

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

HERICK SOARES DE SANTANA

Idade e crescimento em peixes: da ciência de base à modelagem populacional

Maringá
2018

HERICK SOARES DE SANTANA

Idade e crescimento em peixes: da ciência de base à modelagem populacional

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Carolina Viviana
Minte-Vera

Maringá
2018

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

S232i Santana, Herick Soares de, 1989-
Idade e crescimento em peixes : da ciência de base à modelagem populacional /
Herick Soares de Santana.-- Maringá, 2018.
151 f. : il.

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade
Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Carolina Viviana Minte-Vera.

1. Peixes de água doce - Idade e crescimento - Dinâmica de populações - América do Sul. 2. Peixes de água doce - História de vida - Dinâmica de populações - América do Sul. 3. *Prochilodus lineatus* (Characiformes, Prochilodontidae) "curimba" - Idade e crescimento - Dinâmica de populações - América do Sul. 4. Peixes de água doce - Idade e crescimento - Dinâmica de populações - Modelagem. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -597.1788098
NBR/CIP - 12899 AACR/2

HERICK SOARES DE SANTANA

Idade e crescimento em peixes: da ciência de base à modelagem populacional

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Nídia Noemi Fabré
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Prof.^a Dr.^a Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS)

Prof. Dr. Diego Corrêa Alves
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof.^a Dr.^a Natália Carneiro Lacerda dos Santos
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 15 de março de 2018.

Local de defesa: Auditório do Nupélia, Bloco H-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho aos meus
pais e a minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Sim, não se caminha sozinho, nem se aprende tanto por conta própria, aos que não têm o nome aqui, não fiquem ofendidos, obrigado a todos por tudo.

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades e tudo que tem ocorrido ao longo dos últimos anos. Agradeço profundamente ao PEA, que forneceu todo o aporte científico necessário ao desenvolvimento dessa tese. Agradeço também ao Nupélia, pelo apoio de pessoal e estrutura, ao Tião e funcionários da base pelo apoio durante a realização dos experimentos e à Biblioteca Setorial do Nupélia na pessoa da Salete, que sempre foi solícita em todos os momentos. Ainda, agradeço à biblioteca central pelo apoio na busca de artigos e periódicos para realização da revisão e a todos os professores (Angelo A. Agostinho, Sidinei M. Thomaz, Roger Paulo Mormul) e pesquisadores que tanto auxiliaram nas disciplinas e conversas informais para sedimentar as ideias. Agradeço também a CAPES, PROEX e CNPQ por todo apoio financeiro, na forma de bolsa, auxílios para viagens e compras de materiais, essenciais para a realização dessa tese.

Agradeço à Carol (Carolina Viviana Minte-Vera), minha orientadora que, apesar da distância, fez o possível para que eu conseguisse avançar cientificamente, tanto no mestrado quanto no doutorado, foram várias discussões via internet, agradeço pela paciência nos meus momentos de impaciência, pela compreensão e apoio durante as atividades que realizei durante o doutorado e por ter topado me orientar. Ao professor Luiz C. Gomes, pois ‘invadi’ seu laboratório quando eu não tinha outro lugar, foi fundamental para a realização de várias etapas, por várias vezes fui a sua sala pedir conselhos e dicas. A professora Claudenice Dei Tos, que me auxiliou incansavelmente na realização do primeiro capítulo, sabemos que a revisão foi árdua de fazer. Agradeço muito a Adriana R. Carvalho e ao Ronaldo Angelini que são verdadeiros amigos sem os quais eu não teria chegado onde estou, são parte de minha história, meus verdadeiros pais e mentores científicos, carrego comigo o exemplo de vocês.

Agradeço também, aos meus colegas de turma, verdadeiros amigos que caminharam ao meu lado nos últimos seis anos (Jean, Nati, Bia, Bibis, Lou, Vinícius, Camila, Amanda, Carol e todos os outros colegas e parceiros de PEA) e ao meu amigo/irmão Ruben por todos os momentos informais que tivemos e que foram fundamentais para que o doutorado não se tornasse um fardo, além do infinito auxílio para fazer o mapa do tópico 1. Diego e Lilian, amigos, padrinhos e pessoas incríveis, obrigado por fazerem parte não apenas da vida profissional, mas por compartilharem de tantas alegrias nos últimos anos. Agradeço o apoio

ímpar de minha família, principalmente meus pais, que sempre apoiaram na realização dessa etapa e nas decisões que tomei ao longo desse tempo, suportando a distância e muitas vezes a ausência em vários momentos.

Agradeço aos que deram pitacos em versões anteriores da tese, ao professor Luiz e, principalmente ao grande amigo Jean Ortega, pelos valiosos comentários em relação ao tópico e a Amanda Cantarute pela grande contribuição ao tópico 2.

Agradeço de coração àqueles que não foram nominados (são muitos), mas que estiveram comigo durante esse tempo, muito obrigado por tudo, que eu possa devolver toda a gratidão.

Agradeço aos professores Diego Corrêa Alvez, Natália C. Lacerda dos Santos, Elaine A. L. Kashiwaqui, Nídia Noemi Fabré, Andréa Bialetzki e Eder André Gubiani por aceitarem participar e contribuir com a parte escrita e avaliação dessa tese.

Finalmente, agradeço a minha esposa, que durante esse tempo já foi namorada, noiva e hoje está aqui esperando nosso filho(a), agradeço pela paciência e dedicação ao longo de toda essa caminhada acadêmica, suportando significativas ausências.

“If a moment is all we are,
We’re quicker, quicker
Who cares if one more light goes out?
Well, I do”

(Linkin Park)

Idade e crescimento em peixes: da ciência de base à modelagem populacional

RESUMO

Nesta tese buscou-se compreender o estado da arte dos estudos de idade e crescimento em peixes de água doce na América do Sul e expandir as fronteiras do conhecimento para o uso de estruturas calcificadas de forma inovadora nos estudos de idade e para o uso de modelos de crescimento que levam em conta explicitamente características da história de vida. Assim, procurou-se responder a três hipóteses: -qual é a cobertura dos estudos de idade e crescimento nos peixes de água doce da América do Sul? -É possível prever a idade a partir da morfometria dos otólitos de peixes de água doce e facilitar os estudos de idade e crescimento? -Qual é o potencial de uso de modelos de crescimento bifásico para modelar o crescimento de peixes de água doce? Na primeira abordagem é feita uma revisão geral dos trabalhos de idade e crescimento de peixes de água doce realizados na América do Sul, explicitando tanto locais em que os estudos se concentram e onde são escassos. Constatou-se que algumas espécies possuem claras diferenças no comprimento máximo e na velocidade de crescimento de acordo com o local de ocorrência. Na segunda abordagem, realizou-se um estudo de caso sobre como a morfometria dos otólitos pode ser utilizada para prever características usando os otólitos de *Prochilodus lineatus*. O comprimento do otólito explica 85% da variação do peso do indivíduo, porém a idade não pode ser distinguida a partir de características morfométricas do otólito. Na terceira abordagem, os modelos bifásicos de Lester e de Quince-Boukal foram utilizados para modelar o crescimento de *Prochilodus lineatus*. O modelo de Lester separa o crescimento de juvenis e adultos e o modelo de Quince-Boukal modela o crescimento de juvenis e adultos simultaneamente incorporando uma transição relacionada ao investimento energético e que adicionalmente permite incorporar variações na estratégia metabólica por meio do parâmetro β que é um expoente que descreve como a energia disponível para crescimento/reprodução se relaciona com a variação em massa.

Palavras-chave: Dinâmica populacional. Von Bertalanffy. Estruturas rígidas. Traços de história de vida. Parâmetros de crescimento. Sábalo.

Age and growth of fish: from base science to population modelling

ABSTRACT

In this thesis we sought to understand the state of the art of the studies of age and growth in freshwater fish in South America and to expand the frontiers of knowledge for the use of calcified structures in an innovative way in the studies of age and for the use of models that explicitly consider characteristics of the life history. Thus, we tried to answer three questions: what is the coverage of studies of age and growth in freshwater fish in South America? Is it possible to predict the age from the morphometry of otoliths of freshwater fish, and thus facilitate studies of age and growth? What is the potential use of biphasic growth models to model the growth of freshwater fish? In the first approach a general review of the age and growth of freshwater fishes carried out in South America is made, explaining both places where studies are concentrated and where they are scarce. It was found that some species have clear differences in the maximum length and the speed of growth according to the place of occurrence. In the second approach, a case study was carried out on how the morphometry of otoliths can be used to predict characteristics using the otoliths of *Prochilodus lineatus*. The length of the otolith explains 85% of the variation of the individual's weight, but the age can not be distinguished from the morphometric characteristics of the otolith. In the third approach, the biphasic models of Lester and Quince-Boukal were used to model the growth of *Prochilodus lineatus*. The Lester model separates the growth of juveniles and adults and the Quince-Boukal models the growth of juveniles and adults simultaneously incorporating a transition related to energy investment and additionally allows to incorporate variations in the metabolic strategy through the parameter β which is an exponent that describes how the energy available for growth/reproduction is related to mass variation.

Keywords: Population dynamics. Von Bertalanffy. Rigid structures. Life-history traits. Growth parameters. Sábalo.

