolo apresentado por Lopes et al. (2014). Os transmissores e materiais cirúrgicos foram higienizados e mantidos em álcool 70 por pelo menos 20 minutos antes da cirurgia ocorrer. Os cirurgiões usaram luvas descartáveis e higienizaram suas mãos com detergente neutro antes da cirurgia. Os peixes foram anestesiados com eugenol, em concentração de 0,05mg/l, para atingir o estágio 4 de anestesia, antes da cirurgia e, durante o procedimento, foram mantidos anestesiados com eugenol em concentração de 0,035mg/l. Após a cirurgia, os peixes foram devolvidos ao rio por meio de puçá e soltos após o fim do efeito do anestésico. Não houve seleção por sexos ou tamanhos específicos. A única seleção foi o descarte de peixes que não tivessem ao menos 500g, já que utilizamos a recomendação do transmissor não ultrapassar 2% em relação ao peso corporal do peixe (NIELSEN, 1992; WINTER, 1996). Dados biométricos dos peixes marcados foram medidos, peso, comprimento padrão e comprimento total. O fator de condição de Fulton ($K=(P/CP^3)$) foi calculado utilizando-se as medidas de comprimento padrão (CP - cm) e peso (P - g).

2.4 Estações fixas de captação de sinais

Nesse estudo, foram utilizadas cinco estações fixas de captação de sinal. As estações eram compostas por um receptor modelo SRX-DL da marca Lotek, duas antenas fixas (uma voltada para montante e outra para jusante), uma bateria estacionária conectada ao receptor e uma placa de captação de energia solar conectada à bateria. Os equipamentos foram instalados a cerca de quatro metros do solo em um poste de concreto. Todos os receptores foram instalados às margens dos rios nos seguintes pontos: confluência entre os rios Pará e São Francisco (receptor SF-Pará); no rio São Francisco a cerca de 50km à montante da confluência com o rio Pará (SFJ), no rio São Francisco a cerca de 100km à montante da confluência com o rio Pará (SFM); no rio Pará a cerca de 50km da confluência com o rio São Francisco (ParaJ) e no rio Pará a cerca de 100km da confluência com o rio São Francisco (ParaM) (FIGURA 1). Os receptores foram vistoriados a cada dois meses, durante os meses de outubro a fevereiro e a cada três meses, no restante do ano, para o download de dados e avaliação de problemas técnicos.

Para se calcular a velocidade natatória dos peixes, estipulamos que o ponto a ser utilizado como válido em cada estação fixa seria o que apresentasse as maiores forças de sinal nas duas antenas em sequência. Como exemplo, se um peixe se aproximasse da estação por jusante, o momento exato da passagem foi considerado a hora em que passou pela antena voltada para jusante com a maior força de sinal e que teve a maior força de sinal subsequente na antena voltada para montante. Isso significava que aquela era a hora em que o peixe estava mais próximo das duas antenas em sua migração ascendente. A mesma metodologia foi empregada, para se avaliar a hora exata de passagem, durante a migração descendente.

Dois trechos foram utilizados para os cálculos da velocidade em migração ascendente e descendente. O primeiro foi o formado pelas estações

fixas SF-Para e SFJ e o segundo pelas estações SFJ e SFM. Os dois trechos possuem cerca de 50km cada um. Para cada peixe, foram calculadas as velocidades natatórias em comprimento padrão por segundo (comp/s), que considera o esforço do animal, considerando a velocidade da água e a velocidade de deslocamento (Km/dia). A velocidade média da água do rio São Francisco foi estimada pelos dados de vazão da estação Porto das Andorinhas da CEMIG (localizada no rio São Francisco próximo à confluência com o rio Pará), obtidos, para o dia do registro do movimento do peixe e da curva vazão/velocidade estimada pela curva chave da seção, também, fornecida pela CEMIG.

2.5 Monitoramentos aéreos

Para a avaliação dos possíveis sítios de desova e de alimentação, foram realizados monitoramentos aéreos, em toda a área de estudo, nos meses de novembro e dezembro de 2014, fevereiro, abril, julho e outubro de 2015, fevereiro e abril de 2016, totalizando 8 campanhas de rastreamento. Durante o rastreamento aéreo, foram utilizados dois receptores SRX-600 acoplados a uma mesma antena. Os dois receptores rastreavam frequências diferentes de maneira cíclica, durante o trajeto, para diminuir a chance de perda de sinais, pois utilizamos três frequências de marcas neste estudo.

2.6 Análises estatísticas

A distribuição normal dos dados foi avaliada pelo teste Shapiro-Wilk. Foi avaliada a relação entre a velocidade migratória dos peixes que migram nos dois trechos por meio de um teste T Pareado para avaliar se os mesmos indivíduos apresentam diferenças em suas velocidades migratórias ascendentes ao longo do trajeto. Esta avaliação só pôde ser realizada, para os peixes marcados no rio Pará, pois passam pelas três estações existentes no rio São Francisco. As velocidades que os peixes alcançaram entre as estações SFJ e SFM, nos dois anos de marcação e entre os sexos (apenas para peixes que

tiveram o sexo identificado), foram comparadas pelo teste T. Diferenças nas taxas de migração por fase da lua e período do dia foram testadas por chi-quadrado. Relação entre as velocidades de deslocamento e natatória e o tamanho, fator de condição e vazão do rio São Francisco foram testadas por meio de regressão simples. Foi estipulado um nível de significância de 0,05.

3 RESULTADOS

3.1 Migração ascendente

A Tabela 1 apresenta os dados de migração ascendente de todos os peixes nas duas temporadas de marcação. O cálculo das velocidades natatórias foi feito em dois trechos no rio São Francisco. Esta velocidade foi calculada, para 11 peixes em 2014 e 13 peixes em 2015, no primeiro trecho, entre as estações SF-Pará e SFJ. A hora de passagem pelas estações SFJ e SFM foi registrada, para 18 peixes em 2014 e 22 peixes em 2015, no segundo trecho. Na primeira temporada de marcação, dois peixes parecem ter iniciado a migração ascendente, ao atingir a estação SF-Pará, mas não foram mais detectados posteriormente, o que sugere que possam ter sido pescados na subida. O mesmo ocorreu com um peixe no segundo ano. Dois peixes foram recapturados, quando estavam em migração ascendente, cada um em uma temporada. Três peixes, também, passaram pela estação SF-Pará e retornaram a esta estação sem passar pelas demais estações do rio São Francisco o que pode indicar que tenham entrado em algum tributário entre estas estações. Para três peixes marcados, no segundo ano, não houve detecção na estação SFJ. Apuramos que estes peixes passaram por essa estação, pois todos os três foram detectados pela estação SFM e não é possível passar por esta estação sem ter passado por SFJ. Provavelmente houve alguma falha do equipamento ou na captação de sinais, nessa estação, durante a passagem desses peixes. Quatro peixes não foram registrados pela estação SFM, na segunda temporada de marcação, tendo passado pela estação SFJ. Neste caso, estes peixes podem ter entrado em algum tributário que se localiza entre as duas estações ou podem ter sido pescados. Acreditamos que seja mais provável que esses peixes tenham sido pescados durante a migração ascendente. Isso porque não houve registro de nenhum deles retornando para jusante e passando de volta pela estação SFJ (TABELA 2) e, porque fizemos

uma campanha de monitoramento aéreo, em fevereiro de 2016, sobrevoando os principais tributários entre as duas estações e não detectamos nenhum peixe.

Os primeiros movimentos dos peixes (período pré-migratório) foram registrados, em média, 29,7 (D.P. \pm 13,2) dias, após a marcação, na primeira temporada de marcação e de 38,2 (D.P. \pm 17,9) dias, na segunda temporada. Os peixes marcados no rio Pará tiveram, em média, 36,3 (\pm 16,2) dias, enquanto os marcados no São Francisco 33(D.P. \pm 17,2) dias de período pré-migratório.

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2014-15	1	131	420	São Francisco	0,40	1760,00	F	5,7	25,0	28/9/14 20:09	13,73	346,40	25,24	12/10/14 13:33	Desconhecido	Sim - Subiu o Pará
2014-15	1	115	900	São Francisco	0,32	820,00	F	29,6	35,3	22/10/14 19:13	10,16	346,40	34,11	1/11/14 22:58	Desconhecido	Sim
2014-15	1	167	320	Pará	0,37	1430,00	NI	14,1	39,2	24/10/14 2:36	9,97	372,30	37,33	3/11/14 1:59	Desconhecido	Sim - Subiu novamente o SF
2014-15	1	170	420	Pará	0,40	1900,00	F	37,2	36,9	23/10/14 20:31	11,78	372,30	31,59	4/11/14 15:20	Desconhecido	Sim - Subiu novamente o SF
2014-15	1	129	900	Pará	0,39	1520,00	NI	37,2	.						Possivelmente pescado	Não
2014-15	1	6	320	Pará	0,32	820,00	NI	38,0	37,0	24/10/14 20:26	7,99	268,80	33,65	1/11/14 20:08	Provável Bambuí	Não
2014-15	1	138	420	Pará	0,37	1210,00	M	15,6	27,2	24/10/14 8:09	14,29	372,30	26,06	7/11/14 15:02	Samburá	Sim
2014-15	1	128	900	Pará	0,34	950,00	NI	38,0	25,8	24/10/14 19:23	14,46	372,30	25,75	8/11/14 6:23	Desconhecido	Sim - um ano e meio após subir

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continuação)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2014-15	1	41	900	Pará	0,34	1100,00	M	18,3	42,8	26/10/14 20:19	9,85	337,90	34,29	5/11/14 16:50	Rib. Ajuda	Sim
2014-15	1	14	420	Pará	0,43	1870,00	F	20,2	24,4	26/10/14 2:38	18,90	372,30	19,69	14/11/14 0:20	Desconhecido	Sim
2014-15	1	129	320	Pará	0,41	1820,00	F	39,0	.						Recapturada	Não
2014-15	1	165	320	Pará	0,34	1050,00	NI	18,7	39,4	25/10/14 20:37	17,04	372,30	21,84	11/11/14 21:39	Desconhecido	Sim
2014-15	1	163	320	Pará	33,80	1090,00	M	22,3	.						Entre SF-Pará e SFJ	Sim
2014-15	1	167	900	Pará	0,35	1210,00	F	22,6	30,1	29/10/14 12:03	16,64	372,30	22,37	15/11/14 3:25	Desconhecido	Não
2014-15	1	32	320	São Francisco	0,32	760,00	F	32,9	35,1	15/11/14 0:32	7,26	242,90	33,47	22/11/14 6:43	Provável Bambuí	Sim
2014-15	1	166	900	Pará	0,36	1290,00	NI	37,2	34,6	13/11/14 20:24	9,22	268,80	29,16	23/11/14 1:40	Bambuí	Não

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2014-15	1	28	320	São Francisco	0,38	1320,00	F	30,9	22,0	16/11/14 1:27	15,41	346,40	22,48	1/12/14 11:17	Desconhecido	Sim
2014-15	1	140	420	São Francisco	0,27	510,00	NI	36,1	31,3	20/11/14 4:35	11,28	346,40	30,72	1/12/14 11:13	Desconhecido	Sim
2014-15	1	42	900	São Francisco	0,29	580,00	M	38,9	30,7	22/11/14 4:25	11,47	346,40	30,21	3/12/14 15:38	Desconhecido	Sim - migrou novamente 2015
2014-15	1	114	900	São Francisco	0,30	520,00	M	62,8	34,2	24/11/14 23:42	7,41	242,90	32,76	2/12/14 9:39	Provável Bambuí	Não
2014-15	1	165	900	Pará	0,35	960,00	NI	38,1	54,5	11/11/14 21:41	20,51	372,30	18,15	2/12/14 9:52	Samburá	Não
2014-15	1	117	420	Pará	0,35	1150,00	NI	50,9	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2014-15	1	170	420	Pará	0,40	1900,00	F	.	33,2	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo S.F.	Não - se manteve na 2ª subida
2014-15	1	131	420	São Francisco	0,40	1760,00	F	.	.	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo Pará	Não - se manteve no Pará

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	97	320	São Francisco	0,37	1210,00	M	6,5	32,7	28/9/15 16:01	10,85	346,40	31,92	9/10/15 12:29	Samburá	Sim
2015-16	2	70	900	São Francisco	0,42	1970,00	F	6,6	24,7	28/9/15 16:20	13,91	346,40	24,91	12/10/15 14:06	Alto S.F.	Sim - Subiu o Pará
2015-16	2	80	900	São Francisco	0,42	2160,00	F	7,0	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2015-16	2	111	420	Pará	0,32	710,00	NI	23,2	26,3	8/10/15 20:23	14,43	372,30	25,79	23/10/15 6:49	Samburá	Sim - Subiu o Pará
2015-16	2	75	900	São Francisco	0,41	1630,00	F	26,7	43,3	17/10/15 19:13	8,55	346,40	40,52	26/10/15 8:24	Desconhecido	Sim - Subiu o Pará
2015-16	2	106	420	São Francisco	0,33	880,00	F	26,4	23,2	19/10/15 15:55	10,23	242,90	23,74	29/10/15 21:26	Bambuí	Sim
2015-16	2	96	320	São Francisco	0,40	1460,00	F	30,1	41,0	.	.	.	.	.	Recapturada	Não

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	109	420	Pará	0,38	1240,00	F	17,4	42,7	23/10/15 7:56	9,14	372,30	40,75	1/11/15 11:11	Desconhecido	Sim
2015-16	2	85	320	Pará	0,34	950,00	M	44,2	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2015-16	2	96	420	Pará	0,35	945,00	F	35,3	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2015-16	2	73	900	Pará	0,34	1100,00	NI	39,7	48,2	23/10/15 22:06	8,08	372,30	46,10	31/10/15 23:54	Desconhecido	Sim
2015-16	2	82	320	Pará	0,39	1460,00	F	38,9	41,6	23/10/15 20:44	9,28	372,30	40,14	2/11/15 3:21	Desconhecido	Não
2015-16	2	78	320	São Francisco	0,32	645,00	F	36,1	29,2	27/10/15 5:04	11,96	346,40	28,96	8/11/15 4:07	Desconhecido	Não
2015-16	2	88	320	São Francisco	0,30	590,00	M	30,2	18,8	29/10/15 5:00	10,05	346,40	34,47	8/11/15 6:12	Desconhecido	Sim
2015-16	2	21	420	Pará	33,10	810,00	M	24,4	.	.	.	.	.	.	Entre SF-Pará e SFJ	Sim

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	95	320	Pará	0,40	1540,00	F	23,5	39,1	30/10/15 7:20	7,31	268,80	36,78	6/11/15 14:45	BambuÍ	Sim
2015-16	2	89	320	Pará	0,39	1300,00	F	42,7	24,8	30/10/15 19:13	14,13	372,30	26,34	13/11/15 22:27	Desconhecido	Não
2015-16	2	102	320	São Francisco	0,29	580,00	NI	40,9	.	.	.	.	.	.	Desconhecido	Sim
2015-16	2	3	320	São Francisco	0,29	510,00	M	.	.	.	.	.	.	.	Entre SFJ e SFM	Não
2015-16	2	102	320	São Francisco	0,29	580,00	NI	.	13,0	13/11/15 15:17	10,05	346,40	34,47	23/11/15 16:29	Desconhecido	Sim
2015-16	1	42	900	São Francisco	0,29	580,00	M	.	38,7	16/11/15 12:33	9,39	346,40	36,88	25/11/15 21:57	Desconhecido	Sim - 2o ano de migração
2015-16	2	101	420	São Francisco	0,31	585,00	F	.	.	16/11/15 1:52	7,63	242,90	31,85	23/11/15 16:54	BambuÍ	Sim
2015-16	2	146	900	Pará	0,36	1060,00	M	.	.	16/11/15 9:05	7,63	242,90	31,85	24/11/15 0:07	BambuÍ	Sim

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	101	320	Pará	0,30	550,00	NI	60,2	50,2	17/11/15 5:15	7,82	372,30	47,59	25/11/15 1:00	Desconhecido	Sim
2015-16	2	79	320	Pará	0,39	1160,00	F	61,2	51,5	17/11/15 4:30	7,79	372,30	47,81	24/11/15 23:23	Desconhecido	Sim
2015-16	2	102	420	São Francisco	0,29	525,00	M	50,0	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2015-16	2	104	420	Pará	0,38	1200,00	F	70,2	59,3	18/11/15 5:08	6,75	372,30	55,19	24/11/15 23:01	Desconhecido	Sim
2015-16	2	26	320	São Francisco	0,30	500,00	NI	49,4	.	.	.	.	.	.	Possivelmente pescado	Não
2015-16	2	18	900	Pará	0,36	965,00	NI	44,3	50,1	19/11/15 7:18	7,61	372,30	48,91	26/11/15 21:58	Samburá	Não
2015-16	2	86	900	Pará	0,34	900,00	M	44,3	43,2	19/11/15 7:03	8,80	365,00	41,47	28/11/15 2:18	Alto S.F.	Sim
2015-16	2	91	320	Pará	0,37	1140,00	M	63,3	40,1	19/11/15 5:55	9,64	372,30	38,62	28/11/15 21:18	Desconhecido	Sim

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Continua)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequência	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	107	420	São Francisco	0,32	620,00	F	52,3	35,6	20/11/15 7:54	10,08	346,40	34,38	30/11/15 9:44	Desconhecido	Sim
2015-16	2	105	420	São Francisco	0,31	600,00	M	60,4	28,0	21/11/15 12:19	12,43	346,40	27,87	3/12/15 22:38	Desconhecido	Não
2015-16	2	111	420	Pará	0,32	710,00	NI	.	15,7	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo S.F.	Sim - Subiu o Pará
2015-16	2	61	900	Pará	0,33	850,00	M	107,0	.	.	.	.	.	.	Pará	Sim
2015-16	2	70	900	São Francisco	0,42	1970,00	F	.	.	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo Pará	Não
2015-16	2	111	420	Pará	0,32	710,00	NI	.	.	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo Pará	Não
2015-16	2	23	420	Pará	0,35	770,00	NI	98,0	.	.	.	.	.	.	Entre SF-Pará e SFJ	Sim
2015-16	2	75	900	São Francisco	0,41	1630,00	F	.	.	.	.	.	.	.	Retorno pós reprodutivo Pará	Não

Tabela 1 - Dados referentes à migração ascendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação (em cinza claro, os peixes que parecem ter iniciado a migração e terem sido pescados, em seguida e em cinza escuro, estão os peixes que realizaram mais de uma migração ascendente por temporada).

(Conclusão)

Temporada	Ano marcação	Identificação	Frequencia	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Período entre marcação e 1ª detecção (dias)	Velocidade Km/dia	Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem (dias)	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Hora estimada da chegada	Rio de destino	Retorno para jusante
2015-16	2	61	900	Pará	0,33	850,00	M	.	.						Retorno para o Pará	Sim
2015-16	2	59	320	Para	0,43	2170,00	F	136,8	.						Pará	Não

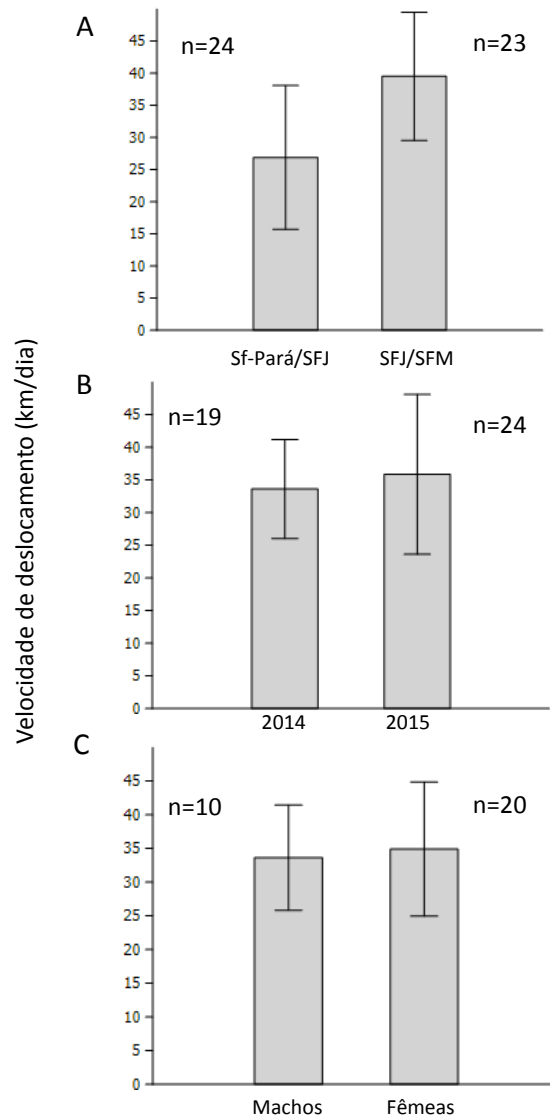
Fonte: Dados do Autor (2016).

A velocidade natatória de deslocamento média dos peixes, no primeiro trecho de rio medido (SF-Pará a SFJ), foi de 26,9km/dia; no segundo trecho, SFJ a SFM foi de 34,9km/dia e, no trecho SF-Pará, a ParáJ foi de 13,3km/dia. A Figura 2 apresenta a comparação entre as velocidades de deslocamento observadas entre os peixes que migraram pelo São Francisco. No Gráfico A são comparadas as velocidades natatórias de peixes marcados no rio Pará ao passar por dois trechos do rio São Francisco. O trecho entre as estações SF-Pará e SFJ é o primeiro trecho que esses peixes percorrem, em sua migração ascendente e a velocidade de deslocamento médio foi de 26,9km/dia. A velocidade de deslocamento médio dos mesmos peixes, no segundo trecho, entre as estações SFJ e SFM, foi de 39,5km/dia. A diferença entre a velocidade nos dois trechos foi significativa (Teste T pareado, $p=0,00005$) o que parece indicar que há uma aceleração dos peixes entre esses dois trechos de rio. Ao se comparar a velocidade entre os peixes marcados nos dois anos de estudo (Teste T, $p=0,5$) e entre os sexos (Teste T, $p=0,7$), não foram observadas diferenças significativas.

