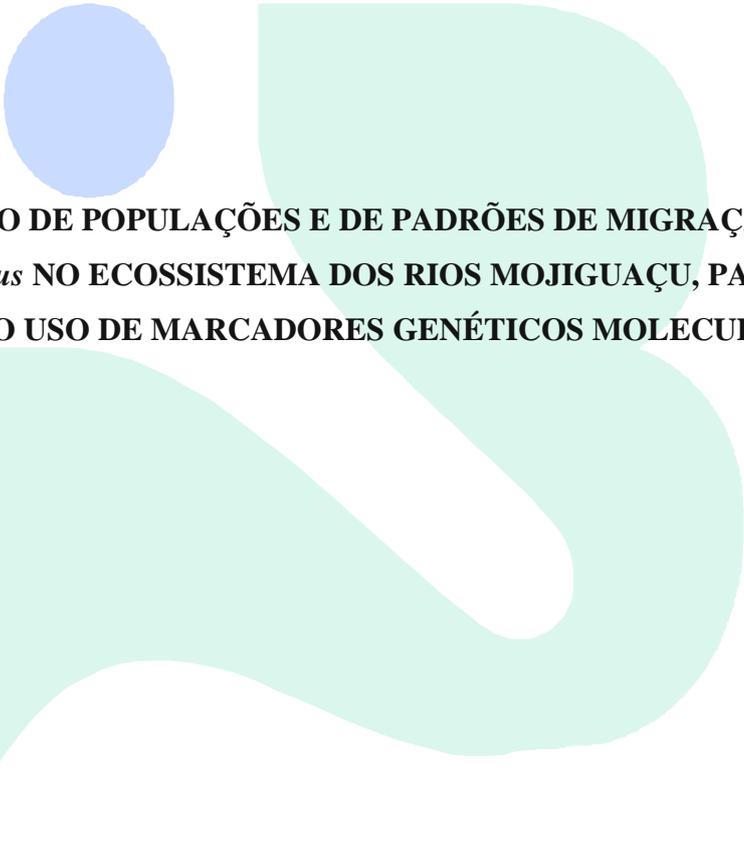


RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 24/07/2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU
Departamento de Morfologia
Laboratório de Biologia e Genética de Peixes

Daniela José de Oliveira



**IDENTIFICAÇÃO DE POPULAÇÕES E DE PADRÕES DE MIGRAÇÃO DE
Prochilodus lineatus NO ECOSISTEMA DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E
GRANDE COM O USO DE MARCADORES GENÉTICOS MOLECULARES**

BOTUCATU, SP

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU
Departamento de Morfologia
Laboratório de Biologia e Genética de Peixes

IDENTIFICAÇÃO DE POPULAÇÕES E DE PADRÕES DE MIGRAÇÃO DE
Prochilodus lineatus **NO ECOSISTEMA DOS RIOS MOJIGUAÇU, PARDO E**
GRANDE COM O USO DE MARCADORES GENÉTICOS MOLECULARES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Genética) do Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

Aluna: Daniela José de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Fausto Foresti

Co-Orientador: Dr. Fernando Yuldi Ashikaga

BOTUCATU, SP

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Oliveira, Daniela José de.

Identificação de populações e de padrões de migração de *Prochilodus lineatus* no ecossistema dos rios Mojiguaçu, Pardo e Grande com o uso de marcadores genéticos moleculares / Daniela José de Oliveira. - Botucatu, 2018

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Fausto Foresti

Coorientador: Fernando Yuldi Ashikaga

Capes: 20204000

1. Peixe - Populações. 2. Peixe - Migração. 3. Mudança climática. 4. *Prochilodus lineatus*. 5. Marcadores genéticos.

Palavras-chave: ações antrópicas; alterações climáticas; curimatá; estrutura populacional.

Agradecimentos

A Deus por me permitir chegar até aqui, passar por todas as provas e seguir firme mesmo nas horas que desistir seria o mais fácil.

Ao meu orientador Professor Dr. Fausto Foresti, por sua paciência, confiança, oportunidade a mim concedidas e o privilégio de ser sua orientanda. Um exemplo de profissional.

Às agências de fomento CNPq, Capes e Fapesp, pelo auxílio financeiro e concessão da bolsa.

A Ivana Felipe da Rosa, pela enorme colaboração em todas as etapas e processos desta tese. Sua amizade e auxílio serão lembradas eternamente. Muito obrigada.

Ao Dr. Fernando Yuldi Ashikaga, pela paciência, dedicação e pelos conhecimentos a mim transmitidos.

A toda equipe do CEPTA/ICMBio, pela infraestrutura, apoio e pela confiança em ceder todas as amostras de seu acervo biológico.

Ao Dr. José Augusto Senhorini e a Rita de Cássia G. A. Rocha, por compartilharem comigo seus conhecimentos de anos de pesquisa sobre a dinâmica de peixes migradores, viabilizando e fornecendo todas as condições necessárias para a execução desta tese.

Ao Professor Dr. Claudio de Oliveira, pelos conhecimentos a mim transmitidos.

A todos do Laboratório de Biologia e Genética de Peixes por dividirmos inúmeros momentos de aprendizado. Em especial a Silvana, Ivana, Natália, Sova, Cris, muito obrigada por cada momento com vocês divididos.

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade e colaboração.

Ao programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas (Genética) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/Botucatu.

A Seção de Pós Graduação, pelo auxílio em todas as etapas.