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica da revista *Fisheries Research*. Disponível em:

<<https://www.elsevier.com/journals/fisheries-research/0165-7836/guide-for-authors>>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS.....	16
2 AGE AND GROWTH STUDIES OF FRESHWATER FISH FROM SOUTH AMERICA ARE INCIPIENT AND SPATIALLY BIASED.....	19
2.1 INTRODUCTION.....	20
2.2 MATERIAL AND METHODS	22
2.2.1 Data Collection.....	22
2.2.2 Data Analysis.....	24
2.3 RESULTS	25
2.4 DISCUSSION	37
REFERENCES	42
3 OTOLITH MORPHOMETRY PROVIDES LENGTH AND WEIGHT PREDICTIONS AND INSIGHTS ABOUT CAPTURE SITES OF <i>PROCHILODUS LINEATUS</i> (VALENCIENNES, 1836).....	50
3.1 INTRODUCTION.....	51
3.2 MATERIAL AND METHODS	52
3.2.1 Study area and Sampling	52
3.2.2 Otolith morphology and morphometry.....	53
3.2.4 Age determination	54
3.2.5 Data analysis	54
3.3 RESULTS	56
3.3.1 Otolith morphology and morphometry.....	56
3.4 DISCUSSION	60
REFERENCES	63
4 CRESCIMENTO BIFÁSICO: ENTENDENDO A IMPORTÂNCIA DA REPRODUÇÃO E DO METABOLISMO NO CRESCIMENTO SOMÁTICO ...	68
4.1 INTRODUÇÃO.....	69
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	72
4.2.1 Modelo Lester	72
4.2.2 Simulação.....	73
4.2.2 Modelo Quince-Boukal.....	74
4.3 RESULTADOS	76
4.3.1 Modelo Lester	76
4.3.2 Ajuste a dados simulados	77
4.3.3 Modelo Quince- Boukal	79

4.4 DISCUSSÃO.....	80
REFERÊNCIAS.....	84
5 CONCLUSÕES GERAIS	88
APÊNDICE A	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

Estudos de idade e crescimento constituem a base para compreender a ecologia das espécies e para fornecer informações para a constituição de medidas com base científica para a gestão de pescarias de forma a garantir a sustentabilidade da atividade. Em ambientes marinhos (principalmente América do Norte e Europa), os estudos de idade e crescimento e as estimativas da estrutura etária e/ou da estrutura de tamanho das capturas são parte dos estudos de rotina realizados para produzir dados para as avaliações de estoques, principalmente para os estoques explorados por frotas comerciais. Já em ambientes de água doce, a realidade é diferente, as pescarias são em sua maioria artesanais e não são alvo do mesmo tipo de atenção.

Apesar da necessidade de informações sobre idade e crescimento, os trabalhos em água doce ainda são incipientes, Dei Tos et al. (2010) mostram um panorama da quantidade de estudos de idade e crescimento disponíveis para a América do Sul, reportando um número ainda distante do ideal em relação a quantidade de espécies existentes nessa região. Parte disso é explicada pela dificuldade em obter boas estimativas de crescimento e pela falta de atenção dada a populações de baixa expressão econômica, tornando esse tipo de estudo um desafio tanto para os cientistas como para os investigadores pesqueiros, já que essas informações possuem muita influência dentro dos modelos de avaliação de estoque (Ailloud et al., 2017; Murua et al., 2017).

A produção de informações precisas sobre as espécies, principalmente em relação a idade, é difícil e exige tanto investimento em materiais, como em tempo e capacitação de pessoas especializadas, fatores que limitam tanto a quantidade de espécies estudadas quanto os locais estudados. Para o conhecimento da idade existem duas alternativas principais, aquelas que estimam a partir de frequências de comprimento, como a rotina ELEFAN (Pauly, 1987) e aquelas que estimam a partir da leitura de anéis em estruturas calcificadas (e.g. Santana e Minte-Vera, 2017). Considerando essas duas alternativas, explorar as estruturas calcificadas é o caminho mais preciso e confiável (Campana e Thorrold, 2001), principalmente se as estruturas utilizadas forem os otólitos, já que os mesmos possuem características únicas (não passam por reabsorção, agregam características químicas do ambiente, ficam protegidos de ações mecânicas) em relação às outras (Campana, 2001). Ademais, os otólitos podem ser explorados para além de estudos de crescimento, já que podem fornecer informações sobre o ambiente em que o peixe viveu (por meio da

comparação da composição química de seções do otólito com as composições químicas dos diferentes *habitats*), podem ser utilizados como preditores do comprimento e peso, na separação de estoques, além de ser muito úteis para reconstrução de faunas e estudos de teias alimentares (ver Campana and Thorrold, 2001; Reichenbacher et al., 2007; Mapp et al., 2017; Izzo et al., 2018).

Francis (2016) argumenta que tanto a idade quanto o tamanho fornecem informações distintas, já que a pesca, por ser seletiva, pode atuar tanto em seleção de tamanhos devido a arte utilizada para as capturas, como em seleção de idades, devido a existência de migrações e estratificações espaciais que podem ser ligadas a idade, de forma que ambas as informações são complementares, como peças de um quebra-cabeça da dinâmica populacional. Para unir essas informações e extrair informações a nível populacional são usados modelos que requerem vários tipos de dados como modelos estruturados por idade (Multifan, Fournier et al., 1998), modelos estruturados por tamanho (ELEFAN, Pauly, 1987) e modelos que consideram todos esses dados simultaneamente (ver Methot, 2012; Methot and Wetzel, 2013; Punt et al., 2017).

O modelo mais utilizado para modelar o crescimento em peixes é o modelo de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938; Beverton and Holt, 1957), talvez por sua facilidade em se ajustar aos dados, por estar presente no livro escrito por Beverton e Holt (1957) e por ser menos complexo e exigir menos requerimentos computacionais que os outros (Francis, 2016). Entretanto, muitas críticas têm sido feitas em relação a esse modelo, principalmente devido a falta de significado biológico que seus parâmetros. Outro problema é a premissa de que a taxa de crescimento é controlada pelos mesmos parâmetros ao longo da vida do peixe, não havendo diferenças em relação a mudanças fisiológicas que ocorrem no organismo, principalmente após a maturidade (Shuter et al., 2005; Mathias et al., 2016).

Quince et al. (2008a) explicam tanto de forma teórica, como de forma prática (Quince et al., 2008b), que a reprodução pode ter alta influência no crescimento, moldando o formato da curva devido ao investimento realizado para essa atividade, já que, antes da reprodução, acredita-se que toda a energia disponível é alocada para o crescimento em comprimento e peso (Minte-Vera et al., 2016). Modelos de crescimento bifásico podem ser mais apropriados para o estudo de idade e crescimento e poderiam incluir informações sobre biologia reprodutiva e assim permitir o estudo integrado desses dois processos.

Modelar o crescimento incorporando informações sobre o custo reprodutivo (van Poorten and Walters, 2016) pode ser o próximo passo para compreender como as populações variam ao longo do tempo, quais os motivos tanto antropogênicos, quanto históricos e evolutivos explicam essas oscilações e como essas informações podem ser previstas e utilizadas para o manejo dessas populações, principalmente em locais onde poucos dados são disponíveis (Hordyk et al., 2005).

Desta forma, nesta tese procurou-se compreender o estado da arte dos estudos de idade e crescimento em peixes de água doce na América do Sul e expandir as fronteiras do conhecimento para o uso de estruturas calcificadas de forma inovadora nos estudos de idade e para o uso de modelos de crescimento que levam em conta explicitamente características da história de vida. Assim procurou-se responder a três perguntas: qual é a cobertura dos estudos de idade e crescimento em peixes de água doce da América do Sul? É possível prever a idade a partir da morfometria dos otólitos de peixes de água doce e facilitar os estudos de idade e crescimento? Qual é o potencial de uso de modelos de crescimento bifásico para modelar o crescimento de peixes de água doce?

Para cada pergunta foi feita uma abordagem diferente. Na primeira abordagem é feita uma revisão geral dos trabalhos de idade e crescimento de peixes de água doce realizados na América do Sul, explicitando tanto locais em que os estudos se concentram, quanto locais onde pouco se conhece sobre a dinâmica populacional das espécies.

Na segunda, os otólitos do *Prochilodus lineatus* são utilizados para realizar um estudo de caso sobre como suas medidas podem ser utilizadas para realizar previsões em relação ao comprimento, peso e idade do indivíduo, demonstrando que é possível realizar boas previsões do peso do peixe, já que 85% de sua variação é explicada pela variação no comprimento do otólito, mas não da idade.

Finalmente, a terceira abordagem teve por objetivos principais (i) explorar modelos bifásicos de crescimento para o *Prochilodus lineatus* e (ii) verificar o efeito de um parâmetro metabólico β sobre o crescimento usando simulações. Para isso, foram utilizados dois tipos de modelos, um que separa o crescimento de juvenis e adultos (modelo de Lester) e outro que modela o crescimento de juvenis e adultos simultaneamente incorporando uma transição relacionada ao investimento energético (modelo de Quince-Boukal).

REFERÊNCIAS

- Ailloud LE, Loretta MV, Hanke AR, Golet WJ, Allman RJ, Siskey MR, Secor DH, Hoenig JM (2017). Improving growth estimates for Western Atlantic bluefin tuna using an integrated modeling approach. *Fisheries Research* 191: 17-24.
- Beverton RJH, Holt S (1957). On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Invest.*, Lond. (Ser. 2)19: 1-533.
- Campana SE, Thorrold SR (2001) Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can J Fish AquatSci* 58:30-38. doi: 10.1139/f00-177
- Campana SE, Thorrold SR (2001) Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can J Fish AquatSci* 58:30-38. doi: 10.1139/f00-177
- Fournier, D.A., Hampton, J., Sibert, J.R., 1998. MULTIFAN-CL: a length-based, age structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55 (9), 2105–2116.
- Francis RICC (2016). Growth in age-structured stock assessment models. *Fisheries Research* 180: 77-86.
- Izzo C, Reis-Santos P, Gillanders BM (2018). Otolith chemistry does not just reflect environmental conditions: a meta-analytic evaluation. *Fisheries Research*: doi 10.1111/faf.12264
- Lester NP, Shuter BJ, Abrams PA (2004) Interpreting the von Bertalanffy model of somatic growth in fishes: the cost of reproduction. *The Royal Society* 271:1625-1631.
- Mapp J, Hunter E, Kooij JVD, Songer S, Fisher M (2017). Otolith shape and size: the importance of age when determining indices for fish-stock separation. *Fisheries Research* 190: 43-52.
- Mathias BG, Ahrens RNM, Allen MS, Lombardi-Carlson LA, Fitzhugh GR (2016). Comparison of growth models for sequential hermaphrodites by considering multi-phasic growth. *Fisheries Research* 179: 67-75.
- Methot RD (2012). User manual for Stock Synthesis Model Version 3.24f, Updated October 3, 2012, http://nft.nefsc.noaa.gov/Stock_Synthesis_3.htm (accessed

06.01.18).

Methot RD, Wetzel CR (2013). Stock synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fish. Res.* 142, 86–99.

