

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE ÁGUA DOCE E PESCA
INTERIOR – PPG-BADPI

USO DA MICROQUÍMICA DE OTÓLITOS NA DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE
MIGRAÇÃO DO JARAQUI-ESCAMA-FINA (*Semaprochilodus taeniurus*,
VALENCIENNES, 1821) EM RIOS DA AMAZÔNIA CENTRAL

GISELLEN MC COMB LIMA

MANAUS, AMAZONAS
DEZEMBRO, 2020

GISELLEN MC COMB LIMA

USO DA MICROQUÍMICA DE OTÓLITOS NA DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE
MIGRAÇÃO DO JARAQUI-ESCAMA-FINA (*Semaprochilodus taeniurus*,
VALENCIENNES, 1821) EM RIOS DA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador (a): Flávia Kelly Siqueira de Souza, Dr^a

Coorientadores: Sidineia Aparecida Amadio, Dr^a

Marc Pouilly, Dr

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

MANAUS, AMAZONAS

DEZEMBRO, 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

L732u Lima, Gisellen Mc Comb

Uso da microquímica de otólitos na determinação do padrão de migração do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*, Valenciennes, 1821) em rios da Amazônia Central / Gisellen Mc Comb Lima; orientadora Flávia Kelly Siqueira de Souza; coorientadores Sidineia Aparecida Amadio, Marc Pouilly; - Manaus:[s. l.], 2022.

2 MB

51 p. : il. color.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior – PPG-BADPI) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. Jaraqui-escama-fina - 2. Isótopos estáveis - 3. Estrôncio. I. Souza, Flávia Kelly Siqueira de. II. Amadio, Sidineia Aparecida. III. Pouilly, Marc. IV. Título

Sinopse: Estudou-se a migração da espécie *S. taeniurus* por meio da microquímica de otólitos, onde foram estimados e comparados a razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ encontrada nos otólitos dos espécimes com a água dos rios Solimões, Amazonas, Purus e Branco em que foram coletados. Os resultados desse estudo mostraram que a migração do jaraqui-escama-fina pode ocorrer entre bacias e dentro de uma própria bacia. Além, disso foi confirmado a nossa hipótese de que os indivíduos dessa espécie passam principalmente sua primeira fase de vida em ambientes de águas brancas.

Palavras-chave: *Semaprochilodus taeniurus*, movimentos migratórios, estrôncio, perfil isotópico e local de nascimento.

Dedicatória

Á minha família:

Minha mãe, **Ida Esther †**

Aos meus pais do coração, **Pereira e Suzana †**

Meus padrinhos: **Linda e Marco**

Minha tia guerreira: **Eleonor †**

Minha irmã: **Gabrielle**

Aos meus sobrinhos do coração: **Bia, Rakelly, André e as três “Lolo”**

Dedico também aos demais que contribuíram com esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha força interior (Deus) por me permitir concluir esta dissertação. Desde o começo á assumi como um desafio. Então, é impossível para mim não me emocionar ao escrever esse tão desejado tópico da dissertação onde deixo minha SINCERA GRATIDÃO a todos aqueles, que mesmo não nomeados diretamente contribuíram para essa etapa da minha vida.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior (PPG-BADPI) pela oportunidade de ampliar meu conhecimento, de me fazer ir mais longe do que pude imaginar, me permitindo ultrapassar limitações que jamais pensei que fossem possíveis de serem vencidas.

Aos professores/pesquisadores do INPA que compartilharam seus preciosos conhecimentos durante e fora de suas disciplinas.

Á Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa durante o período de mestrado.

Á minha orientadora Flávia Souza que aceitou junto comigo embarcar nesse desafio de trabalhar com microquímica de otólitos (uma área pouco explorada no Brasil), vencendo todas as adversidades que nos foram apresentadas no decorrer do desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pela paciência, pelo incentivo, pelos puxões de orelha e pelas contribuições que tornaram a realização deste trabalho motivo de orgulho e de grande contribuição tanto para a minha vida pessoal quanto profissional.

Ao meu coorientador Marc Pouilly, pelos conhecimentos compartilhados sobre microquímica de otólitos. Por me ensinar a como processar as amostras de otólitos e a perder todas minhas digitais lixando os mesmos (risos), assim como sua parceria nas análises laboratoriais de espectrometria realizada na França. Muito obrigado professor, sua parceria juntamente com suas contribuições foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a minha coorientadora Sidineia Amadio por sua colaboração e considerações dadas ao nosso projeto, pelas palavras de encorajamento e positivas em minha qualificação e também no decorrer do trabalho.

Ao laboratório de Ecologia Pesqueira - UFAM pela disponibilização da infraestrutura no processo de preparo das amostras de otólitos.

Ao Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et Environnement, IPREM, Pau-France, onde foram realizadas as análises microquímicas dos otólitos.

Ao laboratório Temático de Biologia Molecular – LBTM (INPA), de Microbiologia de Alimentos (UFAM) e de Geoquímica (UFAM), onde foram realizadas o processo de filtração das amostras de água.

Ao laboratório Geochronos da UnB, onde foram realizadas as análises microquímicas das águas pelo intermédio do professor Roberto Santos.

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade em contribuir para a melhoria deste trabalho e pela troca de conhecimentos.

Agradeço aos meus colegas Lorenzo e Marcos que também embarcaram nesse desafio da microquímica de otólitos. Obrigada por compartilharem comigo um pouco do conhecimento de vocês, pelas risadas, por me ajudar a obter os materiais que faltavam, seja no processo de lixar os otólitos quanto nas amostras de água.

Ao professor Ranieri Garcez da Universidade Federal de Rondônia – UNIR pelas suas colaborações, paciência e apoio durante a escrita final da dissertação. Muito obrigado professor!

Agradeço a todos os guias, pescadores e famílias que me acolheram na minha ida ao campo e pelas amizades feitas durante esse processo. Serei eternamente grata pela hospitalidade e generosidade de vocês. Meu muito obrigada!

Aos meus amigos de laboratório André Sampaio e Chiara Lubich, obrigada pelas conversas, por me aturarem ao longo de todo esse tempo que nos conhecemos (desde a graduação), pelos momentos de descontração vivenciados no laboratório, pela positividade que vocês me deram, principalmente na etapa final do mestrado.

Agradeço aos meus colegas/amigos que tiraram um pouco do seu tempo para me ajudar no processo de lixamento dos otólitos. Em especial, ao André Sampaio que várias vezes me ajudou e esperou eu cumprir a meta do dia de lixar otólitos para depois ir embora para casa, a Amanda que chegou a perder suas digitais comigo nos fins de semana na UFAM e aos demais que uma hora ou outra me ajudavam nem que seja lixando um otólito, meu muito obrigada!!!

Agradeço aos meus amigos/colegas do laboratório de Tecnologia do Pescado em especial a minha amiga Ivana Maciel que mesmo atarefada sempre tinha um tempinho para me ajudar seja esterilizando meus materiais, doando água destilada ou me ajudando a guardar os materiais do laboratório após um dia de trabalho. Obrigada pela sua companhia minha amiga!

Agradeço aos meus amigos André Martins, Chiara Lubich e Jamerson Aguiar pelo apoio, sugestões, troca de conhecimento, paciência e pela positividade transmitida a mim. Muito obrigada pessoal, desejo muito sucesso na vida profissional/pessoal de vocês.

Aos amigos e colegas da turma do BADPI - 2018 (André, Chiara, Davi, Eline, Fabiele, Gilvan, Harley, Hillary, Jessica, Guilherme, Lívia, Lídia, Luana, Mateus, Monique, Tais e Teófilo) por dividirem comigo essa experiência do mestrado.

Agradeço aos meus pais do coração Pereira e Suzana por terem assumindo a responsabilidade de criar mais duas filhas em uma época em que as coisas estavam tão difíceis para vocês, se hoje estou aqui realizando este mestrado é por sacrifício de vocês.

Agradeço aos meus padrinhos Linderjane e Marco Antônio por sempre compartilharem comigo suas experiências profissionais e pessoais, me orientando e incentivando a sempre buscar o meu melhor.

Agradeço a minha irmã Gabi pelos momentos de descontração, por ser minha ouvinte, minha amiga, minha confidente, és uma pessoa de coração incrível e de um otimismo invejável. Muito obrigada por ser meu porto seguro e meu ombro amigo nas horas difíceis.

Obrigado também aos meus sobrinhos do coração: Bia, Rakelly, André e as três Lolos por me levarem a loucura na maioria das vezes, mais também por me dar carinho e amor.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho o meu muito obrigada!

RESUMO

A migração é um evento biologicamente complexo e importante para o ciclo de vida de muitas espécies de peixes, sendo fundamental os estudos voltados para esta área, que possam auxiliar na elaboração de medidas de manejo e de conservação de espécies migradoras, geralmente de grande apreço comercial. Os movimentos migratórios do *Semaprochilodus taeniurus*, espécie comercialmente importante ainda são pouco conhecidos. A hipótese testada é que os indivíduos de *S. taeniurus* nascem e permanecem na fase inicial do seu ciclo de vida em rios de águas brancas. Nesse contexto, este estudo objetivou determinar os movimentos migratórios de *S. taeniurus* em diferentes rios da Amazônia Central a partir da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos. Foram extraídos otólitos (*asteriscus*) de 17 indivíduos, oriundos de quatro bacias: Amazonas, Solimões, Purus e Branco. As análises da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos foram realizadas por meio de espectrometria de massa, com fonte plasma e multicoletor, com ablação a laser (LAfs- MC-ICPMS). Os principais resultados mostram a presença de indivíduos com migrações entre bacias e na própria bacia em que foram capturados. Durante a primeira fase da vida dos indivíduos analisados foi identificado que alguns permaneceram em rios de águas brancas, com a presença de indivíduos nascendo em ambientes de águas pretas, como foi observado para alguns exemplares capturados no lago Puraquequara e rio Branco. Nosso estudo é o primeiro a validar o uso da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos para a descrição do comportamento migratório da referida espécie. Além disso, nossos dados mostram que a extensão da migração realizada entre bacias ocorre desde o rio Amazonas até o rio Branco. O presente estudo também observou indivíduos nascendo em ambientes de águas pretas, comportamento bem diferente ao reportado pela literatura. Em conjunto, esses resultados indicam que os movimentos migratórios de *S. taeniurus* são mais complexos do que se imaginava.

Palavras-chave: Jaraqui-escama-fina; isótopos estáveis; estrôncio.

ABSTRACT

Migration is a biologically complex and important event for the life cycle of many species of fish, and studies focused on this area are essential to improve the management and conservation measures for migratory species, generally of great commercial value. The migratory movements of *Semaprochilodus taeniurus* are still little known. There are gaps regarding the migration trajectory of this species throughout its life cycle. For this, the hypotheses were tested that specimens of *S. taeniurus* make migratory movements for reproductive and trophic reasons between basins or within the same basin; and that their birth location is mainly white water. In this context, this study aimed to determine the migratory movements of the commercially important species *S. taeniurus*, in different rivers of the Central Amazon using the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in the otoliths. Otoliths (*asteriscus*) were extracted from 17 individuals, proceeding from four basins: Amazonas, Solimões, Purus and Branco. The analysis of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of the otoliths was performed using mass spectrometry, with plasma source and multicolector, after a laser ablation (LAfs-MC-ICPMS). The main results show the presence of individuals with migrations between basins and in the basin where they were captured. During the first phase of life of the analyzed individuals were identified that most of them remain in the white waters, with the exception of one individual who presented his birth location corresponding to the same river in which it was collected, this being in the Branco river. Our study is the first to validate or use $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ the otoliths for the description of the migratory behavior of the referred species. In addition, our data show that the extent of migration carried out between basins may occur from the Amazon River to the Branco River. The present study also observed individuals being born in black water system (Igarapé). This behavior, if confirmed, is different from the one generally reported in the literature. Taken together, these results indicate that the migratory movements of *S. taeniurus* are much more complex than previously thought.

Keywords: Jaraqui-escama-fina; Stable isotopes; strontium.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
APRESENTAÇÃO	13
OBJETIVOS	14
Geral.....	14
Específicos.....	14
Capítulo I	15
Uso da microquímica de otólitos na determinação do padrão de migração do jaraqui-escama-fina (<i>Semaprochilodus taeniurus</i> , VALENCIENNES, 1821) em rios da Amazônia Central.....	16
RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO	17
MATERIAL E MÉTODOS	21
Área de estudo.....	21
COLETA DE DADOS	24
Amostragem dos peixes	24
Preparação das amostras de otólitos de <i>Semaprochilodus taeniurus</i>	25
Amostragem e processamento das águas.....	27
ANÁLISE DOS DADOS	28
Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Sr do otólito.....	28
Razão de $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ das águas.....	29
ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
RESULTADOS	31
Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do ambiente aquático	31
Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em otólitos de <i>S. taeniurus</i>	33
Movimentos migratórios de <i>S. taeniurus</i>	34
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sequência do emblocamento do otólito mostrando: Resina epóxi Redeleaser e forma de silicone utilizadas para o emblocamento dos otólitos (A); Localização do núcleo com auxílio de microscópio óptico (B); Máquina de corte micrométrica artesanal utilizada para o corte dos otólitos (C); Colagem dos cortes de otólitos em lâmina de vidro com o auxílio de cola Cristal Bond e placa aquecedora (D e E); Desgaste e polimento das amostras em discos de polimento (F). **Erro! Indicador não definido.**

Figura 2. Tomada dos dados biométricos dos exemplares de *S. taeniurus*: (A) medida de peso (Pt); (B) medida de comprimento padrão (Cp) e total (Ct). 25

Figura 3. Imagens da extração do par de otólitos asteriscus dos exemplares de *S. taeniurus* (a, b, c) e seu armazenamento. 26

Figura 4. Sequência do emblocamento do otólito mostrando: Resina epóxi Redeleaser e forma de silicone utilizadas para o emblocamento dos otólitos (A); Localização do núcleo com auxílio de microscópio óptico (B); Máquina de corte micrométrica artesanal utilizada para o corte dos otólitos (C); Colagem dos cortes de otólitos em lâmina de vidro com o auxílio de cola Cristal Bond e placa aquecedora (D e E); Desgaste e polimento das amostras em discos de polimento (F). 27

Figura 5. Sequência do emblocamento do otólito mostrando: Resina epóxi Redeleaser e forma de silicone utilizadas para o emblocamento dos otólitos (A); Localização do núcleo com auxílio de microscópio óptico (B); 28

Figura 6. Laser com plataforma automatizada (A); Sistema de controle do laser na plataforma automatizada (B) e Espectro de massa multicoletor (C). Fonte: Barroco (2019). 29