Nós conhecemos o destino final de 16 dos 48 peixes que realizaram a migração ascendente (no caso de três peixes, acreditamos que seja provável que tenham tido como destino o rio Bambuí visto que seus sinais foram captados próximos à foz desse rio). Destes 16 peixes, 5 têm o ponto de desova no rio Samburá, 2 no rio São Francisco acima da confluência com o Samburá, 1 no Ribeirão da Ajuda que fica próximo à esta confluência (8 peixes na região do alto São Francisco) e 8 no rio Bambuí. Em termos gerais, pode-se dividir os sítios de desova em dois: o Alto São Francisco composto pelos rios Samburá, Ribeirão da Ajuda e o próprio São Francisco; e o Médio São Francisco composto pelo rio Bambuí. Para efeito de cálculo e estimativa, consideramos que os peixes cujos destinos não conhecemos desovaram na região do alto São Francisco. É provável que boa parte deles, também, tenha utilizado como ponto de desova o rio Bambuí ou outros tributários na região, mas utilizamos essa área

para termos estimativas de tempo de viagem para todos os peixes marcados. Alguns peixes realizaram duas viagens migratórias em um mesmo ano. Este é o caso do peixe de marca 170-420 (fêmea) que fez sua primeira migração ascendente pelo rio São Francisco, em outubro de 2014, retornou à região da foz entre São Francisco e Pará, em dezembro de 2014 e, em janeiro de 2015, retornou para montante no próprio São Francisco. O mesmo ocorreu com o peixe de marca 111-420, no ano seguinte, que migrou para montante, em outubro, retornou para jusante e voltou a migrar para montante em dezembro. No caso desse peixe, ainda, houve uma migração ascendente no rio Pará, em janeiro de 2016. Alguns peixes, após retornarem para jusante, ainda, deslocaram-se para montante no rio Pará. Os peixes que realizaram estas migrações pós-reprodutivas eram, em geral, os primeiros a migrarem em determinado ano (TABELA 1).

Figura 2 - Velocidades médias de deslocamento dos peixes marcados: A) entre peixes marcados no rio Pará em dois trechos de rio - a confluência entre Pará e São Francisco até a estação SFJ e da estação SFJ à estação SFM; B) entre os peixes marcados nas duas temporadas de marcação para o trecho entre SFJ e SFM; C) entre machos e fêmeas.

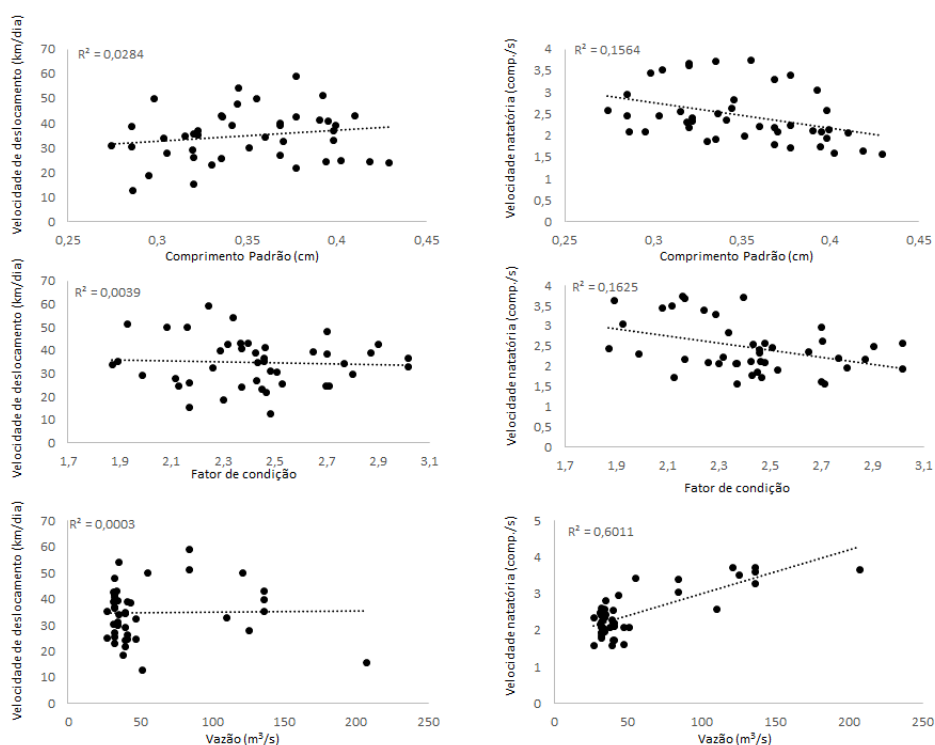


Fonte: Dados do autor (2016)

As distâncias percorridas pelos peixes em migração ascendente, para os pontos de desova foram de cerca de 350 a 370km, para os que se reproduzem no alto São Francisco e de 240 a 270km, para os que se reproduzem no rio Bambuí. Levando-se em conta a velocidade de deslocamento medida, estimamos que os peixes que se reproduzem na região do alto São Francisco levaram, em média, 12,5 dias para atingir o seu ponto de desova. Já os peixes que se reproduzem no rio Bambuí o alcançaram em cerca de 8,2 dias. Dessa forma, o primeiro peixe a alcançar os pontos de desova, em 2014, teria chegado por volta do dia 12 de outubro e o último no dia 3 de dezembro. Em 2015, o primeiro peixe chegou ao ponto de desova por volta do dia 9 de outubro e o último, também, no dia 3 de dezembro.

Não foram observadas associações significativas entre a velocidade de deslocamento e o tamanho, fator de condição ou vazão do rio São Francisco. Entretanto a velocidade natatória foi positivamente relacionada com a vazão do rio São Francisco e negativamente relacionada com o fator de condição dos peixes ($p < 0,05$) (FIGURA 3).

Figura 3 - Relação entre velocidades natatória e de deslocamento dos peixes em migração ascendente com o tamanho dos peixes marcados, fator de condição e vazão do rio São Francisco no dia de passagem pela estação SFJ.



Fonte: Dados do autor (2016)

3.2 Migração descendente

A velocidade de deslocamento, quando do retorno dos peixes aos sítios de alimentação, foi bastante superior às velocidades de migração ascendente, já que o peixe nada a favor da corrente, com média de 110km/dia (não utilizamos, na média, velocidades inferiores a 20km/h, pois, nesses casos, os peixes parecem não estar motivados a migrar para jusante). Isso faz com que o período estimado de viagem entre a saída do sítio de desova até a chegada ao sítio de alimentação, também, seja bastante inferior ao período de subida, tendo como média 2,9 dias

no total (3,6 dias, em média, para peixes no alto S.F. e 2 dias, em média, para peixes no médio S.F.) (TABELA 2).

Dos 35 peixes que efetuaram a migração descendente, 16 (46%) retornaram exatamente para o mesmo ponto, em que haviam sido capturados/soltos, 12 (34%) retornaram ao mesmo rio (Pará ou São Francisco – para muitos não é possível identificar a localização exata do retorno, pois não há registro no rastreamento aéreo), 5 (14%) foram para um rio diferente do capturado e para 2 (6%) não se conhece o destino no retorno (FIGURA 4). Ao se excluir os registros dos peixes, para os quais não conhecemos o destino de retorno, tem-se que cerca de 85% retornam para o mesmo ponto de captura/soltura ou para pontos no rio próximos a ele. Isso indica que há uma alta fidelidade individual ao sítio de alimentação dos peixes que habitam este trecho dos rios Pará e São Francisco. Um dado interessante é o do indivíduo 42-900, um macho que migrou nos dois anos de estudo. Este peixe retornou exatamente, para o mesmo sítio de alimentação, nos dois anos estudados, reforçando essa provável fidelidade aos sítios de alimentação observada.

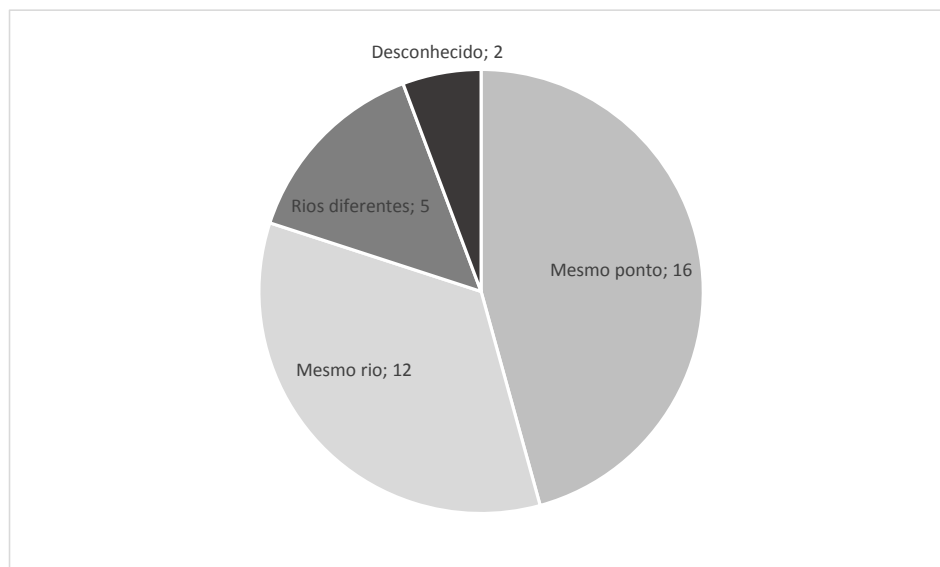
Tabela 2 - Dados referentes à migração descendente de *P. costatus* nas duas temporadas de marcação.

Dados Gerais dos Peixes							Hora de passagem pelas antenas				Velocidade Natatória				TEMPO DE VIAGEM								
Temporada	Identific	Frequenc	Temporada	de Marcação	ação	Rio de origem	Comp. Padrão (m)	Peso (g)	Sexo	Hora de passagem SF-		Hora de Passagem		Velocidade de SFJ a SFJ		Velocidade de SFJ a SFM		Hora estimada da partida	Duração estimada da viagem	Distância total viajada	Velocidade média (km/dia)	Tempo de estadia no sítio de reprodução (dias)	Sítio de alimentação no retorno
										Pará	de passagem SFJ	SFM	de Km/h	Km/dia	Velocidade de ajustada à velocidade do rio	Velocidade de ajustada à velocidade do rio							
2014-15	1	115	900	São Francisco	0,32	820,00	F	01/12/2014 00:14	30/11/2014 12:57	30/11/2014 03:31	4,32	103,80	0,00	5,45	130,87	1,13	28/11/14 4:34	2,35	307,40	130,87	26,23	Reservatório de Três Marias	
2014-15	1	131	420	São Francisco	0,40	1760,00	F	05/12/2014 03:46	04/12/2014 19:22	04/12/2014 10:15	5,81	139,43	1,15	5,64	135,42	0,91	2/12/14 12:53	2,27	307,40	135,42	50,97	Pará Montante	
2014-15	1	170	420	Pará	0,40	1900,00	F	-	30/12/2014 13:06	29/12/2014 15:44	-	-	-	2,41	57,78	-0,08	25/12/14 5:24	5,32	307,40	57,78	50,59	São Francisco Montante	
2014-15	1	165	320	Pará	0,34	1050,00	NI	13/02/2015 15:07	13/02/2015 07:00	12/02/2015 22:04	6,01	144,30	1,67	5,76	138,20	1,46	11/2/15 1:36	2,22	307,40	138,20	91,16	Pará-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	140	420	São Francisco	0,27	510,00	NI	19/02/2015 03:51	14/02/2015 13:24	11/02/2015 03:22	0,44	10,60	-2,84	0,63	15,05	-3,38	11/2/15 16:39	2,86	307,40	15,0*	72,23	São Francisco-Jusante	
2014-15	1	41	900	Pará	0,34	1100,00	M	30/03/2015 21:29	15/03/2015 14:10	15/03/2015 04:32	0,13	3,19	-3,46	5,34	128,16	0,69	13/3/15 11:02	2,13	273,00	128,16	127,76	Pará-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	167	320	Pará	0,37	1430,00	NI	16/03/2015 23:15	16/03/2015 14:59	16/03/2015 05:50	5,90	141,68	1,06	5,62	134,92	0,85	14/3/15 8:18	2,28	307,40	134,92	131,26	Pará-?	
2014-15	1	14	420	Pará	0,43	1870,00	F	10/04/2015 09:19	05/04/2015 04:54	04/04/2015 17:55	0,39	9,41	-2,08	4,68	112,40	0,24	2/4/15 11:15	2,73	307,40	112,40	139,45	Pará-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	32	320	São Francisco	0,32	760,00	F	-	07/04/2015 00:32	28/03/2015 11:45	-	-	-	0,22	5,40	-3,45	5/4/15 2:56	1,90	203,90	5,4*	133,84	São Francisco-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	28	320	São Francisco	0,38	1320,00	F	-	20/04/2015 14:17	16/04/2015 00:45	-	-	-	0,47	11,27	-2,04	17/4/15 17:32	2,86	307,40	11,3*	137,26	São Francisco-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	42	900	São Francisco	0,29	580,00	M	-	28/04/2015 21:35	28/04/2015 06:35	-	-	-	3,43	82,30	0,18	25/4/15 3:56	3,73	307,40	82,30	142,51	São Francisco-Próximo ao ponto de soltura	
2014-15	1	163	320	Pará	0,34	1090,00	M	29/04/2015 07:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pará
2014-15	1	138	420	Pará	0,37	1210,00	M	30/11/2015 23:04	28/11/2015 10:01	25/11/2015 19:15	0,80	19,18	-1,03	0,82	19,67	-1,15	25/11/15 13:16	2,86	307,40	19,7*	382,93	Pará	
2015-16	2	102	320	São Francisco	0,29	580,00	NI	-	06/12/2015 17:42	06/12/2015 04:57	-	-	-	4,03	96,83	0,77	3/12/15 13:30	3,17	307,40	96,83	9,88	São Francisco-próximo ao ponto de soltura.	
2015-16	2	88	320	São Francisco	0,30	590,00	M	10/12/2015 12:42	09/12/2015 17:59	09/12/2015 05:46	2,61	62,58	-0,93	4,21	101,06	0,57	6/12/15 16:58	3,04	307,40	101,06	28,45	Pará-próximo ao ponto de soltura.	
2015-16	2	111	420	Pará	0,32	710,00	NI	-	17/12/2015 02:56	16/12/2015 03:14	-	-	-	2,17	52,09	-1,40	11/12/15 5:18	5,90	307,40	52,09	48,94	Pará-montante (São João)	
2015-16	2	111	420	Pará	0,32	710,00	M	25/12/2015 06:00	23/12/2015 20:33	23/12/2015 01:25	1,46	35,01	-1,08	2,69	64,52	-0,32	-	-	-	-	-	-	-
2015-16	2	97	320	São Francisco	0,37	1210,00	M	-	23/12/2015 14:40	22/12/2015 16:53	-	-	-	2,36	56,67	-0,52	18/12/15 4:29	5,42	307,40	56,67	69,67	São Francisco-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	75	900	São Francisco	0,41	1630,00	F	18/01/2016 17:12	18/01/2016 06:59	17/01/2016 21:08	4,78	114,64	0,07	5,22	125,34	0,49	15/1/16 20:07	2,45	307,40	125,34	81,49	Pará-montante	
2015-16	2	107	420	São Francisco	0,32	620,00	F	-	18/01/2016 14:42	18/01/2016 04:23	-	-	-	4,99	119,67	0,42	16/1/16 1:02	2,57	307,40	119,67	46,64	São Francisco-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	82	320	Pará	0,39	1460,00	F	19/01/2016 09:36	18/01/2016 23:56	18/01/2016 14:46	-	-	-	5,61	134,68	0,79	16/1/16 17:09	2,28	307,40	134,68	75,58	Pará-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	109	420	Pará	0,38	1240,00	F	22/01/2016 13:04	19/01/2016 13:14	18/01/2016 11:58	0,68	16,30	-3,48	2,04	48,86	-2,08	13/1/16 6:14	6,29	307,40	48,86	72,79	Pará-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	101	320	Pará	0,30	550,00	NI	-	?	18/01/2016 22:50	-	-	-	-	-	-	16/1/16 13:17	2,40	307,40	108,25**	52,51	?	
2015-16	2	70	900	São Francisco	0,42	1970,00	F	22/01/2016 22:45	22/01/2016 14:03	22/01/2016 06:07	5,61	134,62	0,14	6,48	155,62	0,84	20/1/16 14:38	1,98	307,40	155,62	100,02	Pará-montante	
2015-16	2	104	420	Pará	0,38	1200,00	F	24/01/2016 07:40	24/01/2016 00:14	23/01/2016 15:57	6,57	157,56	0,86	6,21	149,04	0,73	21/1/16 22:43	2,06	307,40	149,04	57,99	Pará-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	79	320	Pará	0,39	1160,00	F	24/02/2016 17:46	02/02/2016 06:10	01/02/2016 19:30	0,09	2,17	-2,49	4,82	115,74	-0,03	30/1/16 14:25	2,66	307,40	115,74	66,63	Pará-?	
2015-16	2	73	900	Pará	0,34	1100,00	NI	?	03/02/2016 09:11	03/02/2016 00:17	-	-	-	5,78	138,71	0,74	1/2/16 3:59	2,22	307,40	138,71	92,17	?	
2015-16	2	91	320	Pará	0,37	1140,00	M	08/02/2016 00:42	07/02/2016 14:13	07/02/2016 02:59	4,66	111,72	0,39	4,58	109,90	0,20	4/2/16 19:05	2,80	307,40	109,90	67,91	Pará-?	
2015-16	2	95	320	Pará	0,40	1540,00	F	08/02/2016 08:08	07/02/2016 21:17	07/02/2016 11:25	4,50	107,94	0,25	5,21	125,12	0,62	6/2/16 6:10	1,63	203,90	125,12	91,64	Pará-?	
2015-16	2	146	900	Pará	0,36	1060,00	M	17/02/2016 05:17	16/02/2016 04:01	15/02/2016 14:16	1,93	46,35	-1,31	3,74	89,79	0,25	13/2/16 21:30	2,27	203,90	89,79	81,89	Pará-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	106	420	São Francisco	0,33	880,00	F	-	08/02/2016 01:24	07/02/2016 14:11	-	-	-	4,59	110,06	0,38	6/2/16 4:56	1,85	203,90	110,06	99,31	São Francisco-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	86	900	Pará	0,34	900,00	M	16/03/2016 08:30	16/03/2016 00:48	15/03/2016 15:32	6,34	152,10	1,67	5,55	133,23	1,02	13/3/16 17:25	2,31	307,40	133,23	106,63	Pará-entre ponto de soltura e antena Pará-J	
2015-16	2	23	420	Pará	34,70	770,00	NI	17/03/2016 09:22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pará
2015-16	1	42	900	São Francisco	0,29	580,00	M	-	18/03/2016 03:25	17/03/2016 15:17	-	-	-	4,24	101,75	0,62	15/3/16 2:54	3,02	307,40	101,75	110,21	São Francisco-próximo ao ponto de soltura	
2015-16	2	21	420	Pará	0,33	810,00	M	30/03/2016 14:56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pará
2015-16	2	101	420	São Francisco	0,31	585,00	F	-	14/04/2016 00:00	13/04/2016 10:40	-	-	-	3,86	92,59	1,21	11/4/16 19:08	2,20	203,90	92,59	140,09	São Francisco-próximo ao ponto de soltura	

* Essas velocidades não foram consideradas, para os demais cálculos, por serem muito baixas. Utilizou-se a média de velocidade dos demais peixes da temporada. ** Não foi possível calcular a velocidade média desse peixe, pois não houve registro na estação SFJ. Utilizou-se a média de velocidade dos demais peixes da temporada.

Fonte: Dados do autor (2016)

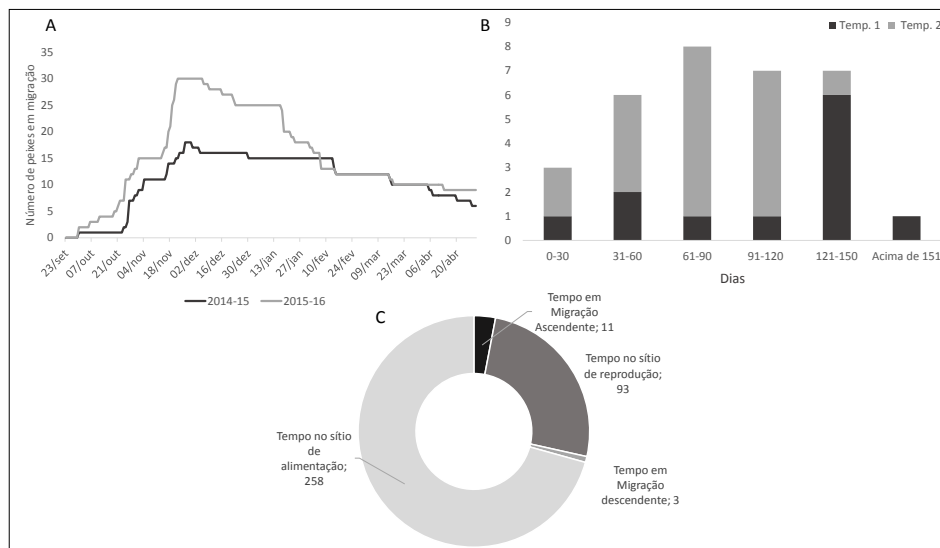
Figura 4 - Distribuição dos destinos dos peixes que retornam, após a migração reprodutiva, aos sítios de alimentação.



Fonte: Dados do autor (2016)

O tempo médio de estadia dos peixes nos sítios reprodutivos foi de 93 dias, mas com grande variação entre os indivíduos, visto que o tempo de estadia dos peixes, na primeira temporada de marcação, foi superior ao da segunda (média de 100 dias até abril de 2015 e de 75 dias até abril de 2016) (FIGURA 5A e B). Em média, um indivíduo que migra na região de estudo passa 258 dias no sítio de alimentação (71% dos dias do ano), 93 dias no sítio de reprodução (25%), 11 dias em migração ascendente (3%) e 3 dias em migração descendente (1%) (FIGURA 5c).

Figura 5 - A) Distribuição temporal do número de peixes que permanece nos sítios de reprodução ao longo das duas temporadas de marcação. B) Período de estadia (em dias) dos peixes nos trechos altos da bacia do Rio São Francisco nos dois anos. C) Distribuição do uso de tempo dos peixes marcados, ao longo de um ano (em dias), levando-se em conta as médias dos registros realizados.