Minte-Vera CV, Maunder MN, Casselman JM, Campana SE (2016) Growth function that incorporate the cost of reproduction. *Fisheries Research* 180:31-44.

Murua H, Rodriguez-Marin E, Neilson JD, Farley JH, Juan-Jordá MJ (2017). Fast versus slow growing tuna species: age, growth, and implications for population dynamics and fisheries management. Doi 10.1007/s11160-017-9474-1

Pauly D (1987). A review of the ELEFAN system for analysis of length–frequency data in fish and aquatic invertebrates. In: Pauly, D., Morgan, G.R. (Eds.), *Length-Based Methods in Fisheries Research*, vol. 13. ICLARM Conf. Proc., pp. 7–34

Punt AE, Akselrud CA, Cronin-Fine L (2017). The effects of applying mis-specified age- and size-structured models. *Fisheries Research* 188: 58-73.

Quince C, Abrams PA, Shuter BJ, Lester NP (2008a). Biphasic growth in fish I: Theoretical foundations. *Journal of Theoretical Biology* 254: 197-206.

Quince C, Shuter BJ, Abrams PA, Lester NP (2008b). Biphasic growth in fish II: Empirical assessment. *Journal of Theoretical Biology* 254: 207-214.

Reichenbacher, B.; Sienknecht, U.; Küchenhoff, H.; Fenske, N. (2007). Combined otolith morphology and morphometry for assessing taxonomy and diversity in fossil and extant killifish (*Aphanius*, *Prolebias*). *Journal of Morphology*, 268, 898-915.

Santana HS, Minte-Vera CV (2017) Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Env Biol Fish* 100: 223-235

Shuter BJ, Lester NP, LaRose J, Purchase CF, Vascotto K, Morgan G, Collins NC, Abrams PA (2005). Optimal life histories and food web position: linkages among somatic growth, reproductive investment, and mortality. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 62: 738-746.

Van Poorten BT, Walters CJ (2016). How can bioenergetics help us predict changes in fish growth patterns? *Fisheries Research* 180: 23-30.

Von Bertalanffy L (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). Hum. Biol. 10: 181-213.

2 AGE AND GROWTH STUDIES OF FRESHWATER FISH FROM SOUTH AMERICA ARE INCIPIENT AND SPATIALLY BIASED

ABSTRACT

The lack of basic studies like age and growth estimates implies a lack of stock assessments and difficulties to make decisions related to fisheries management. So, we did an extensive systematic review about growth parameters for freshwater species of South America, with the following objectives: verify the existence of phylogenetic patterns between asymptotic length and the growth coefficient; summarize the principal methods used and identify tendencies in their use; analyze the time between collection of the data and publication of the results; and verify possible latitudinal patterns in asymptotic length and the growth coefficient. A total of 199 articles covering 261 species were found. Characiformes was the most studied order, but various orders have few published works, i.e. they need more attention, as little is known about the growth of species belonging to these orders. For example, only three studies were found for species from the order Osteoglossiformes, two for Cypriniformes fishes and one for Cyprinodontiformes. The range of studies covered 33 freshwater ecoregions of South America, most of studies were addressed to Upper Parana, Iguassu and Amazon Lowlands ecoregions. Analyzing interspecifically, there was no significant relationship between growth parameters and latitude. However, interesting intraspecific patterns were noted. Of the analyzed species, three follow the pattern predicted by the rule of Bergmann with smaller sizes at high latitudes, *Colossoma macropomum*, *Pseudoplatystoma fasciatum* and *Pseudoplatystoma tigrinum*, all are native to the Amazon region and have great importance in fishing. We point out that the basic science produced in South America is not an easy task for two main reasons: first, various species still lack basic biological and population parameter information, necessitating more basic science; second, this kind of information needs to be produced with more rigor, as the next step is to use it in stock assessment and management. So, produce basic science does not mean to “take a step backward”, but to furnish information that is sufficient to advance studies in diverse fields of biology, ecology and population dynamics.

Keywords Longevity. Bony structures. Growth rings. Length frequencies. Freshwater Fish. Bergmann's rule.

2.1 INTRODUCTION

Age and growth studies include basic population studies that should be performed to better understand population sizes, longevity and maturity. Khan and Khan (2014) emphasize that the lack of these studies compromises more accurate diagnoses of stocks/populations, making fishing management infeasible. In addition, information on the growth of individuals can provide historical and evolutionary evidence such as stock pressures, mortality, maturity, trade-offs between growth strategies that maximize offspring survival and reduce or increase the age of first maturation (Lester et al., 2004; Enberg et al., 2012). Information like life period, first sexual maturation age, maximum age reached by the individual in its natural environment, reproduction periods, migrations, mortality rate and recruitment can be directly derived from age and growth data, being essential as inputs in several stock assessment models, especially those that are age-structured (Fournier et al., 1998; Pontual et al., 2002; Alves et al., 2013; Córdoba et al., 2013; Erhardt and Scarnecchia, 2014).

There are several methods, both direct and indirect, to make estimates of age and growth in fish, and it is not always easy to choose which is the most effective, since there may be differences between different methods used in the same population (Santana and Minte-Vera, 2017). Among the most used methods are those that use calcified structures like scales, otoliths, opercule, vertebrae and spines aiming to visualize growth rings, and also indirect methods such as the use of length frequencies over time in order to verify the point when new length classes are added to the population, indicating that a new cohort appeared (Pauly and David, 1981; Wright et al., 2002; Megalofonou, 2006; Morgan et al., 2007; Farley et al., 2013). Each of these methods has advantages and disadvantages (see Campana, 2001 for review), especially in relation to the cost and difficulty of verifying the accuracy of the formation period of the growth marks. For example, it is argued that scales may provide biased estimates because the fish may have replaced the scale throughout life leading to underestimation of the age of the individual, another example are the vertebrae and spines that can pass through reabsorption processes in periods of stress and food shortages (Chang and Maunder, 2012; Liao et al., 2013).

In this sense, the structure that provides the best information is the otoliths since they do not undergo processes of reabsorption during the life of the fish, only absorption processes, so that information once recorded will never be lost (Campana and Thorrold, 2001). These characteristics, which are unique to the otoliths, allow several other studies to be carried out through them, such as identifying species, separating stocks, tracing patterns of life history,

verifying the individual's birth conditions or even identifying periods of stress throughout of fish life (Zhang and Beamish, 2000; Campana and Thorrold, 2001; Patterson et al., 2005; Elsdon et al., 2008; Tuset et al., 2008). A caveat of using otolith to estimate age and growth is the necessity to damage fish head to remove otoliths. This damage decreases fish commercial value, consequently, this method is not well accepted by fishers. As an alternative, reading age in scales is frequently used due to the ease and low cost of obtaining samples.

Independent of the method used to estimate the growth parameters, the von Bertalanffy equation is generally used as a base for the estimates. This equation possesses three main parameters: the asymptotic coefficient (L_{∞}), the growth coefficient (K) and the theoretical age at which fish length is equal to zero (t_0). Considering these parameters, several authors have demonstrated a negative correlation between L_{∞} and K, with the assumption that the larger the maximum fish length, the smaller its growth velocity (Beverton and Holt, 1957; Gubiani et al., 2012). However, several other models exist to represent growth, such as Gompertz, Schnnute, and models that incorporate reproduction and life history traits such as mortality and maturity (Quince et al., 2008; Lugert et al., 2014; Minte-Vera et al., 2016).

Since most of the work that provides estimates of age and growth of fish use the von Bertalanffy equation, there are several attempts to find patterns that explain the values of these parameters, both in relation to biological factors, as phylogenetic proximity as to environmental factors such as temperature and latitudinal variations (Braaten and Guy, 2002; Heibo et al., 2005; Rypel, 2012). For example, data corroborate the Bergmann rule for freshwater fish and marine fish, so that there is a tendency for organisms to be smaller in places with higher temperatures and also to have a higher rate of growth (Blackburn et al., 1999; Angilletta and Dunham, 2003; Rypel, 2014). These patterns help explain how populations of the same species behave in different environmental conditions and if there are proxies that help to predict these patterns for sites that have no consolidated studies, like many basins of South America. Also, identifying biogeographic patterns is fundamental to understanding the effects of climate changes on species growth, and how phenotypic plasticity acts so that the species is adapted and resilient to changes, implying both ecosystem functions, behavioral and evolutionary changes throughout the lifetime of the species (Fisher et al., 2010).

South America is one of the most biodiverse continents (Lévêque et al., 2008), including large rivers and basins like Amazon, Orinoco and Parana (Reis et al., 2016). The hydric capacity of this continent, supported by the presence of large rivers and hundreds of

streams, makes the richness of aquatic species, mainly fish, very high. According to Reis et al. (2016) 5,160 freshwater fish species have been recorded for South America, and that number can overcome 8000 species. However, little is known about the population dynamics, ecology and age and growth patterns of most of the species. Dei Tos et al. (2010), in a review about the age of freshwater fish of South America, verified that up to 2008 only 153 species had been studied, which is very far from the ideal, considering the high richness of this region. This low amount of basic information is a big problem, since most species fall into some category of risklike critically endangered, endangered and vulnerable and other species, according to ICMBio (2014) not even studied, being categorized as data deficient or not assessed (check IUCN website for more details about these categories).

The lack of basic studies also implies a lack of stock assessments and difficulties to make decisions related to fisheries management. Several authors, for example, have reported the decrease of important fishery stocks in large rivers of South America because of land use, damming, urbanization and habitat loss (Barletta et al., 2010; Reis et al., 2016).

Thus, considering this ecological, as well as economic and social importance of fishes (Hoeinghaus et al., 2009), it is extremely important to know and verify which species have been studied and which gaps still exist in the literature on age and growth. In this sense, an extensive systematic review was carried out to find every study that has published growth parameters for freshwater species of South America, with the following objectives: (i) carry out a complete review of the age and growth studies of freshwater fish of South America; (ii) verify the existence of taxonomic patterns between asymptotic length and the growth coefficient; (iii) summarize the principal methods used and identify tendencies in their use; (iv) analyze the time between collection of the data and publication of the results; and (v) verify possible latitudinal patterns in asymptotic length and the growth coefficient.