Figura 7. Sistema analítico MC-ICPMS. Fonte: Home page - Instituto de Geociências/UnB. 30

Figura 8. Mapa dos valores médios da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na água para cada ponto amostral: lago Puraquequara, rio Manacapuru, rio Branco e lago Surara. Valores em preto representam a variação dos valores da razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras de água do estudo; Valores médios em vermelho correspondem a razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proveniente

da literatura (dados de Queiroz et al., 2009; Santos et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Pereira et al., 2019). 32

Figura 9. Valores médios e amplitude das variações das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para a água dos locais de coleta (W= losango verde), nascimento (B= círculo azul) captura (C= quadrado vermelho) do jaraqui de escama fina. 34

Figura 10. Perfil isotópico dos exemplares de *S. taeniurus* coletados no rio Branco. Cada curva corresponde a ablação a laser (LAfs- MC-ICPMS) da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ao longo da secção transversal do otólito (núcleo a borda) de um peixe. Azul= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio Amazonas; Rosa= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio branco;..... 35

Figura 11. Perfil isotópico dos exemplares de *S. taeniurus* coletados no lago Puraquequara (A), rio Manacapuru (B) e lago Surara (C). Cada curva corresponde a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ao longo da secção transversal do otólito (núcleo a borda) de um indivíduo de *S. taeniurus*. Azul= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio Amazonas, Solimões e Purus; Rosa = faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio Branco; 38

APRESENTAÇÃO

Algumas espécies de peixes podem apresentar movimentos migratórios complexos ao longo do seu ciclo de vida (Barthem e Goulding, 1997; Ribeiro, 1983; Fernandes et al., 1997; Hauser et al., 2020). A espécie *Semaprochilodus taeniurus*, conhecida popularmente como jaraqui-escama-fina é um exemplo claro de peixe amazônico que apresenta essa complexidade de movimentos migratórios. São descritos dois principais movimentos migratórios para *S. taeniurus*: longitudinais e laterais (Ribeiro, 1983; Fernandes, 1997). As migrações longitudinais são os movimentos que ocorrem ao longo do canal principal do rio, enquanto as laterais se referem aos movimentos que os cardumes de peixes realizam entre a várzea e o canal principal do rio (Welcomme, 1979; Bittencourt e Cox-Fernandes, 1990; Fernandes, 1997). Entretanto, esses estudos não avaliam a realização desses movimentos ao longo da trajetória de vida (desde o nascimento até sua captura) e também não fornecem informações sobre local de nascimento. Nesse contexto, a microquímica de otólitos utilizada no presente estudo pode fornecer informações robustas sobre essas importantes lacunas acerca da história de vida desta espécie tão apreciada pelas populações ribeirinhas e urbanas e que já possui indícios de estoque pesqueiro sobreexplorado (Vieira, 2003; Castro e Vari, 2004). A análise da microquímica das várias camadas da matriz proteica e carbonato de cálcio depositadas sequencialmente nos otólitos ao longo dos anos possibilita a obtenção de informações que vão desde o seu nascimento até o momento da captura do peixe (Panfili et al., 2002). A eficácia deste método para elucidar questões sobre os padrões migratórios de peixes amazônicos vem sendo evidenciada em alguns estudos (Garcez et al., 2014; Pouilly et al., 2014; Hegg et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Hermann et al., 2016; Sousa et al., 2016; Hauser et al., 2019; Pereira et al., 2019; Barroco, 2019).

Nesse contexto, o presente estudo foi organizado em um único capítulo intitulado **“Uso da microquímica de otólitos na determinação do padrão de migração do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*, Valenciennes, 1821) em rios da Amazônia Central”**. Este foi o primeiro estudo a fazer uso deste método para exemplares de jaraqui-escama-fina (*S. taeniurus*) e a determinar se a razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nos otólitos dos indivíduos de jaraquis é eficaz para avaliar seus movimentos. Os resultados obtidos em relação aos movimentos migratórios realizados por esta espécie

poderão servir como base para elaboração de estratégias de conservação e manejo dessa espécie migradora.

OBJETIVOS

Geral:

Determinar, a partir da microquímica do otólito, os deslocamentos realizados ao longo da vida do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*) entre quatro diferentes sistemas aquáticos na Amazônia Central.

Específicos:

- 1) Estimar a variação das razões de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas dos quatro diferentes sistemas aquáticos (lago Surara - rio Purus; Manacapuru - rio Solimões; lago Puraquequara - rio Amazonas e rio Branco);
- 2) Estimar a variação das razões de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos dos jaraquis-escama-fina (*S. taeniurus*) obtidos em quatro diferentes sistemas aquáticos;
- 3) Comparar as variações das razões de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos dos jaraquis-escama-fina (*S. taeniurus*) com os valores da razão de estrôncio das águas dos quatro diferentes sistemas aquáticos;
- 4) Identificar o ambiente de permanência da primeira fase da vida dos jaraquis-escama-fina (*S. taeniurus*), coletados nesses diferentes corpos d'água, analisando a microquímica da parte central dos otólitos;
- 5) Descrever os movimentos migratórios realizados ao longo da vida dos jaraquis-escama-fina (*S. taeniurus*), entre os ambientes de água branca ou preta, por meio da microquímica dos otólitos (centro até a borda do otólito), que possam indicar a ocorrência de movimentos com finalidade trófica e reprodutiva.

Mc Comb, G.L; Pouilly, M; Amadio, S.A; Sousa, R.G.C; Freitas, C.E.C; Siqueira- Souza, F.K. 2021. Uso da microquímica de otólitos na determinação do padrão de migração do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*, VALENCIENNES, 1821) em rios da Amazônia Central. Artigo a ser submetido para o periódico *Acta Amazonica*.

Uso da microquímica de otólitos na determinação do padrão de migração do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*, VALENCIENNES, 1821) em rios da Amazônia Central.

Gisellen Lima MC COMB^{1*}, Marc POUILLY², Sidineia Aparecida AMADIO¹, Raniere Garcez Costa SOUSA³, Carlos Edwar de Carvalho FREITAS⁴, Flávia Kelly SIQUEIRA-SOUZA⁴

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil

²Institut de Recherche pour le Développement – Laboratoire BOREA (MNHN, CNRS, IRD, SU, UC, UA) Museum National d’Histoire Naturelle de Paris, França

³Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil

⁴Departamento de Ciências Pesqueiras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil

*Autor correspondente: gisellenmccomb@gmail.com

RESUMO

O presente estudo determinou, a partir da microquímica dos otólitos, o padrão de movimentação realizada ao longo da vida do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*) entre diferentes sistemas aquáticos na Amazônia Central. A hipótese testada foi de que os indivíduos *S. taeniurus* nascem e permanecem na fase inicial da sua vida em rios de águas brancas. As coletas dos peixes foram realizadas em quatro bacias: Amazonas (lago Puraquequara), Solimões (rio Manacapuru), Branco e Purus (lago Surara). Para tal, foram analisados 17 otólitos, sendo todos indivíduos adultos. As análises isotópicas de $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ dos otólitos foram realizadas por meio espectrometria de massa com ablação a laser (LAfs-MC-ICPMS). Os resultados mostraram que o jaraqui-escama-fina realiza uma migração muito mais complexa do que já foi registrado em outros estudos, visto que os transectos de $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ nos otólitos demonstraram movimentos de indivíduos entre bacias (rios Amazonas, Negro e Branco) e dentro de uma mesma bacia (rios Amazonas, Solimões e Purus). Estas informações mostram a importância que os ambientes de várzea e igapó tem para o ciclo de vida do jaraqui-escama-fina, uma importante espécie comercial para a região e a necessidade de que

mais estudos sobre o comportamento dessa espécie sejam conduzidos para auxiliar os planos de manejos voltados aos grupos de peixes migradores da bacia Amazônica.

Palavras-Chave: Perfil isotópico, local de nascimento, jaraqui, migração.

ABSTRACT

The present study aims, through the use of strontium isotopes, to determine the movements carried out throughout the life of the jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*) among different aquatic systems in Central Amazonia. It is hypothesized that the *S. taeniurus* individuals were born and remain in the initial phase of their life in the white waters and migrate in a second part of their life to insure their reproduction. Fish collections were carried out in four basins: Amazon (Puraquequara), Solimões (Manacapuru), Branco and Purus (Surara). For this, 17 otoliths were analyzed, all of them adults. The analyzes of $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ variations along otolith transects, representing the fish life history, were performed by means of laser ablation mass spectrometry (LAfs-MC-ICPMS). The results indicate that the jaraqui-escama-fina performs a much more complex migration than has been recorded in other studies, since the $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ variations along the otoliths indicate movements among basins (Amazonas, Negro and Branco rivers) and within the same basin (Amazonas, Solimões and Purus rivers). This information shows the importance of the várzea and igapó floodplains environments have for the life cycle of jaraqui-escama-fina and the need for further studies on the behavior of this species that may assist in future management plans for migratory fish species from the Amazon basin.

Keywords: Stable isotopes, birth location, jaraqui-escama-fina, migration.

INTRODUÇÃO

A migração é um evento biologicamente complexo e importante para o ciclo de vida de muitas espécies de peixes (Hilsdorf e Moreira, 2008) e devido a variedade de movimentos migratórios observados para os peixes como anadromia, catadromia, potadromia entre outros (McDowall, 1988), fica difícil estabelecer um único conceito que englobe todos esses movimentos. De forma mais simples, migração indica os

movimentos em massa e direcionados, dos indivíduos de uma espécie, em busca de um habitat adequado para continuar sua existência (Begon et al., 1995).

Em geral, as espécies de peixes migradores são de grande importância para a pesca comercial e de subsistência, representando a maioria das espécies desembarcadas na região Amazônica (Carosfeld et al., 2003; Barthen e Goulding, 1997; MPA, 2013). No âmbito da migração de peixes na bacia Amazônica, são considerados dois movimentos principais, caracterizados de acordo com a orientação geográfica que são realizados, sendo eles: os movimentos longitudinais (rio acima e rio abaixo) e laterais (entre o canal do rio e as áreas alagadas) (Goulding, 1979; Welcomme, 1979; Ribeiro, 1983; Fernandes, 1997).

As espécies da família Prochilodontidae por exemplo, são as mais exploradas pelas pescarias, com destaque para as espécies do gênero *Semaprochilodus* (*S. taeniurus* e *S. insignis*) que são amplamente distribuídas na bacia Amazônica (Batista et al., 2012), consideradas migradoras de média distância, podendo migrar (longitudinalmente e lateralmente) de 1000 a 1300km por ano, detritívoras (Ribeiro, 1983), r-estrategista (Winemiller, 1989) e com desova total ((Ribeiro, 1983),. Ambas espécies são muito apreciadas pela população rural e urbana no estado do Amazonas (Dias-Neto e Dias, 2015). Em 2018 e 2019 o total desembarcado em Manaus para essas espécies foi de 1.368,40 toneladas, demonstrando a grande importância comercial que esse grupo possui para atividade pesqueira do estado do Amazonas (Matos et al., 2021).

Um fator interessante em relação as espécies do gênero *Semaprochilodus* (*S. taeniurus* e *S. insignis*) é a complexidade de seus movimentos migratórios nos ambientes amazônicos, incluindo águas com características físico-químicas completamente distintas (Goulding, 1979; Ribeiro, 1983). Um modelo de migração foi proposto por Ribeiro (1983) por meio da observação direta do deslocamento dos cardumes, pela obtenção de dados biométricos e biológicos e de desembarque pesqueiro na região do baixo rio Negro que permitiu assim propor para as espécies desse gênero, principalmente para *S. insignis* (espécie com maior número de observações de cardumes), três tipos de migrações com diferentes finalidades denominadas como: migração reprodutiva, trófica e de dispersão, sendo esta última migração considerada dinâmica e complexa.

Conforme o modelo proposto por Ribeiro (1983) as migrações ocorrem da seguinte forma:

i) Migração reprodutiva - ocorre no início da enchente quando os cardumes de jaraquis adultos, com suas gônadas maduras descem os tributários do baixo rio Negro e seguem em direção as águas brancas do rio Solimões-Amazonas para desovar. As larvas resultantes da desova são carregadas pela correnteza rio abaixo adentrando as áreas de várzeas, onde existe um ambiente com condições favoráveis para sua sobrevivência (Vieira *et al.*, 2002);

ii) Migração trófica - é posterior a migração reprodutiva. Os jaraquis pós-desovados retornam aos tributários do baixo rio Negro para se alimentar nos igapós, permanecendo neste local por aproximadamente três meses.

iii) Migração dispersiva - é subdividida em três movimentos: rio Negro abaixo, rio Negro acima e um movimento rio acima nas águas brancas. O primeiro movimento (rio Negro abaixo), conhecido regionalmente como a baixada do peixe gordo corresponde aos indivíduos de jaraquis que permaneceram por três meses se alimentando nas áreas de igapó, estes saem dessas áreas durante o período da cheia se movimentando pela margem direita do rio Negro onde descem em direção às águas do rio Solimões-Amazonas. Neste rio a migração ocorre entre o tributário de águas pretas onde os jaraquis estão se alimentando e outro tributário localizado mais acima. O segundo movimento (rio Negro acima) ocorre em direção oposta a migração de dispersão - rio Negro abaixo, sendo esta pela margem esquerda durante o período da cheia e vazante. Esse movimento consiste na saída de indivíduos sub-adultos de jaraquis dos tributários de águas pretas do rio Amazonas em direção as águas do baixo rio Negro. Por fim, o último movimento (rio acima nas águas brancas) é caracterizado por jaraquis jovens vindos dos lagos de várzea (possivelmente dos rios Solimões e Amazonas), próximas ao rio Negro que adentraram neste rio durante a vazante, por ambas as margens, incorporando-se ao cardume de peixes adultos (Cunha, 2011).

No entanto, o autor menciona em seu estudo que é difícil estabelecer uma extensão absoluta das migrações dos jaraquis na Amazônia Central, visto que os diversos cardumes partem de diferentes pontos do sistema e percorrem rios distintos, dificultando a determinação precisa de onde começam e terminam seus ciclos anuais de

migrações. É importante observar também, que no estudo de Ribeiro (1983) as maiores observações de cardumes foram voltadas para o jaraqui-escama-grossa, com pouca informação acerca do jaraqui-escama-fina, ressaltando objeto do presente estudo.