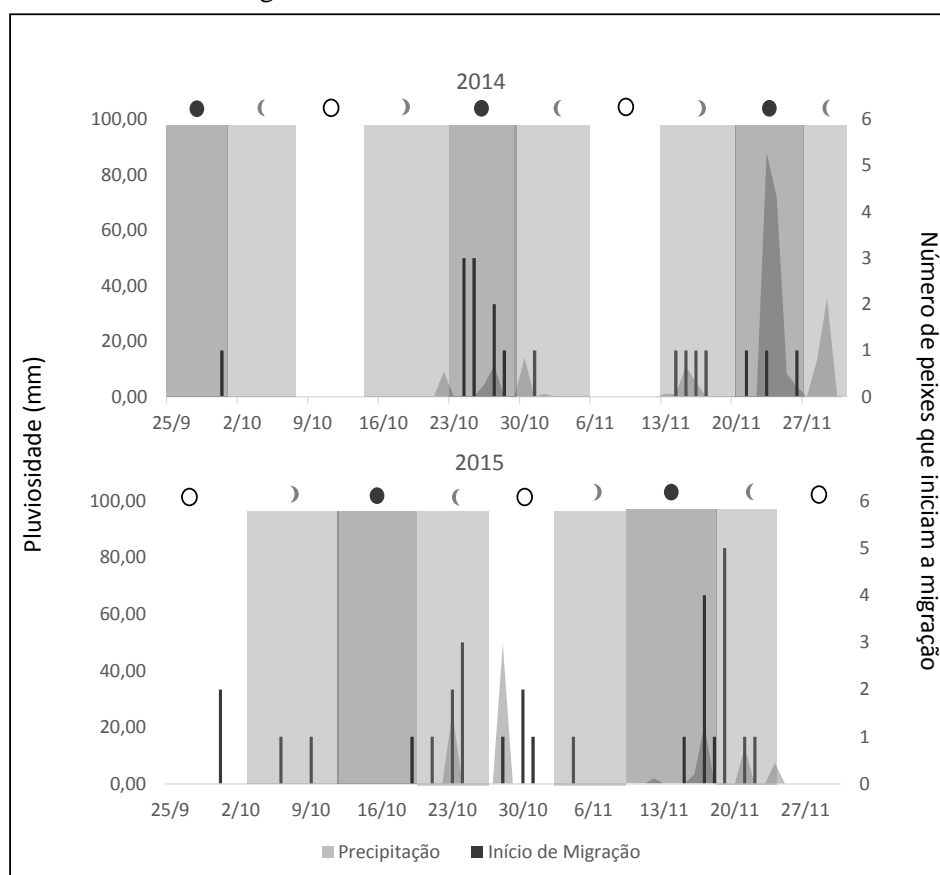
Fonte: Dados do autor (2016)

3.3 Influência da precipitação, iluminação solar e lunar na migração

A migração ascendente dos peixes marcados neste estudo parece ter relação com diversos parâmetros ambientais. A precipitação parece ter influência direta no período escolhido pelos peixes para iniciar a migração ascendente na área de estudo. Dias, em que há a ocorrência de chuvas ou dias subsequentes às chuvas na cidade de Pompéu (ponto mais próximo aos pontos de marcação dos peixes em que há a medição de precipitação), parecem concentrar os registros de início de migração ascendente (FIGURA 6). Os primeiros peixes a migrarem parecem iniciar o processo sem o estímulo de chuvas, mas, a partir de meados de outubro, quando as chuvas se iniciam nos dois anos, é possível observar um aumento dos registros de início de migração

(períodos de alto fluxo de peixes – Capítulo 1) que se concentram nos períodos em que há precipitação medida na região.

Figura 6 - Relação entre pluviosidade medida na cidade de Pompéu, MG e fase da lua (círculo aberto – cheia; meias luas – crescentes e minguantes; e círculo fechado – lua nova) com o início da migração ascendente de peixes nos rios Pará e São Francisco. Dados: Instituto Nacional de Meteorologia.

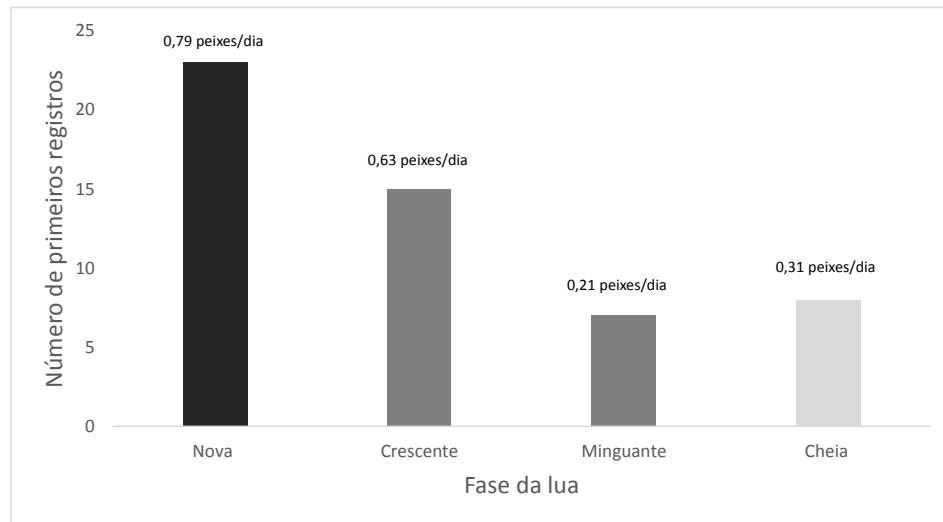


Fonte: Dados do autor (2016)

Quanto à fase da lua, foi observada relação entre períodos de alto fluxo de peixes em migração ascendente com menores níveis de iluminação lunar, apesar desta relação não ser significativa ($X^2=5,9$; $p=0,11$). Cerca de 43% dos

registros de início de migração foram feitos, durante a lua nova, com grandes taxas de subida de peixes, enquanto apenas 15% dos registros ocorreram durante a lua cheia (FIGURA 7).

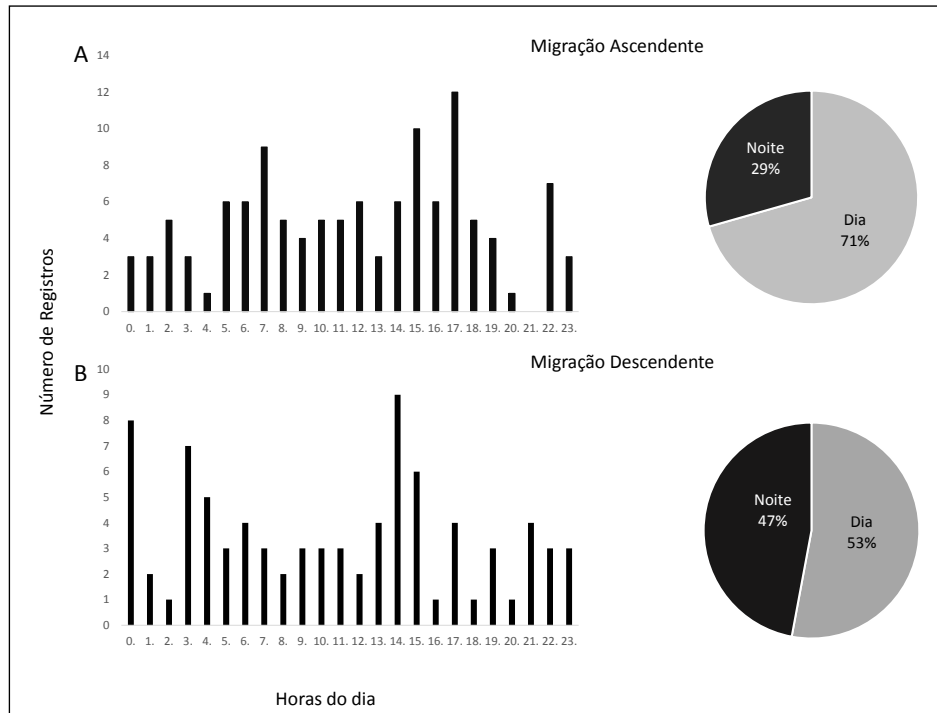
Figura 7 - Distribuição de primeiros registros de peixes em migração ascendente em relação às fases da lua.



Fonte: Dados do autor (2016)

O ciclo diário de iluminação solar, também, tem influência sobre o nível de atividade dos peixes marcados ($X^2=10.49$; $p = 0.001$) em migração ascendente. Observamos que os picos de registro de peixes em migração ascendente ocorrem no início da manhã (7 horas) e no meio para o final da tarde (de 15 às 17 horas) (FIGURA 8A), porém 71% dos registros ocorreram durante o dia. Já na migração descendente não parece haver um padrão claro entre dia e noite nos registros de passagem. São observados picos de passagem, durante a madrugada (0 e 3 horas) e, também, durante o dia (14 e 15 horas) (FIGURA 8B). Na migração descendente, 53% dos registros ocorreram durante o dia.

Figura 8 - Horas nas quais os peixes foram registrados em estações fixas durante a migração ascendente (A) e descendente (B).



4 DISCUSSÃO

4.1 Características do deslocamento migratório de *Prochilodus costatus*:

Período pré-migratório

É esperado que os peixes levem determinado tempo para se recuperar da cirurgia de inserção das marcas. Lopes et al. (2014) utilizaram transmissores similares aos usados neste estudo, para avaliar a recuperação cirúrgica de *P. lineatus*, uma espécie próxima à *P. costatus* e perceberam que o processo de cicatrização demora cerca de 4 semanas para se concluir. Esse período é bastante coerente ao período pré-migratório observado neste estudo. Silva (2012) e Suzuki (2014), também, já haviam observado uma diminuição das atividades natatórias de peixes logo após a inserção de transmissores. Os períodos pré-migratórios observados neste estudo (34,8 dias) indicam que a marcação dos peixes deve ser realizada com ao menos um mês de antecedência ao início do evento migratório esperado. Caso a marcação seja realizada muito próxima ao período migratório, corre-se o risco de diversos indivíduos não realizarem por estarem se recuperando do processo cirúrgico.

4.1.1 Migração ascendente

O sistema estudado parece possuir sítios de reprodução e alimentação bem determinados. Os sítios de alimentação, nos quais os peixes permanecem a maior parte do ano, localizam-se em pontos próximos à confluência dos rios São Francisco e Pará, e os sítios de reprodução se localizam majoritariamente no rio São Francisco e em seus tributários, ao menos para a população marcada neste estudo. Durante o período reprodutivo, peixes deixam os sítios de alimentação e migram contra a corrente para alcançar os sítios de reprodução nas áreas altas da bacia. As velocidades de deslocamento de *P. costatus* registradas neste estudo são superiores às estimativas que já haviam sido realizadas em campo para o gênero *Prochilodus*. Neste estudo observamos a velocidade média de 34,9

km/dia em migração ascendente no trecho entre as estações SFJ e SFM com a velocidade máxima medida de 59,3km/dia. Lucas e Baras (2000) apresentam uma Tabela com o registro de diversas velocidade máximas já medidas para peixes tropicais. As mais altas registradas foram para *Salminus brasiliensis* de 21 km/dia (DELFINO; BAIGUN, 1985; GODOY, 1975); *Pterodoras granulosus* de 27 km/dia (AGOSTINHO et al., 1994) e *P. lineatus* de 43 km/dia (GODOY, 1975). Godoy (1975) observou, contudo velocidades médias em migração ascendente para *P. lineatus* bem inferiores, variando de 10 a 16km/dia. É importante ressaltar, ainda assim que estes estudos utilizaram métodos de marcação e recaptura que podem subestimar consideravelmente as velocidades reais. Em estudos de telemetria, Godinho, Kynard e Godinho (2007) calcularam a velocidade máxima em migração ascendente de *Pseudoplatystoma corruscans* em 29 km/d. Andrade Neto (2008) registrou velocidade de deslocamento médio de 10,7 km/dia para *Salminus franciscanus* monitorados por meio de radiotelemetria no rio São Francisco. O autor, no entanto encontrou indivíduos que chegaram a velocidades de deslocamento próximas a 100km/dia, mas não fica claro se estes peixes estavam se deslocando contra ou a favor da correnteza. Hanh et al. (2011) registraram a velocidade máxima em migração ascendente para *Salminus brasiliensis* no rio Uruguai de 63,3km/dia e Fries (2013) de 64,8km/dia. A velocidade máxima registrada para *Piaractus mesopotamicus* no rio Paranaíba foi de 26,6km/dia enquanto para *Pirinampus pirinampu* foi de 15km/dia (PEREZ, 2014).

Um outro padrão que parece emergir dos dados de velocidade de deslocamento é uma tendência à aceleração dos animais durante a migração para montante. Ao compararmos a velocidade de deslocamento medida entre as estações SF-Pará e SFJ com a velocidade medida entre SFJ e SFM, percebemos que, no segundo trecho, essa velocidade é maior. Nesse caso, existem duas possibilidades. Ou os trechos possuem características hidrológicas diferentes, o

que torna o deslocamento em um deles mais difícil do que em outro ou os peixes possuem algum mecanismo interno de aceleração durante a migração ascendente. A princípio, não parece haver nenhum obstáculo à migração em nenhum dos dois trechos. Também não foi possível observar diferenças significativas, na geometria do canal ou na sua declividade entre estes trechos, o que parece indicar que a aceleração observada ocorre em virtude de mecanismos fisiológicos internos dos indivíduos migrantes. A aceleração dos animais deve atingir o seu pico, em determinado ponto da migração, que não podemos avaliar por este estudo por não termos mais estações instaladas em trechos à montante da estação SFM. O fato do peixe acelerar a sua natação, durante a viagem, parece indicar que mudanças fisiológicas ocorrem, durante o trajeto, permitindo que alcance maiores velocidades. A própria musculatura utilizada para natação deve sofrer modificações, porque, em média, os peixes ficam cerca de nove meses nos pontos de alimentação, sem realizar movimentações significativas. Para vencer distâncias de 250 a 350 quilômetros contra a corrente, alterações no grau de atividade muscular devem ser necessárias, o que leva a alterações nas características natatórias dos indivíduos ao longo do tempo. Não encontramos na literatura científica outros estudos que tenham observado esta tendência à aceleração. Em relação ao sexo dos animais e ao ano em que foram marcados, não foram observadas diferenças significativas nas velocidades de deslocamento desenvolvidas.

Os dados de velocidade natatória em migração ascendente para *P. costatus* são similares aos registrados em estudos realizados em respirômetro para a espécie (SANTOS et al., 2012a). Todas as velocidades natatórias, registradas neste estudo pelos indivíduos marcados, enquadram-se dentro da categoria de velocidade sustentável (0 a 3,8 comprimentos/s), nos testes realizados em laboratório, mostrando que esta técnica conseguiu prever com eficácia as velocidades utilizadas pela espécie em seus deslocamentos

migratórios para montante. Também observamos que os peixes marcados aumentam a velocidade natatória desenvolvida, quando migram em períodos de maiores vazões do rio. Isto parece indicar que há uma preferência destes peixes em aumentar o seu gasto energético, durante a migração nestes períodos, com o objetivo de equiparar a velocidade de deslocamento de peixes que migraram em períodos de menores vazões. Como as maiores vazões ocorrem, ao final da janela migratória da espécie na região, ao final de novembro, é possível que estes peixes aumentem a sua velocidade natatória para poderem alcançar os pontos de reprodução o mais cedo possível, aumentando, desta forma, a sua chance de alcançá-los antes do início da desova. Caso os peixes mantivessem a mesma velocidade natatória neste período, o tempo de deslocamento na migração reprodutiva aumentaria consideravelmente, gerando efeitos deletérios para o seu sucesso reprodutivo. Como observado no Capítulo 1 desta tese, há uma estratificação no tamanho dos peixes que migram nas duas janelas de alto fluxo de peixes que ocorrem em outubro e novembro, com peixes maiores com maior número de fêmeas migrando em outubro (migrantes precoces) e peixes menores com maior número de machos migrando em novembro (migrantes tardios). Os peixes que utilizam a segunda janela parecem pagar um maior preço energético, para realizar a migração ascendente, mas, ao mesmo tempo, ao realizarem a migração ao final da janela, conseguem prever de maneira mais acurada a hidrologia do período reprodutivo.

Outro aspecto importante é o alto grau de sincronia da migração ascendente. Boa parte dos peixes marcados parece realizar a migração ascendente em grupos, como demonstrado pelo alto número de dias em que temos múltiplos registros nas estações fixas. Nestes dias, peixes passam com poucas horas de diferença pela mesma estação fixa, indicando que podem fazer parte de um mesmo grupo que migra pelo rio São Francisco. A formação de grandes cardumes de peixes do gênero *Prochilodus* já havia sido observado, em

alguns estudos (GODOY, 1972, 1975; RESENDE et al., 1995; SILVA, 2012) e o mesmo foi observado para outras espécies neotropicais como *Salminus brasiliensis* (HANH et al., 2011). Esta pode ser uma estratégia de defesa utilizada pela espécie em seu deslocamento. Grandes grupos podem diminuir os riscos individuais de predação, mediando respostas rápidas a ataques (Braithwaite, 2006). Outra vantagem deste comportamento é a obtenção de vantagens hidrodinâmicas, durante o deslocamento, reduzindo o consumo de energia durante migrações realizadas contra a correnteza (JOHNSSON; WINBERG; SLOMAN, 2006).

4.1.2 Período de migração ascendente

Os tempos estimados para se alcançar os pontos de reprodução foram relativamente curtos (média de 11 dias), porquanto não há obstáculos naturais ao longo do trajeto dos peixes. Os últimos peixes a alcançarem os pontos de desova o fazem no início de dezembro (nos dois anos estimamos o dia 03/12 como sendo o último dia no qual os peixes alcançam esses pontos). A partir daí, todos os peixes marcados já se encontravam posicionados, em seus respectivos sítios de reprodução, o que parece reforçar a hipótese de que peixes do gênero *Prochilodus* são migradores precoces, nos rios em que ocorrem. Dados que apresentem a duração de migrações de peixes neotropicais são escassos na literatura, apesar de muito importantes na avaliação das estratégias reprodutivas deste grupo. O tempo de viagem se relaciona à distância que deve ser percorrida pelos indivíduos para encontrar seus sítios reprodutivos e às velocidades com que estes indivíduos migram. O gasto energético total dos peixes será resultado direto destas variáveis, bem como as estratégias adotadas pela espécie para escolher seu período migratório (CROSSIM et al., 2009; HINCH et al., 2006; LUCAS; BARAS, 2000). Peixes que precisem migrar maiores distâncias para desovar terão menor flexibilidade na escolha dos períodos de partida dos sítios

de alimentação do que os que migram em sítios reprodutivos mais próximos. Isto também se refletirá em estratégias diferenciadas apresentadas pela mesma espécie em pontos diferentes da bacia hidrográfica e entre diferentes bacias.

Neste estudo, a migração precoce dos indivíduos pelo rio São Francisco parece estar ligada aos seus períodos de desova, do final de novembro a janeiro (questão apresentada no Capítulo 1 desta tese). Os dois pontos identificados como possíveis pontos de desova da espécie na região, Alto São Francisco e rio Bambuí, localizam-se à montante de sistemas de planície que parecem favorecer a formação de lagoas marginais. Tanto o trecho inferior do rio Bambuí quanto o trecho médio do rio São Francisco, entre as cidades de Iguatama e Lagoa da Prata, parecem possuir essas características.

A migração ascendente pelo rio Pará, porém não apresentou este mesmo padrão de migração precoce. Poucos peixes subiram o rio Pará, nos dois anos estudados, mas os poucos que o fizeram, realizaram a migração nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. A maioria dos peixes que migra pelo rio Pará já migrou na mesma temporada pelo rio São Francisco o que parece indicar que se trata de uma dispersão pós-reprodutiva por este rio. Um fato, no entanto chama a atenção neste caso. Na segunda temporada, mesmo os peixes que já haviam migrado pelo São Francisco, sobem o rio Pará, durante um grande pico de vazão, que ocorreu em meados de janeiro (Capítulo 1). Parece que estes peixes foram atraídos por este pico de vazão. A possibilidade de que possam ter se reproduzido, novamente, apesar de pouco provável, não pode ser descartada neste caso.

4.1.3 Migração descendente

A velocidade de deslocamento no retorno aos sítios de alimentação é bastante superior à velocidade de migração ascendente. Isso ocorre pelo uso da própria corrente de água para a natação no sentido jusante. Essas velocidades

foram, em média, de 110km/dia, fazendo com que o tempo de retorno dos peixes dos sítios de reprodução para os sítios de alimentação fosse de apenas 2,9 dias, em média. Paiva e Bastos (1982) registraram a velocidade de 6,6km/dia em um exemplar de *Prochilodus* no médio São Francisco em migração descendente. Godinho, Kynard e Godinho (2007) registram a velocidade de 31,2km/dia em migração descendente de *Pseudoplatystoma corruscans*. Ao avaliarmos a velocidade natatória, entretanto percebemos que, no retorno, os peixes nadam mais lentamente do que na subida, ou seja, não têm tanto esforço fisiológico e muscular como quando nadam contra a correnteza. Dados que avaliam a velocidade de deslocamento de retorno de peixes migradores neotropicais são ainda mais raros do que os de migração ascendente. Em geral é observado um comportamento de retorno aos pontos de alimentação diferente do comportamento de migração ascendente. Na descida, os peixes teriam menos motivação migratória, entrando em áreas alagadas, ao longo do rio, para se alimentarem e, por isso, a descida foi considerada menos direcional nos ambientes previamente estudados (HAHN et al., 2011; RESENDE et al., 1995). No caso deste estudo, não é possível afirmar que o mesmo comportamento não ocorre, nas áreas mais altas da bacia, mas, ao alcançarem o trecho inferior do rio São Francisco, a maioria dos peixes não apresentam este comportamento. Os indivíduos parecem estar motivados a alcançar rapidamente os seus sítios de alimentação previamente ocupados.