2.2 MATERIAL AND METHODS

2.2.1 Data Collection

The bibliographic search was performed in all available databases using the following combinations of key words: *Age AND growth AND freshwater fish; Age AND freshwater fish; Growth AND freshwater fish; Age AND growth AND fish AND South America; Age AND fish AND South America; Growth AND fish AND South America; von Bertalanffy AND fish AND South America, Growth parameters AND fish AND South America*. As there are various works produced in Portuguese or Spanish that have been published in local non-indexed journals, we

replicate this same set of words in Portuguese, since these studies generally possess abstracts and titles in Portuguese and Spanish. Thus, the following combinations of words were also used: *Idade e crescimento e peixes de água doce*; *Idade e peixes de água doce*; *Crescimento e peixes de água doce*; *Idade e crescimento e peixe e América do Sul*; *Idade e peixe e América do Sul*; *Crescimento e peixe e América do Sul*; *von Bertalanffy e peixe e América do Sul* and *Parâmetros de crescimento e peixe e América do Sul*. Most search systems offer tools that restrict the time of the search; but as our objective was to find the maximum number of studies, the search was not restricted to a certain period until December 2017. In addition, as many articles and works were published many years ago only in print (unavailable online), we searched library and personal collections. Finally, to guarantee that the search was efficient, all references in each paper retained for full-text screening were checked and the articles were also checked. This process was repeated until no new article was added to the data bank.

All studies returned from database and other sources search were assessed in full to verify if estimates of growth parameters were made. The following exclusion criteria were used: (i) not possessing growth parameters; (ii) having been carried out in a marine environment; (iii) having been carried out outside of South America (Fig. 1). These criteria were applied after full-text verification.

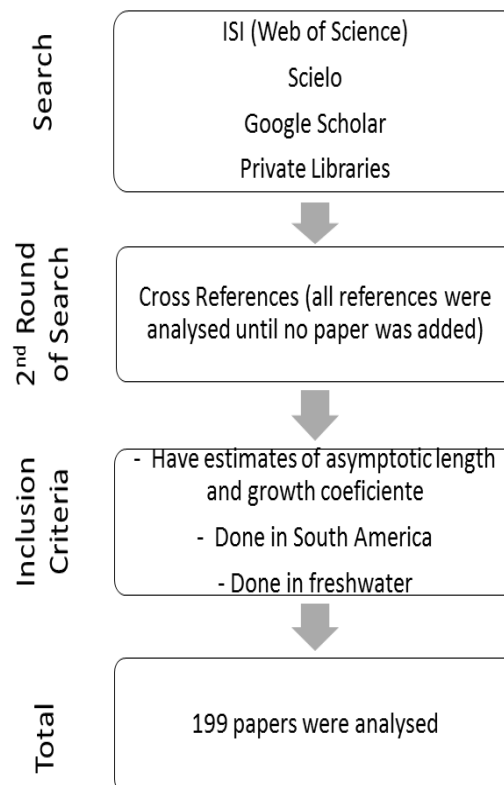


Fig. 1 Criteria and databases used to search the articles.

The following information were taken from each article: year in which the data was collected, year of publication, ecoregion and geographical coordinates at which the study was carried out, studied species, method used to estimate age (bone structures, empirical equations and length frequencies), asymptotic length (L_{∞}), growth coefficient (K) and t_0 . Whenever possible, growth parameter information was extracted for males and females. Some articles used more than one method to estimate the growth parameters. In these cases, the same article was counted more than once, with the same criterion applied to the species.

From each article the geographic coordinates of the place where the study was performed were taken, these coordinates were used to identify the study ecoregion. The ecoregions were identified according to Abell et al. (2008). These authors used biogeographic patterns, ichthyographic provinces, as well as the presence and absence of species to delimit each region. Of the 426 freshwater ecoregions identified, 52 belong to South America. Further details on the categorization and differentiation of ecoregions are available in Abell et al. (2008). The shape for the construction of the map was made available by these authors on the site www.feow.org. The name of each species, family and order was reviewed according to: Castro and Vari (2003), Eschmeyer et al. (2016), Nelson et al. (2016), Betancur-R et al. (2017).

2.2.2 Data Analysis

To verify the delay in the publication of the growth data, we calculated a variable that we call “timelag”. This variable is the difference between the year in which the data was published and the year in which sampling began. This value indicates the time necessary to publish the data and make it available.

The relationships between asymptotic growth and the growth coefficient were verified with spearman correlations. Correlations were carried out using the entire data set and, separately, for each order (Characiformes, Clupeiformes, Osteoglossiformes, Perciformes and Siluriformes). About the orders Atheriniformes, Cyprinodontiformes and Gymnotiformes, no correlations were done due to the small amount of available data.

Lastly, to verify latitudinal patterns in growth parameters, the geographic coordinates of each paper were plotted against the asymptotic length and against the growth coefficient. In addition, to verify possible patterns that were masked by the amount of data, the same analysis was performed for the most studied species: *Prochilodus lineatus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Colossoma macropomum*, *Hoplias malabaricus*, *Pseudoplatystoma*

fasciatum, *Pseudoplatystoma tigrinum*, *Prochilodus nigricans* and *Odontesthes bonariensis*. These species were used because they were the only ones with enough data to perform the regressions. All analysis were performed using R software (R Core Team 2015), with a 5% level of significance.

2.3 RESULTS

A total of 199 articles that presented growth parameter results of freshwater species of South America were found. Most of studies were carried out in Brazil (130), Argentina (35) and Colombia (11). Chile, Uruguay and Ecuador had only one paper. Considering the quantity of species, 228 species were studied in Brazil, 22 in Venezuela and 16 in Argentina (Table 1).

Table 1. Number of realized papers and species studied in each country.

Country	Number of papers	Number of species
Brazil	131	228
Argentina	32	16
Venezuela	7	22
Bolivia	9	11
Colombia	11	11
Peru	4	4
French Guiana	3	2
Chile	1	1
Ecuador	1	1
Uruguay	1	1

The range of studies covered 33 freshwater ecoregions of South America (Figure 2). Most of studies (n = 79) were carried out in the Upper Parana ecoregion, followed by Iguassu (n = 24) and Amazon Lowlands (n = 21). There are only 13 studies in Orinoco and Magalena-Sinu ecoregions, while in Xingu and other Amazonian ecoregions only one study was found. For many ecoregions no papers were found, indicating clear gaps and sites that still lack studies: Tapajos-Juruena, Madeira Brazilian Shield, Tocantins-Araguaia and Northeastern Mata Atlantica. However, analyzing only the number of studies is not sufficient to understand the actual status of studies of each ecoregion, since regions with few or only one study, such

as Xingu, have a large number of species studied (Table 2) as regions with many papers, such as Amazonas Lowlands, have a low percentage of their species studied, only 2% (Table 2).

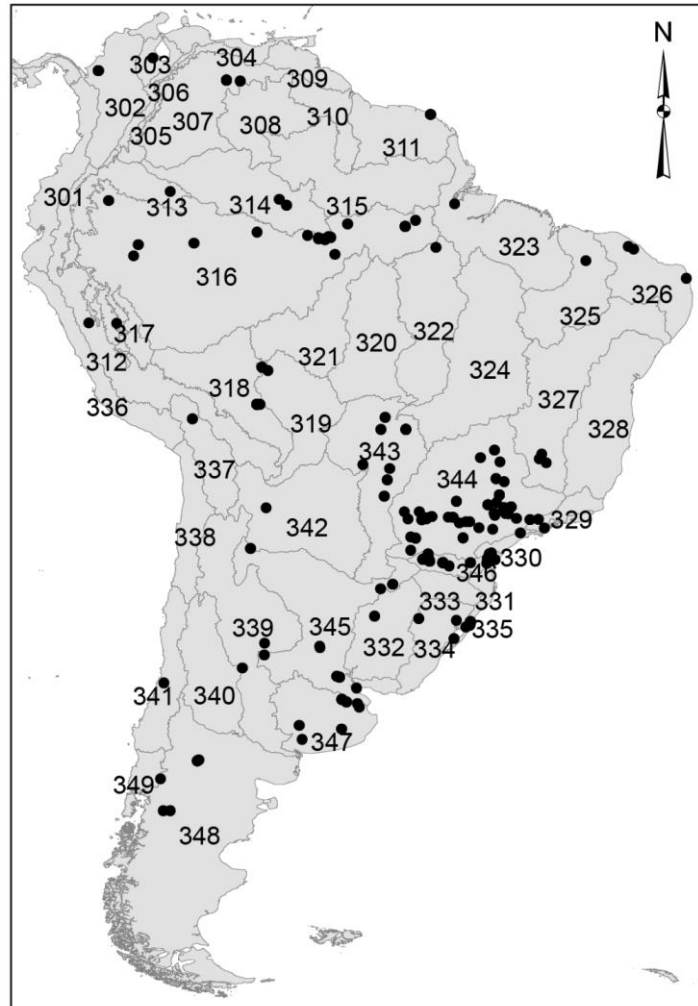


Fig. 2 Map of freshwater ecoregions of South America. 302 = Magdalena-Sinu, 303 = Maracaibo, 307 = Orinoco Llanos, 308 = Orinoco Guiana Shields, 311 = Guianas, 312 = Amazonas High Andes, 313 = Western Amazon Piedmont, 314 = Rio Negro, 316 = Amazonas Lowlands, 317 = Ucayali-Urubamba Piedmont, 318 = Mamore-Madre de Dios Piedmont, 319 = Guapore-Itenez, 322 = Xingu, 323 = Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 325 = Parnaiba, 326 = Northeastern Caatinga and Coastal Drainages, 327 = S. Francisco, 329 = Paraiba do Sul, 330 = Ribeira de Iguape, 331 = Southeastern Mata Atlantica, 332 = Lower Uruguay, 334 = Laguna dos Patos, 335 = Tramandai-Mampituba, 337 = Titicaca, 339 = Mar Chiquita-Salinas Grandes, 341 = South Andean Pacific Slopes, 342 = Chaco, 343 = Paraguay, 344 = Upper Parana, 345 = Lower Parana, 346 = Iguassu, 347 = Bonaerensean Drainages, and 348 = Patagonia.