Nessa perspectiva, as informações observadas sobre os processos migratórios dos jaraquis podem ficar ainda mais robustas com a descrição desses movimentos ao longo da vida desses indivíduos, desde o seu local de nascimento até o momento de sua captura (Sousa et al., 2016). Uma maneira eficiente de descrever essas informações em diferentes ambientes é fazer o uso da técnica de microquímica de otólitos evidenciada em vários estudos para espécies amazônicas (Garcez et al., 2014; Pouilly et al., 2014; Hegg et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Hermann et al., 2016; Sousa et al., 2016; Hauser et al., 2019; Pereira et al., 2019). Este método permite rastrear os movimentos dos peixes entre ambientes quimicamente distintos, além de poder elucidar aspectos relacionados com o local de nascimento e uso do ambiente (Barroco, 2019).

Os otólitos são pequenas estruturas calcificadas, localizadas no ouvido interno dos peixes (Campana, 1999). Conforme o indivíduo cresce são depositados, além de carbonato de cálcio e otolina, outros elementos traços (ex: Sr, Ba, Ca) que em pequenas concentrações variam de acordo com sua disponibilidade na água onde esses organismos vivem (Fowler et al., 1995). Essas estruturas, por serem metabolicamente inertes, ou seja, não sofrem transformações ou modificações químicas após sua formação, permitem o registro permanente das condições ambientais dos locais por onde os peixes passam durante sua vida, desde o momento da eclosão até a captura, assimilando as substâncias químicas da água (Campana e Neilson, 1985; Gauldie e Nelson, 1990).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo determinar, a partir da presença dos isótopos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos otólitos do jaraqui-escama-fina (*Semaprochilodus taeniurus*), sua movimentação realizada ao longo da vida entre diferentes sistemas aquáticos na Amazônia Central, buscando testar a hipótese de que indivíduos *S. taeniurus* permanecem na primeira fase da sua vida (nascimento) principalmente em ambientes de águas brancas. Com intuito de gerar informações que possam auxiliar na elaboração de estratégias de conservação e manejo dessa espécie migradora de grande valor nas pescarias e como fonte alimentar para as comunidades da região Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do rio Amazonas, Solimões, Purus e rio Branco foram selecionados por abranger áreas com características geológicas diferentes, de possível movimentação da espécie *S. taeniurus*, e visando o estabelecimento das proporções da razão isotópica de estrôncio (Sr) na água por onde possivelmente os peixes se deslocam. O mapa geológico da área de estudo presente na Figura 1 foi proposto para servir como base para a tomada de decisão da escolha destas bacias, uma vez que foi possível observar algumas distinções em relação a composição geológica do solo.

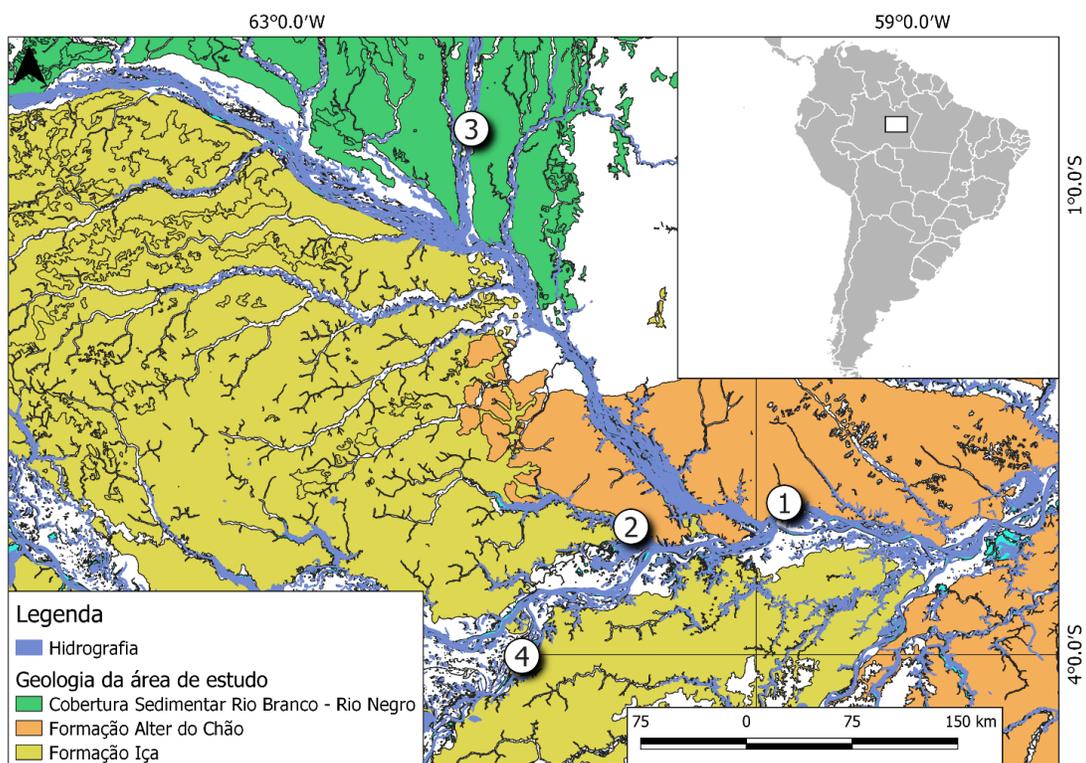


Figura 1. Mapa da área de estudo, destacando a composição geológica do solo ao longo dos quatro pontos amostrais: lago Puraquequara (1), rio Manacapuru (2), rio Branco (3) e lago Surara (4).

A bacia do rio Amazonas (Solimões/Amazonas) é limitada a Oeste pela Cordilheira dos Andes, ao Norte pelo Planalto das Guianas, ao Sul pelo Planalto Central e a Leste pelo Oceano Atlântico, por onde toda a água captada na bacia escoar (IBGE, 2010). Este corpo hídrico é alimentado ao longo de sua extensão por vários tributários de águas

brancas, a exemplo dos rios Madeira e Purus e outros de águas pretas a exemplo do rio Negro (Junk, 1983). Situada entre os dois hemisférios (Norte e Sul), esta importante bacia contribui com a alternância de sazonalidade do regime hidrológico, com imenso volume de água escoado resultando nas flutuações anuais do nível da água, denominado pulso de inundação (Junk et al., 1989) e com forte influência no funcionamento ecológico do sistema (Junk, 1989; Cunha e Pascoaloto, 2009).

A bacia do Rio Purus está localizada na porção sudoeste da Amazônia e tem o rio Purus como tributário principal (Silva et al., 2008), com suas nascentes nas colinas do arco Fitzcarrald, situado na floresta baixa peruana dos estados de Ucayali e Madre de Dios. É considerado um dos rios mais longos da América do Sul, percorrendo uma extensão em torno de 3380 km, e atravessando os estados Brasileiros do Acre e Amazonas, antes de fazer sua foz no rio Solimões. As águas brancas típicas de seus rios possuem elevada quantidade de material em suspensão e sais dissolvidos provenientes dos Andes e da erosão de sedimentos encontrados ao longo das bacias de drenagens (Sioli, 1968; Konhauser et al., 1994; Gaillardet et al., 1997). Vale destacar também que grandes afluentes de água preta, drenando os terrenos mais altos chamados 'terra firme', são encontrados nesta bacia, como os rios Surara, Tapauá e o Aiapuá (Vieira et al., 2002).

O rio Branco é o afluente mais importante da margem esquerda do rio Negro, drenando uma área total de 204.640km², e representando a maior parte do estado de Roraima (Vieira et al., 2002; Evangelista et al., 2008). Sua nascente principal está posicionada na bacia do Uraricoera, situada na região extremo oeste de Roraima (limite com a Venezuela), nas cabeceiras do rio Parima (ou rio Uatatas) (Sander, 2015). Apresenta um sistema hidrológico influenciado pelo clima da região e por padrões pluviométricos anuais (Ferreira et al., 2007). Os meses de abril á setembro correspondem a estação chuvosa, quando ocorre a elevação do nível de suas águas. Já nos meses de outubro á março o rio retoma aos níveis mais baixos (Freitas, 2001). As águas brancas do rio Branco diferem marcadamente de outros rios de água branca, como os rios Madeira e Amazonas, pois os sedimentos deste rio não vêm de montanhas "jovens" como os Andes, mas de planícies e grandes pântanos em suas cabeceiras (Boubli et al., 2015), características estas que contribuem para as particularidades desse

corpo hídrico cujo valores isotópicos são superiores aos de rios de água branca.

O estudo foi realizado em quatro pontos de coleta, sendo um ponto por bacia hidrográfica: **PT01** – lago Puraquequara (bacia do rio Amazonas) ($3^{\circ} 1'42.84''S/59^{\circ}49'16.67''O$), posicionado na calha do rio Amazonas, próximo ao encontro dos rios Negro e Solimões; **PT02** – rio Manacapuru (bacia do rio Solimões) ($3^{\circ}12'36.78''S/60^{\circ}45'45.70''O$), afluente do rio Solimões; **PT03** – canal do rio Branco (bacia do rio Branco) ($1^{\circ}18'46.73''S/61^{\circ}52'6.00''O$), um afluente do rio Negro; e **PT04** – lago Surara (bacia do rio Purus) ($4^{\circ} 8'46.23''S/ 61^{\circ}32'38.30''O$), localizado na calha do rio Purus (Figura 1).

Características geológicas dos rios Amazonas, Solimões e Purus

O lago Puraquequara no rio Amazonas apresenta característica geológica composta pela Formação Alter do Chão, enquanto o rio Manacapuru no rio Solimões apresenta característica geológica mista, composta pela Formação Alter do Chão e Formação Içá. Por fim, o lago Surara no rio Purus possui a Formação Içá como característica geológica predominante (Figura 1).

A **Formação Alter do Chão** aflora essencialmente na Bacia do Amazonas, sua era geológica é descrita como período Cretáceo, sendo composta por arenitos grossos, friáveis e de cores variadas, que recobrem os estratos paleozoicos (Caputo et al., 1971; 1972).

A **Formação Içá** se estende do alto Solimões até próximo a cidade de Manaus e possui como era geológica o período Cenozoico; É formada por arenitos e arenitos argilosos fluviais rosados e esbranquiçados, siltitos e argilitos friáveis amarelados, avermelhados, localmente ferruginizados que se assentam em discordância com a Formação Solimões (Maia et al., 1977).

Características geológicas do rio Branco

O rio Branco, apesar de ser considerado um grande afluente do rio Negro, possui poucos estudos que retratam suas características geológicas. Em poucos estudos realizados, como o de Latrubesse e Franzinelli (2005), é citado que a área de drenagem ocorre em áreas montanhosas de rochas cristalinas do estado de Roraima e da fronteira

entre o Brasil e a Guiana. A região do alto rio Branco está localizada na parte central do Escudo/Planalto das Guianas, uma das formações mais antigas do planeta, estando sua formação geológica associada ao período Pré-Cambriano (Silva, 2004; Sander, 2015). Entretanto, o trecho inferior da bacia (baixo rio Branco) exerce influência notável da química da água do baixo rio Negro e carrega sedimentos mais finos para o canal principal (Santos et al., 1985). Neste trecho predominam formações geológicas associadas ao Fanerozóico, onde prevalece áreas de baixa topografia, composta especialmente por **Formações sedimentares** (Sander, 2015) (Figura 1).

COLETA DE DADOS

Amostragem dos peixes

No lago Puraquequara (5 indivíduos) os espécimes foram adquiridos no mês de abril de 2019. Nos rios Manacapuru (4 indivíduos) e Branco (5 indivíduos) os exemplares de jaraquis foram obtidos nos meses de dezembro/2018 e setembro/2019, enquanto que no lago Surara (3 indivíduos) os peixes foram capturados nos meses de fevereiro e junho de 2019, a partir da pesca de subsistência de pescadores locais.

Em cada ponto de coleta, os jaraquis capturados pelos pescadores eram armazenados em freezers na sua própria residência. Uma vez que os peixes foram recolhidos com os pescadores estes foram acondicionados em caixas térmicas para o transporte até ao Laboratório de Ecologia Pesqueira, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM para os procedimentos de análise. Em laboratório houve a coleta de dados biométricos: medidas de comprimento padrão (Cp) e total (Ct) (cm) com auxílio de um ictiômetro, e peso total (Pt) (g) com uso de uma balança digital (Figura 2). Quando possível, durante a biometria, foi feita uma análise macroscópica das gônadas para a identificação do estágio gonadal dos espécimes, conforme a classificação proposta por Vazzoler (1996).

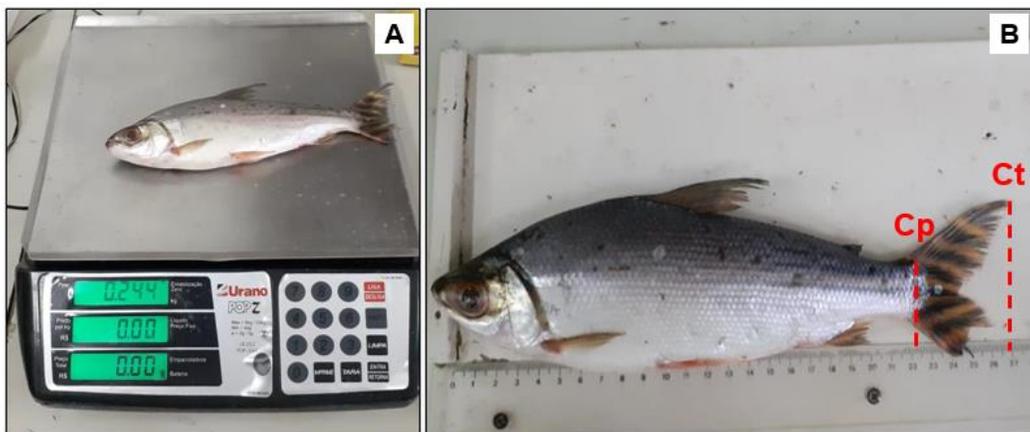


Figura 1. Tomada dos dados biométricos dos exemplares de *S. taeniurus*: (A) medida de peso (Pt); (B) medida de comprimento padrão (Cp) e total (Ct).

A classificação de indivíduos jovens e adultos foi feita com base no comprimento de maturação sexual determinado por Vazzoler e Amadio (1989a) para o *S. taeniurus* (Ct = 24,8cm). Exemplares com comprimento total igual ou acima de 24cm foram considerados adultos.

Preparação das amostras de otólitos de *Semaprochilodus taeniurus*

Cada jaraqui foi submetido a um corte transversal na cabeça (com auxílio de bisturi e pinça) na parte posterior do osso craniano (logo após o opérculo) para a extração dos otólitos como foi descrito por Panfilli et al. (2002). Os otólitos retirados foram os *asterisci*, pois sendo os maiores em espécies de peixes da ordem Characiformes, foram mais fáceis de serem retirados (Panfilli et al., 2002). Em seguida, os otólitos foram enxaguados três vezes em água deionizada ultra-pura, secos, identificados (direito ou esquerdo) e acondicionados em tubo de eppendorf (Figura 3).