4.1.4 Fidelidade geográfica no retorno aos sítios de alimentação

Em relação à fidelidade de retorno aos sítios de alimentação, observamos que cerca de 85% dos peixes marcados retornam para os sítios de alimentação que ocupavam antes da migração reprodutiva. Cerca de 49% para o exato ponto e outros 36% para pontos próximos no mesmo rio. Isso indica que existe uma alta fidelidade de ocupação desses pontos pelos indivíduos da

população marcada que pode se dever a características territorialistas dos indivíduos que a compõem e/ou a um conhecimento profundo da geografia da área que ocupam e que permite que mantenham esse tipo de fidelidade espacial. Hinch et al. (2006) comentam que peixes podem utilizar pistas olfativas, magnéticas e sua visão para identificar seus sítios natais e retornar a estes pontos. Os indivíduos da população parecem se concentrar em pequenos trechos dos rios São Francisco e Pará próximos à sua confluência, indicando que devem, também, utilizar pistas ambientais, para efetuar o retorno, sendo necessários estudos mais aprofundados para se avaliar a importância de cada uma delas no processo. É possível que esta região possua características favoráveis para a alimentação ou refúgio destes indivíduos o que explicaria esta preferência.

Uma questão importante que a descoberta deste alto grau de fidelidade pelos sítios de alimentação levanta é se há o mesmo grau de fidelidade em relação aos pontos de reprodução. Nossos dados não nos permitem avaliar essa questão no momento, mas nos parece uma hipótese válida inferir que deve, também, haver algum grau de fidelidade aos pontos de reprodução. Ao observar esse nível de conhecimento geográfico do ambiente em que vivem, ao retornar aos sítios de alimentação, até 370 km distantes dos sítios de reprodução, parece-nos provável que, também, apresentem esse comportamento para a determinação dos pontos de desova. O uso dos mesmos pontos anualmente tanto para a alimentação quanto para a desova pode aumentar a segurança do deslocamento, dado que já se conhece o caminho, quanto à garantia da presença de parceiros sexuais no ponto da desova, já que este já foi utilizado com sucesso em reproduções anteriores. O deslocamento dos peixes em grupos, conforme demonstrado pelas passagens de peixes pelas estações de telemetria do rio São Francisco, em dias e horários próximos uns dos outros neste estudo, também, deve ser um fator importante para determinar a fidelidade local. É possível que os mesmos grupos utilizem os mesmos pontos ao longo dos anos. Caso haja

fidelidade aos pontos de reprodução, é também provável que haja mudanças individuais na escolha destes pontos, ao longo dos anos, como observamos para os sítios de alimentação, em que 15% dos peixes utilizam rios diferentes, ao retornarem após a migração reprodutiva. Godoy (1959, 1972) e Godinho e Kynard (2006), também, observaram alto grau de fidelidade geográfica de espécies do gênero *Prochilodus* a pontos de reprodução e alimentação nas bacias do rio Grande e São Francisco, respectivamente. Godinho, Kynard e Godinho (2007) observaram o mesmo fenômeno para a espécie *Pseudoplatystoma corruscans* na bacia do rio São Francisco. Hanh et al. (2011) relatam a fidelidade de dois indivíduos de *Salminus brasiliensis* a seus pontos de reprodução em dois anos subsequentes. Já Andrade Neto (2008) não registrou fidelidade geográfica em sítios de alimentação para *Salminus franciscanus* no Alto São Francisco. Duponchelle et al. (2016) avaliam que indivíduos da espécie *Brachyplatystoma rousseauxii*, um grande bagre migrador amazônico, apresentam comportamento de retorno aos seus sítios natais, realizando grandes deslocamentos para alcançá-los. Braga-Silva e Galetti Júnior (2016), estudando variações genéticas na população de *P. costatus*, nos rios Samburá e São Francisco, mesmo trecho deste estudo, como pontos de reprodução da espécie, avaliam que não parece haver homing reprodutivo para a espécie, pois a variabilidade genética dos indivíduos em cada trecho é similar durante o período reprodutivo. O esclarecimento desta questão, certamente, necessitará de estudos complementares com prazos maiores.

4.1.5 Ciclo de vida de *Prochilodus costatus* na área de estudo

Os peixes que retornaram aos sítios de alimentação o fizeram após permanecerem, em média, 93 dias nos sítios de reprodução. Esse período de estadia, mas é bastante variável. Poucos peixes retornam aos sítios de alimentação, antes de 30 dias e poucos o fazem, após 150 dias, mas entre esses

períodos temos uma distribuição bastante uniforme no tempo de retorno. Godinho, Kynard e Godinho (2007) observaram que a migração pós-reprodutiva de *Pseudoplatystoma corruscans* na região de Pirapora, também, ocorria em um período limitado após a reprodução, neste caso, de janeiro a março. Um padrão interessante é que os peixes marcados, na primeira temporada, retornaram aos sítios de alimentação, após um período maior de estadia nos sítios de reprodução, em relação aos peixes marcados na segunda temporada (100 dias de estadia, em média, contra 75, respectivamente). Não é possível avaliarmos com precisão o que ocorreu, para este retorno tardio, na primeira temporada, mas é possível que as condições hidrológicas desse período tenham contribuído para isso. Como o período reprodutivo de 2014/15 foi menos chuvoso do que o período 2015/16, os peixes talvez tenham encontrado mais dificuldades no processo migratório esse ano, fazendo com que levassem mais tempo para se recuperar do deslocamento e permanecendo mais tempo nos sítios de reprodução. Uma outra possibilidade pode ter sido a ocorrência de algum atraso na desova destes peixes, na primeira temporada, ao aguardarem melhores condições hídricas para liberar os seus gametas. Especialmente em janeiro de 2015, a ocorrência de precipitação, na área de estudo, foi bem abaixo da média histórica na região (Capítulo 1). Essa questão, apesar disso deve ser melhor avaliada com o acompanhamento de novos peixes marcados na área de estudo nos próximos anos. Ao considerarmos as médias de tempo estimadas, para os deslocamentos para montante e jusante e os períodos de estadia médios nos sítios de alimentação e reprodução, temos que os peixes da população estudada permanecem cerca de 258 dias por ano nos sítios de alimentação, 11 dias nos deslocamentos para montante, 93 dias nos sítios de reprodução e 3 dias em deslocamentos para jusante. Essas estimativas de tempo de estadia, em cada ambiente utilizado por uma espécie migradora neotropical, são coerentes com o modelo de vida, proposto para essas espécies, com períodos mais longos de

acumulação de recursos alimentares nos sítios de alimentação e períodos menores de estadia nos sítios de desova que são utilizados, especificamente, para a desova por serem mais pobres em sua disponibilidade energética aos peixes (AGOSTINHO et al., 2003; BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; GODINHO; KYNARD, 2008; GODINHO; LAMAS; GODINHO, 2010; HARVEY; CAROSFELD, 2003; MAKRAKIS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015; POMPEU; GODINHO, 2003, 2006; RESENDE et al., 1995; SVERLIJ; ESPINACH-ROS; ORTI, 1993).

4.2 Influência da precipitação, iluminação lunar e solar na migração de

***Prochilodus costatus*: Precipitação como gatilho migratório**

As espécies de peixes do gênero *Prochilodus* já foram descritas em diversos estudos como migradoras precoces, iniciando seu processo de migração ascendente com o início das primeiras chuvas em seus sítios alimentares (AGOSTINHO et al., 2003; AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003; DIAZ-SARMIENTO; ALVAREZ-LEON, 2003; GODOY, 1967, 1972, 1975; RESENDE, 2003; RESENDE et al., 1995). Pessoa e Shulz (2010) observaram um aumento significativo nas taxas de movimento de *P. lineatus* monitorados, por meio de radiotelemetria no rio dos Sinos (Sul do Brasil), durante períodos de alta precipitação. Os dados obtidos neste estudo corroboram estas observações. Os primeiros peixes a iniciar sua migração ascendente parecem fazer isto sem o estímulo das primeiras chuvas nos dois anos estudados. Porém com a chegada das chuvas, em meados de outubro e novembro, a atividade migratória da espécie se intensifica. Os dois períodos de alto fluxo de peixes, observados nos dois anos, ocorrem durante períodos de precipitação próximos aos pontos de marcação. Estes resultados parecem indicar que a chuva é um sinalizador importante do período migratório para a espécie, atuando como um gatilho para o início da migração. É necessário

considerar que os dados apresentados aqui se referem a uma estação de coleta de dados meteorológicos, localizada na cidade de Pompéu, que está muito próxima aos pontos de marcação dos peixes. No entanto chuvas em outros pontos da bacia podem, também, ter algum papel como gatilho migratório. É possível que chuvas em pontos altos da bacia possam atuar desta forma e que os peixes que migram, antes do período chuvoso nos pontos de marcação, possam ter influências de chuvas que ocorram em outras áreas da bacia.

O papel da precipitação deve ser melhor investigado, também, na definição da janela migratória da espécie e se possui influência sobre a proporção da população que migra em determinado ano. É possível que chuvas que ocorram mais cedo, no período reprodutivo, possam adiantar o período migratório de indivíduos de *P. costatus* na região e mesmo influenciar os períodos de alto fluxo de peixes observados. Já, as chuvas que ocorrem em dezembro, parecem não ter papel de gatilho ambiental para a migração, porque, neste período, os peixes já estão posicionados nos sítios reprodutivos aguardando os primeiros picos de vazão para desovar. A intensidade das chuvas, também, pode influenciar a proporção de peixes da população que migra. A precipitação pode ser uma pista importante para os peixes de como será o período hidrológico no ano. Anos que possuem chuvas precoces e mais volumosas podem indicar um período hidrológico melhor e, dessa forma, podem atrair um maior número de peixes aos sítios de reprodução. Estas informações só poderão ser obtidas com estudos em longo prazo que avaliem a dinâmica migratória da espécie nesta região.

4.2.1 A influência da iluminação lunar na migração de *P. costatus*

Um parâmetro ainda pouco avaliado, quanto à sua importância como gatilho à migração de peixes neotropicais, são as fases de iluminação lunar (PETRERE JÚNIOR, 1985). Alguns estudos têm avaliado a importância deste

fator para a migração de espécies de peixes neotropicais, correlacionando a atividade migratória destas espécies à fase de lua cheia (BIZZOTO et al., 2009; POMPEU; MARTINEZ, 2006) ou quarto crescente (BAYLEY, 1973). Em estudos realizados com peixes de ambientes temperados, têm-se observado picos de migração na lua nova (MIYAI; AOYAMA; SASAI, 2004; OKAMURA et al., 2002; YAKO; MATHER; JUANES, 2002). Kuparinen, O'hara e Merila (2009) alertam para a necessidade de se diferenciar os efeitos diretos da fase da lua no processo migratório, por meio da gravidade e de seus efeitos indiretos observados nas marés e no grau de iluminação lunar. Neste estudo, observamos que quanto menor a iluminação lunar maior a proporção de registros de início de migração ascendente. Isto parece indicar que indivíduos de *P. costatus* são estimulados a migrar para os pontos de reprodução, em períodos em que a iluminação lunar é menor na região, apesar de haver uma relação deste início migratório, também, com a precipitação. Essa observação pode parecer incoerente à feita, anteriormente, de que essa espécie possui hábitos diurnos, mas acreditamos que as duas estão correlacionadas. Como os indivíduos da espécie apresentam menor atividade durante a noite, é de se esperar que estejam mais vulneráveis a predadores nesse período. Resende (1995) observou maior atividade de predação de cardumes de curimbas por jacarés, durante o período noturno, na bacia do rio Paraguai. Dessa forma, os indivíduos parecem diminuir os riscos de serem predados, ao iniciar o seu deslocamento em períodos, nos quais a iluminação lunar é menor, diminuindo a possibilidade de serem visualizados por seus principais predadores (SUDO et al., 2014; YAKO; MATHER; JUANES, 2002). Com a marcação de novos indivíduos na região, poderemos avaliar melhor este padrão.

4.2.2 Ciclos de iluminação diária

Em alguns estudos já se investigaram a importância que o ciclo de iluminação diária possui na atividade natatória de peixes neotropicais (BIZZOTTO et al., 2009; PESOA; SCHULZ, 2010; SUZUKI, 2014). Muitas espécies se especializam em buscar alimentos e realizar deslocamentos, em determinado período do dia, possuindo, para isso, características morfológicas e fisiológicas que lhes permitem utilizar com maior eficiência as características de luminosidade na água. Espécies migradoras neotropicais se dividem, a grosso modo, em dois grandes grupos: Characiformes e Siluriformes. Esses dois grupos, aparentemente, especializaram-se em utilizar períodos do dia diferentes para realizar suas atividades de deslocamento e alimentação. Enquanto Siluriformes possuem características morfológicas adequadas à utilização de ambientes com baixa luminosidade, como o corpo achatado para a sua manutenção no leito do rio e a presença de apêndices ao redor da boca para melhor localização de objetos, Characiformes possuem adaptações para concentrarem suas atividades em ambientes e horários de maior luminosidade como o corpo fusiforme e orientação visual (LOWE-MCCONNELL, 1987). No caso de *P. costatus*, um caraciforme, seria de se esperar que a maior parte de sua atividade migratória ocorresse em horas em que houvesse iluminação solar. Observamos, neste estudo, que 71% dos registros que observamos, durante a migração ascendente dessa espécie, ocorreu durante o dia. Isto parece indicar que os indivíduos da espécie em migração ascendente são mais ativos, durante os períodos de iluminação solar, o que faz com que percorram maiores distâncias nesses períodos. Como a migração ascendente demanda um gasto energético muito alto para o indivíduo que a realiza, é de se esperar que ocorra, majoritariamente, em períodos de maior atividade fisiológica do indivíduo. Já, na migração descendente, não observamos diferenças entre os registros feitos durante o dia e a noite. Isso, também, faz sentido, visto que a descida dos peixes

é um deslocamento que requer muito menos esforço físico do que a subida contra a corrente. Na descida, os peixes podem, eventualmente, adotar a natação passiva, na qual a força da água os impulsiona, como já observamos pela análise das velocidades de natação.

Com outros estudos realizados com o gênero *Prochilodus*, já se haviam observados padrões similares. Godinho e Kynard (2006), estudando padrões migratórios de *P. argenteus* no rio São Francisco, observaram que cerca de 72% dos registros de entrada de indivíduos desta espécie, em seus sítios de reprodução, deram-se, durante o dia, enquanto Suzuki (2014), também, observou maior movimentação desta espécie, durante o dia, a jusante da UHE Três Marias. Pompeu e Martinez (2006) observaram maior uso do elevador da UHE Santa Clara por *Prochilodus vimboides* durante o dia. Pessoa e Schulz (2010) observaram maior atividade de movimentação de *P. lineatus*, durante o dia no rio do Sinos, com picos de movimentação às 7 h e 15 h, resultados muito parecidos com os encontrados neste estudo. Silva (2012), também, observou maior movimentação de *P. lineatus*, durante o dia, na escada de peixes de Igarapava (rio Grande). Resende (1995) comenta que foi possível observar cardumes de *P. lineatus* parados à noite, durante o período migratório, aparentemente, em atividade de repouso, no rio Miranda, bacia do rio Paraguai. Ainda assim, Godoy (1962) não observou diferenças entre os padrões migratórios de *P. lineatus* entre períodos diurnos e noturnos no rio Mogi-Guaçu e Bizzotto et al. (2009), também, não registraram maiores passagens desta espécie pela escada de Igarapava durante o dia.

5 CONCLUSÕES

As velocidades de deslocamento registradas neste estudo, tanto em migração ascendente quanto em migração descendente, são as maiores já observadas para indivíduos do gênero *Prochilodus*. Nadando a estas velocidades médias, os indivíduos da espécie podem alcançar os sítios de reprodução, em períodos de tempo menores do que os estimados anteriormente, o que tem consequências importantes para o entendimento de seu ciclo de vida e para a formulação de estratégias de conservação. No trecho estudado, os indivíduos alcançam os sítios reprodutivos em cerca de 11 dias de jornada rio acima. Este é um período curto de migração reprodutiva, mas que, certamente, gera altos gastos energéticos para os indivíduos em migração. Isto parece se refletir em longos períodos nos quais os indivíduos da espécie permanecem em seus sítios reprodutivos antes de iniciar a migração de retorno aos sítios alimentares. Neste estudo, obtivemos alguns dos primeiros registros disponíveis, para os períodos de estadia de peixes migradores neotropicais, em sítios alimentares e reprodutivos. Também é feito um dos primeiros registros de homing de uma espécie neotropical para seus sítios alimentares. O alto índice de retorno da espécie aos pontos, previamente ocupados para forrageamento, levanta a possibilidade de termos índices similares de retorno a pontos de reprodução.

Os estímulos ambientais, para desencadear a migração da espécie, parecem ser de duas categorias. Em primeiro lugar, temos os estímulos que indicam, de maneira macro, o momento adequado para a migração. Estes estímulos são previsíveis, ao longo dos anos e marcadamente sazonais. São exemplos destes estímulos o fotoperíodo e a temperatura da água. A mudança no fotoperíodo, para dias mais longos do que as noites e o aumento da temperatura da água para níveis acima de 20°C, ocorrem em meados de setembro (Capítulo 1). A mudança do fotoperíodo parece desencadear uma cascata hormonal que leva ao processo de maturação final das gônadas de peixes migradores, pela

diminuição da produção de melatonina (ZHDANOVA; REEBS, 2006), enquanto o aumento da temperatura da água permite maiores taxas de atividade à espécie (VAZZOLER, 1996). Estes dois parâmetros, desta forma, sinalizam para a espécie o início da janela temporal adequada para a migração ascendente assim que atingem determinados níveis na região.

O momento exato, em que os indivíduos realizam a migração reprodutiva, mas irá depender de outros dois fatores ambientais. Estes fatores informam à espécie o momento exato, para o início da migração reprodutiva, dentro da janela de oportunidade criada pelo aumento do fotoperíodo e temperatura, sendo eles a precipitação e a fase da lua. Estes estímulos desencadeiam a migração, quando atingem picos de ocorrência (no caso da fase da lua, há um ciclo de iluminação lunar, mas os picos de menor iluminação ocorrem na fase da lua nova). Os dados aqui apresentados mostram que existe uma correlação entre os períodos específicos escolhidos pelos indivíduos para iniciar a migração com a ocorrência de chuvas na região. Em teoria, este estímulo informa aos indivíduos que o momento é adequado à realização do seu deslocamento. A precipitação e as mudanças ambientais que ocasiona, como aumento da turbidez e da vazão dos rios, parece ser o principal gatilho migratório da espécie. O uso da precipitação como gatilho é importante por várias razões ecológicas. Em primeiro lugar, a precipitação informa aos peixes que o período de maiores vazões dos rios e conseqüente formação de áreas de recrutamento, para espécie, está se aproximando. Estas serão as condições necessárias para que a espécie apresente sucesso reprodutivo, posto que a prole gerada por cada indivíduo que se reproduzirá na temporada, dependerá diretamente das áreas alagadas disponíveis para o crescimento de suas larvas e alevinos. A chuva, ao que tudo indica, também, pode funcionar como um elemento preditor do próximo período reprodutivo. Um ano que possua maior volume de chuvas, durante a janela migratória da espécie, que vai do final de

setembro, ao final de novembro, pode sinalizar uma melhor condição hidrológica para a reprodução da espécie. Desta forma, além de sincronizar a migração da espécie, a precipitação pode, também, ser o parâmetro ambiental responsável por definir a parcela da população que migrará com o fim de se reproduzir em determinado ano. Janelas migratórias que possuam maiores volumes, ou maiores períodos de chuva, podem ter maior proporção da população migrando a fim de se reproduzir. Monitoramentos em longo prazo, realizados em um mesmo ponto, poderão avaliar melhor o efeito que este parâmetro ambiental possui sobre a proporção de migrantes desta e outras espécies migradoras neotropicais.

A iluminação lunar, também, parece ter papel decisivo como gatilho migratório à espécie. Os indivíduos de *P. costatus* que migram a montante, nos dois anos avaliados, fazem-no em maior proporção durante a lua nova. Esta preferência, já registrada para outras espécies migradoras de peixes, em outras regiões do planeta, parece estar ligada a estratégias utilizadas pela espécie com o propósito de evitar a predação. Como os indivíduos da espécie são menos ativos, durante a noite, este é o período em que estão mais vulneráveis a predadores durante o seu trajeto. Iniciar o processo migratório, durante períodos de menor iluminação lunar, pode diminuir as taxas de predação.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A. et al. Itaipu reservoir: impacts on the ichthyofauna and biological bases for its management. In: UNITED NATIONS CENTRE FOR REGIONAL DEVELOPMENT (Ed.). **Environmental and social dimensions of reservoir development and management in the La Plata River Basin**. Japan: UNCRD, 1994. p. 135-148.
- _____. Migratory fish from the upper Paraná River basin, Brazil. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of south america: biology, social importance and conservation status**. Victoria: World Fisheries Trust, 2003. p. 19-98.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo dos recursos pesqueiros em reservatório do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.
- ALVES, C. B. M. A ictiofauna e a escada experimental para peixes do rio Paraopeba – UTE Igarapé, Bacia do Rio São Francisco (Minas Gerais). In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.
- ALVES, C. B. M.; SILVA, L. G. M. da; GODINHO, A. Radiotelemetry of a female jaú, Zungaro jahu (Ihering, 1898) (Siluriformes: Pimelodidae), passed upstream a Funil Dam, Rio Grande, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 229–232, 2007.
- ANDRADE NETO, F. R. **Migração e conservação do dourado (*Salminus franciscanus*, Lima & Britski 2007) em um trecho do rio São Francisco**. 2008. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- ANTONIO, R. R. et al. Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes? **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 177-184, 2007.
- ARANTES, F. P. et al. Collapse of the reproductive process of two migratory fish (*Prochilodus argenteus* and *Prochilodus costatus*) in the Três Marias Reservoir, São Francisco River, Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, Berlin, v. 27, n. 3, p. 847-853, 2011.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; RUFFINO, M. L. Migratory fishes of the brazilian Amazon. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 233-301.

BAILLY, D.; AGOSTINHO, A. A.; SUZUKI, H. I. 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**, Chichester, v. 24, n. 9, p. 1218-1229, 2008.

BAYLEY, P. B. Studies on the migratory characin, *Prochilodus platensis*, Holmberg, 1889 (Pisces, Characoidei) in the river Pilcomayo, South America. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 5, n. 1, p. 25-40, 1973.

BIZZOTTO, P. M. et al. Influence of seasonal, diel, lunar and other environmental factors on upstream fish passage in the Igarapava Fish Ladder, Brazil. **Ecology of Freshwater Fish**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 461-472, 2009.