Ao Laboratório de Biotecnologia de Peixes – CEPTA, por me acolherem sempre que necessário.

A minha família pelo apoio, carinho, dedicação e paciência em todos os momentos.

A você Zé Senhorini por estar comigo nos momentos alegres e difíceis. Obrigada por estarmos juntos, sempre.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos...

Resumo Geral

Entre as espécies de peixes migradoras Neotropicais que ocorrem na bacia do rio Paraná, *Prochilodus lineatus* é encontrada com abundância, principalmente no sistema composto pelos rios Grande, Pardo e Mojiguaçu. A espécie é popularmente conhecida como curimatá e é caracterizada por se organizar em grandes cardumes durante o processo de migração reprodutiva, bem como por possuir hábito alimentar onívoro e por ser muito apreciada por pescadores ribeirinhos. Foi a primeira espécie de peixe no Brasil a ter seu comportamento migrador estudado, servindo de referência para inúmeros outros estudos. O presente trabalho teve por objetivo identificar a dinâmica e os padrões de relacionamento das populações de *P. lineatus* na região de Cachoeira de Emas no rio Mojiguaçu, como modelo de manejo a ser aplicado na conservação de espécies migradoras. Para o desenvolvimento deste tema foram estabelecidas duas linhas básicas de estudo, sendo (1) a análise genético-temporal de populações de *P. lineatus* coletados em Cachoeira de Emas ao longo dos anos de 2003, 2005, 2006, 2009, 2010 e 2015 com o uso de marcadores moleculares dos tipos microssatélite e mitocondrial para identificar as possíveis mudanças estruturais e (2) identificar os padrões de organização dos cardumes migradores de *P. lineatus* durante os períodos reprodutivos de 2007 à 2010 na região de Cachoeira de Emas no rio Mojiguaçu. Os resultados obtidos nestas investigações revelaram a existência de alta variabilidade genética e estruturação temporal entre as populações estudadas e tais padrões de estruturação parecem estar altamente relacionados aos efeitos de pressões ambientais, sejam elas determinadas por fatores climáticos ou antrópicos.

Palavras-chave: curimatá, estrutura populacional, alterações climáticas, ações antrópicas.

Abstract

Among the species of Neotropical migratory fish that occur in the Paraná River basin, *Prochilodus lineatus* is abundantly found, mainly in the system composed by the rivers Grande, Pardo and Mojiguaçu. The species is popularly known as curimatá and is characterized by being organized in large schools during the process of reproductive migration, as well as by having an omnivore food habit and being highly appreciated by riverine fishermen. It was the first species of fish in Brazil to have its migratory behavior studied, serving as reference for numerous other studies. The present work had as objective to identify the dynamics and the relationship patterns of the populations of *P. lineatus* in the region of Cachoeira de Emas in the Mojiguaçu River, as a management model to be applied in the conservation of migratory fish species. For the development of this theme, two basic lines of study were established: (1) the genetic-temporal analysis of *P. lineatus* populations collected in Cachoeira de Emas throughout 2003, 2005, 2006, 2009, 2010 and 2015 with the use of molecular markers of the microsatellite and mitochondrial types to identify the possible structural changes and (2) to identify the patterns of organization of the migratory schools of *P. lineatus* during the reproductive periods from 2007 to 2010 in the region of Cachoeira de Emas on the Mojiguaçu river. The results obtained in these investigations revealed the existence of high genetic variability and temporal structure between the samples of the populations studied and such structuring patterns seem to be highly related to the effects of environmental pressures, whether determined by climatic or anthropogenic factors.

Key words: curimatá, population structure, climate change, anthropic actions.

Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
1 Introdução Geral	1
Influências ambientais no ciclo de vida de peixes migradores	1
Ferramentas moleculares	2
O ecossistema formado pelos rios Mojiguaçu, Pardo e Grande	4
A espécie <i>Prochilodus lineatus</i>	5
2 Objetivos	8
3 Resultados e Discussão	9
Capítulo 1	10
Resumo	10
Introdução	11
Material e Métodos	13
Resultados	15
Discussão e Conclusões	21
Capítulo 2	27
Resumo	27
Introdução	29
Material e Métodos	30
Resultados	36
Discussão	54
Conclusões	63
4 Considerações Gerais	65
5 Referências	67

1 Introdução Geral

Influências ambientais no ciclo de vida de peixes migradores

Ambientes de águas interiores sofrem com o aumento das ações antrópicas em todo o mundo (Goudie, 2018). Os habitats aquáticos associados a 65% do fluxo mundial de rios são moderadamente ou altamente ameaçados, principalmente pela alteração drástica de seus ecossistemas causados pela construção de barragens, poluição (Dudgeon, 2014; Knouft, e Ficklin, 2017) e mudanças no ciclo de chuva. Os peixes de água doce são um dos grupos de animais mais ameaçados, principalmente pelas alterações nos ciclos de chuva que se apresentam como um dos impactos mais severos das alterações climáticas, somando-se a uma ampla gama de estressores antropogênicos (Comte e Olden 2017).