O processo de preparo dos otólitos consistiu no emblocamento das estruturas em formas de silicone retangulares imersos em resina epóxi Redelease 2001 (superfície côncava do otólito voltada para cima) até a obtenção de placas resistentes. Com o auxílio do microscópio óptico, os otólitos resinados tiveram limites de cortes definidos em função do núcleo, que foi localizado previamente, sendo estes cortados transversalmente por meio de uma máquina de corte micrométrica artesanal, de baixa velocidade, equipada com disco diamantado de corte (Buehler, Düsseldorf, Alemanha). Em seguida, os otólitos foram fixados sobre lâminas de vidro com auxílio de cola termoplástica (*crystal bond*) e

de uma placa aquecedora para facilitar o desgaste das amostras usando discos de polimento (800, 1200 e 2400 micras) umedecidos com água destilada. Para o acabamento final, as amostras foram polidas com pó de alumínio (óxido de Alumínio 3 μ m) até que o núcleo de cada otólito ficasse visível, exigindo várias repetições deste processo (Figura 4).

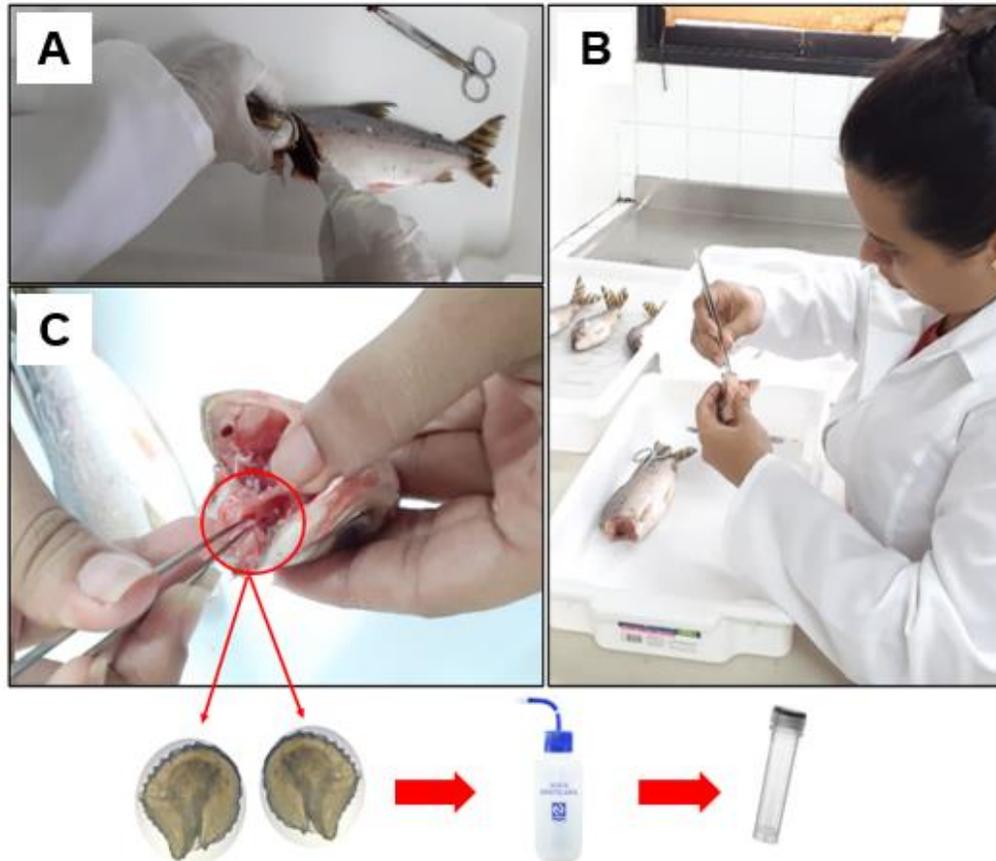


Figura 2. Imagens da extração do par de otólitos asteriscus dos exemplares de *S. taeniurus* (a, b, c) e seu armazenamento.

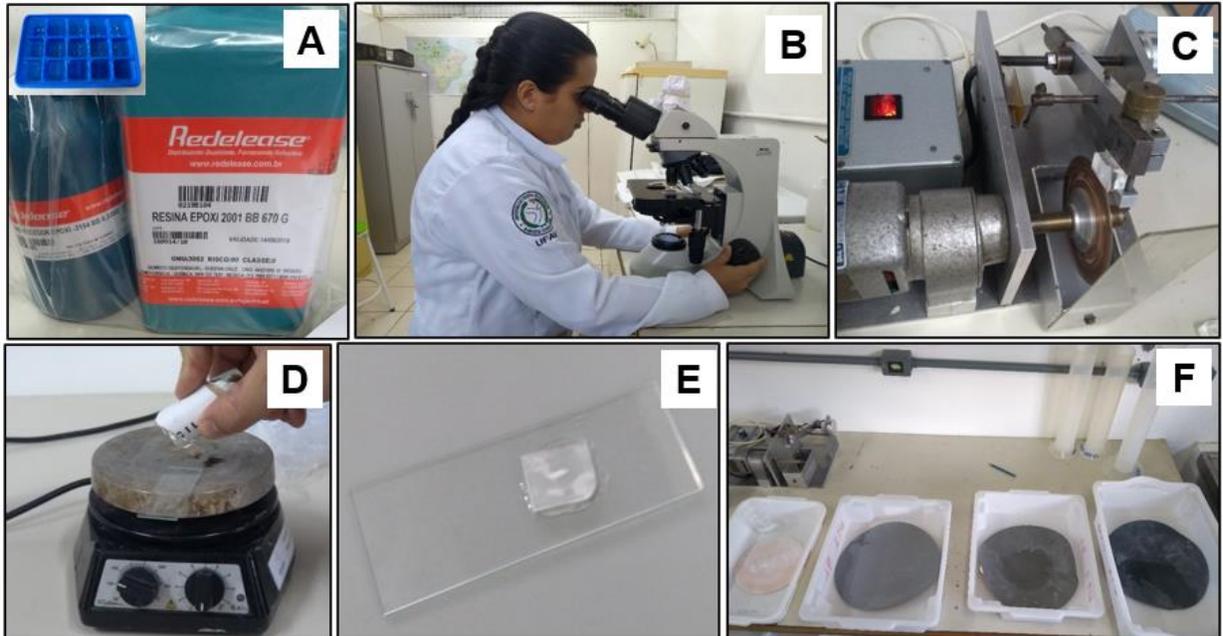


Figura 3. Sequência do embocamento do otólito mostrando: Resina epóxi Redeleaser e forma de silicone utilizadas para o embocamento dos otólitos (A); Localização do núcleo com auxílio de microscópio óptico (B); Máquina de corte micrométrica artesanal utilizada para o corte dos otólitos (C); Colagem dos cortes de otólitos em lâmina de vidro com o auxílio de cola Cristal Bond e placa aquecedora (D e E); Desgaste e polimento das amostras em discos de polimento (F).

Amostragem e processamento das águas

As coletas de amostras de águas nas áreas de estudo foram realizadas durante a seca, entre os meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Um total de doze (12) amostras foram obtidas, sendo três réplicas por ponto de coleta, em cada uma das quatro bacias: Amazonas, Solimões, Branco e Purus.

Todas as coletas foram realizadas na proa da voadeira com motor desligado, voltada contra o fluxo de água do rio a fim de evitar qualquer tipo de contaminação proveniente dos gases da queima do combustível. As amostras foram coletadas próximo a região de superfície da água (cerca de 30 cm de profundidade), e inseridas, cada uma, em garrafas de 2L previamente lavadas com ácido nítrico 5%, e acondicionadas em caixas térmicas com gelo. Posteriormente, foram filtradas com uso de membranas lisas de 0,22- μm (Millipores) e armazenadas em frascos de 500 ml (Nalgon) com ácido HNO_3 supra puro bidestilado para posterior análise laboratorial (Figura 5). O processo de filtragem das amostras de água foi feito em três laboratórios: laboratório Temático de

Biologia Molecular (INPA), de Microbiologia de Alimentos e de Geoquímica (todos da UFAM) (Figura 5).

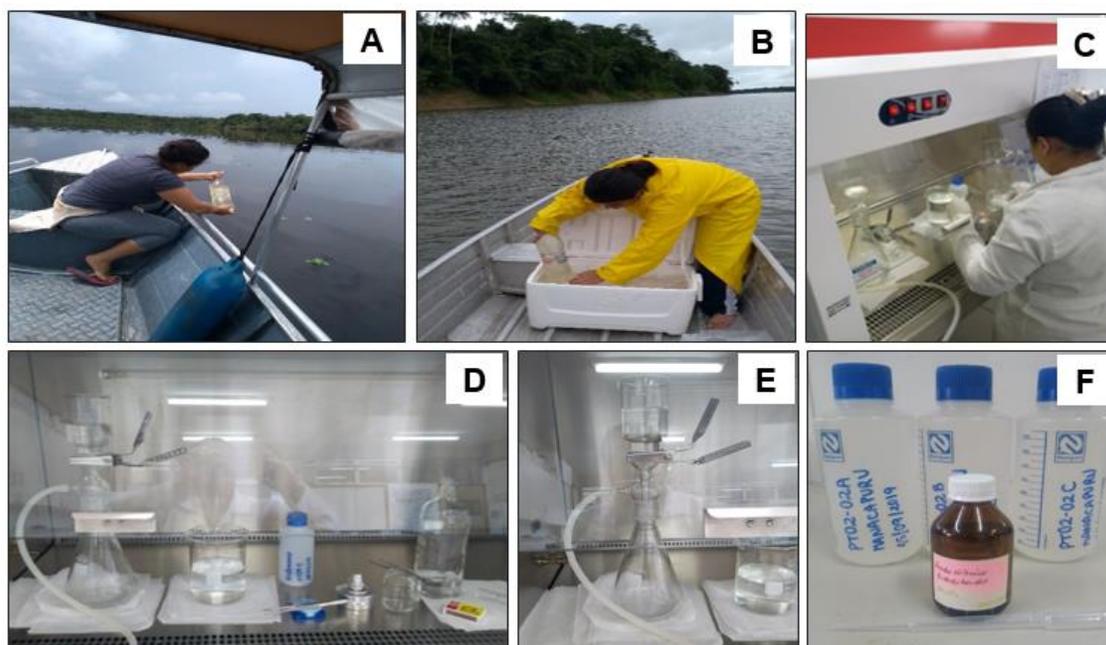


Figura 4. Sequência do emblocamento do otólito mostrando: Resina epóxi Redeleaser e forma de silicone utilizadas para o emblocamento dos otólitos (A); Localização do núcleo com auxílio de microscópio óptico (B);

ANÁLISE DOS DADOS

Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Sr do otólito

As análises da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos otólitos dos peixes foram realizadas na França, no Laboratoire de Chimie Analytique Bio-inorganique et Environnement (LCABIE) do Institut Pluridisciplinaire de Recherche sur l'Environnement et les Matériaux (IPREM) na Université de Pau et des Pays de l'Adour. O procedimento consiste na queima a laser da superfície do otólito e uso de espectrômetro de massa composto de Nu Plasma LAFS-MC-ICPMS acoplado a um sistema de ablação a laser Alfamet femtosencond – fs (Nexeya SA, Canejan – França), (Figura 6).

A ablação a laser ocorreu ao longo de um eixo perpendicular às marcas de crescimento, partindo do núcleo (eclosão do peixe) em direção à borda (momento de captura do peixe) do otólito. A fim de evitar o efeito de explosão sobre o núcleo, a ablação foi iniciada a 200 μm antes do núcleo. Para verificar a confiabilidade das medidas de

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nas análises, foi realizada uma checagem da calibração, duas vezes por dia, do equipamento quanto à eficácia das leituras da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, utilizando um pellet de material de referência certificado e produzido pelo Instituto Nacional para Estudos Ambientais do Japão.

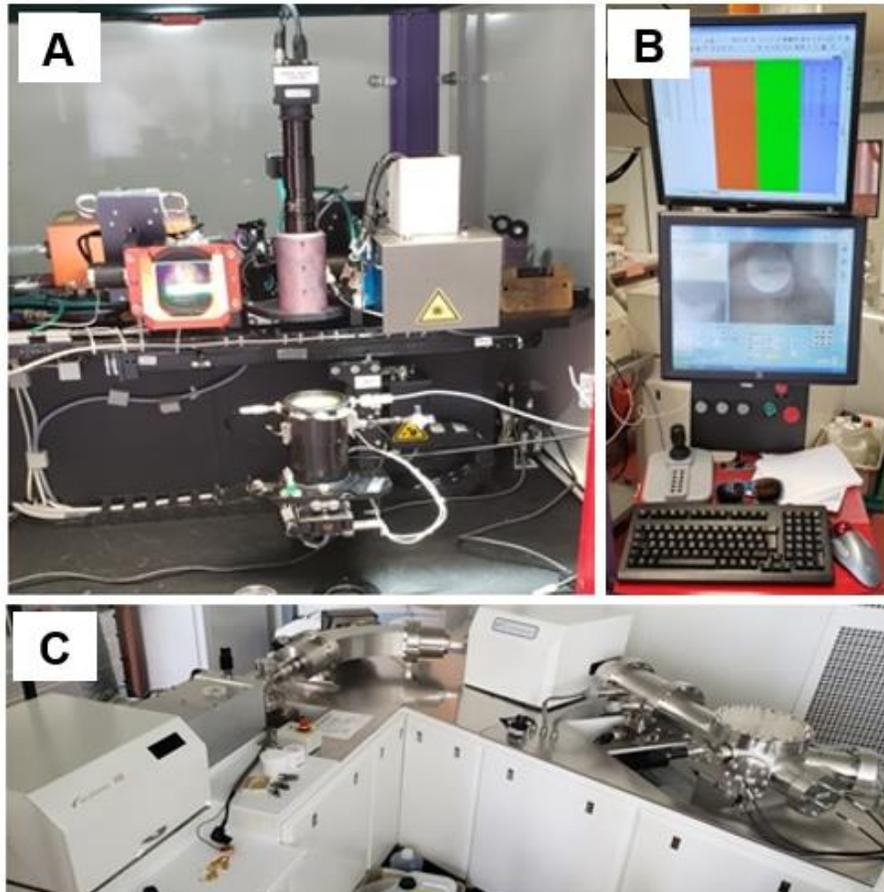


Figura 5. Laser com plataforma automatizada (A); Sistema de controle do laser na plataforma automatizada (B) e Espectro de massa multicoletor (C). Fonte: Barroco (2019).