BRAGA-SILVA, A.; GALETTI JUNIOR, P. M. Evidence of isolation by time in freshwater migratory fish *Prochilodus costatus* (Characiformes, Prochilodontidae). **Hydrobiologia**, Haia, v. 765, n. 1, p. 159-167, 2016.

BRAITHWAITE, V. Cognitive ability in fish. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press, 2006. p. 1-38.

CROSSIN, G. T. et al. Mechanisms influencing the timing and success of reproductive migration in a capital breeding semelparous fish species, the sockeye salmon. **Physiological and Biochemical Zoology**, Chicago, v. 82, n. 6, p. 635-652, 2009.

DELFINO, R.; BAIGUN, C. Marcaciones de peces en el embalse de Salto Grande, Rio Uruguay (Argentina-Uruguay). **Revista de la Asociacion de Ciencias Naturales Del Litoral**, Santa Fé, v. 16, n. 1, p. 85-93, 1985.

DIAZ-SARMIENTO, J. A.; ALVAREZ-LEON, R. Migratory fishes of the colombian Amazon. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 303-344.

DUARTE, B. A. F.; RAMOS, I. C. R.; SANTOS, H. A. Reynolds shear-stress and velocity: Positive biological response of neotropical fishes to hydraulic

parameters in a vertical slot fishway. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 813-819, 2012.

DUARTE, B. A. F.; SANTOS, H. A. Tensão de Reynolds e velocidade média em uma escada para peixes do tipo ranhura vertical: comportamento preferencial da espécie *Leporinus reinhardtii*. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 157-167, 2014.

DUPONCHELLE, F. et al. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 53, n. 5, p. 1511-1520, 2016.

FORSYTHE, P. S. et al. Environmental and lunar cues are predictive of the timing of river entry and spawning-site arrival in lake sturgeon *Acipenser fulvescens*. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 1, p. 35-53, 2012.

FRIES, L. C. C. **Movimentos e distribuição longitudinal de um peixe migrador (*Salminus brasiliensis*) em um reservatório de usina hidrelétrica**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Migration and spawning of radio-tagged zulega *Prochilodus argenteus* in a Dammed Brazilian River. **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 135, n. 3, p. 811-824, 2006.

_____. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River Research and Applications**, Chichester, v. 25, n. 6, p. 702-712, 2008.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B.; GODINHO, H. Migration and spawning of female surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*, Pimelodidae) in the São Francisco River, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 80, n. 4, p. 421-433, 2007.

GODINHO, A. L.; LAMAS, I. R.; GODINHO, H. P. Reproductive ecology of Brazilian freshwater fishes. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 87, n. 2, p. 143-162, 2010.

GODOY, M. P. Age, growth, sexual maturity, behavior, migration, tagging and transplanted of the curimbatá (*Prochilodus scrofa* Steindacher, 1881) of the Mogi Guassu river, São Paulo state, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 447-477, 1959.

_____. Brazilian tagging experiments, fishes migration, and upper Paraná River basin ecosystem. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 32, n. 4, p. 473-484, 1972.

_____. Dez anos de observações sobre periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guassu. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 27, n. 1, p. 1-12, 1967.

_____. **Peixes do Brasil, sub-ordem Characoidei, bacia do Rio Mogi-Guaçu**. Piracicaba: Editora Franciscana, 1975. 627 p.

HAHN, L. et al. Preliminary study on the application of radio-telemetry techniques to evaluate movements of fish in the Lateral Canal at Itaipu Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 103–108, 2007.

_____. Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. **Endangered Species Research**, Kiel, v. 15, n. 2, p. 103–114, 2011.

HAHN, L. The application of radio telemetry to fisheries research in Brazil's large rivers. In: ADAMS, N. S.; BEEMAN, J. W.; EILER, J. H. (Ed.). **Telemetry techniques: a user guide for fisheries research**. Bethesda: American Fisheries Society, 2012. p. 237-252.

HANSON, K. C. et al. Effects of lunar cycles on the activity patterns and depth use of a temperate sport fish, the largemouth bass, *Micropterus salmoides*. **Fisheries Management and Ecology**, Oxford, v. 15, n. 5/6, p. 357-364, 2008.

HARVEY, B.; CAROSLFELD, J. B. Fishes of the floods. In: CAROSLFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 1-18.

HINCH, S. G. et al. Behavioural physiology of fish migrations: salmon as a model approach. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press. 2006. p. 240-296.

HODGSON, S.; QUINN, T. P. The timing of adult sockeye salmon migration into fresh water: adaptations by populations to prevailing thermal regimes. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 80, n. 3, p. 542–555, 2002.

- JOHANSSON, J.; WINBERG, S.; SLOMAN, K. A. Social interactions. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press, 2006. p. 151-196.
- KUPARINEN, A.; O'HARA, R. B.; MERILA, J. Lunar periodicity and the timing of river entry in Atlantic salmon *Salmo salar*. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 74, n. 10, p. 2401-2408, 2009.
- LOPES, J. M. et al. Effect of anesthetic, tag size, and surgeon experience on postsurgical recovering after implantation of electronic tags in a neotropical fish: *prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837)(Characiformes:Prochilodontidae). **Neotropical Iichthyology**, Maringá, v. 14, n. 3, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-62252016000300209&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- LOWE-MCCONNELL, R. H. **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 382p.
- LUCAS, M. C.; BARAS, E. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 1, n. 4, p. 283-316, 2000.
_____. **Migrations of freshwater fishes**. Oxford: Blackwell Science, 2001. 420 p.
- MAKRAKIS, M. C. et al. Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 81, n. 2, p. 866-881, 2012.
- MIYAI, T.; AOYAMA, J.; SASAI, S. Ecological aspects of the downstream migration of introduced European eels in the Uono River, Japan. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 71, n. 1, p. 105-114, 2004.
- NIELSEN, L. A. **Methods of marking fish and shellfish**. Bethesda: American Fisheries Society, 1992. 208 p.
- OKAMURA, A. et al. Atmospheric depression as the final trigger for the seaward migration of the Japanese eel *Anguilla japonica*. **Marine Ecology Progress Series**, Oldendorf, v. 234, p. 281-288, 2002.
- OLIVEIRA, A. G. et al. Interspecific variation in migratory fish recruitment in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of floods. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 98, n. 5, p. 1327-1337, 2015.

PAIVA, M. P.; BASTOS, S. A. Marcações de peixes nas regiões do alto e médio São Francisco (Brasil). **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 34, n. 10, p. 1362:1365, 1982.

PEREZ, A. G. **Movimentos e mortalidade crônica de peixes nos rios Grande e Paranaíba**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PERINI, V. R. et al. Profiles of sex steroids, fecundity and spawning of a migratory characiform fish from the Paraguay-Paraná basin: a comparative study in a three-river system. **Fish Physiology and Bio-Chemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 6, p. 1473-1484, 2013.

PESOA, N. A.; SCHULZ, U. H. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 4, p. 1169–1177, 2010.

PETRERE JÚNIOR, M. **Migraciones de peches de agua dulce em America Llatina**: algunos comentários. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1985. 18 p.

PETRERE-JUNIOR, M. River fisheries in Brazil: a review. **Regulated Rivers: research & management**, Chichester, v. 4, n. 1, p. 1-16, 1989.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. In. GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Ed.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora da PUC, 2003. p. 361-372.

_____. Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2006.

POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 340-349, 2006.

RESENDE, E. K. et al. **Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do Rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil**. Cuiabá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 73 p.

RESENDE, E. K. Migratory fishes of the Paraguay-Paraná basin excluding the upper Paraná basin. In: CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 99-156.

RIBEIRO, T. C. **Migração de peixes neotropicais em rios com barramentos sucessivos**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SAMPAIO, F. A. C. et al. Swimming performance of epigeal and hypogeal species of Characidae, with an emphasis on the troglolithic *Stygichthys typhlops* Brittan & Bohlke, 1965. **Internacional Journal of Speleology**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 9-16, 2012.

_____. Swimming performance of the small-sized Characin *Bryconamericus stramineus* (Characiformes: Characidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 27, n. 6, p. 939-944, 2010.

SANTOS, G. B. et al. Marcação e recaptura da Curimatá-Pioa (*Prochilodus costatus*) em um afluente do rio São Francisco e avaliação da necessidade da transposição de peixes na UHE Gafanhoto. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012a. p. 35-58.

SANTOS, H. A. et al. Optimal swim speeds by respirometer: an analysis of three neotropical species. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 805-811, 2012b.

SANTOS, H. A.; POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Estabelecimento de parâmetros hidráulicos para escadas de peixes do tipo ranhura vertical baseados em características de espécies neotropicais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-112, 2009.

SATO, Y.; CARDOSO, E. L.; AMORIM, J. C. C. **Peixes das lagoas marginais do rio São Francisco, a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais)**. Brasília: CODEVASF, 1988. 42 p.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Migratory fishes of the São Francisco River. In: CAROSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 195-232.

SILVA, L. G. M. Parâmetros migratórios e transposição de curimatás e mandis-amarelos no médio rio Grande. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.

SUDO, R. et al. Effect of lunar periodicity on the locomotor activity of silver-stage Japanese eel, *Anguilla japonica*. **Journal of Ethology**, Kyoto, v. 32, n. 2, p. 111-115, 2014.

SUZUKI, F. M. **Estudo do comportamento de peixes no canal de fuga da usina hidrelétrica de Três Marias utilizando telemetria acústica**. 2014. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SVERLIJ, S. B.; ESPINACH-ROS, A.; ORTI, G. **Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sabalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847)**. Argentina: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1993. 64 p.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: EDUEM, 1996. 169 p.

WINTER, J. Advances in underwater biotelemetry. In: MURPHY, B. R.; WILLIS, D. W. (Ed.). **Fisheries techniques**. Maryland: American Fisheries Society, 1996. p. 555-590.

YAKO, L. A.; MATHER, M. E.; JUANES, F. Mechanisms of migration of anadromous herring: an ecological basis for effective conservation. **Ecological Applications**, Washington, v. 12, n. 2, p. 521-534, 2002.

ZHDANOVA, I. V.; REEBS, S. G. Circadian rhythms in fish. In: SLOMAN, C. A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Fish physiology**. Devon: Academic Press, 2006. p. 197-239.

**ARTIGO 3 - PADRÕES MIGRATÓRIOS EM POPULAÇÕES LOCAIS E
TRANSPOSTAS DE UMA ESPÉCIE DE PEIXE NEOTROPICAL:
IMPLICAÇÕES PARA PROGRAMAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO**

**MIGRATORY PATTERNS IN LOCAL AND TRANSPOSED
POPULATIONS OF A NEOTROPICAL FISH SPECIES: IMPLICATIONS
FOR MANAGEMENT AND CONSERVATION PROGRAMS**

João de Magalhães Lopes¹ e Paulo Santos Pompeu²

1. Cemig Geração e Transmissão S.A. – e-mail: joaoml@cemig.com.br.
Av. Barbacena, 1200, Belo Horizonte. CEP 30180-121.

2. Universidade Federal de Lavras

**ARTIGO FORMATADO CONFORME A NBR 6022 (ABNT, 2003),
conforme Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos da
UFLA.**

RESUMO

Um dos maiores impactos à ictiofauna nativa neotropical é a instalação de barragens nas bacias hidrográficas nas quais ocorrem. Barragens podem separar áreas críticas, para a sobrevivência destas espécies, como seus sítios de alimentação e reprodução, além de alterarem as condições hidrodinâmicas à montante, com a formação do reservatório, e a jusante com o controle da vazão e qualidade de água. Hoje, no Brasil, cerca de 83% da energia elétrica consumida vêm de hidrelétricas e um número ainda maior está planejado para ser construído nos próximos anos. A UHE Três Marias iniciou sua operação, em 1962, localizando-se no trecho alto da bacia do rio São Francisco, em Minas Gerais. Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de indivíduos da espécie *Prochilodus costatus*, quando transpostos para o reservatório de Três Marias e para trechos lóticos dos rios São Francisco e Pará, de forma a subsidiar a decisão sobre a instalação de um Sistema de Transposição para Peixes nesta barragem. Os resultados apontaram que o reservatório funciona como uma barreira à dispersão dos indivíduos transpostos, com uma fração muito pequena destes indivíduos, sendo capaz de encontrar trechos adequados em tributários com o intuito de completar o seu ciclo reprodutivo. Boa parte dos indivíduos transpostos ao reservatório encontrou áreas de criação de tilápias, em tanques-redes e permaneceu nestes pontos por todo o estudo. Quando transpostos diretamente para trechos lóticos acima do reservatório, indivíduos da população de jusante apresentaram comportamento diferente de indivíduos das populações locais. Estes indivíduos tiveram como principal padrão migratório a natação errática entre pontos deste sistema lótico, sem um direcionamento específico a montante ou jusante, ao contrário dos indivíduos de populações locais que realizam longas migrações a montante para se reproduzir. Estes resultados sugerem que a transposição de espécies migradoras, a montante da barragem de Três Marias, pode não ser uma estratégia efetiva à sua conservação na região, já que são encontrados sítios propícios para a sua reprodução tanto a jusante quanto a montante, e indivíduos transpostos não parecem capazes de se adaptar ao novo ambiente e completar o seu ciclo reprodutivo a montante.

Palavras-chave: Barragem. Comportamento migratório. Sistema de Transposição de Peixes.

ABSTRACT

One of the largest impacts to neotropical native ichthyofauna is the installation of dams in river basins where they are present. Dams can separate critical areas for the survival of these species, such as their feeding and reproductive sites, in addition to changing upstream hydrodynamic conditions with the formation of the dam, and downstream with the control of water flow and quality. Today, in Brazil, close to 83% of the consumed electric energy derives from hydroelectric plants, and a higher number of plants are planned for construction in the years to come. The Três Marias Hydroelectric power plant, located in the stretch of the high São Francisco River Basin, in Minas Gerais, Brazil, began operations in 1962. This study had the objective of evaluating the behavior of individuals of *Prochilodus costatus* when transposed to the Três Marias Dam and to lotic stretches of the São Francisco and Pará Rivers, in order to subsidize the decision of installing a Fish Passage in this dam. The results indicate that the dam acts as a barrier to the dispersion of transposed individuals, with a very small fraction of individuals being capable of finding adequate stretches in tributaries to complete their reproductive cycle. A big portion of the transposed individuals found tilapia rearing areas in net-tanks and remained in these sites for the duration of the study. When transposed directly to lotic stretches upstream of the dam, individuals from the downstream population presented behavior distinct from those of the local populations. These individuals had a migratory erratic pattern of swimming between points of the lotic system, with no specific direction toward up or downstream, while the individuals from local populations perform long upstream migrations to reproduce. These results suggest that the transposition of migrating species to upstream of the Três Marias Dam may not be an effective strategy for its conservation in the region, since they are found in sites favorable to their reproduction both up and downstream. In addition, transposed individuals seem incapable of adapting to the new environment and complete their reproductive cycle upstream.

Keywords: Dam. Migratory behavior. Fish Passage.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais impactos sofridos por espécies de peixes migradores neotropicais é a construção de barragens e formação de grandes reservatórios ou de cascatas de reservatórios nos rios em que ocorrem (AGOSTINHO et al., 2011; AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; BIZZOTTO et al., 2009; HARVEY; CAROSFELD, 2003; POMPEU; GODINHO, 2006; VOLPATO et al., 2009). Os principais riscos a estas espécies são a interrupção de rotas migratórias previamente existentes com efeitos deletérios, em seu ciclo reprodutivo, as mudanças de habitat, ocasionadas pela formação do reservatório que alteram drasticamente a geografia e os limiares ecológicos dos ambientes utilizados por elas e as mudanças hidrológicas causadas rav'resa jusante da barragem, com a regularização de picos de vazão e mudanças na qualidade da água (BAILLY; AGOSTINHO; SUZUKI, 2008; LUZ-AGOSTINHO et al., 2009; PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; MARTINEZ, 2006). Usinas hidrelétricas produzem cerca de 83% de toda energia elétrica, no Brasil e o governo brasileiro prevê que cerca de 50% da expansão da oferta de energia, nos próximos anos, dar-se-á pela construção de novas usinas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016). Temos, atualmente, usinas hidrelétricas distribuídas por virtualmente todas as bacias hidrográficas brasileiras e um grande número de novos projetos em fase de implantação ou planejamento. A distribuição destes empreendimentos, também, tem se expandido no país, visto que há um número crescente de novos projetos, em bacias hidrográficas ainda pouco impactadas por barragens no Pantanal Brasileiro e na região Amazônica (ANEEL, 2016), regiões que abrigam uma megadiversidade de peixes e um grande número de espécies migradoras (WINEMILLER et al., 2016). O conhecimento do impacto que barragens já existentes exercem sobre populações de espécies migradoras e sobre a dinâmica migratória de espécies neotropicais se torna essencial, neste cenário, caso se

deseje mitigar estes efeitos a espécies já afetadas ou em risco de serem afetadas por novos empreendimentos (PETRERE JÚNIOR, 1985).

Uma das estratégias mais comuns, com a finalidade de se mitigar os impactos da construção de barragens sobre espécies de peixes migradoras, é a implantação de Sistemas de Transposição de Peixes (PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011; POMPEU; MARTINEZ, 2005). Essa é, na verdade, a forma de manejo da ictiofauna mais antiga, adotada, no Brasil, com a construção da escada de peixes na barragem de Itaipava, rio Pardo, em 1911 (GODOY, 1985). A instalação de um STP em uma barragem pode ter diversos objetivos como a manutenção da pesca no reservatório ou a manutenção do pool genético de algumas espécies na região (LOPES; SILVA, 2012). O objetivo original, porém, é a conservação das funções ecológicas de espécies migradoras no trecho de rio fragmentado pela barragem (ROSCOE; HINCH, 2010). Entretanto, no Brasil, dados sobre a dinâmica migratória de espécies migradoras, obtidos antes da implantação de barragens e STPs, são raros e avaliações sobre a efetividade dos sistemas já instalados na conservação de espécies de peixes migradoras são praticamente inexistentes, visto que os indicadores de sucesso, geralmente, restringem-se à quantidade e/ou biomassa de peixes transpostos (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). Alguns protocolos já foram propostos a fim de se avaliar a pertinência da instalação e os objetivos de STPs em barragens localizadas em ambientes tropicais (GODINHO; KYNARD, 2008; LOPES; SILVA, 2012; MAKRAKIS et al., 2015; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). Todos estes protocolos reforçam a necessidade de se avaliar as características ecológicas, a distribuição espacial e o comportamento migratório das espécies que serão alvo do sistema. É preciso se entender, dentre outros fatores, como os indivíduos, a serem

transpostos, utilizarão o ambiente modificado e se conseguirão se manter e reproduzir neste novo ambiente.

Pompeu, Agostinho e Pelicice (2011) criaram uma estrutura teórica para se avaliar a necessidade de se instalar STPs, utilizando o conceito de “manutenção de populações viáveis de peixes migradores regionalmente”, de acordo com as características migratórias, reprodutivas e de recrutamento de espécies reofílicas existentes na região de influência de uma barragem. Estes autores avaliam que, no caso de se encontrar pontos de reprodução e recrutamento tanto abaixo quanto acima da barragem, um STP não seria um método de mitigação necessário, pois a população conseguiria se manter na região sem a necessidade de transpor a barragem. Neste caso, deveria ser avaliada a necessidade da realização de transposição controlada para a manutenção da variabilidade genética das populações separadas. Caso a transposição ocorra de um ambiente de jusante no qual indivíduos da espécie possuam condições ecológicas superiores às encontradas no ambiente de montante e o retorno dos indivíduos a jusante não ocorra ou ocorra em taxas menores do que a subida, corre-se o risco, ainda, de se criar uma “Armadilha Ecológica” para a espécie (PELICICE; AGOSTINHO, 2008). Neste caso, o STP não será apenas ineficiente à conservação da espécie na região, mas poderá, também, ocasionar efeitos deletérios nas populações da espécie que ocorrem na região em longo prazo. Outros autores, ainda assim avaliam que, no caso de haver populações da espécie que se mantém permanentemente na área a jusante de uma barragem, é necessário se avaliar a viabilidade de se instalar um STP, visto que é possível que esta população tenha parte da sua área de distribuição localizada a montante, podendo o STP funcionar, inclusive, como uma passagem do tipo fonte-sumidouro (GODINHO; KYNARD, 2008).

Todas essas visões apresentam argumentos técnicos sólidos e faz-se necessária uma avaliação, caso a caso, da viabilidade de transposição, para cada

empreendimento em fase de projeto, construção ou já em operação. O ambiente em que ocorrem, as características de cada projeto e a magnitude da alteração, que causam ao ambiente, devem ser levados em conta, ao se avaliar quais as medidas de manejo serão mais eficazes para a ictiofauna. O cenário se torna ainda mais complexo em consequência da alta diversidade de espécies migradoras existentes em bacias hidrográficas neotropicais (CASALI et al., 2009; HARVEY; CAROSFELD, 2003; POMPEU; MARTINEZ, 2006). Cada uma dessas espécies possui requisitos ecológicos próprios, podendo responder de maneira diversa às mudanças ambientais, geradas pela barragem como a fragmentação de rios e formação de reservatórios. Diante destes desafios, é preciso que sejam escolhidos modelos de estudo para a avaliação de padrões mais gerais e universais. A escolha de locais que possam representar características específicas, a serem avaliadas, como o tamanho do reservatório formado e o tempo de desconexão do rio e de espécies que possam, também, funcionar como modelos a padrões migratórios para as demais, faz-se necessário.

A UHE Três Marias iniciou sua operação, em 1962 e fragmentou o rio São Francisco desde então. A montante da usina foi formado um reservatório de 1040 km², com diversos tributários e trechos ainda livres de rios com alta importância para a pesca como os trechos lóticos do alto São Francisco, rio Pará e rio Paraopeba (ALVES, 2012; SATO; CARDOSO; AMORIM, 1988; SOUZA, 2013). Já a jusante existe, ainda, um longo trecho de rio livre (1590km) até o próximo reservatório da cascata do São Francisco, a barragem de Sobradinho. Esse trecho possui grande importância à manutenção de espécies migradoras da bacia, posto que nele existem diversos tributários com elevada importância como pontos de reprodução e recrutamento (rios Abaeté, das Velhas, Paracatu, Pandeiros, dentre outros) (GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; SATO; GODINHO, 2003). Diversos estudos já foram conduzidos na região de

influência desta UHE desde então. Estes estudos identificaram a existência de populações autossustentáveis de *Prochilodus costatus* nos trechos a montante e jusante da barragem (PRADO et al., 2016a). Sítios de reprodução e recrutamento da espécie, também, já foram identificados em ambos os trechos (CASARIM, 2014; ROSA, 2015; SANTOS et al., 2012; SATO; CARDOSO; AMORIM, 1988).