Table 2. Summary of the main characteristics of the studied ecoregions. Feow (see map in Fig. 2) is the code standardized by Abell et al. (2008). Area and richness are available at <http://www.feow.org/globalmap>. Studies is the amount of papers found in each ecoregion and species studied is the total of species studied. NA = No update data was found.

Feow	Area	Studies (n)	Richness	Species Studied (% aproximated)
Amazonas Estuary and				
Coastal Drainages	552,227.60	1	240	44 (18.33%)
Amazonas High Andes	548,620.50	1	75	1 (1.33%)
Amazonas Lowlands	1,911,985.80	20	940	20 (2.13%)
Bonaerensean Drainages				
Chaco	591,424.10	1	150	2 (1.33%)
Guapore-Itenez	353,641.60	3	260	6 (2.31%)
Guianas	300,760.40	3	420	2 (0.48%)
Iguassu	67,547.70	24	80	23 (28.75%)
Laguna dos Patos	181,520.00	6	163	5 (3.07%)
Lower Parana	636,263.40	13	340	8 (2.35%)
Lower Uruguay	270,059.80	1	238	1 (0.42%)
Magdalena-Sinu	301,167.60	6	182	6 (3.30%)
Mamore-Madre de Dios				
Piedmont	407,682.10	9	460	8 (1.74%)
Mar Chiquita-Salinas				
Grandes	584,302.50	2	75	2 (2.67%)
Maracaibo	71,893.70	1	127	3 (2.36%)
Northeastern Caatinga and				
Coastal Drainages	286,912.70	3	90	3 (3.33%)
Orinoco Guiana Shield	302,331.4	1	640	1 (0.16%)
Orinoco Llanos	490,807.40	7	816	21 (2.57%)
Paraguay	543,295.80	15	344	14 (4.07%)
Paraiba do Sul	64,353.90	2	101	3 (2.98%)
Parnaiba	363,721.10	1	98	1 (1.02%)
Patagonia	1,133,181.00	6	20	3 (15.00%)
Ribeira de Iguape	34,499.20	5	111	5 (4.50%)

Rio Negro	468,524.50	3	850	2 (0.23%)
S. Francisco	637,494.70	3	NA	NA
South Andean Pacific				
Slopes	200,756.10	1	20	1 (5.00%)
Southeastern Mata				
Atlantica	38,300.20	4	98	4 (4.08%)
Tticaca	207,707.80	1	40	1 (2.50%)
Tramandai-Mampituba	8,246.30	4	97	4 (4.12%)
Ucayali-Urubamba				
Piedmont	115,236.30	1	228	1 (0.43%)
Upper Parana	834,088.70	79	265	73 (27.55%)
Western Amazon Piedmont	248,563.90	1	550	1 (0.18%)
Xingu	481,628.80	1	140	62 (44.28%)

Considering the temporal distribution of publications, the oldest article dates from 1971 and the latest was published in 2017 (Fig. 3). Despite an increase in the number of publications from the 1970s (nine publications) to the present decade (41 publications), the number of publications is still small compared to the number of species and sites that remain without studies. The largest number of articles published in a single year was in 2005 (13), but on average only four papers are published per year.

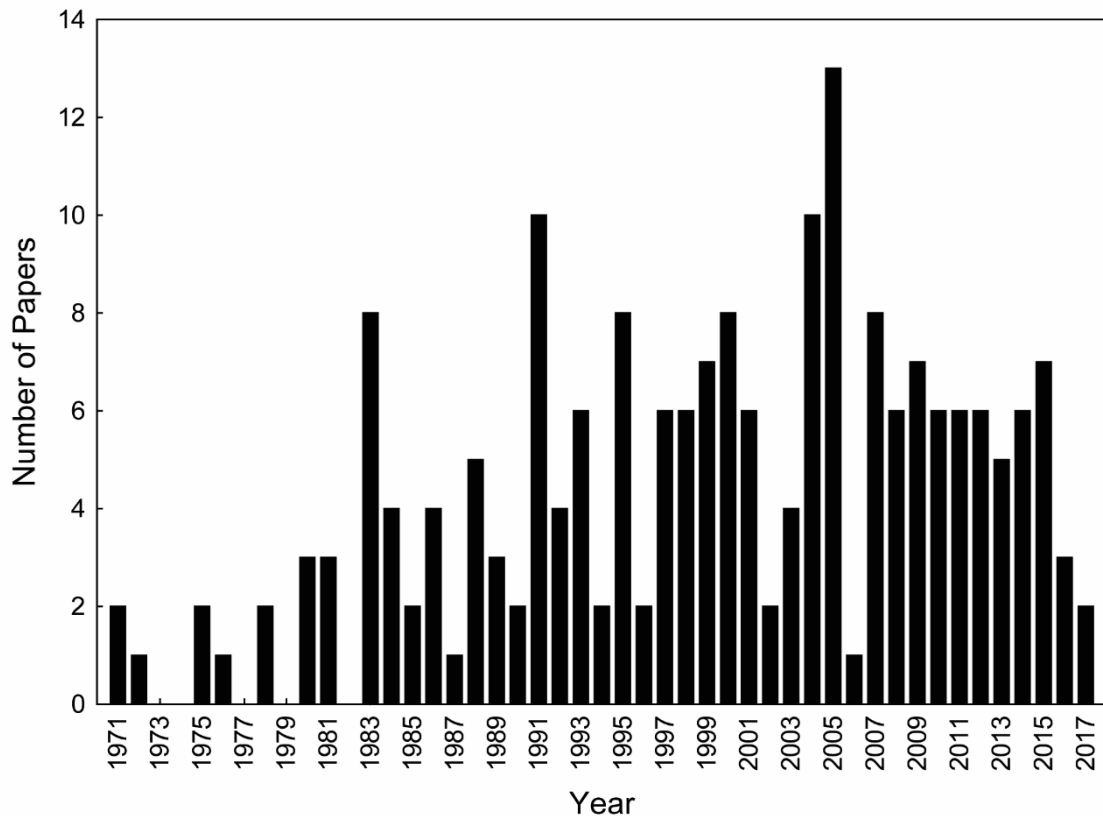


Fig. 3 Total of growth articles on freshwater fish of South America published between 1971 and 2016

In total, the 261 studied species belongs to ten orders and 33 families. The three most studied species were *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1837), *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) and *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) with 11 and 10 studies, respectively (188 species had only one study).

The order Characiformes represented half of the total, followed by Siluriformes and Cichliformes, with 31.46% and 7.45%, respectively. The other papers were focused on species belonging to the orders Perciformes, Clupeiformes, Gymnotiformes, Osteoglossiformes, Atheriniformes, Cypriniformes and Cyprinodontiformes (Fig. 4). Although Characiformes is the most studied order, the most studied families were Pimelodidae ($n = 65$; 15.11%) and Characidae ($n = 65$; 15.11%), followed by Serrasalminidae with approximately 9.79%.

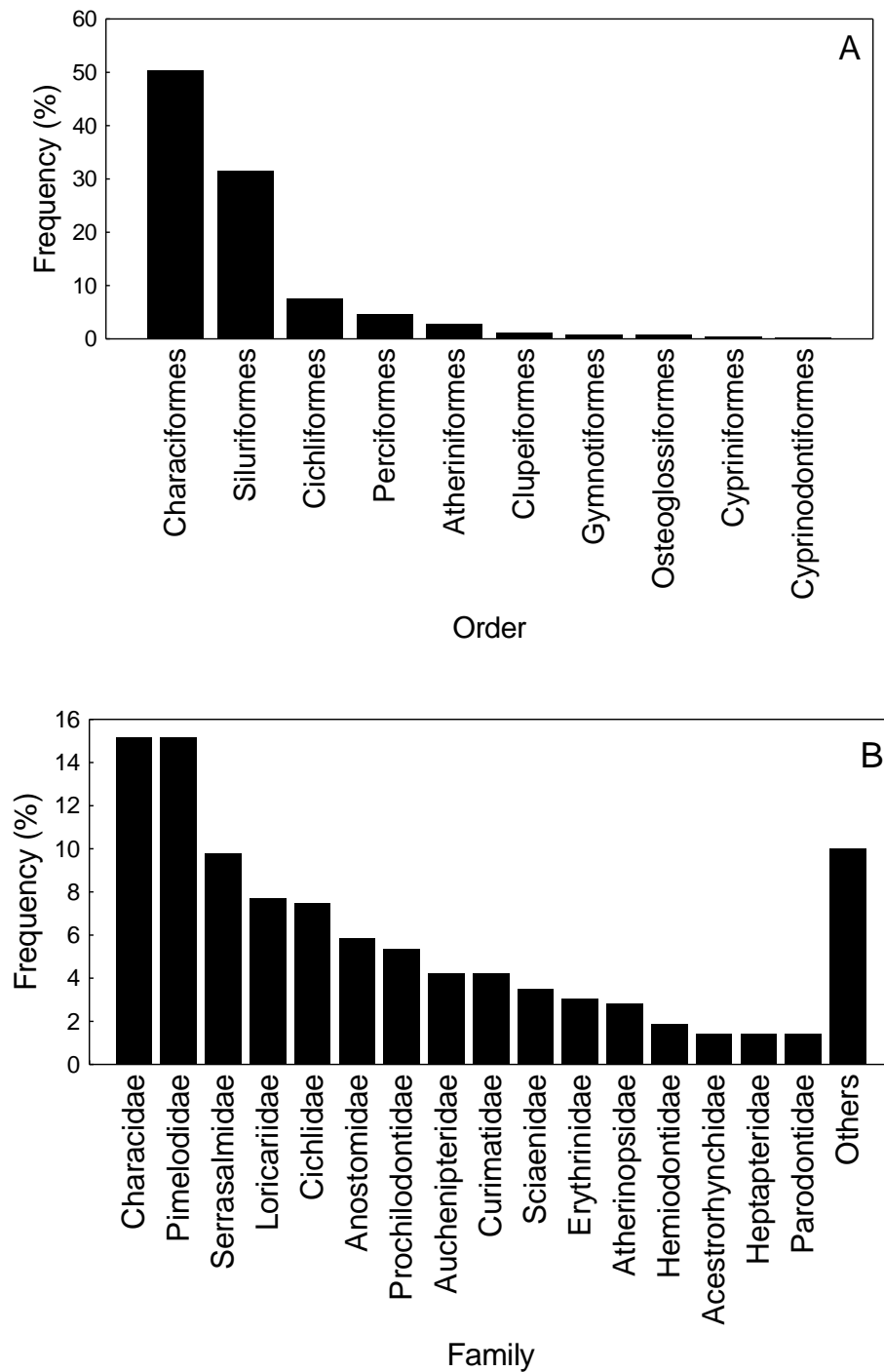


Fig. 4 Representativeness of the orders into which the 261 species are inserted (A) and families that represent 90% of all the families that were studied (B). “Others” represents the remaining 10% of families (ApêndiceA)

Length frequency ($n = 264$; 60.27%) was the most used method to estimate the growth parameters, followed by scales ($n = 70$; 16%) and otoliths ($n = 40$; 9%). In addition to these

methods, vertebrae, spines, lengths per spawning, opercula, backcalculation and empirical equations were also used (Fig. 5). For Characiformes the three most used methods were length frequencies, scales and otoliths, for Siluriformes were length frequencies, vertebrae and otoliths, and for Perciformes length frequencies, scales and otoliths (Fig. 5). In four papers more than one method was used simultaneously, in these cases the method was categorized as multi-method.