Os ecossistemas de água doce em todo o mundo são particularmente vulneráveis aos impactos antropogênicos (Crook et al., 2015). Os seres humanos se apropriaram de mais de 50% da superfície de água doce disponível mundialmente (Iwasaki et al., 2012), o que tem resultado como contrapartida em fatores como poluição e desmatamentos que impactam e modificam os sistemas aquáticos (Dudgeon, 2014)

Aproximadamente um milhão de barragens atualmente fragmentam rios em todo mundo modificando seus fluxos aquáticos (Dudgeon, 2014). Em uma projeção feita para 2030, espera-se que grandes reservatórios deverão afetar 1,6 milhão de km de rios que ainda não foram fragmentados (Grill et al., 2015), alterando os padrões de biodiversidade dos ecossistemas locais. Os barramentos modificam os padrões e processos ecológicos dentro dos reservatórios, podendo ocasionar mudanças na composição das comunidades biológicas como resultado do desequilíbrio de algumas populações ou mesmo extinção de outras (De Bem, 2017)

Nas latitudes em que as flutuações sazonais na temperatura são pequenas, as cheias dos rios se constituem no principal gatilho para a reprodução de várias espécies de peixes (Welcomme, 1985), sendo que a ausência de cheias ou sua redução limitam, ou até mesmo frustram o processo reprodutivo de muitas delas. Uma vez que a migração é uma resposta adaptativa a condições específicas, as mudanças ambientais (por exemplo, variações climáticas) potencialmente alteram as pressões seletivas sobre o comportamento do movimento. Assim, tais mudanças também podem interferir ou

4 Considerações Gerais

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de compreender a diversidade e estrutura genética em escala temporal e os mecanismos envolvidos no processo migratório em espécies de peixes de água doce, em especial o curimatá (*Prochilodus lineatus Valenciennes, 1836*). Esta espécie de peixe migrador está amplamente distribuída na bacia do rio Paraná, principalmente nos rios Grande, Pardo e Mojiguaçu, região esta que tem sofrido importante e crescente ação de mudanças ambientais. As análises compreenderam a utilização de marcadores microssatélites e do marcador mitocondrial *D-loop* para estabelecer a estruturação genética destas populações frente às modificações ambientais.

Os resultados das investigações utilizando os marcadores microssatélite e mitocondriais nas populações de *Prochilodus lineatus* coletados em Cachoeira de Emas ao longo dos anos 2003, 2005, 2006, 2009, 2010 e 2015, identificaram a existência de alta variabilidade genética entre os componentes do estoque da espécie neste ambiente nos períodos analisados. Contudo, esta variabilidade não está uniformemente distribuída, sendo que nas comparações entre os grupos de 2005, 2009 e 2010 foram identificados valores de estruturação populacional moderada com relação aos demais períodos amostrados. Tais componentes de estruturação foram relacionados com os períodos em que o ecossistema foi acometido por um desastre ambiental ocorrido em setembro de 2003, quando as coletas se iniciaram, resultando em grande mortalidade de peixes; e num segundo momento, durante o período de 2009 e 2010, a região passou por evidente disfunção climática, com expressivas modificações no ciclo das chuvas. Como é conhecido, o regime de chuvas se apresenta como o principal responsável pela sincronia do processo biológico de desenvolvimento gonadal e de preparação do processo reprodutivo das espécies reofílicas, sendo suas gônadas preparadas no período adequado por um processo complexo de estímulos secundários sucessivos que dão prosseguimento para a conclusão do ciclo. Alterações destes fatores podem se constituir em elementos efetivos de alteração do ciclo biológico destas espécies e, por conseguinte, serem modificadores da estrutura das populações neste ambiente.

Nesta espécie, o ciclo reprodutivo se inicia nos machos por volta do primeiro ano de vida e nas fêmeas geralmente no terceiro ano. Assim poderia ser considerado que

a identificação de uma estruturação moderada para o marcador mitocondrial a partir de janeiro de 2005, tenha se dado em decorrência de um processo de recuperação ambiental, quando os indivíduos remanescentes do desastre começaram a contribuir geneticamente no ciclo reprodutivo da espécie. Este tipo de interpretação também pode ser aplicado em relação a estruturação observada nos microssatélites, que seria justificada pelo alto polimorfismo do marcador e pela existência de indivíduos nas lagoas marginais e em rios tributários que passaram a contribuir no sentido de uma restauração de variabilidade genética logo após o desastre.

Sendo assim, as alterações ambientais podem mudar as dinâmicas genéticas de populações ao longo do tempo, fato este observado até mesmo em grandes populações. Tais resultados são importantes também para avaliar possíveis danos causados em espécies com populações menores e ameaçadas de extinção. Com o passar dos anos *P. lineatus* manteve seus índices de variabilidade e a redução dos níveis de estruturação observado entre as primeiras e últimas coletas, mostrando que de certa forma a população tenha se recuperado.

O processo de migração em peixes é um fenômeno que ocorre para inúmeras espécies e modificação em qualquer momento deste processo são consideradas extremamente críticas. Análises genéticas realizadas em de *P. lineatus* identificaram também a existência de estrutura genética populacional nas análises dos grupos em processo migratório, sendo que a predominância de indivíduos mais velhos na composição dos estoques migradores e uma frequência menor de indivíduos maduros em dados momentos durante o período reprodutivo podem ter ocasionado o maior distanciamento genético entre estes cardumes.