O acúmulo de cardumes de peixes é comum a jusante da UHE Três Marias e dentre as espécies consideradas como grandes migradores, *P. costatus* é uma das mais comuns. Adultos da espécie são comumente coletados em monitoramentos periódicos, realizados próximo à barragem (PRADO et al., 2016a), apresentando grandes concentrações no período diurno (SUZUKI et al., 2016). Em anos específicos, quando há grande precipitação na bacia hidrográfica, também, podem ser encontrados juvenis da espécie em grandes quantidades a jusante da usina em um fenômeno conhecido como arribação (PRADO et al., 2016b). A concentração desta espécie a jusante da UHE Três Marias suscitou a avaliação da necessidade de instalação de um sistema de transposição para a espécie, que foi utilizada como um modelo de estudo às demais espécies migradoras existentes na região.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento migratório de *P. costatus* que se agrupa a jusante da barragem de Três Marias, quando transposta para o reservatório e quando transferida para trechos lóticos do alto São Francisco. O comportamento dos peixes transpostos foi comparado com o de populações residentes do trecho a montante do reservatório, procurando responder às seguintes perguntas:

- a) Peixes transpostos do trecho de jusante da UHE Três Marias para o reservatório encontram pontos adequados à sua reprodução e recrutamento, em especial, tributários?

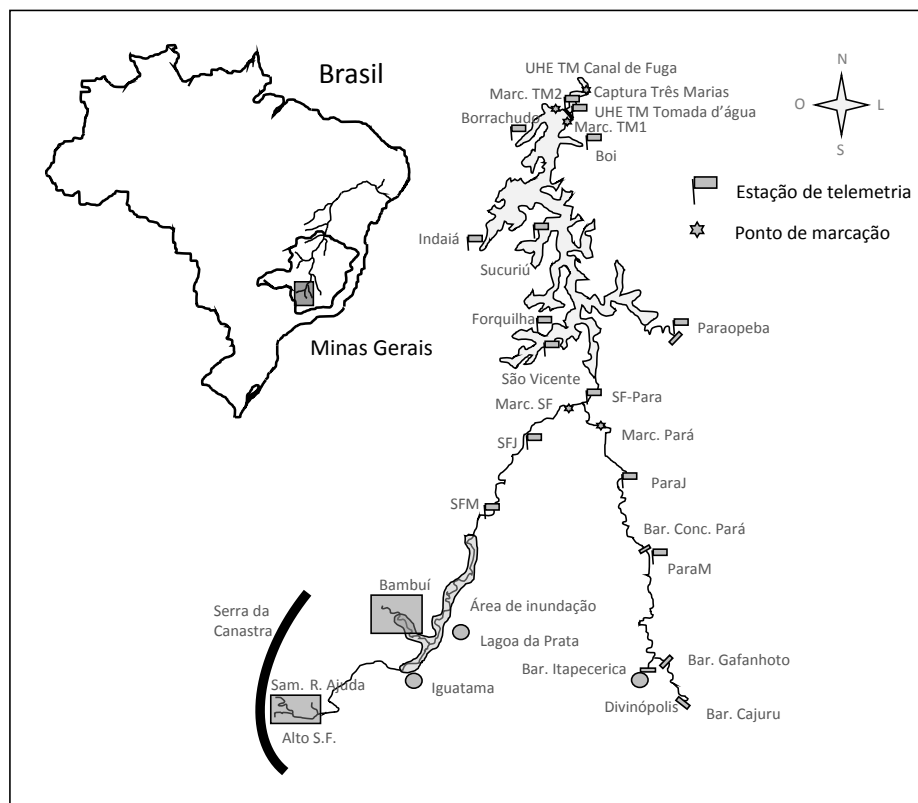
- b) Peixes transpostos atravessam o reservatório até os trechos lóticos do rio São Francisco, ou o reservatório funciona como barreira ao deslocamento da espécie?
- c) O transporte de peixes da população de jusante da UHE Três Marias, para os trechos lóticos do rio São Francisco a montante do reservatório, seria uma forma de manejo mais adequada do que a simples transposição ao reservatório, ao inserir os peixes em um ambiente mais adequado aos seus requisitos ecológicos?
- d) O comportamento dos peixes transpostos é similar ao de peixes de população já existente no trecho lótico do rio São Francisco?
- e) É necessária a instalação de um Sistema de Transposição de Peixes na barragem de Três Marias para a conservação das populações de *P. costatus*? Neste caso, *P. costatus* pode servir como modelo para as demais espécies migradoras da região?

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado na bacia do rio São Francisco no estado de Minas Gerais. O rio São Francisco nasce na região Sudoeste do estado e o atravessa no sentido Noroeste. Este é um dos maiores rios do Brasil com cerca de 2.700 km de extensão, correndo no sentido Sul-Norte-Leste até o oceano Atlântico. O rio São Francisco possui uma rica fauna de peixes já identificada com cerca de 200 espécies (ALVES; VIEIRA; POMPEU, 2007), muitas consideradas grandes migradoras. Neste estudo, trabalhamos com a área de influência do reservatório de Três Marias, reservatório de 1040 km² formado para regularização de cheias e produção hidrelétrica em 1962. Essa usina se localiza no trecho alto da bacia (FIGURA 1). O clima da região, do tipo Cwa, com períodos de maior precipitação e maiores temperaturas de setembro a abril e períodos com menores precipitações e temperatura no meio do ano.

Figura 1 - Área de estudo.



Nota: Destaque para os pontos de captura, marcação e soltura de peixes (Estrela), estações fixas de captação de dados (bandeiras), barragens (retângulos), reservatório de Três Marias, área de inundação no médio São Francisco e pontos de reprodução dos peixes identificados nos rios Bambuí, Samburá e Alto S.F (áreas marcadas nos trechos altos da bacia).

Fonte: Dados do autor (2016)

2.2 Espécie utilizada

Utilizamos como modelo, para a avaliação do processo de transposição manual a montante da UHE Três Marias, a espécie *Prochilodus costatus*. Esta é uma espécie amplamente distribuída pela bacia do São Francisco. *P. costatus* é considerada como uma grande migradora, possui porte médio, hábitos de forrageamento bentônico e é uma das espécies mais pescadas por pescadores profissionais da bacia, o que mostra a sua importância econômica e sua alta

produtividade na região (SATO; GODINHO, 2003). Esta espécie foi a terceira mais capturada em abundância, no canal de fuga da UHE Três Marias, em monitoramentos periódicos realizados de 2007 a 2012 (PRADO et al., 2016a). A escolha da espécie como modelo se deu em razão das características descritas acima, em especial, pela sua abundância e relevância ecológica para a região, porque espécies do gênero *Prochilodus* possuem papel importante na ciclagem de nutrientes e seu transporte para pontos diversos na bacia (RESENDE et al., 1995). Acreditamos que esta espécie pode ser um modelo adequado de comportamento migratório, para as demais espécies migradoras da região, em especial, peixes Characiformes.

2.3 Marcação

Foram marcados 403 peixes com marcas de radiotelemetria (modelo MCFT2-3EM Lotek; 10 gramas no ar). Não houve qualquer seleção de sexo ou tamanho dos peixes marcados, a não ser o peso mínimo de 500g para receber a marca. Peixes menores teriam a relação de peso marca/peso peixe superior a 2%, o que não é recomendado na literatura científica (NIELSEN, 1992; WINTER, 1996). Os peixes marcados foram divididos em três tratamentos: peixes locais, peixes transpostos para o alto São Francisco e peixes transpostos para o Reservatório de Três Marias. Os peixes locais foram os peixes capturados e marcados no trecho lótico da região do Alto São Francisco, nos rios Pará e São Francisco, próximos à sua confluência. No grupo local foram marcados 97 indivíduos, em 2014 e 80, em 2015. Estes peixes foram soltos nos mesmos pontos em que foram capturados. Os peixes transpostos foram todos capturados em um trecho que se estende até 10km a jusante da UHE Três Marias. Neste grupo, foram capturados 114 peixes, em 2014, dos quais 64 foram soltos, nos trechos lóticos do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias e outros 50 foram soltos, no próprio reservatório, em dois pontos à esquerda e à

direita logo a montante da barragem. Em 2015, foram capturados e marcados um total de 111 peixes deste grupo, sendo 81 soltos nos trechos lóticos e 30 soltos no reservatório de Três Marias.

Os peixes foram capturados por meio de tarrafas nos pontos descritos acima. Após capturados, os peixes eram mantidos em caixas aeradas, na embarcação e transportados para a margem onde foram acondicionados em um cercado no próprio rio. A cirurgia era feita no próprio dia da captura ou no dia seguinte, no caso de peixes capturados no período noturno. No caso dos peixes transpostos para o reservatório de Três Marias, os peixes eram transportados e soltos, no mesmo dia da cirurgia, já que a distância entre o ponto de captura e de soltura era mínima. Para os peixes transpostos aos pontos de montante, o transporte era feito, logo após a captura e a marcação era realizada ou no mesmo dia ou no dia seguinte à chegada do peixe. O transporte a estes pontos, que se localizavam a cerca de 200km do ponto de captura, foi realizado em caixa especial de transporte de peixes de 500 litros, com a injeção de gás oxigênio por todo o trajeto. O deslocamento durou, em média, quatro horas. Ao chegar ao ponto de marcação e soltura, estes peixes eram acondicionados em um cercado no rio em que seriam soltos.

A marcação foi realizada por meio de cirurgia pela qual se inseriu o transmissor na cavidade celomática dos indivíduos marcados, seguindo protocolo descrito por Lopes et al. (2014). A incisão cirúrgica foi realizada, na parede abdominal esquerda dos peixes, posteriormente, à nadadeira pélvica. Os peixes foram anestesiados com soluções de eugenol. Primeiramente o peixe era acondicionado em uma caixa d'água com concentração de cerca de 0,05mg/l de eugenol, com aeração externa. O peixe era mantido nesta caixa até atingir o estágio 4 de anestesia (SUMMERFELT; SMITH, 1990), com perda do equilíbrio corporal e dos movimentos musculares próprios, mantendo apenas o movimento opercular. Após a anestesia inicial, o peixe era transferido para a ilha

cirúrgica na qual era mantido por meio da irrigação de suas brânquias com uma solução de 0,035 mg/l de eugenol. Todo o material cirúrgico, utilizado nas cirurgias, sofria processo de assepsia por lavagem com detergente neutro e banho de 20 minutos em álcool 70. Lâminas de bisturi e fios de sutura não foram reutilizados entre as cirurgias. Durante a cirurgia, o peixe tinha os seus dados biométricos medidos e se procurava identificar o sexo e estágio de desenvolvimento gonadal do peixe. O estágio de desenvolvimento gonadal foi classificado como imaturo (quando a gônada era identificada, mas não podiam ser vistos ovócitos em formação nas fêmeas ou produção de sêmen nos machos); em maturação inicial (quando existiam ovócitos, ainda, não vitelogênicos e em baixo volume nos ovários e testículos esbranquiçados, porém com baixo volume de sêmen em machos) ou em maturação final (quando existia grande quantidade de ovócitos vitelogênicos e grande volume do ovário em fêmeas e a presença de testículo com grande volume de sêmen e a espermição após leve compressão em machos). Em muitos casos, não foi possível se identificar o sexo dos indivíduos marcados, e, neste caso, eles eram classificados como “não identificados”.

2.4 Monitoramento

O monitoramento dos peixes marcados foi realizado por meio de estações fixas de captação de dados, monitoramentos aéreos e monitoramentos embarcados. Foram distribuídas 14 estações fixas de captação de dados na área de estudo. Cada estação era composta por um receptor Lotek SRX-DL, duas antenas de captação de sinais (uma apontada a montante e outra a jusante), uma bateria estacionária, uma placa solar que alimentava de energia o sistema e um para-raios. Toda a estrutura foi suspensa a cerca de 4 metros do nível do solo por um poste de concreto. Foram instaladas duas estações, na barragem de Três Marias, uma voltada para o reservatório, na área de tomada d'água da usina e

outra voltada a jusante, na área do canal de fuga. Também foram instaladas estações fixas em 7 tributários do reservatório: ribeirão Borrachudo, ribeirão do Boi, rio Indaiá, rio Sucuriú, rio São Vicente, rio Forquilha e rio Paraopeba (FIGURA 1). Nestes tributários, a estação foi instalada a cerca de 10km a montante da entrada do respectivo braço no reservatório de Três Marias. Foram, também, instaladas 5 estações nos trechos lóticos do rio São Francisco e Pará. Uma estação, na confluência dos rios Pará e São Francisco e duas estações, em cada um dos dois rios, uma a 50km a montante e outra a 100km a montante da confluência. As estações operaram, durante todo o período de estudo e o download dos dados foi feito de três em três meses, no período seco e a cada dois meses, no período chuvoso.

Foram realizadas 8 campanhas de rastreamento aéreo, durante o período de estudo, que se estendeu de setembro de 2014 ao final de maio de 2016. Os rastreamentos foram realizados, em novembro e dezembro de 2014, fevereiro, abril, julho e outubro de 2015, fevereiro e abril de 2016. A antena foi acoplada à asa do avião utilizado no rastreamento e dois receptores foram conectados à antena, cada um deles rastreando uma das três frequências emitidas pelas marcas utilizadas no estudo em ciclos de sete segundos. Isto significa que, enquanto um receptor rastreava uma frequência, o próximo rastreava a seguinte, aumentando as chances de se captar os sinais emitidos. Toda a área de estudo foi rastreada, durante as campanhas de rastreamento aéreo, desde os pontos altos da bacia próxima à Serra da Canastra até pontos a jusante da UHE Três Marias, passando pelos tributários do reservatório e pelo próprio reservatório de Três Marias.

Já os monitoramentos embarcados foram realizados apenas no reservatório, na área próxima à barragem de Três Marias, até a altura do braço do ribeirão do Boi. Esses monitoramentos foram utilizados com o fim de se ter uma identificação mais precisa da localização dos peixes que foram transpostos para o reservatório. Foram realizados 7 monitoramentos embarcados, nos meses

de novembro e dezembro de 2014; março, junho, outubro e dezembro de 2015; e março de 2016.

2.5 Análise dos dados

A avaliação da veracidade do sinal foi realizada com os seguintes passos: A) Avaliação da força emitida pelo transmissor. Sinais com força inferior a 30 não foram considerados na análise; B) Presença de sequências de sinais da mesma marca em curtos intervalos de tempo. A presença destes sinais indicava maior probabilidade da marca ter sido captada em vez da ocorrência de interferência; C) Avaliação da coerência do sinal pelo sentido de movimentação nas antenas. Como os receptores fixos possuíam duas antenas cada, a força captada por cada antena indicava o sentido de movimentação do peixe e a coerência destas forças entre as antenas é um forte indicativo da veracidade do sinal; D) A presença do mesmo sinal, no mesmo ponto e em horários similares, no caso dos rastreamentos aéreos. Se os dois transmissores móveis, utilizados no rastreamento aéreo, indicassem a presença de um transmissor, em um mesmo ponto e em curto intervalo de tempo, este era um forte indicativo da presença da marca no local e E) Coerência de movimentação entre receptores fixos e móveis. Ao se plotar a movimentação de determinado peixe, em um programa de informação geográfica (usamos o Google Earth), era possível avaliar se a sua movimentação entre as estações fixas e rastreamentos móveis era coerente. Para a avaliação dos padrões migratórios que os peixes apresentaram, ao longo do período de rastreamento, definimos as seguintes categorias:

- a) Padrão 0: Neste caso o peixe parece ter sido pescado antes de se poder avaliar o seu padrão migratório ou os dados são insuficientes para isto.
- b) Padrão 1: Imobilidade. Neste padrão o peixe não se distancia mais do que cerca de 1km do ponto aonde foi solto.

- c) Padrão 2: Patrulha. Neste padrão o peixe faz pequenas movimentações próximas ao ponto de soltura não se distanciando mais do que cerca de 15km deste ponto.
- d) Padrão 3: Errático. Neste padrão o peixe pode migrar por grandes distâncias, mas em um padrão errático, com muitas idas e vindas em um mesmo ponto, como se procurasse melhores condições ambientais.
- e) Padrão 4: Unidirecional jusante. Neste padrão o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido jusante.
- f) Padrão 5: Direcional jusante com retorno. Neste padrão o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido jusante e retorna próximo ao ponto de soltura.
- g) Padrão 6: Unidirecional montante. Neste padrão o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido montante.
- h) Padrão 7: Direcional montante com retorno. Neste padrão o peixe migra por mais de 20km, preferencialmente, no sentido montante e retorna próximo ao ponto de soltura.

- Cálculo de área de vida linear:

A área de vida linear foi calculada, para todos os peixes que apresentaram padrões migratórios válidos, das categorias 2 a 7. Foi medida a distância entre o registro mais a montante, com o registro mais a jusante neste mesmo rio. Para os peixes que utilizaram mais de um rio, em seus deslocamentos, a área de vida linear foi a distância entre o registro mais a montante em um rio e o registro mais a montante no outro rio.

2.6 Análises Estatísticas

Comparações entre conjuntos de dados foram realizadas, utilizando-se o Teste T, quando os dados apresentavam distribuição normal, ou o teste Kolmogorov-Smirnov quando os dados não apresentavam esta distribuição. A normalidade foi avaliada pelo teste Shapiro-Wilk. Os dados de área de vida linear foram comparados entre os anos e os locais de captura (locais ou transpostos) por meio de Anova Two-Way. O nível de significância adotado foi de 0,05.

3 RESULTADOS

3.1 Sexo e dados Biométricos

Em 2014, o período de marcação se iniciou, no dia 2 de setembro e finalizou no dia 30 de outubro. Em 2015 este período se estendeu de 2 de setembro a 26 de novembro (TABELA 1). Os peixes locais dos rios São Francisco e Pará foram, significativamente, maiores do que os capturados a jusante da barragem de Três Marias (tanto em comprimento padrão quanto em peso).

Tabela 1 - Dados biométricos, identificação sexual e período de marcação dos peixes.

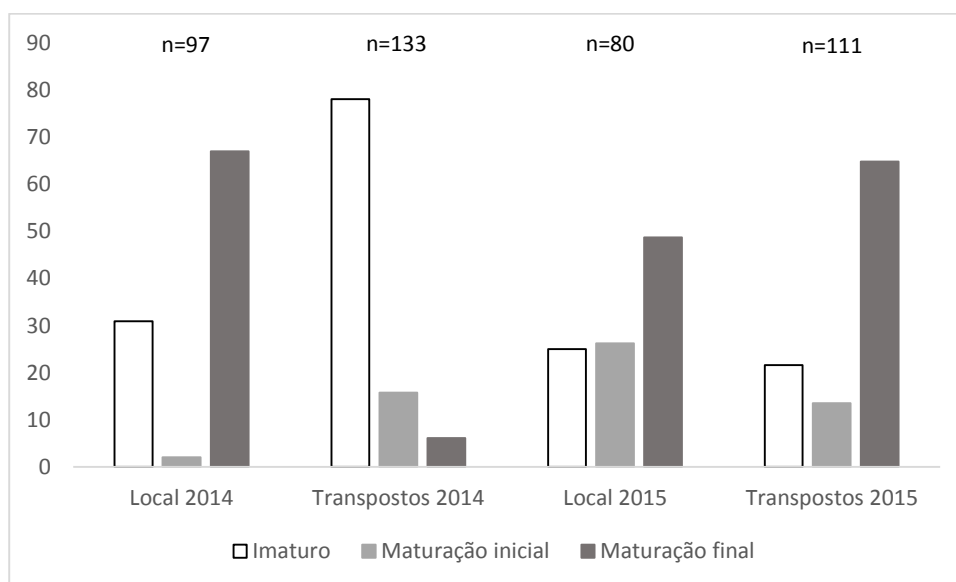
	2014			2015		
	Locais alto S.F.	Transpostos S.F.	Transpostos T.M.	Locais alto S.F.	Transpostos S.F.	Transpostos T.M.
Número de Peixes Marcados	97	64	50	80	81	30
Comprimento Padrão (cm)	34,9(±4,2)	32,7(±3,3)	32,6(±4,5)	34,3(±4,2)	34,1(±3,6)	31,9(±2,3)
Peso Corporal (g)	1103(±430)	913(±307)	852(±389)	966(±427)	1024(±365)	734(±198)
Fator de Condição	2,48(±0,35)	2,35(±0,30)	2,35(±0,30)	2,26(±0,23)	2,50(±0,29)	2,22(±0,24)
Sexo						
Macho	29	2	0	25	13	2
Fêmea	38	26	2	35	66	6
N.I.	30	36	48	20	2	22
Data de início da marcação	17/09/14	22/10/14	02/09/14	09/09/15	28/10/15	02/09/15
Data de finalização da marcação	17/10/14	30/10/14	03/10/14	07/10/15	26/11/15	04/09/15

Fonte: Dados do autor (2016)

Nota: Locais se referem aos peixes provenientes das populações dos rios São Francisco e Pará; Transpostos à população de peixes existente a jusante da UHE Três Marias que foi transposta para os rios São Francisco e Pará (S.F.) e para o reservatório de Três Marias (T.M.). N.I. Refere-se a peixes que não tiveram o sexo identificado.

Em 2014, a maior parte dos peixes marcados (54%) não pôde ter o sexo identificado, 31% foram identificados como fêmeas e 15% como machos. Já, em 2015, foi possível a identificação do sexo de um percentual maior de peixes e apenas 23% não tiveram o sexo identificado. Nesse ano, 56% foram identificados como fêmeas e 21% como machos. Em 2014, os peixes locais estavam em um estado de desenvolvimento gonadal mais avançado do que os peixes transpostos (FIGURA 2). Nesse ano cerca de 69% dos peixes locais estava em estado inicial ou avançado de preparação contra apenas 22% dos peixes transpostos. Já, em 2015, 75% dos peixes locais estavam em estado inicial ou avançado de preparação contra 78% dos transpostos. Houve um pequeno incremento no percentual de peixes locais que apresentaram algum grau de preparação, mas o maior efeito foi observado, nos peixes transpostos, provenientes da população de jusante da UHE Três Marias (FIGURA 2).