Razão de $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ das águas

Todas as amostras de água foram analisadas no Laboratório de estudos Geocronológicos, Geodinâmicos e Ambientais da Universidade de Brasília – UNB, mediante o uso do sistema analítico MC-ICPMS (Figura 7).

Os processos de separação e digestão foram realizados em sala limpa de ISO classe 2. De cada amostra foram evaporados 500 ml de água (filtrada e acidificada), obtendo-se cerca de 50ng de Sr (equivalente a 15 ou 20 ml da amostra de água). Posteriormente, este resíduo foi dissolvido em 1 ml de ácido nítrico 2N, com a separação

dos isótopos de Sr ocorrendo através de trocas iônicas (Eichrom Sr-Spec®). As razões isotópicas foram medidas através um espectrômetro de massa por termo-ionização (N-TIMS) THERMO SCIENTIFIC TRITON. A acurácia das análises foi controlada pela análise de padrão internacional NBS987 (com valor médio de $0,71027 \pm 1$).



Figura 6. Sistema analítico MC-ICPMS. Fonte: Home page - Instituto de Geociências/UnB.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente se utilizou um teste de Kruskal-Wallis para verificar se os valores das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras de água são diferentes entre os pontos de coleta. Este teste foi realizado entre as médias das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nas amostras de águas dos quatro pontos de coleta do estudo.

Utilizou-se uma segunda análise de Kruskal-Wallis, onde foi usada a média dos valores equivalentes a uma distância de 100 micras da parte final dos otólitos (momento de captura) que correspondem aos últimos registros da razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do ambiente que foram incorporados nos otólitos, e com isso podemos comparar as médias das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do “local de captura” entre os pontos de coleta do estudo.

Um terceiro teste de Kruskal-Wallis foi usado com intuito de identificar se há

diferença entre as médias das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ referente ao “nascimento” (média dos valores referentes a distância de 100 micras do núcleo dos otólitos) entre os quatro pontos de coleta do estudo. Em todos os casos, quando necessário, foi aplicado o teste *post-hoc* de Pairwise Wilcox. O nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R Core Team (R Core Team 2019).

Para identificar os movimentos migratórios dos jaraquis dentro das bacias e entre as bacias, foram plotados gráficos dimensionais, onde no eixo “y” foram colocados os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas dos locais amostrais (valores máximos e mínimos) e no eixo “x” foi exibido os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ registrados ao longo do transecto iniciado no centro do otólito até a borda.

A interpretação dos movimentos migratórios dos jaraquis foi considerada em dois aspectos: i) migrantes entre bacias, para os peixes que apresentaram variações dos valores radiogênicos do $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre os ambientes avaliados; e ii) migrantes na mesma bacia”, para os indivíduos que não apresentaram variações nos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre os ambientes.

RESULTADOS

Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do ambiente aquático

A partir das amostragens de água foi possível diferenciar quimicamente a maioria dos locais de coleta do presente estudo (Tabela 1), (Figura 8).

A partir da análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis realizada entre os valores das médias das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas das amostras de águas dos pontos de coletas avaliados no presente estudo com o local de captura dos peixes, notou-se diferença significativa ($p= 0,004$; $df= 3$). Com o teste de Pairwise Wilcox foi possível obter diferença significativa entre os locais amostrais, com a exceção apenas para o lago Surara e rio Manacapuru; e rio Branco e lago Puraquequara, ao comparar as assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre esses locais, não foi constatado diferença química entre as suas águas (Quadro 1).

Tabela 1. Valores da razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas dos pontos de coleta do estudo.

Pontos de coleta	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\text{SE}$	Latitude	Longitude	Data
PT01A – L. Puraquequara	0.73224+/-14	2°58'42.45"S	59°49'54.06"O	11/12/2018
PT01B – L. Puraquequara	0.73250+/-4	2°59'45.00"S	59°49'33.80"O	11/12/2018
PT01C – L. Puraquequara	0.72838+/-6	3° 1'34.30"S	59°49'16.30"O	11/12/2018
PT02A – R. Manacapuru	0.70869+/-4	3°12'56.60"S	60°44'40.70"O	12/12/2018
PT02B – R. Manacapuru	0.70862+/-5	3°10'27.40"S	60°52'7.00"O	12/12/2018
PT02C – R. Manacapuru	0.70881+/-2	3° 8'35.60"S	60°58'22.80"O	12/12/2018
PT03A – R. Branco	0.72900+/-4	1° 3'46.70"S	61°51'8.20"O	20/12/2018
PT03B – R. Branco	0.72879+/-5	1°12'39.70"S	61°51'17.40"O	20/12/2018
PT03C – R. Branco	0.72926+/-1	1°22'23.20"S	61°51'58.50"O	20/12/2018
PT04B – L. Surara	0.71148+/-1	4° 8'51.68"S	61°32'2.97"O	17/01/2019
PT04C – L. Surara	0.71093+/-1	4° 8'13.50"S	61°34'37.60"O	17/01/2019

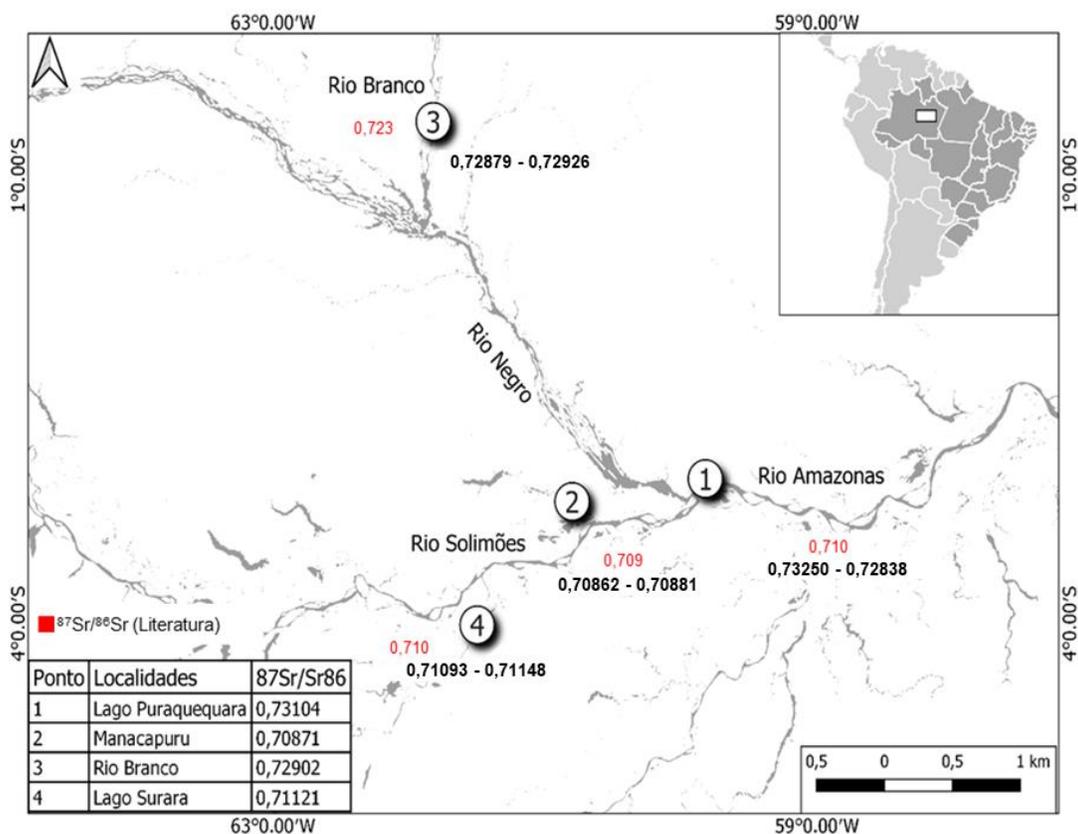


Figure 7. Map of the mean values of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the water for each sampling point: Puraquequara Lake, Manacapuru River, Branco River and Surara Lake. Values in black represent the variation of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio values of the study water samples; Mean values in red correspond to the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio from the literature (data from Queiroz et al., 2009; Santos et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Pereira et al., 2019).

Quadro 1. Resultado estatístico pela comparação através do Teste de Pairwise Wilcox. Letras ab acusam diferença estatísticas.

Grupo analisado		Pairwise Wilcox
Rio Branco	Manacapuru	ab
Rio Branco	Purus (lago Surara)	ab
Puraquequara	Manacapuru	ab
Puraquequara	Purus (lago Surara)	ab
Purus (lago Surara)	Manacapuru	aa
Rio Branco	Puraquequara	Aa

Razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em otólitos de *S. taeniurus*

Um total de 17 otólitos de jaraquis foram analisados. O comprimento total (Ct) dos peixes variou de 24,0 a 32,0 cm (Apêndice 1).

Ao compararmos as médias das variações das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ referente a primeira fase da vida dos peixes (nascimento) com os pontos de coleta (Apêndice 1), observou-se que não houve nenhuma diferença significativa ($p= 0,1721$; $df=3$), indicando que os peixes nasceram em ambientes com valores da razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similares aos de ambientes com águas brancas.

A razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do momento de captura dos peixes foi significativamente diferente entre as áreas de estudo ($p= 0,01753$; $df=3$) (Apêndice 1). No entanto, o teste a posteriori indicou que essas diferenças são significativas para dois pares de comparações: rio Manacapuru e rio Branco; e Puraquequara e rio Manacapuru. As demais comparações não foram significativas.

A análise de variância exibiu diferença significativa entres os valores isotópicos dos otólitos do local de nascimento e captura com as frações isotópicas das águas dos ambientes de coletas (Wilks lambda= 0,00472, $F_{(9, 26,922)} = 24,016$, $p < =0,001$), estes foram visualizados por meio de um box-plot (Figura 9).

Considerando-se a fase de vida de *S. taeniurus* e as características do ambiente aquático de cada local, verificou-se que os peixes provenientes do lago Puraquequara apresentaram assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diferentes, indicando que estes peixes nasceram

e foram capturados em locais distintos do ponto de coleta da água. Os peixes coletados no rio Manacapuru e no lago Surara apresentaram assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similares entre os diferentes momentos de fase da vida, indicando que os peixes não saíram das bacias Solimões e Purus, respectivamente.

Os peixes amostrados no rio Branco aparentam terem nascido em um ambiente diferente do qual foram capturados. Entretanto, esses espécimes foram capturados no mesmo local dos pontos de coleta da água.

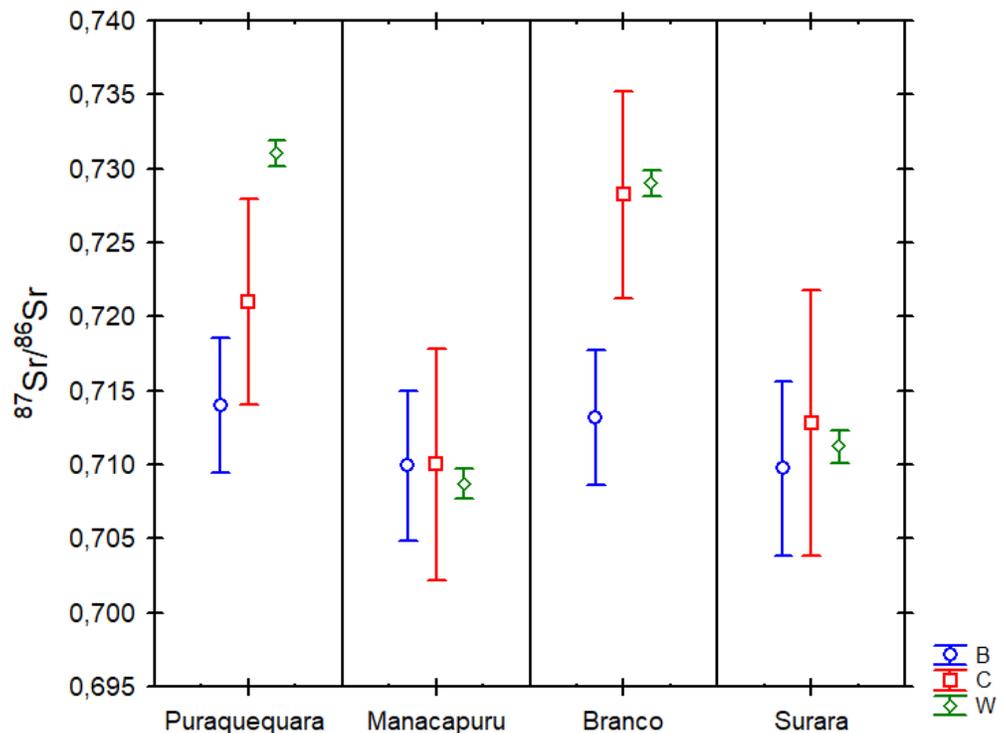


Figura 8. Valores médios e amplitude das variações das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para a água dos locais de coleta (W= losango verde), nascimento (B= círculo azul) e captura (C= quadrado vermelho) do jaraqui de escama fina.

Movimentos migratórios de *S. taeniurus*

Peixes amostrados no rio Branco: Migração entre bacias

Dos cinco indivíduos amostrados na região do baixo rio Branco, próximo à área de confluência com o médio rio Negro, percebe-se que três peixes exibiram movimentos entre bacias com águas menos e mais radiogênicas. As assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da região central dos otólitos desses espécimes (peixes S5A, S6B e S10B) sugere que estes passaram a sua primeira fase de vida em ambientes de águas brancas (menos

radiogênicas), com valores semelhantes aos das águas do rio Amazonas (0,710). Posteriormente, esses exemplares migraram para águas com razão de estrôncio (Sr) elevadas, similar ao das águas dos rios Negro e Branco (mais radiogênicas), apresentando suas assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da parte final dos seus otólitos (momento de captura) com valores $> 0,720$. O peixe S1B também passou parte da sua primeira fase de vida em ambientes de águas brancas antes de migrar para um ambiente com razão de estrôncio (Sr) elevada. Entretanto, as assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da região central de seu otólito (0,726) indica o nascimento desse indivíduo em um local diferente dos demais, como sendo em águas mais radiogênicas como as do rio Negro e do rio Branco.