Há indícios de que as modificações notadas com relação à proporção de machos e fêmeas no período amostrado, quando foi observada uma frequência maior de fêmeas durante o ciclo reprodutivo, podem resultar em efeitos modificadores da estruturação genética dos cardumes envolvidos, uma vez que as fêmeas da espécie em estudo têm por característica serem maiores e mais pesadas que os machos, tornam-se mais suscetíveis aos mecanismos de captura. Foi observado também que mudanças relacionadas ao período de chuvas que ocorreram no período de reprodução de 2009 e 2010, quando o maior índice pluviométrico não coincidiu perfeitamente com o período relacionado à migração estabelecido pelo defeso. A alteração no regime de chuvas se apresenta como o maior responsável pela sincronia do processo, permitindo que os peixes em desenvolvimento gonadal tenham suas gônadas preparadas no período

adequado e os estímulos secundários sucessivos dão prosseguimento para que a conclusão do ciclo seja atingida. Considerando que a migração de *P. lineatus* é determinada por um conjunto de estímulos ambientais que ocorre com o início das primeiras chuvas, peixes que habitam áreas de alimentação se sentem estimulados a subir em direção as cabeceiras, permitindo que a queima de gordura ocorra e suas gônadas sejam sincronizadas para a reprodução. Quando este ciclo se modifica, as alterações em suas populações são observadas rapidamente.

Em ambos os estudos realizados neste trabalho, foi constatado que as modificações ambientais que podem ocorrer devido a interferências antrópicas ou decorrentes de mudanças climática, causam alterações genéticas ao longo do tempo, mesmo em espécies como *P. lineatus* que se organizam em grandes populações. Estes resultados também deixam evidente que medidas visando minimizar impactos sob as espécies de peixes migradores devem ser revistas, uma vez que fixar o período de defeso a uma determinada época específica do ano não causa benefícios as espécies, uma vez que o período de chuva é irregular e suscetível também às mudanças climáticas. Outra medida que poderia evitar danos a esta espécie é o estabelecimento de tamanho mínimos e máximos de captura, uma vez que indivíduos machos são menores e as fêmeas maiores e evitariam sobrepesca em desproporcional entre machos e fêmeas. Assim, a identificação de alterações genéticas associadas aos efeitos de ações antrópicas tornam possível a adoção de medidas adequadas de manejo para a conservação dos elementos do ecossistema.

5 Referências

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. (2007) Ecologia e manejo de recurso pesqueiro em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem.
- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; SUZUK, H.I.; JÚLIO-JR, H.F. (2003) Migratory fishes of the upper Paraná river basin, Brazil. In: CAROLSFELD, J.; HARVEY, B; ROSS C; BAER A .2003). Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status. Alaris Design, Victoria, Canada.
- ALLEN, M. (2016) Barriers to fish migration in drying climates: Contributions from south-western Australia (Doctoral dissertation, Murdoch University).
- ALTIZER, S., BARTEL, R., e HAN, B. A. (2011) Animal migration and infectious disease risk. Science, 331(6015., 296-302.
- ARIEDE, R. B., FREITAS, M. V., HATA, M. E., MATROCHIRICO-FILHO, V. A., UTSUNOMIA, R., MENDONÇA, F. F., e HASHIMOTO, D. T. (2017) Development of microsatellite markers using next-generation sequencing for the fish *Collossoma macropomum*. Molecular biology reports, 1-10.

- ASHIKAGA, FY, ORSI, ML, OLIVEIRA, C., SENHORINI, JA, e FORESTI, F. (2015) Espécies ameaçadas de extinção, Brycon orbignyanus: análise genética e definição de áreas prioritárias para conservação. *Biologia Ambiental dos Peixes*, 98 (7., 1845-1855.
- BANDELT, H.J., FORSTER, P., RÖHL, A.1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution.*; 16: 37-48.
- BARBIERI, G., SALLES, F. A., e CESTAROLLI, M. A. (2000) Análise populacional do curimatá, *Prochilodus lineatus*, do rio Mojiguaçu, Pirassununga, SP (Characiformes, Prochilodontidae). *Boletim do Instituto de Pesca*, 26.2., 137-145.
- BARROCA, T.M.; ARANTES, F.P.; MAGALHÃES, B.F.; SIQUEIRA, F.F.; HORTA, C.C.R; PENA, I.F.; DERGAM, J.Á.; KALAPOTHAKIS, E. (2012) Genetic diversity and population structure of *Prochilodus costatus* and *Prochilodus argenteus* preceding dam construction in the Paraopeba River, São Francisco River Basin, Minas Gerais, Brazil. *Open Journal of Genetics*. 2: 121-130.
- BAUER, S., e HOYE, B. J. (2014) Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. *Science*, 344(6179., 1242552.
- BEHEREGARAY, L. B., MÖLLER, L. M., SCHWARTZ, T. S., CHAO, N. L., e CACCONE, A. (2004) Microsatellite markers for the cardinal tetra *Paracheirodon axelrodi*, a commercially important fish from central Amazonia. *Molecular Ecology Resources*, 4(3., 330-332.
- BILLINGTON, N. e HEBERT, P. (1991) Mitochondrial DNA diversity in fishes and its implications for introductions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1: 80-94.
- BOLGER, D. T., NEWMARK, W. D., MORRISON, T. A., e DOAK, D. F. (2008) The need for integrative approaches to understand and conserve migratory ungulates. *Ecology letters*, 11.1., 63-77.
- BONETTO, A.A. (1986) Fish of the Paraná system. In: Davies, B.R.; Walker, K.F. (Eds.) *The Ecology of River Systems*, Dr W. Junk, Dordrecht, The Netherlands. pp. 573–588.
- BÖRGER, L. (2016) Stuck in motion? Reconnecting questions and tools in movement ecology. *Journal of Animal Ecology*, 85.1., 5-10.
- BRAGA-SILVA, A., e GALETTI, P. M. (2016) Evidence of isolation by time in freshwater migratory fish *Prochilodus costatus* (Characiformes, Prochilodontidae). *Hydrobiologia*, 765.1., 159-167.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, A, E. L. G. (2003) *Limnologia Fluvial – um estudo no rio Mojiguaçu*. Rima Editora – São Carlos – SP, 260 p.
- CABRERA, S.E., CANDIA, C. (1964) Contribución al conocimiento de la biología del sabalo (*Prochilodus platensis* Holmberg) del río de la Plata; B, Estudio bio-ecológico, III: Analisis del crecimiento; C, Estudio bio-económico. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, Series 1*, 4:57-83.
- CHARLESWORTH, DEBORAH; WILLIS, JOHN H. The genetics of inbreeding depression. *Nature reviews genetics*, v. 10, n. 11, p. 783, (2009)
- CHRISTIAKOV, D.A.; HELLEMANS, B. e VOLCKAERT, F.A.M. (2006) Microsatellites and their genomic distribution, evolution, function and applications: A review with special reference to fish genetics. *Aquaculture* 255:1–29.
- COIMBRA, M.R., LIMA, A.P., OLIVEIRA, K.K., e SEVERI, W. (2017) Microsatellite assessment of the genetic diversity in indigenous populations of curimba (*Prochilodus argenteus*) in the São Francisco river (Brazil). *Conservation Genetics*, 1-11.