Figura 2 - Grau de maturação sexual dos peixes marcados nos dois anos de estudo.



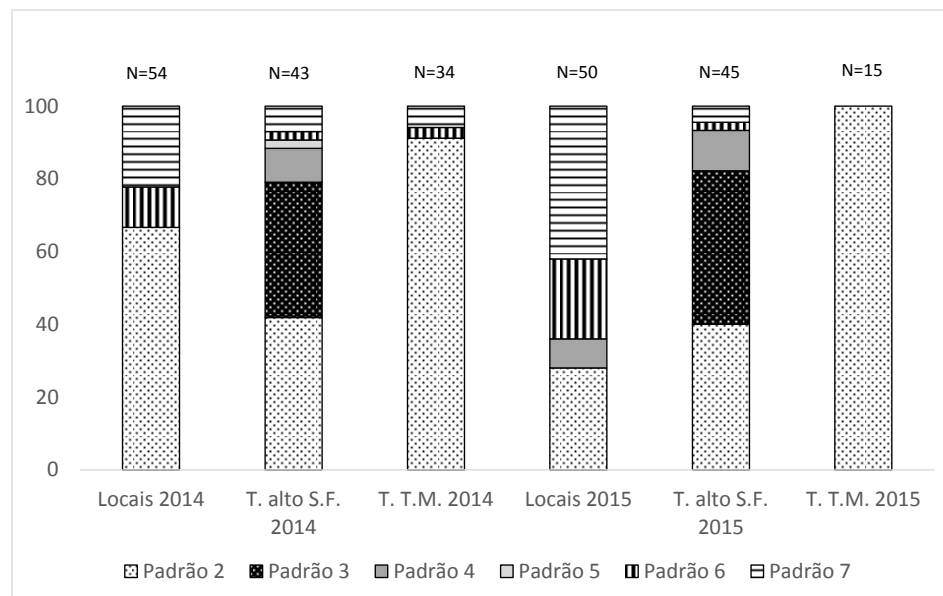
Fonte: Dados do autor (2016)

3.2 Padrões migratórios

Dos 403 peixes marcados, 162 (32%) não puderam ter o seu padrão de deslocamento avaliado. Destes, 79 não apresentaram ao menos 2 registros válidos, em estações fixas ou nos rastreamentos móveis realizados, o que pode indicar que saíram da área de estudo, ou, mais provavelmente, que foram pescados e a marca retirada do rio. Os outros 83 peixes ficaram imóveis, próximos aos pontos de soltura, o que parece indicar alguma complicação decorrente do processo cirúrgico e morreram após a cirurgia realizada. Há, também, a possibilidade de terem sido pescados logo após a soltura. No geral, 41% dos peixes marcados se enquadram nos padrões 0 ou 1, o que significa que não tiveram os dados considerados para avaliação de padrões migratórios.

A distribuição de frequência dos padrões migratórios observados variou tanto entre os grupos de peixes marcados quanto nos dois anos de marcação. Em geral, os peixes locais apresentaram três grandes grupos de padrões migratórios observados, 2 (patrulha), 6 (unidirecional montante) e 7 (direcional montante com retorno) (FIGURA 3). No primeiro ano, cerca de 67% dos peixes com padrões válidos, neste grupo, realizaram pequenas movimentações próximo ao ponto de soltura, enquanto 33% realizaram longas migrações a montante (22% retornando aos sítios de alimentação a jusante e 11% sem retornar). Já, no segundo ano (2015), os peixes locais continuaram apresentando, basicamente, estes 3 padrões migratórios, mas em proporções diferentes (neste ano 8%, também, migraram a jusante). Neste ano, 28% apresentaram o padrão 2 enquanto 64% apresentaram os padrões 6 ou 7 (42% retornando aos sítios de alimentação e 22% se mantendo a montante). No segundo ano, a proporção de peixes que realizou longas migrações a montante, praticamente, dobrou neste grupo.

Figura 3 - Distribuição percentual dos padrões migratórios em cada população local (Locais) e transposta (T.) nos anos de 2014 e 2015.



Nota: Padrão 2: Patrulha - pontilhado claro; Padrão 3: Errático - pontilhado escuro; Padrão 4: Unidirecional Jusante - cinza claro; Padrão 6: Unidirecional montante - linhas verticais; Padrão 7: Direcional montante com retorno - linhas horizontais.

Fonte: Dados do autor (2016)

Já os peixes transpostos apresentaram padrões migratórios bastante diversos, em relação aos grupos locais, mas não apresentaram muitas mudanças entre os anos marcados. Os peixes transpostos, para o trecho lótico do São Francisco, apresentaram uma gama variada de comportamentos migratórios. Cerca de 40% dos peixes realizaram pequenos deslocamentos próximos ao ponto de soltura (padrão 2). Uma parcela significativa dos peixes apresentou o padrão 3 – errático - (37% no primeiro ano e 42% no segundo). Estes peixes se deslocaram bastante, após serem soltos, mas sem direção específica. Peixes neste grupo podiam descer a jusante, próximo ao reservatório e depois subir novamente o rio, entrando nos rios São Francisco e Pará, realizando estas movimentações, várias vezes, poucas semanas, após a soltura. Ao se observar os

registros de peixes neste padrão, parece que os peixes estão buscando conhecer a área, em que foram soltos, avaliando o ambiente, muitas vezes, por grandes extensões de rio. Este grupo de peixes, também, apresentou em maior proporção os padrões migratórios 4 e 5 (14% no primeiro ano e 11% no segundo). Nestes padrões os peixes migram em direção a jusante até o reservatório. Alguns peixes entraram no reservatório e permaneceram neste ambiente enquanto outros retornaram a regiões próximas ao ponto de soltura. Poucos peixes neste grupo realizaram migrações direcionais a montante. Foram cerca de 9% no primeiro ano e 7% no segundo. Mesmo os peixes que o fizeram, deslocaram-se mais tardiamente do que os peixes locais e permaneceram nas cabeceiras por menos tempo (TABELA 2).

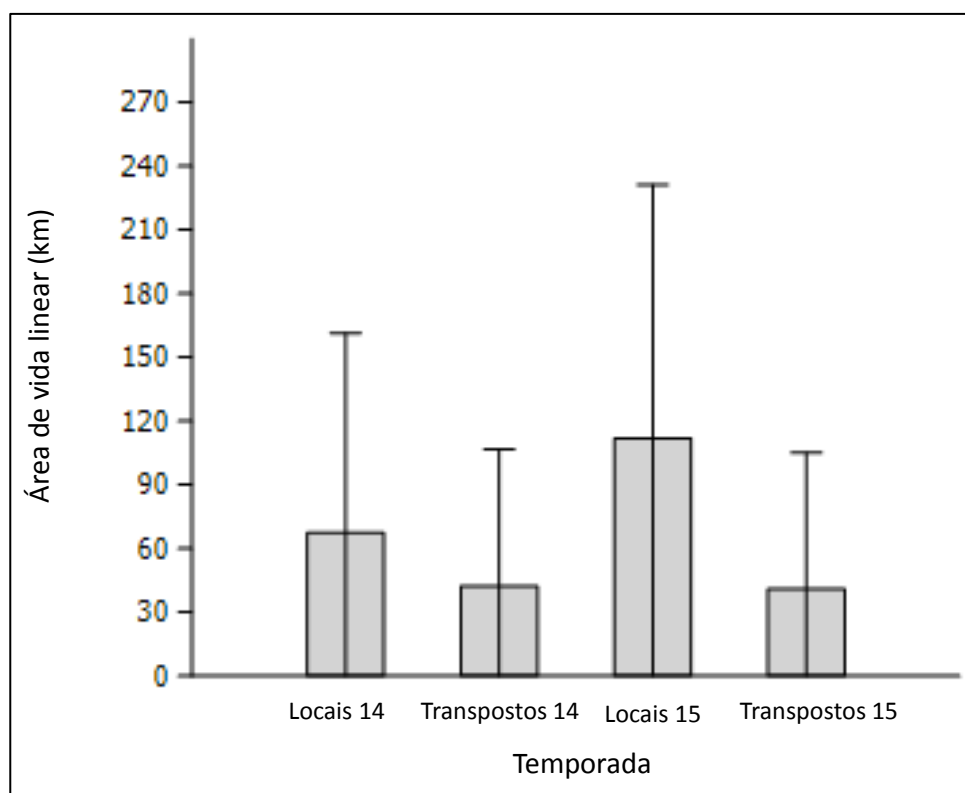
Tabela 2 - Dados da migração a montante dos grupos de peixes marcados nos dois anos.

	2014		2015	
	Locais	Transpostos	Locais	Transpostos
Número de migradores de longa distância a montante	18	3	30	7
Data de início da migração ascendente	30/09/2014	26/11/2014	30/09/2015	24/11/2015
Data de término da migração ascendente	26/11/2014	06/12/2014	22/11/2015	22/02/2016
Número de peixes que retornam ao sítio de alimentação	12	3	21	6
Data de início da migração descendente				
Data de término da migração descendente	30/11/2014	23/01/2015	06/12/2015	15/12/2015
Velocidade média em migração ascendente	28/04/2015*	27/02/2015	13/04/2016	26/02/2016
	27,7km/dia (±11,1)	33,6km/dia (±9,2)	35,5km/dia (±10,3)	19,4km/dia (±12,5)
Velocidade média em migração descendente	120,8km/dia (±27,0)	69,8km/dia (±33,9)	105,0km/dia (±35,4)	80,5km/dia

Fonte: Dados do autor (2016)

A área de vida linear dos peixes locais foi maior do que as dos peixes transpostos para os trechos lóticos dos rios São Francisco e Pará (Anova Two-Way, $p=0,0003$) nos dois anos. Não houve diferença entre a área de vida tanto de peixes transpostos quanto locais nos dois anos (Anova Two-Way, $p=0,10$) e não houve interação entre o ano e local de marcação (Anova Two-Way, $p=0,08$) (FIGURA 4). Os peixes locais tiveram área de vida linear média de 88,9 ($\pm 108,6$) km enquanto, para os peixes transpostos, foi de 41,7 ($\pm 63,7$) km.

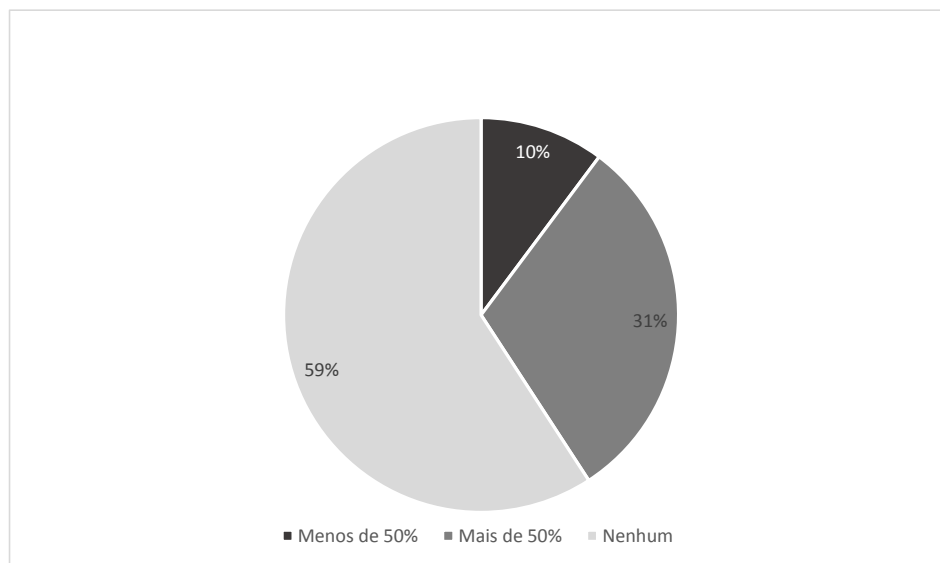
Figura 4 - Comparação entre as áreas de vida lineares médias para peixes locais e transpostos marcados em 2014 e 2015 (barras indicam o desvio padrão).



Fonte: Dados do autor (2016)

Os padrões migratórios dos peixes transpostos de jusante da UHE Três Marias para o reservatório são mais difíceis de serem avaliados do que dos peixes locais ou transpostos para o alto São Francisco. Isto porque, por ser uma área com maior espelho d'água, a detecção dos peixes em movimento é realizada, basicamente, por monitoramentos embarcados e aéreos. Sem o recurso de se detectar a maioria dos deslocamentos por estações fixas, os dados são mais esparsos e menos direcionados. Neste grupo, a maioria absoluta dos peixes foi classificada como apresentando o padrão 2 de migração. Estes peixes não se deslocaram a grandes distâncias do ponto de soltura. Boa parte destes peixes, na verdade, encontrou pontos próximos a fazendas de tanque-rede, instaladas no reservatório e permaneceu nestas áreas por parte ou por todo o período de rastreamento (FIGURA 5). Cerca de 41% dos peixes transpostos passaram parte ou a totalidade do período de rastreamento nestas áreas. No primeiro ano de marcação, alguns indivíduos chegaram a encontrar um tributário próximo à barragem, o ribeirão Borrachudo, e migraram a montante neste ribeirão (6% dos peixes com registros válidos). No entanto nenhum peixe transposto para o reservatório alcançou o trecho lótico do rio São Francisco ou qualquer tributário além do ribeirão Borrachudo. O deslocamento máximo observado a montante, no reservatório, foi de cerca de 20km do ponto de soltura.

Figura 5 - Número de peixes transpostos, para o reservatório de Três Marias, que apresentaram registros próximos à fazenda de tanques-rede.



Nota: Categorias: Peixes em que mais de 50% dos registros foram feitos próximos a tanques-rede; peixes em que menos de 50% dos registros foram feitos nestas áreas; e peixes que não foram registrados próximos a tanques-rede.

Fonte: Dados do autor (2016)

4 DISCUSSÃO

4.1 Comportamento migratório de peixes locais e transpostos: Comparação dos padrões migratórios de peixes locais e transpostos na parte lótica da bacia

Estudos que transportaram peixes migradores entre pontos distantes de bacias hidrográficas são raros no ambiente neotropical. Alguns estudos, envolvendo técnicas de telemetria, foram realizados com a transposição manual de indivíduos de espécies migradores para pontos, logo a montante do local de captura, em geral, acima de uma barragem existente (FRIES, 2013; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012), mas apenas Godoy (1975) realizou o que ele denominou de “transplantações” de indivíduos adultos de *Prochilodus lineatus* capturados, no rio Mogi-Guaçu (sítio de reprodução), para pontos diversos na bacia do rio Grande. Neste estudo, que utilizou a técnica de marcação e recaptura, observou-se que os indivíduos marcados apresentaram comportamentos diversos, mas alguns retornaram aos mesmos sítios de reprodução de onde foram retirados.

Na bacia do rio São Francisco, os padrões migratórios apresentados pelos peixes locais do Alto São Francisco e o dos peixes transpostos de jusante da UHE Três Marias para os trechos lóticos e lênticos da região foram diferentes. Os comportamentos prevalentes nos indivíduos locais são a ocorrência de pequenos deslocamentos próximos à área de soltura e as migrações de longa distância a montante, principalmente, pelo rio São Francisco, até seus locais de desova. A proporção de peixes que se encaixou nestes padrões entre os peixes locais variou nas duas temporadas reprodutivas estudadas, mas os padrões observados se mantiveram basicamente os mesmos. Estes peixes parecem ter seu ciclo migratório/reprodutivo intimamente ligados a fenômenos ambientais cíclicos observados ao longo do ano. Características ambientais tais como a precipitação, velocidade da água, fotoperíodo, turbidez,

iluminação lunar e condutividade, entre outras, parecem agir em conjunto para desencadear o estímulo necessário ao início do processo migratório. A partir do final de setembro, até o início de dezembro, indivíduos deste grupo realizam o deslocamento a montante, alcançando pontos nos trechos superiores do rio São Francisco, em especial, os tributários próximos à nascente do rio São Francisco (rios São Francisco, Samburá e Ribeirão da Ajuda) e o rio Bambuí. Após a desova, parte dos peixes que migra retorna aos sítios de alimentação, em pontos dos rios São Francisco e Pará, próximos à confluência entre os dois rios entre os meses de dezembro e abril (Capítulos 1 e 2 desta tese).

Os padrões migratórios observados para os peixes transpostos tanto para o reservatório quanto para os rios Pará e São Francisco foram bastante diversos dos observados para as populações locais. Os peixes transpostos não parecem ter a capacidade de empreender a migração aos sítios reprodutivos da maneira como observamos para as populações locais. A gama de padrões migratórios observados é mais diversificada do que a dos peixes locais, provavelmente, pelo fato de terem sido inseridos, em um ambiente novo, sem conexão com o seu ambiente natal. Ao observarmos o comportamento migratório dos peixes locais, notamos que existem padrões definidos e regulares nos dois anos de estudo. A janela migratória ascendente é similar entre os anos, bem como a proporção de peixes que migra em cada período de alto fluxo migratório. Existem gatilhos ambientais regulares e padrões cíclicos como os definidos pelos períodos lunares. Os sítios alimentares (e, possivelmente, os reprodutivos) são bem definidos e os peixes retornam a estes pontos com altas taxas de fidelidade, em sua migração descendente, após a desova. Estes fatores parecem indicar que o comportamento migratório é altamente dependente de uma sintonia bastante íntima entre o indivíduo e o ambiente que o circunda, incluindo um amplo conhecimento geográfico da área que habita. Andrade Neto (2008), Godinho e Kynard (2006) e Godinho, Kynard e Godinho (2007) já haviam observado esta

característica, de alto reconhecimento geográfico a pontos específicos, em espécies migradoras marcadas a jusante da UHE Três Marias, no rio São Francisco. Ao inserirmos indivíduos da espécie, em áreas diferentes das que ocorrem, parece haver uma desorientação, fazendo com que o indivíduo modifique o comportamento que seria esperado para a espécie na época reprodutiva. Este fenômeno parece ser responsável pelos padrões diversos entre os peixes de populações locais do alto São Francisco e de populações transpostas para estas áreas. Antonio et al. (2007) já haviam observado comportamento parecido, ao transpor indivíduos de *P. lineatus* para o reservatório de Porto Primavera, no rio Paraná.

Os peixes transpostos neste estudo são provenientes de uma população que ocorre a jusante da UHE Três Marias. Alguns estudos já avaliaram a ocorrência, os padrões migratórios e as características fisiológicas de peixes reofílicos nesta região (ANDRADE NETO, 2008; CASARIM, 2014; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; PRADO et al., 2016a; PRADO et al., 2016b). Estes estudos descreveram um modelo da estrutura populacional destes peixes, baseado nas seguintes características: em geral, estes peixes têm desenvolvimento gonadal menos evidente do que populações das mesmas espécies que ocorrem em regiões mais a jusante do barramento, provavelmente, em virtude de características de qualidade das águas que passam pelas turbinas da UHE Três Marias, em especial, pela sua temperatura reduzida; estes peixes têm seu deslocamento a montante restrito pela existência da barragem e pelo fato de não haver um Sistema de Transposição; e alguns indivíduos desta população alcançam pontos adequados para a desova na região, sendo o mais próximo o rio Abaeté que se localiza a cerca de 30km a jusante da barragem. Neste estudo, pudemos observar que, no primeiro ano de coletas, os peixes capturados a jusante da UHE Três Marias, realmente, apresentaram um grau de preparação gonadal menor do que

os peixes locais do alto São Francisco, o que corrobora este modelo. No segundo ano, porém uma grande parcela de peixes provenientes desta população apresentava grau avançado de preparação gonadal, mas estas diferenças não foram capazes de alterar o comportamento migratório dos peixes transpostos.

Os peixes desta população transpostos para os trechos lóticos da bacia (rios São Francisco e Pará) que apresentam deslocamentos expressivos, em vez de migrarem direcionalmente a montante como as populações locais, parecem adotar as seguintes estratégias: deslocam-se erraticamente pelos rios Pará e São Francisco (para conhecerem a área e/ou em busca de locais familiares), migram para jusante, na direção do reservatório ou migram a montante em períodos diferentes do que fazem as populações locais ficando, por períodos menores, nestas áreas. A estratégia mais utilizada pelos indivíduos que deslocam longas distâncias neste grupo é a migração errática que parece indicar que o peixe não tem referências geográficas de onde se encontra. É interessante notar que as proporções de padrões migratórios, observados neste grupo nos dois anos de estudo, mantiveram-se, praticamente as mesmas, diferente do que aconteceu com os peixes locais que apresentaram maior proporção de migrantes de longa distância a montante no segundo ano de marcações. Isto indica que, mesmo com a mudança de fatores ambientais, no segundo ano, como precipitação e vazões nos rios, não há influência sobre os peixes transpostos. O comportamento migratório destes peixes parece estar mais relacionado a fatores internos (desconhecimento da área) do que externos (parâmetros ambientais) já que não têm uma conexão prévia com o novo ambiente no qual chegaram.

4.1.1 Padrão migratório dos peixes transpostos para o reservatório de Três Marias

Já os peixes transpostos para o reservatório de Três Marias se deslocaram, em sua maioria, em áreas próximas ao ponto de soltura. Outro

aspecto importante é que estes peixes não conseguem encontrar tributários que não estejam próximos ao ponto de soltura. Apenas o ribeirão Borrachudo e o braço de reservatório formado pelo rio do Boi foram alcançados pelos peixes transpostos. Estes tributários estão localizados muito próximos à barragem (FIGURA 1). Grandes reservatórios atuam como barreira ecológica para deslocamentos a jusante (PELICICE; POMPEU; AGOSTINHO, 2015), mas os resultados deste estudo parecem indicar que o reservatório, também, funciona como uma barreira ao deslocamento ascendente dos peixes transpostos. Esses resultados são diversos dos já observados na transposição de peixes em reservatórios neotropicais (ANTONIO et al., 2007; FRIES, 2013; MAKRAKIS et al., 2007; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012). Nestes estudos, os peixes marcados, em geral, atravessaram rapidamente o reservatório, alcançando os trechos lóticos a montante. Acreditamos, todavia que, no caso da transposição de peixes para reservatórios muito grandes e dendríticos, como é o caso do reservatório de Três Marias, há um agravante além do fato do peixe ser colocado em um ambiente geograficamente estranho. Neste caso, o peixe é colocado em um ambiente que é estrutural e ecologicamente diferente do ambiente ao qual está habituado (ANTONIO et al., 2007). O maior volume de água e a menor direcionalidade de fluxo presentes no reservatório, devem atuar sinergicamente com a mudança geográfica, tornando o comportamento migratório de indivíduos da espécie ainda mais anômalo. Poucos estudos avaliaram o efeito que grandes reservatórios possuem sobre o comportamento migratório em peixes reofílicos neotropicais. A maioria dos estudos, que utilizou biotelemetria, em reservatórios neotropicais, fê-lo em reservatórios pequenos, do tipo fio d'água (FRIES, 2013; RIBEIRO, 2013; SILVA, 2012), que possuem maior direcionalidade de fluxo e características mais próximas ao ambiente lótico do que grandes reservatórios de acumulação.