Para um indivíduo (S3B) não foi observado grandes variações na razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, demonstrando que este permaneceu toda sua vida em ambiente com nível de estrôncio similar ao de rios de águas brancas como as do rio Amazonas, isso é pouco provável, levando em consideração que os peixes foram coletados no rio Branco. Neste caso, trata-se de um resultado intrigante, que deve ser confirmado em outro momento, com o manuseio minucioso nas análises, a fim de descartar qualquer tipo de problema no momento da preparação desses otólitos em particular (Figura 10).

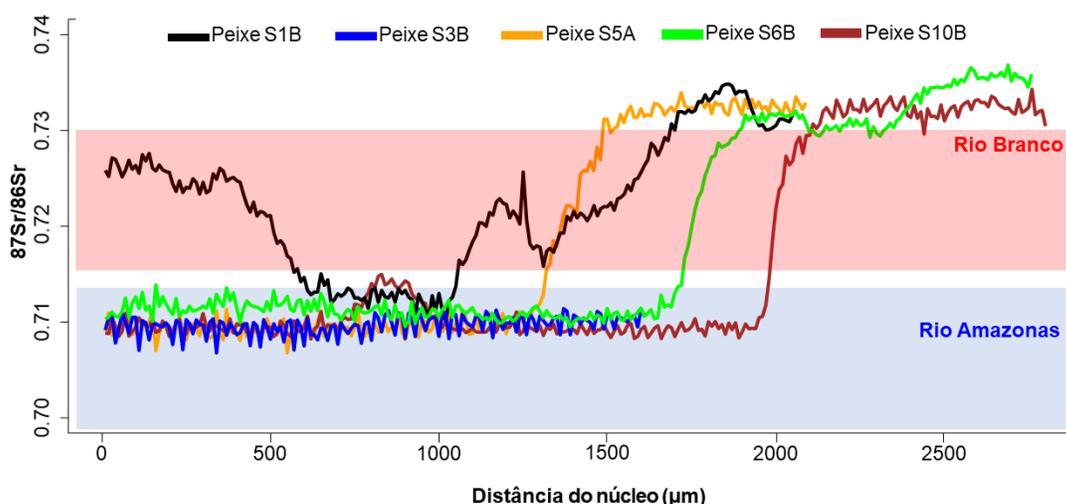


Figura 9. Perfil isotópico dos exemplares de *S. taeniurus* coletados no rio Branco. Cada curva corresponde a ablação a laser (LAfs- MC-ICPMS) da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ao longo da secção transversal do otólito (núcleo a borda) de um peixe. Azul= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio amazonas; Rosa= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio branco;

Lago Puraquequara, Surara e rio Manacapuru: Migração na mesma bacia

Peixes amostrados no lago Puraquequara – Bacia do rio Amazonas

Dos cinco indivíduos amostrados no lago Puraquequara, três apresentaram um nível baixo da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na região nuclear do otólito (S54B; S55B; S58B), indicando que estes espécimes também passaram a sua primeira fase de vida em águas brancas menos radiogênicas, como as do rio Amazonas (0,710), os quais migraram para águas com níveis mais elevados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Para o exemplar S53B não foi possível identificar em que ambiente este permaneceu durante a fase inicial de vida, uma vez que seus valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se encontravam acima do valor descrito para o rio Amazonas e abaixo do valor encontrado no presente estudo para as águas do lago Puraquequara (0,728-0,732). Um espécime (S56B) exibiu assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na região nuclear de seu otólito com valores radiogênicos elevados em relação aos demais peixes capturados, apontando que este peixe nasceu em um local diferente, semelhante ao de ambientes de águas pretas.

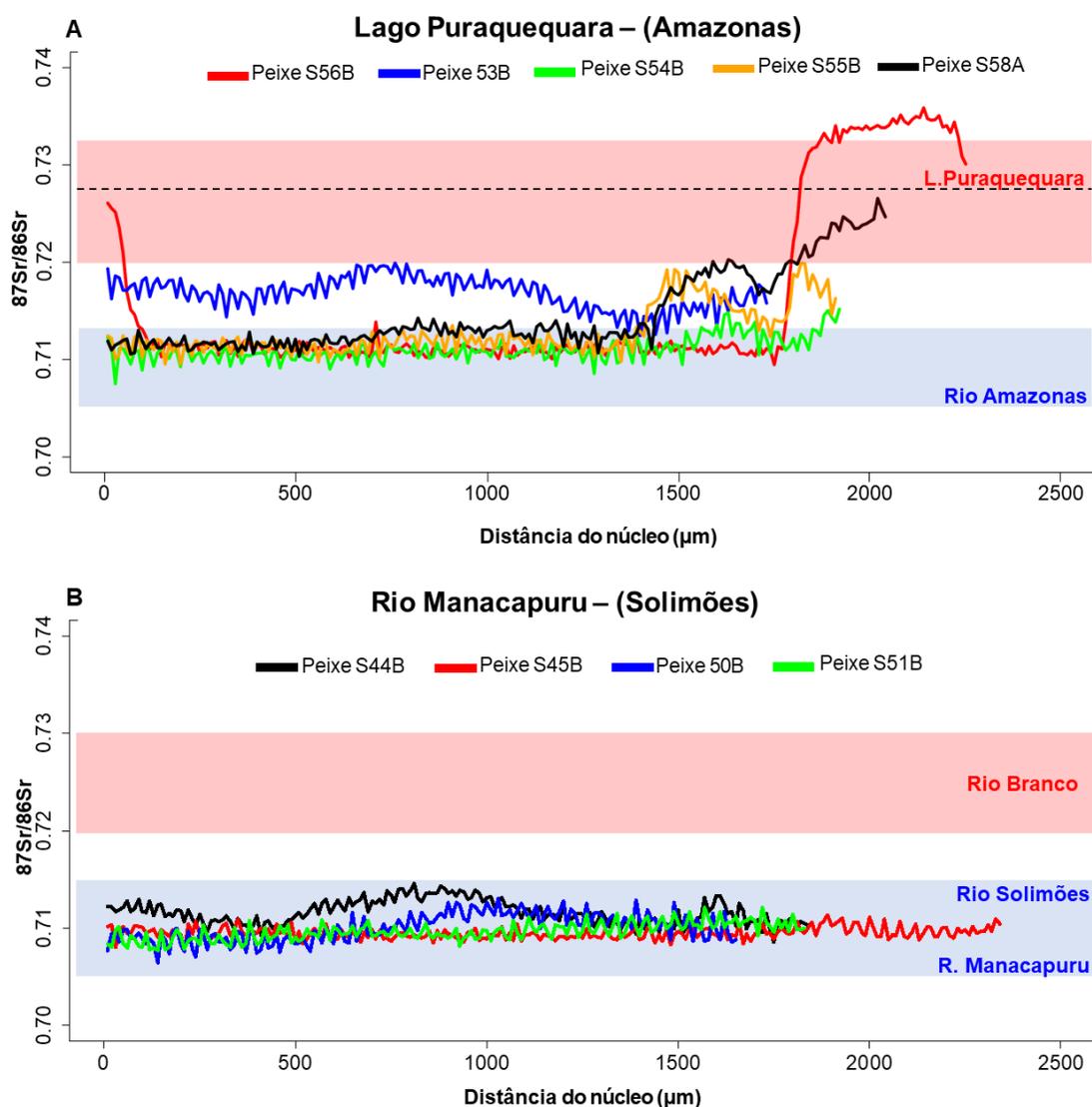
A maioria dos indivíduos (S54B; S55B; S58B; S53B) apresentaram a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos seus otólitos inferiores ao da assinatura isotópica da água do lago Puraquequara, entretanto todos os espécimes demonstram uma tendência de movimentação para este local (Figura 11a).

Peixes amostrados no rio Manacapuru – Bacia do rio Solimões

Para os exemplares de *S. taeniurus* coletados neste rio, não foi possível identificar com clareza se esses peixes nasceram no canal do rio Solimões ou dentro do próprio rio Manacapuru em decorrência dos valores muito próximos da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que estes locais possuem entre si. Além disso, esses indivíduos após seu nascimento podem ter se movimentado ao longo da sua vida em um mesmo ambiente (rio Manacapuru) ou em outros ambientes com nível da $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ muito semelhantes dentro de sua própria bacia até terem sido capturados no rio Manacapuru. Entretanto, o que podemos confirmar com base nas assinaturas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos desses peixes do presente estudo é que esses indivíduos passaram toda sua vida dentro da própria bacia do rio Solimões, onde nasceram e foram capturados (Figura 11b).

Peixes amostrados no lago Surara – Bacia do rio Purus

Assim como os peixes amostrados no rio Manacapuru, os indivíduos capturados no lago Surara (afluente do rio Purus) apresentou valores baixos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em seus otólitos ao longo de sua vida, indicando que a movimentação desses peixes aconteceu dentro da própria bacia do rio Purus. Apesar dos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na parte final dos otólitos de dois espécimes (S24B e S27A) estarem um pouco acima dos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do lago Surara (0,710 - 0,711) encontrado no presente estudo, se observa uma tendência de movimentação desses indivíduos para este lago (Figura 11c).



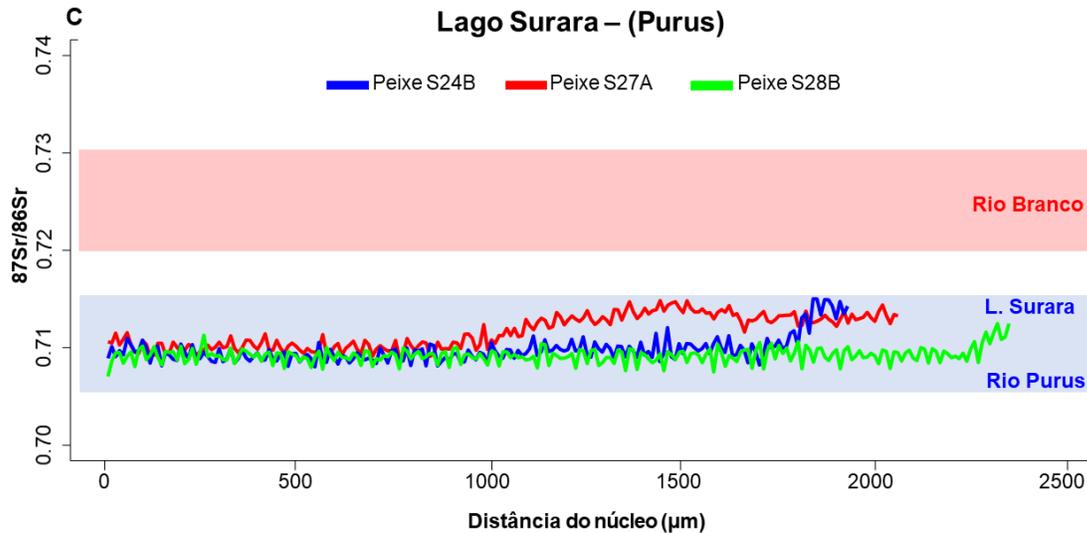


Figura 10. Perfil isotópico dos exemplares de *S. taeniurus* coletados no lago Puraquequara (A), rio Manacapuru (B) e lago Surara (C). Cada curva corresponde a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ao longo da seção transversal do otólito (núcleo a borda) de um indivíduo de *S. taeniurus*. Azul= faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio Amazonas, Solimões e Purus; Rosa = faixa de variação da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do rio Branco;

DISCUSSÃO

A migração é um evento fundamental para a sobrevivência e manutenção das espécies de peixes, visto que aumenta as possibilidades das espécies colonizarem novas áreas para alimentação, desova e refugio (Goulding, 1980; Ribeiro, 1983; Fernandes, 1997). A complexidade do comportamento migratório de *S. taeniurus* registrada por Ribeiro (1983) pode ser corroborada neste estudo, por meio das observações de que os indivíduos da espécie podem habitar ambientes tanto de águas brancas quanto de águas pretas ao longo do ciclo de vida, entre diferentes bacias e dentro de uma mesma bacia, com a maioria dos indivíduos vivendo o início da sua vida em ambientes de águas brancas.

Os comprimentos para os indivíduos no baixo rio Branco ($26,0 - 32,0 \pm 2,33$ cm) foram maiores que os indivíduos capturados no lago Puraquequara ($25,5 - 29,0 \pm 1,56$ cm), rio Manacapuru ($25,0 - 27,0 \pm 0,96$ cm) e rio Purus ($24,0 - 26,0 \pm 1,0$ cm). Essa observação de indivíduos maiores de *S. taeniurus* ocorrendo no rio Branco já havia sido relatada no estudo de Ribeiro (1983), os quais cita que os jaraquis das regiões da boca do rio Branco e do médio e alto rio Negro são de maior porte, onde não existem registros da pesca desses indivíduos pelos pescadores da região do baixo Rio Negro.

O perfil isotópico da fração de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ observados nos 17 otólitos de *S. taeniurus*, indicaram comportamentos migratórios distintos entre os grupos de peixes capturados na bacia do rio Branco quanto aos demais pontos de coleta do estudo. O comportamento observado para três indivíduos amostrados no rio Branco (S5A; S6B; S10B), confirma que essa espécie migra entre rios de bacias distintas, corroborando com os estudos de Goulding, (1979) e Ribeiro, (1983).

Contudo, para explicar a movimentação desses peixes entre bacias foram levantadas duas hipóteses no presente estudo: 1) os três exemplares (S5A; S6B; S10B) nasceram no rio Amazonas, migraram pelo baixo rio Negro até atingirem as águas do rio Branco; ou 2) podem ter nascido em algum afluente do rio Negro com valor de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similar ao das águas brancas, migrando em seguida para as águas do rio Branco.

Um estudo elaborado por Lima e Araújo-Lima (2004) por exemplo, avaliou a presença de larvas e juvenis de nove espécies de peixes, incluindo as do gênero *Semaprochilodus* sp., em rios de águas brancas, sugerindo a permanência dessas larvas em rios de águas brancas, mas não em rios de águas pretas, corroborando assim como a nossa primeira hipótese de que o nascimento de indivíduos de *S. taeniurus* ocorre em águas brancas (rio Amazonas). Entretanto, com base no perfil isotópico do indivíduo S1B não podemos descartar totalmente a possibilidade de peixes nascendo em afluentes do rio Negro.

Existe a possibilidade que alguns afluentes do rio Negro da margem direita tenham valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de suas águas semelhantes aos de ambientes de águas brancas. No entanto, ainda não existem estudos que comprovem essa hipótese, apenas alguns indícios são observados no estudo de Garcez et al., (2014) em que foram encontrados em otólitos de jovens de *Cichla temensis* capturados no rio Cuiuni, valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ menos radiogênicos (0,713) próximos ao de ambientes de águas brancas.