- COMTE, L., e OLDEN, J. D. (2017) Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes. *Nature Climate Change*, 7.10., 718.
- COOKE, S.J., HINCH, S.G., FARRELL, A.P. et al. (2008) Developing a mechanistic understanding of fish migrations by linking telemetry with physiology, behavior, genomics and experimental biology: an interdisciplinary case study on adult Fraser River sockeye salmon. *Fisheries*, 33, 321-338.
- CROOK, D. A., LOWE, W. H., ALLENDORF, F. W., ERŐS, T., FINN, D. S., GILLANDERS, B. M., .. e KILADA, R. W. (2015) Human effects on ecological connectivity in aquatic ecosystems: integrating scientific approaches to support management and mitigation. *Science of the Total Environment*, 534, 52-64.
- DE BEM, J. (2017) Recursos pesqueiros e a diversidade da ictiofauna no alto rio Uruguai: efeito dos peixes predadores topo de cadeia. (Tese) Programa de Pós graduação em Aquicultura e Recursos Pesqueiros. Universidade Federal de Santa Catarina.
- DINGLE, H. e DRAKE, A. V. (2007) What is migration? *BioScience* 57, 113–121.
- DINGLE, H. (2006) Animal migration: is there a common migratory syndrome? *Journal of Ornithology*, 147, 212–220.
- DINGLE, H. (2014) *Migration: the biology of life on the move*. Oxford University Press, USA.
- DOMINGUES, W. M., e HAYASHI, C. (1998) Estudo experimental sobre anéis diários em escamas nas fases iniciais do desenvolvimento do curimba, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836. (Characiformes, Prochilodontidae). *Revista Brasileira de Biologia*, 58, 609-617.
- DUDGEON, D. (2014) Threats to freshwater biodiversity in a changing world. In *Global environmental change* (pp. 243-253. Springer Netherlands.
- EXCOFFIER, L., e LISCHER, H. E. (2010) Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux/Windows. *Molecular ecology resources*, 10(3., 564-567.
- EXCOFFIER, L., LAVAL, G., e SCHNEIDER, S. (2005) Arlequin (version 3.0.: an integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary bioinformatics online*, 1, 47.
- EXCOFFIER, L., SMOUSE, P. E., e QUATTRO, J. M. (1992) Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131.2., 479-491.
- FAABORG, J., HOLMES, R. T., ANDERS, A. D., BILDSTEIN, K. L., DUGGER, K. M., GAUTHREAUX, S. A., .. e LATTA, S. C. (2010) Recent advances in understanding migration systems of New World land birds. *Ecological monographs*, 80.1., 3-48.
- FAULKS, L. K., KEREZSY, A., UNMACK, P. J., JOHNSON, J. B., e HUGHES, J. M. (2017) Going, going, gone? Loss of genetic diversity in two critically endangered Australian freshwater fishes, *Scaturiginichthys vermeilipinnis* and *Chlamydogobius squamigenus*, from Great Artesian Basin springs at Edgbaston, Queensland, Australia. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27.1., 39-50.
- FERREIRA, D.G., SOUZA-SHIBATTA, L., SHIBATTA, O.A., SOFIA, S.H., CARLSSON, J., DIAS, J.H.P., .. E MAKRAKIS, M.C. (2017) Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system. *Reviews in Fish Biology Fisheries*, 27.1., 209-231.
- FLECKER, .AS .1996. Ecosystem engineering by a dominant detritivore in a diverse tropical stream. *Ecology*, 77: 1845–1854.