Uma constatação realizada por este estudo foi a grande proporção de peixes que encontra fazendas de tanques-redes no reservatório e permanece nestas áreas por parte ou em todo o período monitorado. Os peixes que apresentam este comportamento parecem aproveitar as sobras de alimento geradas pelos tanques-rede diretamente ou aproveitar o aumento de eutrofização da água na região, em que ocorrem, com a intenção de garantir a sobrevivência no novo ambiente. Este fenômeno, ainda, não havia sido observado em estudos prévios que avaliaram o comportamento migratório de peixes neotropicais em reservatórios. O fator de atração de tanques-redes pode ser considerado um impacto significativo aos esforços de transposição realizados no Brasil. Isto porque existe um grande estímulo governamental, para a criação de peixes em tanques-rede nas áreas alagadas, por reservatórios de hidrelétricas. Alguns reservatórios já têm, inclusive, áreas específicas mapeadas para este fim, os parques aquícolas e a ocupação destas áreas se dá em ritmo elevado nos últimos anos (BUENO et al., 2015). Este é o caso do reservatório de Três Marias que, no ano de 2014, ano de início deste projeto, já possuía 46 fazendas de tanque-rede instaladas em seu espelho d'água. Fazendas como estas, localizadas próximas à saída de STPs já existentes ou ao longo da rota migratória de peixes transpostos, podem diminuir significativamente a eficiência destes sistemas. Sugerimos que este deva ser um aspecto a ser monitorado, em novos estudos realizados, no ambiente neotropical.

4.2 Avaliação da necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes na UHE Três Marias

Godinho e Kynard (2006), estudando o padrão migratório de *P. argenteus*, no trecho a jusante da UHE Três Marias, propuseram que a população desta espécie concentrada a jusante da barragem pudesse ser parte de uma população que se localiza a montante da barragem e que, neste caso, seria

necessária a instalação de um sistema de transposição na UHE Três Marias para permitir a sua passagem. Os próprios autores, no entanto sugeriram que novos estudos fossem realizados na região, a fim de verificar essa hipótese, trabalhando com as populações da espécie localizadas a montante do barramento. Neste estudo, trabalhamos com uma espécie próxima, *P. costatus* e realizamos a sua transposição do trecho de jusante, a montante da barragem, com o fim de avaliar a sua dinâmica migratória após a passagem. Os padrões migratórios observados para os indivíduos transpostos apontam a uma provável ineficiência de um Sistema de Transposição a ser instalado na UHE Três Marias. Os resultados, obtidos com este estudo, indicam que a instalação de um STP na barragem guiaria os peixes existentes a jusante da barragem, para uma área na qual não conseguem manter as funções ecológicas esperadas, tais como a migração, chegada a sítios de desova, reprodução e recrutamento, sendo este o principal objetivo esperado de um STP (PELICICE; AGOSTINHO, 2008; POMPEU; AGOSTINHO; PELICICE, 2011). O reservatório de Três Marias parece funcionar como uma barreira às movimentações mais expressivas de indivíduos da espécie, muito provavelmente, por se constituir como um ambiente geograficamente novo e por não possuir as características hidráulicas necessárias a fim de guiar os indivíduos transpostos para trechos mais adequados à sua reprodução e recrutamento da prole (POMPEU; MARTINEZ, 2006). Acreditamos que a maioria destes peixes, que se localiza abaixo da barragem, tenha sua origem em populações que se reproduzem, no trecho de jusante, em especial, o rio Abaeté, sendo atraídos a este ponto por força do fluxo constante de água turbinada e vertida e permanecendo nesta área em consequência da reotaxia positiva inata de espécies migradoras neotropicais. O barramento do rio e as consequentes alterações, nas características do fluxo de água, criam um ambiente totalmente novo e atípico para espécies migradoras na região (PEREZ, 2014) e as suas respostas comportamentais a estas novas características parecem

ser anômalas. Andrade et al. (2012), Loures e Pompeu (2012, 2015) e Prado et al. (2016a) e Suzuki (2014), observaram flutuações na densidade dessa e de outras espécies migradoras a jusante da barragem de Três Marias, em função de modificações do fluxo hidráulico da usina. Casarim (2014), utilizando sonda hidroacústica, observou a movimentação de peixes do trecho, logo a jusante da UHE Três Marias, em direção ao rio Abaeté, que é um conhecido ponto de reprodução para espécies migradoras na região. Estes resultados indicam que há um sistema dinâmico de trânsito de peixes a jusante da barragem, sendo bastante provável que estas populações não permaneçam estacionadas a jusante da barragem, indefinidamente e que ao menos parte dessa população busque áreas a jusante adequadas, com o fim de completar o seu ciclo reprodutivo, em períodos específicos do ano.

Outra estratégia avaliada pelo estudo foi o transporte dos indivíduos diretamente para os trechos lóticos do alto São Francisco. Esta estratégia permite que os peixes alcancem áreas mais adequadas aos seus requisitos ecológicos e mais próximas aos ambientes nos quais a espécie evoluiu. No entanto, mesmo a transposição de indivíduos de jusante da UHE Três Marias para estas áreas, não se mostrou uma estratégia eficiente. Os peixes transpostos apresentaram comportamentos migratórios bem diversos dos peixes locais e poucos migraram direcionalmente aos sítios de reprodução. Aqueles que o fizeram, realizaram a migração, em períodos diferentes dos peixes locais, o que gera uma dúvida quanto ao fato de terem conseguido se reproduzir. Diante destes resultados, avaliamos que não se deve transpor indivíduos de *P. costatus*, para montante da barragem de Três Marias, caso o objetivo seja a manutenção de rotas migratórias e funções ecológicas para a espécie na região.

Os resultados, observados para os peixes transpostos neste estudo, além de não apontarem para a necessidade de transposição na barragem de Três Marias, também, podem ser considerados preocupantes para os esforços de

transposição realizados em rios tropicais. De um lado, apontam para o baixíssimo aproveitamento que podem apresentar em grandes reservatórios e, a outro apontam o fato de, também, podem ser ineficientes, mesmo que ocorra o transporte dos peixes para trechos lóticos da bacia hidrográfica afetada pela barragem. Na verdade, a transposição de indivíduos para trechos de rios, em que o processo migratório já esteja estabelecido por populações locais, pode ocasionar mais impactos do que benefícios, porque os ciclos migratórios e reprodutivos da espécie parecem ser bastante regulados à área geográfica na qual ocorrem. A adição de indivíduos estranhos a estas áreas pode aumentar a competição por recursos como alimentos e abrigos, mudanças em características territoriais já estabelecidas e a indução a comportamentos migratórios anômalos nas populações já existentes nos trechos lóticos. Sugerimos novos estudos que avaliem o comportamento de peixes transpostos aos trechos a montante, ou mesmo a jusante, de barragens localizadas em outras bacias ou com outras espécies e que comparem a dinâmica migratória deste grupo com peixes locais. Esta análise auxilia na avaliação dos padrões observados e na decisão acerca da instalação de STPs.

Acreditamos, também, que *P. costatus* seja um modelo adequado, a fim de se avaliar a pertinência de instalação de um STP, na barragem de Três Marias. Isto porque a espécie se distribui por uma vasta região tanto a montante quanto a jusante da barragem e é uma das espécies migradoras mais importantes da bacia, com elevada abundância na área de estudo (SATO; GODINHO, 2003). A transposição de outras espécies migradoras, para o reservatório, em especial, Characiformes, provavelmente, apresentaria resultados parecidos, dado que as características dos habitats críticos para o grupo são bastante similares. Porém estudos que avaliem o comportamento migratório de outras espécies migradoras a montante e a jusante da barragem de Três Marias devem ser estimulados, bem como a sua realização em períodos mais longos do que o abordado por este

estudo. Godinho e Kynard (2008) comentam que foram necessários cerca de 15 anos de estudos para se entender os padrões migratórios do esturjão (*Acipenser brevirostrum*) no rio Connecticut. É importante ressaltar que a UHE Três Marias foi inaugurada em 1962, há 52 anos da data de início deste estudo. O tempo de desconexão dos trechos de montante e jusante da barragem pode ser um fator importante para os padrões migratórios observados neste estudo. Com a intenção de avaliar o efeito do tempo de desconexão dos trechos de rio, nas diferenças observadas, estudos similares devem ser realizados em grandes reservatórios recém-construídos. É possível que, nestes casos, os peixes ainda mantenham o conhecimento de rotas migratórias prévias utilizadas, apesar da mudança do ambiente de lótico para o lêntico influenciar, negativamente, a capacidade de orientação dos indivíduos transpostos.

Os objetivos de um potencial STP na barragem, igualmente, devem ser avaliados. Neste estudo, consideramos o princípio de que este sistema teria como objetivo a manutenção de rotas migratórias e funções ecológicas dos indivíduos transpostos, conforme proposto por Pompeu, Agostinho e Pelicice (2011). Áreas, em que a reprodução de espécies migradoras ocorre, já foram catalogadas tanto acima (Rio Borrachudo, Ribeirão do Boi, Rio Forquilha, Rio São Vicente, Rio Indaiá, Rio Paraopeba, Rio São Francisco, Rio Pará) quanto abaixo (Rio Abaeté, Rio das Velhas, Corredeiras de Pirapora) da barragem de Três Marias (ALVES, 2012; ANDRADE NETO, 2008; CASARIM, 2014; GODINHO; KYNARD, 2006; GODINHO; KYNARD; GODINHO, 2007; ROSA, 2015; SANTOS et al., 2012; SATO; CARDOSO; AMORIM, 1988; SOUZA, 2013). Percebe-se, desta forma, que a população tem condições de se manter nos dois trechos, independente da instalação de um STP na barragem e, mesmo um objetivo, que preveja um sistema fonte-sumidouro (GODINHO; KYNARD, 2008), não se encaixaria nessa situação, pois ambos os trechos podem ser considerados como fontes para espécies migradoras na região. É

possível que outros objetivos possam ser propostos para um STP na região. A manutenção da pesca no reservatório seria um destes objetivos ou a passagem de juvenis durante os anos em que a subida de juvenis ocorra em grande magnitude (LOURES; POMPEU, 2012). Essa concentração de peixes juvenis a jusante da UHE Três Marias aumenta os riscos de acidentes ambientais pelas manobras realizadas nas turbinas (ANDRADE et al., 2012; PRADO et al., 2016b) e as taxas de predação por peixes piscívoros (GODINHO; KYNARD, 2008). Mesmo para estes objetivos, nós não indicamos, no momento, a instalação do sistema, visto que o reservatório parece ser uma barreira ao deslocamento dos indivíduos transpostos. A passagem de peixes de maneira massiva pela barragem poderia causar um acúmulo próximo à barragem no trecho de montante, podendo, inclusive, causar impactos relacionados ao retorno desses indivíduos pelas turbinas ou vertedouros da usina, sem os benefícios esperados de distribuição dos peixes pela área do reservatório. Fatores genéticos relativos à *P. costatus* e outras espécies migradoras na região, ainda, podem sugerir a necessidade de fluxo gênico entre os trechos de montante e jusante da UHE Três Marias, em algum grau, conforme sugerido por Barroca et al. (2012) em um trecho do rio Pará. Neste caso, é possível que a realização de transposição manual de um número menor de indivíduos para trechos específicos da bacia possa ser mais eficiente do que a transposição massiva para o reservatório, mas essa proposta de manejo deve ser melhor discutida entre ecólogos e geneticistas que trabalham na região.

5 CONCLUSÕES

Os padrões migratórios observados nas populações locais e transpostas de *P. costatus* foram bastante diversos. Enquanto indivíduos de populações locais parecem ter seu ciclo migratório intimamente regulado por fatores ambientais cíclicos, os grupos transpostos possuem padrões migratórios anômalos em função da mudança de ambiente a que são submetidos. Esses resultados não indicam a necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes, na barragem da UHE Três Marias, com o objetivo de manter rotas migratórias e funções ecológicas de populações de *P. costatus* existentes a jusante da barragem. Indivíduos de *P. costatus* que se localizam a jusante do barramento possuem áreas de desova e recrutamento, em especial, o rio Abaeté e parecem estar intimamente associados a ela. Já as populações de montante, existentes nos trechos lóticos dos rios Pará e São Francisco, da mesma forma possuem íntima associação aos fatores ambientais existentes na região, que sinalizam os momentos adequados para migração e desova. A transposição de adultos desta espécie tanto ao reservatório quanto aos trechos lóticos não parece ser uma estratégia efetiva de conservação para a espécie na região, criando, inclusive, riscos ecológicos associados à transposição. A instalação de um STP, na UHE Três Marias, poderia, inclusive, funcionar como uma armadilha ecológica (PELICICE; AGOSTINHO, 2008) para a espécie, dado que os indivíduos transpostos não parecem ter a capacidade de encontrar áreas de desova e recrutamento no novo ambiente, visto que estas áreas estão disponíveis em um trecho muito próximo à barragem a jusante (rio Abaeté). Acreditamos que *P. costatus* possa ser um modelo de estudo adequado, para as demais espécies migradoras na região, dada a sua abundância nas áreas estudadas e ao fato de apresentar padrões migratórios estabelecidos e regulares na área de estudo. Novos estudos com essa e outras espécies devem ser incentivados na região, mas, no momento, não é recomendada a instalação de um STP, na

barragem da UHE Três Marias, com o objetivo de manter as funções migratórias e reprodutivas das espécies migradoras existentes a jusante da barragem.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2016. 243 p.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo dos recursos pesqueiros em reservatório do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.

_____. **Ecologia e manejo dos recursos pesqueiros em reservatório do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.

AGOSTINHO, C. S. et al. All that goes up must come down? Absence of downstream passage through a fish ladder in a large Amazonian river. **Hydrobiologia**, Haia, v. 675, n. 1, p. 1-12, 2011.

ALVES, C. B. M. A ictiofauna e a escada experimental para peixes do rio Paraopeba – UTE Igarapé, Bacia do Rio São Francisco (Minas Gerais). In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.

ALVES, C. B. M.; VIEIRA, F.; POMPEU, P. S. **Ictiofauna da bacia hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, 2007. 211 p.

ANDRADE NETO, F. R. **Migração e conservação do dourado (*Salminus franciscanus*, Lima & Britski 2007) em um trecho do rio São Francisco**. 2008. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ANDRADE, F. et al. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 723-730, 2012.

ANTONIO, R. R. et al. Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes? **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 177-184, 2007.

BAILLY, D.; AGOSTINHO, A. A.; SUZUKI, H. I. 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**, Chichester, v. 24, n. 9, p. 1218-1229, 2008.

BARROCA, T. M. et al. Evaluation of genetic diversity and population structure in a commercially important freshwater fish *Prochilodus costatus* (Characiformes, Prochilodontidae) using complex hypervariable repeats. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 4456-4467, 2012.

BIZZOTTO, P. M. et al. Influence of seasonal, diel, lunar and other environmental factors on upstream fish passage in the Igarapava Fish Ladder, Brazil. **Ecology of Freshwater Fish**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 461-472, 2009.

BUENO, G. W. et al. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, Weinheim, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2015.

CASALI, R. C. V. et al. Passage and reproductive activity of fishes in the Igarapava Fish Ladder, Grande River, Southeastern Brazil. **River Research and Applications**, Chichester, v. 26, n. 2, p. 157-165, 2009.

CASARIM, R. C. P. **Dinâmica da migração e reprodução dos peixes na região da foz do rio Abaeté, alto São Francisco, MG**. 2014. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

FRIES, L. C. C. **Movimentos e distribuição longitudinal de um peixe migrador (*Salminus brasiliensis*) em um reservatório de usina hidrelétrica**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Migration and spawning of radio-tagged zulega *Prochilodus argenteus* in a Dammed Brazilian River. **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 135, n. 3, p. 811-824, 2006.

_____. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River Research and Applications**, Chichester, v. 25, n. 6, p. 702-712, 2008.

GODINHO, A. L.; KYNARD, B.; GODINHO, H. Migration and spawning of female surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*, Pimelodidae) in the São Francisco River, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 80, n. 4, p. 421-433, 2007.

GODOY, M. P. **Aquicultura**: atividade multidisciplinar, escadas e outras facilidades para passagens de peixes, Estações de Piscicultura. Florianópolis: Eletrosul, 1985. 627 p.

_____. **Peixes do Brasil, sub-ordem Characoidei, bacia do Rio Mogi-Guaçu**. Piracicaba: Editora Franciscana, 1975. 627 p.

HARVEY, B.; CAROSLFELD, J. B. Fishes of the floods. In: CAROSLFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America**: biology, social importance and conservation status. Canada: World Fisheries Trust, 2003. p. 1-18.

LOPES, J. M. et al. Effect of anesthetic, tag size, and surgeon experience on postsurgical recovering after implantation of electronic tags in a neotropical fish: prochilodus lineatus (Valenciennes, 1837)(Characiformes:Prochilodontidae). **Neotropical Ichthyology**, Maringá, v. 14, n. 3, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-62252016000300209&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 mar. 2016.

LOPES, J. M.; SILVA, F. O. Metodologia para o planejamento, implantação, definição de objetivos e monitoramento de sistemas de transposição de peixes pela Cemig. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo**: transposição de peixes. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 19-34.

LOURES, R. C. F.; POMPEU, P. S. Seasonal and diel changes in fish distribution in a tropical hydropower plant tailrace: evidence from hydroacoustic and gillnet sampling. **Fisheries Management and Ecology**, Malden, v. 22, n. 3, p. 185-186, 2015.

_____. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 731-740, 2012.

LUZ-AGOSTINHO, K. D. G. et al. Effects of flooding regime on the feeding activity and body condition of piscivorous fish in the Upper Paraná River floodplain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 481-490, 2009.

MAKRAKIS, S. et al. Premissas e critérios mínimos para implantação, avaliação e monitoramento de Sistemas de Transposição para Peixes. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ictiologia**, Londrina, v. 114, p. 16-23, 2015.

_____. Utilization of the fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating potamodromous species. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 197-204, 2007.

NIELSEN, L. A. **Methods of marking fish and shellfish**. Bethesda: American Fisheries Society, 1992. 208 p.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Fish-passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. **Conservation Biology**, Boston, v. 22, n. 1, p. 180-188, 2008.

PELICICE, F. M.; POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 16, n. 4, p. 697-715, 2015.

PEREZ, A. G. **Movimentos e mortalidade crônica de peixes nos rios Grande e Paranaíba**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PETRERE JÚNIOR, M. **Migraciones de peches de agua dulce em America Llatina**: algunos comentarios. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1985. 18 p

POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. **River Research and Applications**, Chichester, v. 28, n. 4, p. 504-512, 2011.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2006.

POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Estabelecimento de regra-operativa de um mecanismo de transposição de peixes do tipo elevador com caminhão tanque. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 31-42, 2005.

_____. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 340-349, 2006.

PRADO, I. G. et al. A arribação no alto-médio Rio São Francisco. In: LOURES, R. C.; GODINHO, A. L. (Org.). **Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas**. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2016b. p. 231-245.

PRADO, I. G. et al. Influência de fatores abióticos na captura e condição de peixes imediatamente a jusante da usina hidrelétrica de Três Marias, rio São Francisco. In: LOURES, R. C.; GODINHO, A. L. (Org.). **Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas**. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2016a. p. 231-245.

RESENDE, E. K. et al. **Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do Rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil**. Cuiabá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 73 p.

RIBEIRO, T. C. **Migração de peixes neotropicais em rios com barramentos sucessivos**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ROSA, G. R. **Distribuição especial e temporal de ovos e larvas de peixes em uma sub-bacia do alto rio São Francisco (Brasil)**. 2015. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Vertebrados) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ROSCOE, D. W.; HINCH, S. G. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 11, n. 1, p. 12-33, 2010.

SANTOS, G. B. et al. Marcação e recaptura da Curimbatá-Pioa (*Prochilodus costatus*) em um afluente do rio São Francisco e avaliação da necessidade da transposição de peixes na UHE Gafanhoto. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 35-58.

SATO, Y.; CARDOSO, E. L.; AMORIM, J. C. C. **Peixes das lagoas marginais do rio São Francisco, a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais)**. Brasília: CODEVASF, 1988. 42 p.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Migratory fishes of the São Francisco River. In: CAROSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, social importance and conservation status**. Canadá: World Fisheries Trust, 2003. p. 195-232.

SILVA, L. G. M. Parâmetros migratórios e transposição de curimbatás e mandis-amarelos no médio rio Grande. In: LOPES, J. M.; SILVA, F. (Org.). **Série peixe vivo: transposição de peixes**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. p. 59-82.

SOUZA, R. C. R. **Distribuição e Composição do Ictioplâncton no reservatório de Três Marias, MG, Brasil**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SUMMERFELT, R. C.; SMITH, L. S. Anesthesia, surgery and related techniques. In: SCHRECK, C. B.; MOYLE, P. B. (Ed.). **Methods for fish biology**. Bethesda: American Fisheries Society, 1990. p. 213-272.

SUZUKI, F. M. et al. Factors influencing movements of two migratory fishes within the tailrace of a large neotropical dam and their implication for hydropower impacts. **River Research and Applications**, Chichester, 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.3105/full>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

VOLPATO, G. L. et al. Fish ladders select fish traits on migration – still a growing problem for natural fish populations. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, Victoria, v. 42, n. 5, p. 307-313, 2009.

WINEMILLER, K. O. et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, Washington, v. 351, n. 6269, p. 128-129, 2016.

WINTER, J. Advances in underwater biotelemetry. In: MURPHY, B. R.; WILLIS, D. W. (Ed.). **Fisheries techniques**. Maryland: American Fisheries Society, 1996. p. 555-590.