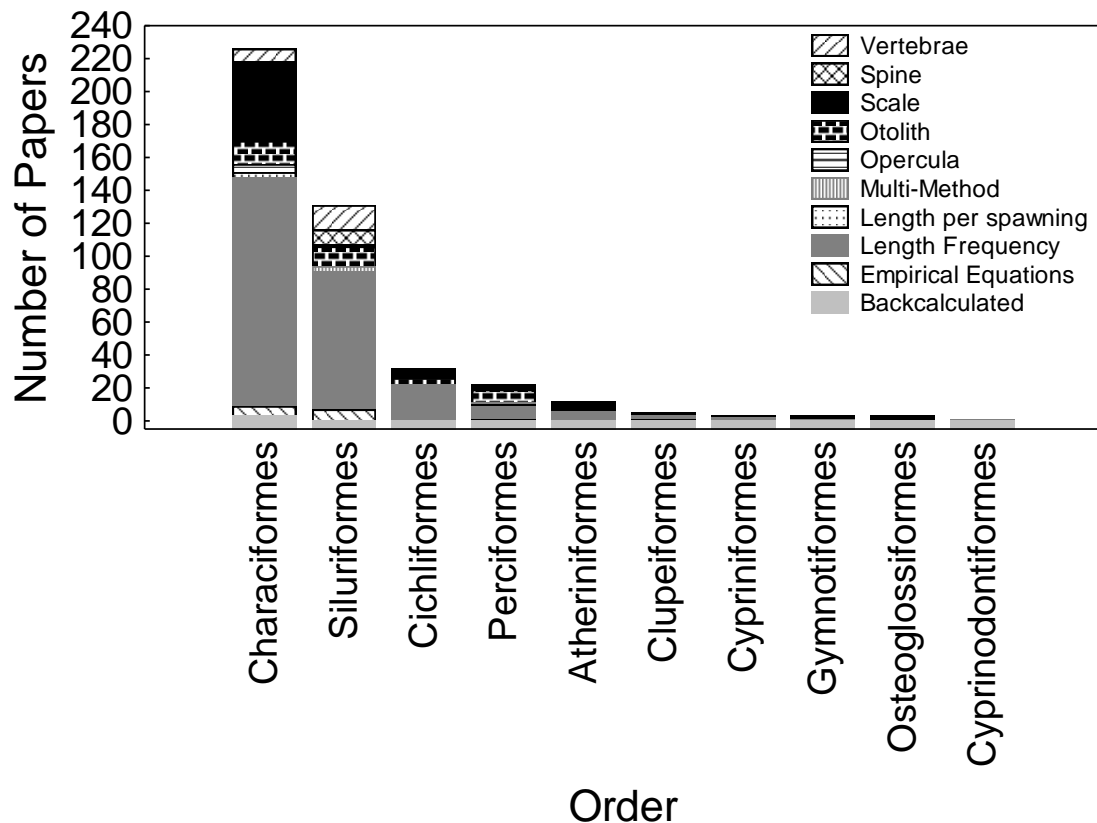


Fig. 5 Methods used to carry out the growth parameter estimates for each order. Multi-method refers to those papers that used more than one method simultaneously.

The time between sampling and publication showed that most articles are published 4 to 10 years after sampling, on average 7 years are spent to publish the data (Fig. 6). It is worth noting that 50 papers took ten years or more to publish the data and that no paper was published in the year following the sampling.

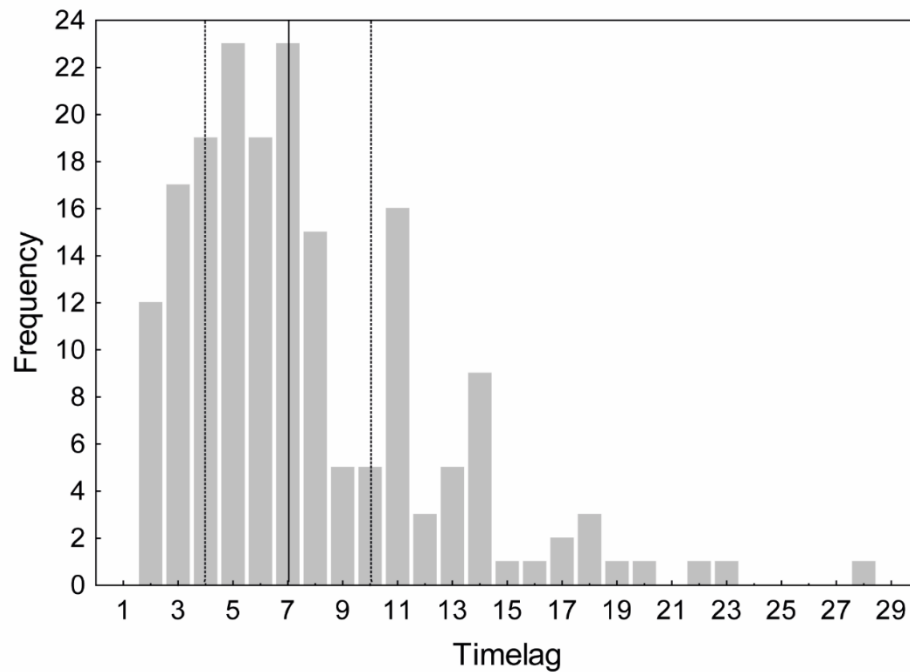


Fig. 6 Frequency of the time in which each article took to be published (timelag), the continuous line marks the mean and the dotted lines mark the first and third quartiles.

The growth coefficient varied from 0.01 to 1.71 (mean = 0.3944; SD = ± 0.219) and asymptotic length from 2.51 cm (*Cynopocilus melanotaenia* (Regan 1912)) to 386 cm (*Arapaima* sp. (Schinz 1822)). The largest growth coefficient value was for *Triportheus angulatus* (Spix & Agassiz 1829) (1.71) and the smallest for *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard 1824).

When all species were put together the relationship between asymptotic length (L_{∞}) and the growth coefficient (K) obtained a ρ of 0.55 ($p < 0.0001$) (Fig. 7). However, analyzing each order separately, some patterns were noted (Fig. 8). Characiformes presented no strong relationship between these two growth parameters ($p < 0.0001$; $R^2 = 0.22$; $df = 325$); whereas Osteoglossiformes ($p < 0.0001$; $R^2 = 0.95$; $df = 5$) had the strongest L_{∞} -K relationships. Perciformes and Siluriformes obtained an R^2 of 0.41 ($p < 0.0001$; $df = 77$) and 0.19 ($p < 0.0001$; $df = 184$), respectively. Fits for Atheriniformes was R^2 of 0.20 ($p = 0.0227$; $df = 20$), whereas for Cyprinodontiformes and Gymnotiformes were $R^2 = 0.95$ and $R^2 = 0.77$, highlighting that the “n” for these two orders was very low. Note that Gymnotiformes possesses an inverse pattern, a positive relationship between asymptotic length and the growth coefficient (Fig. 8).

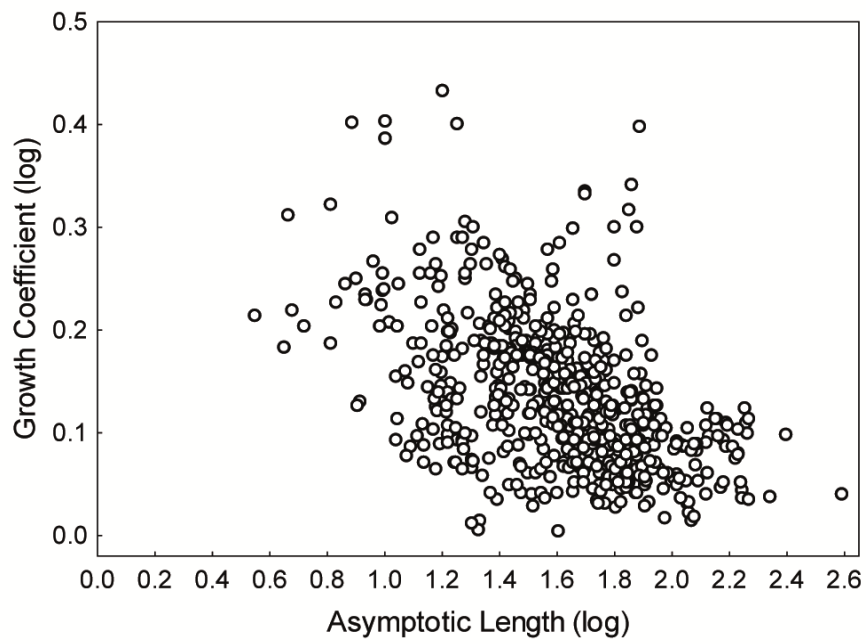


Fig. 7 Relationship between asymptotic length (L_{∞}) and the growth coefficient (K) for the 261 analyzed species. The black line represents the simple linear regression fit between the two variables