- FRANKHAM, R., BALLOU, J. D., e BRISCOE, D. A. (2008) Fundamentos de genética da conservação. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética
- FRANKHAM, R., BRADSHAW, C. J., & BROOK, B. W. (2014) Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170, 56-63.
- GARCEZ, R., CALCAGNOTTO, D., ALMEIDA-TOLEDO, D., e FORESTI, L. (2011) Population structure of the migratory fish *Prochilodus lineatus* (Characiformes) from rio Grande basin (Brazil), an area fragmented by dams. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(3.), 268-275.
- GILLANDERS, B. M., IZZO, C., DOUBLEDAY, Z. A., e YE, Q. (2015) Partial migration: growth varies between resident and migratory fish. *Biology letters*, 11(3.), 20140850.
- GODOY, M. P. 1975. Peixes do Brasil. Subordem Characoidei. Bacia do rio Mogi-Guassu. Ed. Franciscana, Piracicaba, São Paulo. p. 219-397.
- GOUDET, J. (1995) FSTAT (Version 1.2.: A Computer Program to Calculate F-Statistics. *Journal of Heredity*, 86(6.):485-486.
- GOUDIE, A. S. (2018) Impacto humano no ambiente natural . John Wiley & Sons.
- GRILL, G., LEHNER, B., LUMSDON, A. E., MACDONALD, G. K., ZARFL, C., e LIERMANN, C. R. (2015) An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation na flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10.1., 015001.
- GUO, S.; THOMSON, E. (1992) Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles. *Biometrics*, 144: 1933-1940.
- GURGEL, H. D. C. B. (2004) Populational structure and breeding season of *Astyanax fasciatus* Cuvier (Characidae, Tetragonopterinae) from Ceará Mirim River, Poço Branco, rio Grande do Norte, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21.1., 131-135.
- HARSCH, M. A., PHILLIPS, A., ZHOU, Y., LEUNG, M. R., RINNAN, D. S., e KOT, M. (2017) Moving forward: insight sea plications of moving-habitat models for climate change ecology. *Journal of Ecology*.
- HARTL, D. L., CLARK, A. G., e CLARK, A. G. 1997. Principles of population genetics (Vol. 116. Sunderland: Sinauer associates.
- HEIST, E.J., GOLD, J.R. (1999) Microsatellite variation in sandbar sharks (*Carcharhinus plumbeus*) from the Gulf of Mexico and Mid-Atlantic Bight. *Copeia*: 182-186.
- HENRIQUES, J. M. (2014) Análise da diversidade genética em Curimatá (*Prochilodus*) da Bacia do Prata e Amazônia. (Tese) Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas – Zoologia.
- HILSDORF, AW, E HALLERMAN, EM . (2017) Genetic Resources of Freshwater Neotropical Fishes. In: Genetic Resources of Neotropical Fishes (pp. 119-210. Springer International Publishing.
- HOFFMANN, A. A., SGRÒ, C. M., e KRISTENSEN, T. N. (2017) Revisiting adaptive potential, population size, and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 32(7.), 506-517.
- HUTCHINSON, W. F., VAN OOSTERHOUT, C., ROGERS, S. I., e CARVALHO, G. R. (2003) Temporal analysis of archived samples indicates marked genetic changes in declining North Sea cod (*Gadus morhua*). *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270.1529., 2125-2132.

- IWASAKI, Y., RYO, M., SUI, P., e YOSHIMURA, C. (2012) Evaluating the relationship between basin-scale fish species richness and ecologically relevant flow characteristics in rivers worldwide. *Freshwater Biology*, 57.10., 2173-2180.
- IZZO, C., DOUBLEDAY, Z. A., GRAMMER, G. L., GILMORE, K. L., ALLEWAY, H. K., BARNES, T. C., .. e GILLANDERS, B. M. (2016) Fish as proxies of ecological and environmental change. *Reviews in Fish Biology/Fisheries*, 26(3., 265-286.
- JUNK, W. (1989) Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. *Holm-nielsen. Tropical forests; botanical dynamics, speciation, and diversity:*, 47-64.
- KNOUFT, J. H., e FICKLIN, D. L. (2017) The Potential Impacts of Climate Change on Biodiversity in Flowing Freshwater Systems. *Annual Review of Ecology, Evolution, na Systematics*, 48.1.
- KOCHER T.D.; STEPHIEN CA .1997. *Molecular Systematics of Fishes*. Academic Press, London, U.K
- LEWIN B . (1994) *Genes V*. Oxford University Press Inc., New York, 1272 p.
- MACHADO, M. R. F.; FORESTI, F. (2012) Morphometric characteristics of *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1847., of the migratory and resident stocks of the river Mogí-Guaçu, São Paulo State, Brazil. *Acta Scientiarum. Zootechny*, v. 34, p. 341-346.
- MACHADO, V. N., WILLIS, S. C., TEIXEIRA, A. S., HRBEK, T., e FARIAS, I. P. (2017) Population genetic structure of the Amazonian black flannelmouth characin (Characiformes, Prochilodontidae: *Prochilodus nigricans* Spix e Agassiz, 1829.: contemporary and historical gene flow of a migratory and abundant fishery species. *Environmental Biology of Fishes*, 100.1., 1-16.
- MASTROCHIRICO-FILHO, V. A., FREITAS, M. V., ARIEDE, R. B., LIRA, L. V., MENDES, N. J., e HASHIMOTO, D. T. (2018) Genetic Applications in the Conservation of Neotropical Freshwater Fish. In: *Biological Resources of Water*. IntechOpen.
- MATSUMOTO, C.K.; HILSDORF, A.W.S . (2009) Microsatellite variation and population genetic structure of a Neotropical endangered Bryconinae species *Brycon insignis* Steindachner, 1877: implications for its conservation and sustainable management. *Neotropical Ichthyology*, 7: 395-402.
- MELO, B. F., SATO, Y., FORESTI, F., e OLIVEIRA, C. (2013) The roles of marginal lagoons in the maintenance of genetic diversity in the Brazilian migratory fishes *Prochilodus argenteus* and *P. costatus*. *Neotropical Ichthyology*, 11 (3., 625-636.
- MENDES, N. J., CRUZ, V. P., ASHIKAGA, F. Y., CAMARGO, S. M., OLIVEIRA, C., PIERCY, A. N.,e FORESTI, F. (2016) Microsatellite loci in the tiger shark and cross-species amplification using pyrosequencing technology. *PeerJ*, 4, e2205.
- MEYERS, L. A., e BULL, J. J. (2002) Fighting change with change: adaptive variation in an uncertain world. *Trends in Ecology and Evolution*, 17.12., 551-557.
- MILLS, L. S., SOULÉ, M. E., E DOAK, D. F. (1993) The keystone-species concept in ecology and conservation. *BioScience*, 43(4., 219-224.
- MORAIS-FILHO, M. B.; SCHUBART, O. (1955) Contribuição ao estudo do dourado (*Salminus maxillosus* Val.) do rio Mogi Guassu (Pisces, Characidae). Ministério da Agricultura. Divisão de Caça e Pesca, São Paulo, Brasil, 131 pp.
- MORELLI, K. A., REVALDAVES, E., OLIVEIRA, C., e FORESTI, F. (2007) Isolation and characterization of eight microsatellite loci in *Leporinus*