Para o presente estudo a hipótese mais provável é a primeira, visto que existem mais informações científicas para o embasamento da mesma. Além disso, comparando o comportamento migratório encontrado para os três exemplares mencionados anteriormente na primeira hipótese com os movimentos descritos por Ribeiro (1983) (reprodutivo, trófico e dispersivo) é observado que os indivíduos de jaraquis capturados

no rio Branco, estariam realizando apenas um dos três movimentos de dispersão indicados por Ribeiro (1983), rio Negro acima, que consiste no deslocamento de indivíduos dos ambientes de águas brancas do rio Amazonas, os quais adentram no rio Negro pela margem esquerda até alcançarem os habitats de pré-desova, durante o período de seca. Entretanto, observamos a finalidade do deslocamento entre os rios Amazonas, Negro e Branco no presente estudo pode ser de caráter reprodutivo e não dispersivo como mostra o estudo de Ribeiro (1983), uma vez que esses peixes se encontravam com gônadas em estágio de maturação avançada (estádio III).

Os resultados encontrados para a maioria jaraquis capturados no rio Branco (S5A; S6B; S10B), se diferencia ao observado por Ribeiro (1983) que estabeleceu que a migração desta espécie ocorria com indivíduos nascendo no rio Amazonas e migrando somente até as águas do rio Negro (Ribeiro, 1983). O presente estudo mostra que a migração do *S. taeniurus* pode ser um pouco mais extensa, baseada na hipótese de que os valores baixos encontrados da razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,70928 – 0,71110) encontrados na região do núcleo do otólito desses exemplares, correspondem ao período de nascimento nas águas brancas do rio Amazonas, os quais migraram subindo as águas do rio Negro, cujo valor radiogênico é de 0,716 (Duponchelle et al., 2016), até entrarem em águas com assinaturas isotópicas mais elevadas nas águas do rio Branco (0,72879 – 0,72926).

Ao observar o perfil isotópico de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do otólito de um espécime de *S. taeniurus* (S1B) do rio Branco, levantamos também duas possibilidades para seu comportamento migratório: a primeira é que esse indivíduo nasceu no rio Branco, migrou para algum afluente do rio Negro com valor da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, similar aos de ambientes de águas brancas e depois retornou para seu local de nascimento, sendo este um indicativo de um possível comportamento de *natal homing* para o jaraqui-escama-fina *Semaprochilodus taeniurus* no rio Branco; a segunda indica que esse exemplar nasceu no rio Branco, migrou pelo baixo rio Negro em direção as águas do rio Amazonas, retornando depois para o seu local de nascimento. Ainda, por ser o rio Branco um local de pré-desova do *S. taeniurus*, o nascimento desses indivíduos neste local é previsível (Ribeiro, 1983; Vieira et al., 2002). Sendo assim, a confirmação de indivíduos de *S. taeniurus* nascendo em afluentes de águas pretas do rio Negro com valor similar aos das

águas brancas do rio Amazonas, contrasta o resultado encontrado por Lima e Araújo-Lima (2004), indicando que a desova e eclosão das larvas dos indivíduos desta espécie em ambientes de águas pretas é possível. Além disso, o comportamento de *natal homing* já foi observado anteriormente para espécies de peixes amazônicos como a dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), porém em nosso estudo apenas um indivíduo apresentou este comportamento necessitando assim de uma investigação mais minuciosa sobre os movimentos migratórios realizados por indivíduos de *S. taeniurus* no rio Branco.

A maioria dos valores da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ equivalente ao momento de captura dos peixes coincidem com os dos pontos de coleta do qual foram amostrados. A exceção foi para o lago Puraquequara, onde foi constatado valor elevado de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de suas águas, similar ao encontrado para ambientes de águas pretas, como as águas do médio rio Negro com valores de $\text{Sr} > 0,730$ (Duponchelle et al., 2016). Por se tratar de um local próximo ao rio Negro, os indivíduos de *S. taeniurus* podem utilizar este lago apenas como uma rota para alcançarem às águas do rio Negro, não incorporando a assinatura isotópica deste local em intervalo de tempo pequeno (Yokouchi et al., 2011).

Pelos baixos valores isotópicos observados no início da vida de três exemplares de *S. taeniurus* capturados no lago Puraquequara (S54B; S55B; S58A), sugere-se que o nascimento desses indivíduos possam ter ocorrido nas águas brancas do rio Amazonas, de onde migraram para o lago Puraquequara onde os valores isotópicos de estrôncio são mais radiogênicos. Esta observação está relacionada ao padrão de migração dispersiva, sobre águas brancas, proposta por Ribeiro (1983), que evidenciou a migração dos indivíduos do lago Puraquequara para as águas do rio Negro.

Ainda, observamos que indivíduos de *S. taeniurus* (Peixes S56B e S53B) podem ter nascido em afluentes de águas mais radiogênicas do rio Amazonas, que pode estar relacionada a algum afluente de águas pretas localizado mais acima no rio Amazonas, de onde migraram em direção do lago Puraquequara.

Além disso, alguns afluentes de águas pretas como rio Preto da Eva e rio Urubu, ambos localizados na margem esquerda do rio Amazonas, são relatados por pescadores como sendo de áreas de desova da espécie *S. taeniurus* (Vieira et al., 2002). A movimentação de indivíduos desta espécie migrando rio acima, pelo rio Amazonas,

saindo destes dois afluentes (Ribeiro, 1983), sustenta a hipótese do nascimento de indivíduos desta espécie em afluentes de águas pretas no rio Amazonas. No entanto essa afirmativa, necessita de ser investigada mais a fundo em pesquisas futuras.

Ao analisar os perfis isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos peixes capturados no rio Manacapuru e no lago Surara, observou-se que estes indivíduos possuem um comportamento migratório distinto dos outros locais avaliados. Esses espécimes, apresentam deslocamentos dentro da mesma bacia, entre o canal do rio e seus afluentes de águas pretas. Esse tipo de padrão migratório coincide com o postulado na literatura sobre as migrações laterais, que consistem em movimentos dos cardumes de peixes entre a várzea e o canal principal do rio (Bittencourt e Cox-Fernandes, 1990; Fernandes, 1997). Além disso, podem se tratar de populações que não realizam migrações entre bacias de rios de águas brancas e pretas. Mas, isso não impede que esses peixes realizem migração dentro do sistema de águas brancas.

A exploração das fontes autotróficas de energia de forma diferenciada e de acordo com o ambiente como foi observado para o *S. insignis* no estudo de Soares (2017) demonstra que o comportamento migratório pode estar relacionado com o tipo de fonte autotrófica consumida pelas espécies do gênero *Semaprochilodus* sp. nos ambientes de águas brancas e pretas. Foi evidenciado nesse mesmo estudo que em águas pretas como as do rio Negro o jaraqui explora o perífiton, enquanto que em águas brancas como as do rio Solimões, esta espécie explora o sedimento do fundo da várzea, consumindo fontes autotróficas como plantas terrestres/macrófitas C3 e fitoplâncton. Com base nessas informações, observamos que os ambientes de águas brancas são locais importantes para a primeira fase da vida dos indivíduos de *S. taeniurus*, corroborando com as informações obtidas no perfil isotópico da maioria dos exemplares coletados neste estudo, onde se confirma essa permanência em águas brancas durante a primeira fase da vida. Os ambientes de águas pretas, no entanto, estão associados à fase adulta destes indivíduos que migram para estes ambientes com o intuito de consumir o perífiton.

Goulding (1980) já discutiu o fato das espécies da ordem Characiformes, incluindo a espécie *S. taeniurus*, apresentar o desenvolvimento inicial da sua vida associada aos ambientes de águas brancas. Este autor sugeriu que ao contrário dos rios de água branca, a maior transparência da água nos rios de água preta e clara, favoreceria a maior

predação de ovos e larvas. Além disso, esse mesmo autor considerou outros motivos como: 1- ambientes pobres em nutrientes minerais como os ambientes de águas pretas levariam a uma baixa produtividade primária, incapaz de sustentar a biomassa de larvas e juvenis destas espécies; 2- a menor abundância de herbáceas aquáticas nos rios de águas pretas e clara seria limitante para a disponibilidade de habitats para as larvas e juvenis e 3- haveria uma pressão de competição por alimento caso a grande quantidade de pequenas espécies de Characiformes e de juvenis de outras espécies de grande porte desovassem nos rios de águas pretas.

Todavia, levando em consideração as hipóteses levantadas por Goulding (1980), e o que observamos neste estudo, juntamente com os resultados de Soares (2017), é possível considerar que o comportamento migratório desta espécie pode ser considerado como uma característica adaptativa desenvolvida para conseguir explorar os diferentes ambientes e suas fontes autotróficas, suprimindo a necessidade de que esse indivíduo tem de acordo com sua fase de vida nos ambientes de águas pretas ou brancas. Entretanto, o comportamento migratório que ocorre em rios de águas brancas, os quais não se tem a presença de indivíduos migrando para o rio Negro, pode-se considerar os lagos decantados de águas pretas presentes neste ambiente, desempenhando um papel similar aos de rios de águas pretas.

As florestas inundadas de várzea e igapó presente em rios de águas brancas e pretas, respectivamente são considerados habitats importantes para a dinâmica do comportamento migratório da espécie *S. taeniurus*. Observa-se que nos rios de águas brancas como as do rio Amazonas, as larvas são carregadas das águas do canal deste rio que possui produção biológica insuficiente para sustentar as mesmas (Forsberg et al., 1988) para os lagos de várzea, que são utilizados também por várias espécies de Characiformes como áreas de proteção e alimentação na fase juvenil (Leite et al., 2002; Lima e Araújo-Lima 2004; Mounic-Silva e Leite, 2013).

Ademais, os baixos valores da $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da região central da maioria dos otólitos de *S. taeniurus*, indicaram que o desenvolvimento inicial da vida dos indivíduos dessa espécie nos rios de águas brancas, utilizam as várzeas como áreas de recrutamento, uma vez que esses ambientes podem garantir o sucesso da espécie nas fases iniciais do ciclo de vida (Beck et al., 2001). Contudo, as florestas de igapó também podem servir

como habitats tróficos e de pré-desova, considerados ambientes importantes para a fase adulta dos *S. insignis* (Ribeiro, 1983).

CONCLUSÕES

O presente estudo é pioneiro em estimar a fração isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e a validar o uso deste método em otólitos de *Semaprochilodus taeniurus*, além de proporcionar informações sobre os movimentos migratórios dessa espécie, entre bacias de rios diferentes e entre sub-bacias de um mesmo rio. Também exibiu as rotas migratórias inéditas, com jaraquis nascidos no rio Amazonas que se deslocaram até o rio Branco (onde foram capturados), indicando que este rio seja também uma área de reprodução para o jaraqui-escama-fina.

Esse estudo confirmou que a maioria dos indivíduos de *S. taeniurus* passa a primeira fase da sua vida (local de nascimento) em ambientes de águas brancas. No entanto, para os indivíduos capturados no rio Branco sugerimos uma investigação mais minuciosa em relação a possibilidade do nascimento de indivíduos de *S. taeniurus* em afluentes de águas pretas nas proximidades desse rio. Assim como, para os indivíduos coletados no rio Amazonas (lago Puraquequara) onde também observou a presença de valores elevados da fração isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ no centro do otólito de alguns indivíduos de *S. taeniurus*.

Esta dissertação também permitiu indicar pela primeira vez um possível comportamento de *natal homing* para a espécie de *S. taeniurus* do rio Branco. No entanto, sugerimos a realização de estudos futuros, abrangendo um número maior de indivíduos para verificar este perfil de migração. Além disso, o perfil isotópico encontrado nos indivíduos de *S. taeniurus* capturados nos rios de água branca: Solimões e Purus confirma a hipótese mencionada em estudos anteriores em que não há a descrição de movimentos migratórios da espécie *S. taeniurus* retornando desses rios para águas do rio Negro para se reproduzir.

Diante das informações levantadas no presente estudo, destaca-se a importância de avaliar os movimentos migratórios dos peixes amazônicos, especialmente das espécies de interesse comercial a fim de esclarecer melhor as informações sobre o seu ciclo de vida, de forma a auxiliar na elaboração de planos de manejo e de conservação.

APÊNDICE 1

Apêndice 1. Valores médios da razão isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos otólitos de *S. taeniurus* nos locais amostrados; dp=desvio padrão; F2= fêmea em maturação; F3= fêmea madura; EG= estágio gonadal; ND= não identificado. Identificação do estágio gonadal por meio da escala de maturação gonadal de Vazzoler (1996).

Pontos de coleta	Código Indivíduo	Cp (cm)	Ct (cm)	Razão isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos				Sexagem e EG
				média (\pm dp) Nascimento	Mín – Máx	média (\pm dp) M. Captura	Mín – Máx	
Puraquequara	S53B	22,0	25,5	0,71757 \pm 0,00101	0,71613 - 0,71926	0,71644 \pm 0,00087	0,71546 - 0,71762	ND
Puraquequara	S54B	22,0	25,5	0,71031 \pm 0,00139	0,70741 - 0,71219	0,71337 \pm 0,00137	0,71091 - 0,71510	F2
Puraquequara	S55B	22,5	26,5	0,71136 \pm 0,00105	0,70999 - 0,71253	0,71755 \pm 0,00164	0,71456 - 0,71981	F2
Puraquequara	S56B	23,5	28,0	0,71937 \pm 0,00535	0,71305 - 0,72601	0,73331 \pm 0,00167	0,73001 - 0,73499	F2
Puraquequara	S58B	25,5	29,0	0,71155 \pm 0,00073	0,71049 - 0,71293	0,72434 \pm 0,00097	0,72337 - 0,72649	F2
Manacapuru	S44B	20,5	25	0,71211 \pm 0,00044	0,71165 - 0,71291	0,71029 \pm 0,00074	0,70858 - 0,71105	F2
Manacapuru	S45B	21,5	26	0,70975 \pm 0,00070	0,70800 - 0,71029	0,70992 \pm 0,00050	0,70928 - 0,71089	F3
Manacapuru	S50B	21,5	25	0,70913 \pm 0,00064	0,70773 - 0,70985	0,70962 \pm 0,00116	0,70856 - 0,71165	F3
Manacapuru	S51B	22,5	27	0,70869 \pm 0,00080	0,70799 - 0,71013	0,71021 \pm 0,00062	0,70957 - 0,71145	ND
Rio Branco	S1B	22,5	26	0,72614 \pm 0,00070	0,72513 - 0,72713	0,73074 \pm 0,00054	0,73004 - 0,73168	F3
Rio Branco	S3B	24,5	28,5	0,70973 \pm 0,00099	0,70775 - 0,71085	0,71024 \pm 0,00059	0,70924 - 0,71125	F3
Rio Branco	S5A	26,5	31	0,70951 \pm 0,00084	0,70857 - 0,71091	0,73241 \pm 0,00060	0,73149 - 0,73345	ND
Rio Branco	S6B	28,0	32	0,71110 \pm 0,00088	0,71021 - 0,71255	0,73557 \pm 0,00062	0,73446 - 0,73678	F3
Rio Branco	S10B	25,5	29	0,70928 \pm 0,00081	0,70846 - 0,71088	0,73219 \pm 0,00102	0,73047 - 0,73431	F2

Lago Surara	S24B	20,5	24	$0,70979 \pm 0,00069$	0,70886 - 0,71091	$0,71425 \pm 0,00077$	0,71292 - 0,71497	F2
Lago Surara	S27A	22,5	26	$0,71050 \pm 0,00071$	0,70939 - 0,71152	$0,71328 \pm 0,00054$	0,71245 - 0,71436	F2
Lago Surara	S28B	21,5	25	$0,70894 \pm 0,00093$	0,70702 - 0,71011	$0,71096 \pm 0,00115$	0,70845 - 0,71242	F2

REFERÊNCIAS

Barroco, L. S. A. 2019. O efeito de barragens hidrelétricas sobre populações de peixes de rios de águas pretas na amazônia: uma abordagem com o uso de marcadores biogeoquímicos e moleculares. Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos), Universidade Federal do Amazonas. 104p.