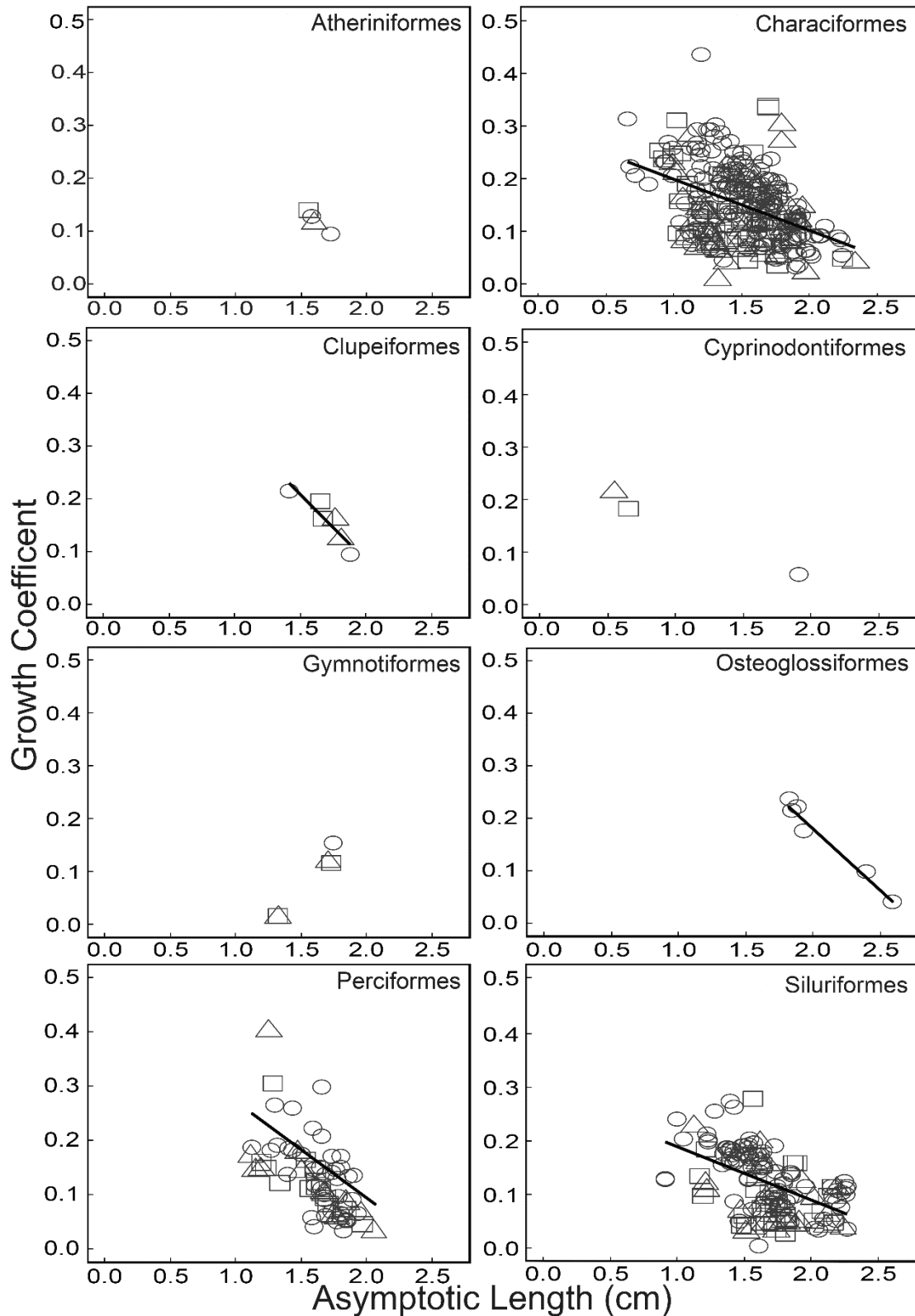


Fig. 8 Relationship between asymptotic length (L_{∞}) and the growth coefficient (K), both on log₁₀ base, for the 261 analyzed species. The black line represents the simple linear regression fit between the two variables. The circles represent estimated values of the males and females together. The triangles represent females and the squares represent males

Considering all species, the analysis of the growth parameters in relation to the latitudinal variation did not produce evident patterns. For the same latitude there is much variability in both the asymptotic length and the growth coefficient (Fig. 9). However, we conducted the same analysis using data from the species that were most studied (*P. lineatus*, *P. squamosissimus*, *C. macropomum*, *H. malabaricus*, *P. fasciatum*, *P. tigrinum*, *P. nigricans* and *O. bonariensis*). *Colossoma macropomum*, *P. fasciatum* and *P. tigrinum* show the strongest relationships between asymptotic length and latitude with decreasing asymptotic length at higher latitudes (Fig. 10). Considering the growth coefficient, there is a negative relation for *P. tigrinum* and a positive relation for *P. nigricans* (Fig. 11).

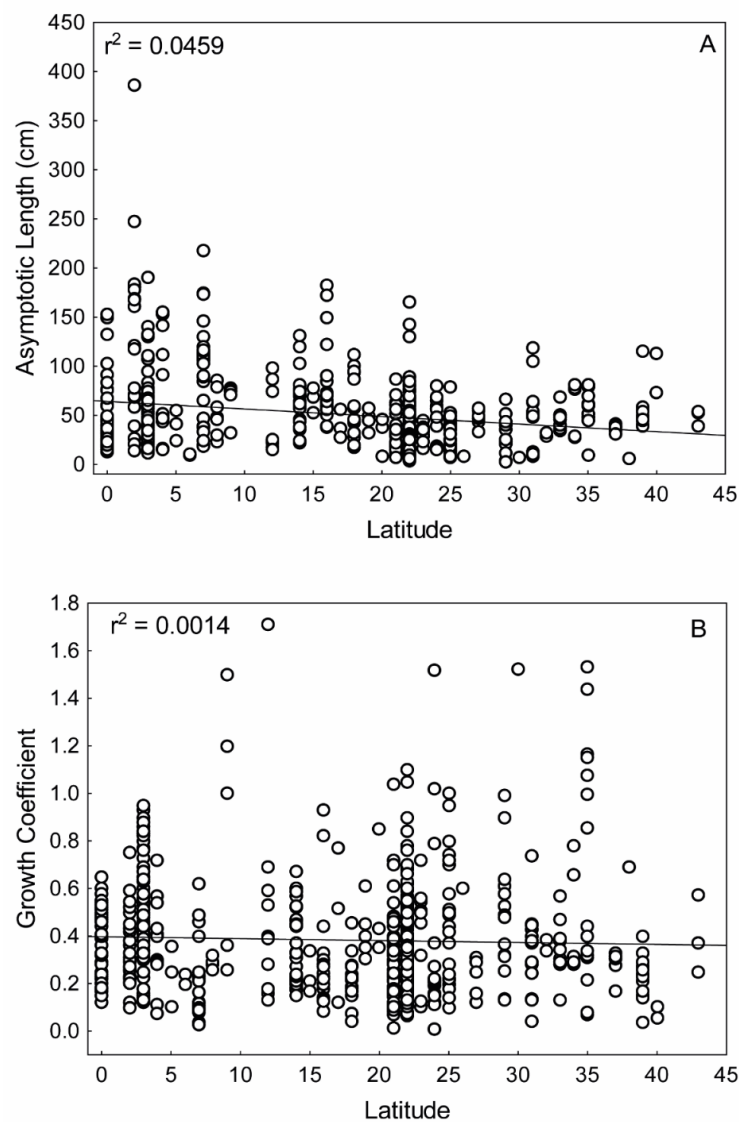


Fig. 9 Latitudinal variation (in decimal degrees) in the estimated asymptotic length (A) and growth coefficient (B) values for the 261 species found in the bibliographical review. The values for males and females were aggregated.

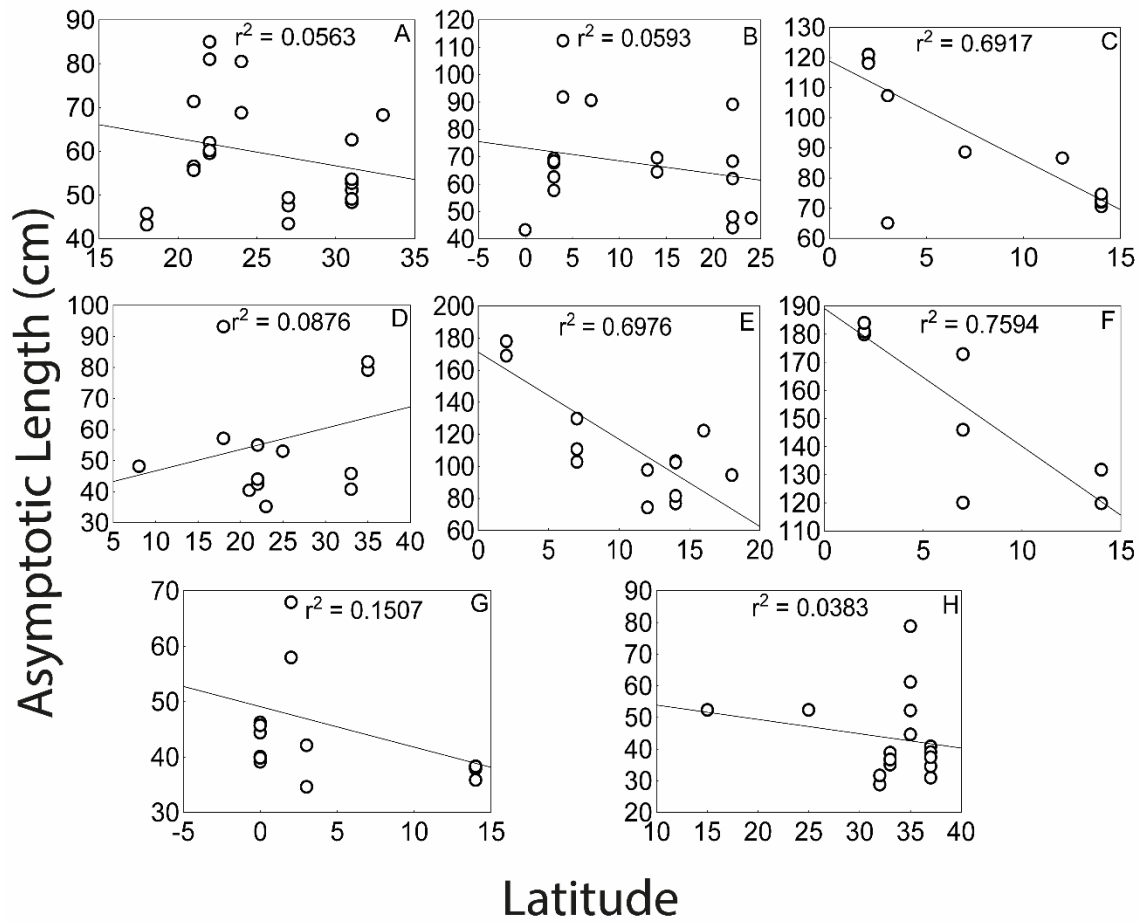


Fig. 10 Latitudinal variation in the asymptotic length for (A) *P. lineatus*, (B) *P. squamosissimus*, (C) *C. macropomum*, (D) *H. malabaricus*, (E) *P. fasciatum*, (F) *P. tigrinum*, (G) *P. nigricans* and (H) *O. bonariensis*.