- macrocephalus (Characiformes: Anostomidae) and cross-species amplification. *Molecular Ecology Resources*, 7.1., 32-34.
- NEI, M.; LI, W. H. (1979) Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 76:5269–5273.
- NIEMINEN, E., HYYTIÄINEN, K., E LINDROOS, M. (2017) Economic and policy considerations regarding hydropower and migratory fish. *Fish and Fisheries*, 18.1., 54-78. v. 170, p. 56-63, 2014.
- OLIVEIRA, K. K., LIMA, A. P., e COIMBRA, M. R. (2015) Isolation and characterization of the first microsatellite markers in the Neotropical freshwater fish piau-verdadeiro, *Leporinus obtusidens* (Valenciennes, 1837. *Conservation genetics resources*, 7.1., 77-79.
- PAIVA, M. P. (1982) *Grandes Represas do Brasil*. Brasília, DF, Editerra, 304p
- PAULY, D., DAVID, N., e PAULY, D. (1981). *ELEFAN I. Length-Based Methods in Fisheries Research*, 1.
- PEREIRA, L.H.G.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C. (2009) Genetic structure of the migratory catfish *Pseudoplatystoma corruscans* (Siluriformes: Pimelodidae) suggest homing behavior. *Ecology of Freshwater Fish*, 18: 215-225.
- PERINI, V. R. (2013) *Biologia reprodutiva e estrutura populacional de Prochilodus lineatus em um remanescente lótico da Bacia do rio Grande*. (Tese) Programa de Pós-graduação em Ciências (área de concentração em Biologia Celular), UFMG.
- PIGNALBERI, C., CORDIVIOLA de YUAN, E.C . (1973) Biometria del "sabalo" (*Prochilodus platensis* Holmberg) de diversos ambientes del Parana medio (Pisces, Tetragonopteridae). *Physis*, series B, 32(84.:29-40 .
- PULIDO, F., e BERTHOLD, P. (2003) Quantitative genetic analysis of migratory behaviour. In: *Avian migration* (pp. 53-77. Springer, Berlin, Heidelberg.
- PURDOM, C.E. (1993) *Genetics and Fish breeding*. Chapman and Hall editors. London.
- RAND, DM, e KANN, LM . (1998) Mutação e seleção em locais silenciosos e de substituição na evolução do DNA mitocondrial animal. *Genetica* , 102 , 393-407.
- RAPOSO, R. D. M. G., e GURGEL, H. D. C. B. (2008) Estrutura populacional de *Serrasalmus spilopleura* Kner, 1860 (Pisces, Serrasalminidae) da lagoa de Extremoz, Estado do rio Grande do Norte, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 23, 409-414.
- RIBEIRO, C., e MOREIRA, R. G. (2012) Fatores ambientais e reprodução dos peixes. *Revista da Biologia*.
- RIBOLLI, J., HOEINGHAUS, D. J., JOHNSON, J. A., ZANIBONI-FILHO, E., DE FREITAS, P. D., e GALETTI, P. M. (2017) Isolation-by-time population structure in potamodromous dourado *Salminus brasiliensis* in southern Brazil. *Conservation Genetics*, 18.1., 67-76.
- RIEDE, K. (2002) *Global register of migratory species*. German Federal Agency for Nature Conservation, Project 808 05 081.
- ROUSSET, F. (2008) Genepop'007: a complete reimplementation of the Genepop software for Windows and Linux. *Molecular Ecology Resources*; 8:103-106.
- ROZAS, J., S ANCHEZ-DELBARRIO, J. C., MESSEGUER, X., e ROZAS, R. (2003) DnaSP, DNA polymorphism analyses by the coalescent other methods. *Bioinformatics*, 19.18., 2496-2497.
- RUEDA, E. C., CARRIQUIRIBORDE, P., MONZ N, A. M., SOMOZA, G. M., e ORT , G. (2013) Seasonal variation in genetic population structure of s balo (*Prochilodus lineatus*) in the Lower Uruguay River. *Genetica*, 141(7-9., 401-407.