Barthem, R. B.; Goulding, M. 1997. Os bagres balizadores: ecologia, migração e Zonservação de peixes amazônicos. Sociedade Civil Mamirauá/MCT/CNPQ: Brasília, p. 130.

Batista, V. S.; Isaac, V. J.; Fabre, N. N.; Gonzalez, J. C. A.; Almeida, O. T.; Rivero, S.; Junior, J. N. O.; Ruffino, M. L.; Silva, C. O.; Saint-PAUL, U. 2012. Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada. Brasília: IBAMA/ ProVárzea. 278.

Begon, M., Harper, J. L. E Townsend, C. R. 1985. Ecologia: indivíduos, populações e comunidades. *Editora Omega, S. A.*, Barcelona, 886 pp.

Bittencourt, M. M; Cox-Fernandes, C. 1990. Peixes Migradores Sustentam Pesca Comercial. *Ciência Hoje*. 11(64):20-24.

Boubli, J. P; Ribas, C; Lynch Alfaro, J. W; Alfaro, M. E; da Silva, M. N. F; Pinho, G. M; Farias, I. P. 2015. Spatial and temporal patterns of diversification on the Amazon: A test of the riverine hypothesis for all diurnal primates of Rio Negro and Rio Branco in Brazil. *Mol Phylogenet Evol*. 82 Pt B:400 – 412p.

Campana, S.E, Neilson JD. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can J Fish Aquat Sci* 42:1014-1032.

Campana, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188:263-297.

Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N. N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Belém: Petrobras. Relatório interno.

Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N. N. 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas: Histórico e Atualização. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1972. Belém. Anais. Belém: SBG, v. 3, p. 35-46.

Carolsfeld, J; Harvey, B; Ross, C; Baer, A. 2003. Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status. World Fisheries Trust – International Development Reserach Centre. Ottawa, Canadá, p. 372.

Cunha, H. B; Pascoaloto, D. 2009. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Manaus: Governo do Estado do Amazonas; Secretaria de Estado da Cultura; CCPA. 160 p.

Dias-Neto, J; Dias, J. F. 2015. O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca. 1ª ed., Brasília: IBAMA. 288p.

Duponchelle, F; Pouilly, M; Pecheyran, C; Hauser, M; Renno, J.F; Panfili, J; Darnaude, A. M; Garcia-Vasquez, A; Carvajal-Vallejos, F; Garcia-Davila, C; Doria, C; Berail, S; Donard, A; Sondag, F; Santos, R.V; Nuñez, J; Point, D; Labonne, M; Baras, E. 2016. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *Journal of Applied Ecology*, v. 53, p. 1511-1520.

Evangelista, R..O; Sander, C; Wankler, F.L. 2008. Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima. In: SILVA, P.R.F.; OLIVEIRA, R.S. (Org.). Roraima 20 anos: As geografias de um novo estado. Boa Vista: Editora da UFRR, p. 142-167.

Fernandez, C. C. 1997. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish*, v. 6, p. 36-44.

Ferreira E; Zuanon J; Forsberg B; Goulding M; Briglia-Ferreira, S. R. 2007, Rio Branco: Peixes, ecologia e conservação de Roraima. Amazon Conservation Association (ACA), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Sociedade Civil Mamirauá, 201 p.

Fisher, T.R. 1978. Plâncton e produção primária em sistemas aquáticos da bacia Amazônica Central. *Acta Amazonica*, 8(supl.): 43-54. Forsberg, B.R. 1985. The fate of planktonic primary production. *Limnology and Oceanography*, 30(4):807-819.

Freitas, A. Geografia e História de Roraima. Boa Vista: Revista e ampliada, 2001. 160p.

Forsberg, B.R. 1985. The fate of planktonic primary production. *Limnology and Oceanography*, 30(4):807-819.

Fowler, A. J.; Campana S. E.; Jones CM.; Thorrold, S. R. 1995b. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otoliths using laser ablation ICPMS. *Can J Fish Aquat Sci* 52:1431-1441.

Gaillardet, J; Dupré, B; Allègre, C; Négrel, P. 1997. Chemical and Physical Denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology*, 142: 141-173p.

Garcez, R.C.S.; Humston, R.; Harbor, D. e Freitas, C.E.C. 2014. Otolith geochemistry in Young-of-the-year peacock bass *Cichla temensis* for investigatin natal dispersal in the Rio Negro (Amazon – Brazil) river system. *Ecology of Freshwater*.

Goulding, M. 1979. Ecologia da Pesca no rio Madeira. INPA, Manaus. 172pp.

Goulding, M. 1980. *The Fishes and the Forest: Explorations in Amazonian natural history*. Los Angeles, University of California Press.

Gauldie, R.W; Nelson, D.G.A. 1990. Otolith growth in fishes. *Comp. Biochem. Physiol. A* 97 (2), 119-135p.

Hauser, M; Doria, C. R. C; Santos, R. V; García-Vasquez, A; Pouilly, M; Pecheyran, C.; Ponzevera, E;Torrente-Vilara, G; Bérail, S; Panfili, J; Darnaude, A; Renno, J. F; García-Dávila, C; Nunez, J; Ferraton, F; Vargas, G; Duponchelle, F. 2019. Shedding light on the migratory patterns of the Amazonian goliath catfish, *Brachyplatystoma platynemum*, using otolith 87Sr:86Sr analyses. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 1–12.

Hauser, M; Duponchelle, F; Hermann, T.W; Limburg, K.E; Castello, L; Stewart, D.J; Torrente-Vilara, G; García-Vásquez, A; García-Davila, C; Pouilly, M; Pecheyran, C; Ponzevera, E; Renno, J-F; Moret, A.S; Doria, C.R.C. 2019. Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshwater Biology*, 65(2): 325-336. <https://doi.org/10.1111/fwb.13427>.

Hegg, J. C; Giarrizzo, T; Kennedy, B. P. 2015. Diverse early life-history strategies in migratory Amazonian catfish: implications for conservation and management. *Plos One*, v. 10, n. 7, p. 1-19.

Hermann T. W; Stewart D. J; Limburg K. E; Castello L. 2016. Unravelling the life history of Amazonian fishes through otolith microchemistry. *Royal Society Open Science*, v. 3 n. 6, p. 1-16. (doi: 10.1098/ rsos.160206).

Hilsdorf, A. W. S.; Moreira, R. G. 2008. Piracema: por que os peixes migram?. *Scientific American Brasil*, São Paulo, p. 76-80.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas nacional do Brasil. 2010. Rio de Janeiro.

Junk, W. J. 1983. Aquatic habitats in Amazonia. *The Environmentalist*, Vol 3, Supplement 5, pp. 24-34.

Junk, W. J; Bayley, P. B. e Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: Proc. Intern. Large River Symp. (LARS). D.P. Dodge. Can. Spec. Publ. *Fish. Aquat. Sci.* Eds v.106: 110-127.

Konhauser, K.O.; Fyfe, W.S.; Kronberg, B.I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical Geology*, 111:155-175.

Latrubesse, E. M; Franzinelli E. 2005. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large

anabranching tropical systems. *Geomorphology*, 70: 372-397.

Leite R. G.; Araújo-Lima, C.A.R.M.; Victoria, R. L.; Martinelli, L. A. 2002. Stable isotope analysis of energy sources for larvae of eight fish species from the Amazon floodplain. *Ecology of Freshwater Fishes*, 11:56-63p.

Leite, R.G., Silva, J.J., & Freitas, C. 2006. Abundância e distribuição das larvas de peixes no Lago Catalão e no encontro dos rios Solimões e Negro, Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, 36(4), 557-562p.

Lima, A.C., & Araújo-Lima, C.A.R.M. 2004. The distributions of larval and juvenile fishes in Amazonian rivers of different nutrient status. *Freshwater Biology*, 49, 787-800.

Maia, R. G. N; Godoy, H. K; Yamaguti, H. S; Moura, P. A; Costa, F. S. F; Holanda, M. A.; Costa, J. A. 1977. Projeto Carvão no alto Solimões. Relatório Final, CPRM-DNPM, 137pp.

Matos, O. F. 2020. Avaliação do efeito da pesca nos estoques pesqueiros na Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Ciências Pesqueiras nos Trópicos - Universidade Federal do Amazonas, 121p.

Mounic-Silva, C.E; Leite, R.G. 2013. Influência do rio Negro sobre o status nutricional de juvenis de curimatã *Prochilodus nigricans* (Characiformes; Prochilodontidae) no médio rio Solimões-Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, 43(3), 371-376p.

McDowall R. M. 1988. Diadromy in fishes. Migrations between freshwater and marine environments. *Timber Press*, Portland, Oregon, p. 308.

MPA. 2013. Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, p. 60.

Panfili, J; Pontual, H. D; Troadec, H; Wright, P. J. 2002. Manual of fish sclerochronology. Ifremer-IRD, Brest, France, p. 463.

Pereira et al. 2019. Commercial traceability of Arapaima spp. fisheries in the Amazon basin: can biogeochemical tags be useful?. *Biogeosciences*, 16, 1–16p.

Pouilly, M; Point, D; Sondag, F; Henry, M; Santos, R.V. 2014. Geographical origin of Amazonian freshwater fishes fingerprinted by $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ratios on fish otoliths and scales. *Environmental Science and Technology* 48, 8980-8987.

Queiroz M. M. A; Horbe A. M. C; Seyler P; Moura C. A. V. 2009. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas—Brasil. *Acta Amazon.*, v.39, 943–952.

Ribeiro, M.C.L.B. 1983. As migrações dos jaraquis (Pisces: Prochilodontidae) no rio Negro, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 192pp.

Rubiano, A L. M. 1999. Táticas reprodutivas de espécies de Characiformes em área de várzea na Amazônia Central (Lago do Rei), Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 112pp.

R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Santos, U.M; Bringel, S. R. B; Filho, H. B; Ribeiro, M. N. G; Bananeira, M. 1984. Rios da bacia Amazonica I. Afluentes do rio Negro. *Acta Amazonica* 14 (1 -2): 222 -237.

Santos, R.V.; Sondag, F.; Cochonneau, G.; Lagane, C.; Brunet, P.; Hattingh, K., e Chaves, J. G. S. 2015. Source area and seasonal $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in rivers of the Amazon basin. *Hydrological Processes*, 29, 187–197.

Santos, G.M., FERREIRA, E.G. and ZUANON, J.A.S., 2009. *Peixes comerciais de Manaus* 2ª ed. Manaus: Editora INPA.

Sander, C. 2015. Geomorfologia da planície aluvial do alto rio Branco em Roraima: dinâmica e processos evolutivos. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual de Maringá. 229p.

Sioli, H. 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*, 3:267-277.

Silva, M. G. 2004. Processamento de dados sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 147p.

Silva, A. E. P; Angelis, C. F; Machado, L. A. T; Waichaman, A. V. 2008. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. *Acta Amazonica*. 38 (4): 733-742.

Soares, N. N. 2017. Influência do rio Negro para a contribuição das fontes autotróficas de energia do *Semaprochilodus insignis*, 66p.

Sousa, R; Humston, R; Freitas, C. 2016. Movement patterns of adult peacock bass *Cichla temensis* between tributaries of the middle Negro River basin (Amazonas– Brazil): an otolith geochemical analysis. *Fish. Manage. Ecol.* 23, 76–87.

Trancoso, R.; Carneiro Filho, A.; Ferreira, D. A. C.; Noguera, S. P. 2005. Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para o diagnóstico e gestão de macrobacias no arco do desmatamento na Amazônia. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril, 2005. Anais. INPE, p. 2405-2412.

Vazzoler, A.E.; Amadio, S.; Caraciolo-Malta, M.C. 1989. Aspectos biológicos de peixes amazônicos. XII. Reprodução das espécies do gênero *Semaprochilodus* (Characiformes, Prochilodontidae) do Baixo Rio Negro, Amazonas, Brasil. *Rev. Bras. Biol.* 49(1):165-173.

Vieira, E. F. 1999. Determinação da idade e crescimento do jaraqui-escama-grossa (*Semaprochilodus insignis*) na Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 86p.

Vieira, E.F.; N.N.; Sousa, K.N.S.; Araujo, L.M.S. 2002. Identificação de novas áreas de desova do jaraqui (*Semaprochilodus* spp.) em microregiões da Amazônia Central. *Olam – Ciências & Tecnologia* – ISSN. 1519-8693. Rio Claro. Vol. 2, no. 2, p. 284-308.

Vieira, E.F. (2003). Dinâmica sazonal e interanual da estrutura populacional e do impacto da exploração pesqueira do jaraqui de escama fina (*Semaprochilodus taeniurus*) e jaraqui escama grossa (*Semaprochilodus insignis*) em subsistemas hidrográficos da Amazônia Central. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

Welcomme, R. L. Fisheries Ecology of Floodplain Rivers. Longman Inc., New York, 317 p.

Winemiller, K.O. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 81, 225-241 (1989).

Yokouchi, K.; Fukuda, N.; Shirai, K.; Aoyama, J.; Daverat, F.; Tsukamoto, K. Time lag of the response on the otolith strontium/calcium ratios of the Japanese eel, *Anguilla japonica* to changes in strontium/calcium ratios of ambient water. *Environmental Biology of Fishes*, v. 92, p. 469-478, 2011.