- RUEDA, E.C.; SOMMER, J.; SCARABOTTI, P.; MARKARIANI, R.; ORTÍ, G. (2011) Isolation and characterization of polymorphic microsatellite loci in migratory freshwater fish *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae). *Conservation Genetics. Resour.* 3:681-84.
- SANCHES, A; GALETTI JR, P.M.; GALZERANI, F., DERAZO, J.; CUTILAK-BIANCHI, B.; HATANAKA, T. (2012) Genetic population structure of two migratory freshwater fish species (*Brycon orthotaeniae*, *Prochilodus argenteus*) from the São Francisco River in Brazil and its significance for conservation. *Lat Am J Aqua Res.* 40: 177-186.
- SCHLÖTTERER, C. (2000) Evolutionary dynamics of microsatellite DNA. *Chromosome*, 109(6), 365-371.
- SCHUELKE, M. (2000) An economic method for the fluorescent labelling of PCR fragments. *Nature Biotechnology* 18: 233-234.
- SHAW, T. J., e MARTIN, P. (2016) Wound repair: a showcase for cell plasticity and migration. *Current opinion in cell biology*,
- SIVASUNDAR, A.; BERMINGHAM, E.; ORTÍ, G. (2001) Population structure and biogeography of migratory freshwater fishes (*Prochilodus*: Characiformes) in major South American rivers. *Molecular Ecology* 10: 407-417.
- SLATKIN M. (1995) A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics.*; 139:457–462.
- SVERLIJ, S., ROS, A; ORTI, G. (1993) Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del Sabalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847. FAO Sinopsis sobre la Pesca, 154: 1-64.
- TAJIMA F. (1989) Statistical Method for Testing the Neutral Mutation Hypothesis by DNA Polymorphism. *Genetics.* 123: 585-595.
- TAJIMA F. The amount of DNA polymorphism maintained in a finite population when the neutral mutation rate varies among sites. *Genetics.* 1996; 143: 1457-1465.
- TAMURA K, PETERSON D, PETERSON N, STECHER G, NEI M e KUMAR S. MEGA5. (2011) Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution.*; 28: 2731-2739.
- TAYLOR, H. R., KARDOS, M. D., RAMSTAD, K. M., e ALLENDORF, F. W. (2015) Valid estimates of individual inbreeding coefficients from marker-based pedigrees are not feasible in wild populations with low allelic diversity. *Conservation genetics*, 16(4.), 901-913.
- THOMPSON, J. D.; GIBSON, T.J.; PLEWNIAK, F.; JEANMOUGIN, F.; HIGGINS, D. G. (1997) The ClustalX windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Res*, 24: 4876-4882.
- TOLEDO-FILHO, S. A. (1981) *Biologia populacional do curimbatá (Prochilodus scrofa Steindachner, 1881. (Pisces, Prochilodontidae) do rio Mojiguaçu: Aspectos quantitativos.* Tese de Doutorado, USP, São Paulo
- TORLONI, C.E.C.; CORRÊA, A.R.A.; CARVALHO JR., A.A.D.; SANTOS, J.J.D.; GONÇALVES, J.L.; GERETO, E.J.; CRUZ, J.A.; MOREIRA, J.A.; SILVA, D.C.; DEUS, E.F.; FERREIRA, A.S. (1993). Produção pesqueira e composição das capturas em reservatórios sob concessão da CESP nos rios Tietê, Paraná e Grande, no período de 1986 a 1991. São Paulo, CESP, Série Produção Pesqueira, 001: 73p.

- VAN OOSTERHOUT, C., HUTCHINSON, W.F., WILLS, D.P.M E SHIPLEY, P. MICRO-CHECKER: (2004) Software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Mol. Ecol. Notes*. 4:535-538.
- VAZZOLER, A. E. A. M. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem, 169.
- VIDAL, J.C. (1967) Contribución., estudio biológico del sabalo de los ríos Parana y Uruguay. Secretaria Estadual de Agricultura. 1-51.
- VIEIRA, L.J.S. e VERANI, J.R. (2000) Diversidade e capturabilidade em comunidades de peixes de lagoas marginais do rio Mojiguaçu submetidas a diferentes graus de assoreamento. In *Estudos integrados em ecossistema: Estação Ecológica de Jataí* (J.E. dos Santos e J.S.R. Pires, eds.). RIMA, São Carlos, p. 831-850.
- VILLANOVA, G. V., VERA, M., DÍAZ, J., MARTINEZ, P., CALCATERRA, N. B., e ARRANZ, S. E. (2015) Isolation and characterization of 20 polymorphic microsatellite loci in the migratory freshwater fish *Leporinus obtusidens* (Characiformes: Anostomidae) using 454 shotgun pyrosequencing. *Journal of fish biology*, 86(3.), 1209-1217.
- WEIR, B.S. e COCKERHAM, C.C. (1984) Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution.*; 38:1358-1370.
- WELCOMME, R. L. (1985). *River fisheries [Pesca fluvial]*. FAO fisheries technical paper, 262, 330.
- WILCOVE, D. S., e WIKELSKI, M. (2008) Going, going, gone: is animal migration disappearing. *PLoS biology*, 6 (7), e188.