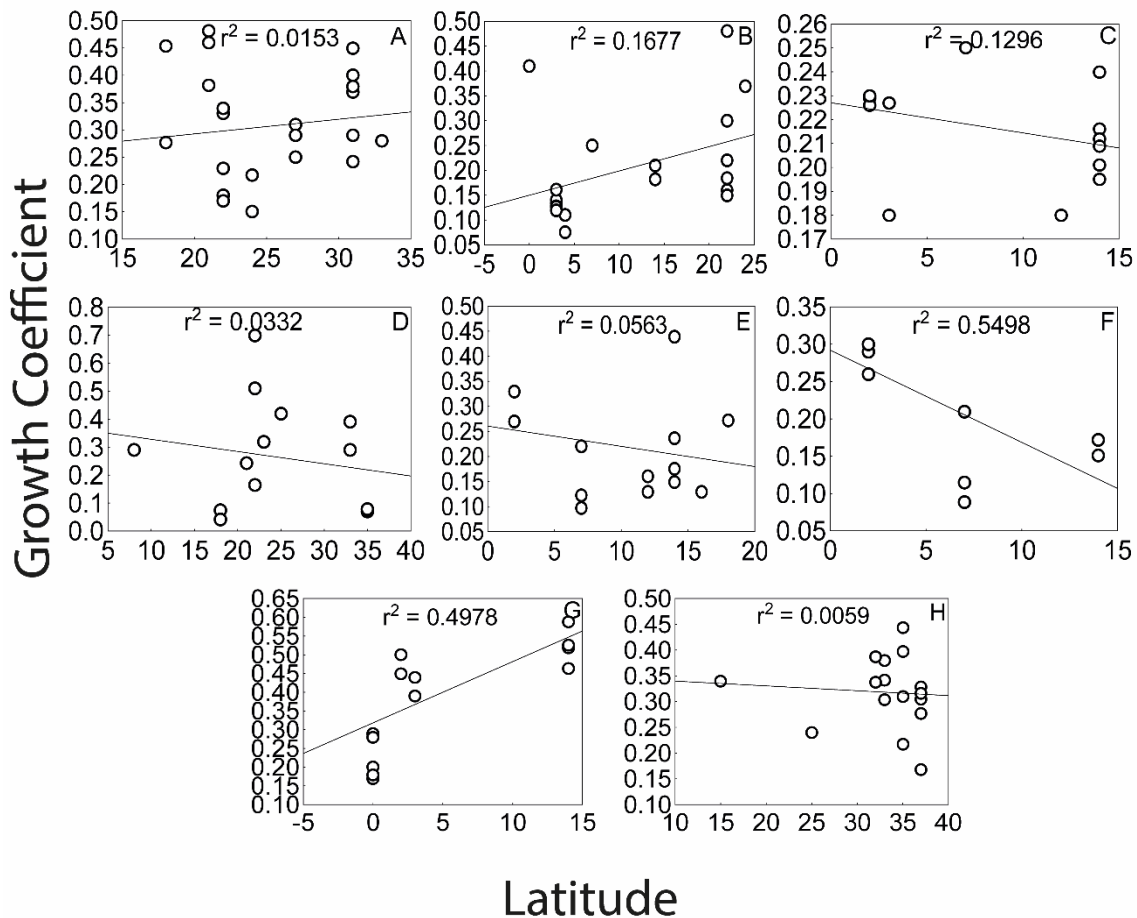


Fig. 11 Latitudinal variation in the growth coefficient for (A) *P. lineatus*, (B) *P. squamosissimus*, (C) *C. macropomum*, (D) *H. malabaricus*, (E) *P. fasciatum*, (F) *P. tigrinum*, (G) *P. nigricans* and (H) *O. bonariensis*.

2.4 DISCUSSION

This work demonstrates the main gaps in the studies of age and growth for freshwater fish in South America. Although there are well studied basins such as Parana and some parts of the Amazon, most of the ecoregions remain without information or basic studies, evidencing the need for efforts to improve these data aiming better understand the population dynamics of the species. Also, most information takes a long time to be made available, making it unusable to use it correctly.

Considering that up to 2016 there were approximately 5,160 fish species described for South America (Reis et al., 2016) and that annually several species are described, the number of studied species is small. In a previous review, Dei Tos et al. (2010) covered almost 40 years and reported that 153 species have been the object of age and growth studies. Thus, the present review concludes that there was slow advance compared to what has been

accomplished regarding the age and growth of fish. The ratio between studied species and species to be studied is probably decreasing, i.e. every year the number of species increases and the bibliographical production on age and growth is not capable of accompanying this increase. According to Reis et al. (2016) since 2003 were described nearly 100 species every year in South America, about two new species every week.

Three species stand out as the most studied: *Hoplias malabaricus*, *Plagioscion squamosissimus* and *Prochiodus lineatus*. These species possess wide distribution in various South American basins (Bertollo et al., 2000; Sivasundar et al., 2001; Reis et al., 2003) and great commercial importance, mainly *P. lineatus*, which is one of the most commercially exploited species in Brazil, Colombia and Argentina (Gomes and Agostinho, 1997; Valderrama and Solano, 2004; Okada et al., 2005; Iswaszkiw and Lacoste, 2011). All these characteristics increase the probability of capture of these species and, consequently, the ease of obtaining enough samples to estimate growth parameters.

Characiformes was the most studied order among the eight that we recorded. It has high diversity (≈ 1800 species; Reis et al., 2003), and several commercially important species. However, the most studied family was Pimelodidae (Siluriformes), composed mainly of species of the genera *Pseudoplatystoma* sp., *Pimelodus* sp. and *Hypophthalmus* sp. (ApêndiceA). These species help to maintain the commercial fishery in the places where they occur (e.g. the Amazon and Paraná basins) (Almeida et al., 2001; Okada et al., 2005; Barletta et al., 2016).

The method used to estimate growth parameters can influence results, due mainly to the high level of bias when different structures belonging to the same species are analyzed (Baumann et al., 2013; van der Meulen et al., 2013; Baudouin et al., 2016). The method most used to estimate growth parameters for commercial fisheries was length frequencies. Although it is not the most precise method, mainly due to the difficulty in accompanying the growth modes in certain populations, it is a classic method applied to commercial fisheries because fishermen themselves can record the length frequencies (Albuquerque and Catella, 2010) and does not “damage” the fish, as removal of the head to extract otoliths decreases the commercial fish value.

The second most used method has been reading of the age rings of scales (*circulli*). This method is popular because it does not sacrifice the fish and is relatively easy to use and low-cost (Megalofonou et al., 2003; Silva and Stewart, 2006). However, the use of scales has

been criticized, mainly due to the reabsorption and substitution of lost scales that can occur during the life of the fish, leading mainly to the underestimation of age compared to other structures (Sylvester and Berry Jr., 2006; Chang and Maunder, 2012; Liao et al., 2013; Lozano et al., 2014). Otoliths have been pointed out as the best structure to carry out this type of study, due to their unique characteristics of not undergoing reabsorption processes and because they store diverse information that refers to the life history of the fish (e.g. maturation, *habitats* occupied and chemical traces). They are also useful in the differentiation of stocks or species (Campana, 2001; Campana and Thorrold, 2001). However, otoliths were not the most used structures, evidencing a delay in relation to other regions such as North America and Europe, where otoliths are very exploited.

Information such as age and growth are notably essential to carry out population evaluations and implement effective management decisions regarding fishery stocks (e.g. Alves et al., 2013; Methot and Wetzel, 2013). However, as populations are dynamic and undergo diverse changes over time, this information should be current or at least updated for it to be useful. There are serious problems in the velocity of production and availability of information relative to species growth because most of the studies took at least five years to be published, with some taking more than 15 years (e.g. Araya et al., 2008; Cazorla and Sidorkewicz, 2011; Santana et al., 2016). This means that despite the importance of the production of this information, considered basic science, there is considerable loss in its application, mainly due to the discrepancy in the published population parameters, a fact corroborated by Alves and Minte-Vera (2013), who also detected a deficiency in the speed at which data are published in scientific journals. Le Guennec and Loubens, for example, published an article in 2004 with information collected from 1981 to 1987 about *Pellona castelnaeana* Valenciennes, 1847. After all this time, the entire dynamics and situation of the population of this species had probably been altered, decreasing the probability of application and effective use of the published information. Thus, old data should be used to understand population history, but must be linked to current data to understand the current population dynamics.

In addition, pressures exerted by fishing or even by other factors can cause changes in temporal scales smaller than these (less than the average time of publication), so that the information produced becomes useless. Among the population changes that may result from fishing pressure are the choice of *habitat*, morphological changes, migrations and maturation time (Enberg et al., 2012).

There is generally a negative correlation between the growth coefficient and asymptotic length – the larger the fish, the lower its growth coefficient. This general pattern was evident when all the works were considered, but independent analyses for each order showed controversial relationships. The low R^2 values for Characiformes and Siluriformes (more diverse orders) demonstrated the difficulty in establishing general patterns. In addition, the totally opposite relationship for Gymnotiformes indicates that this order needs more studies and clarifications.

Analyzing interspecifically, there was no significant relationship between growth parameters and latitude. The lack of this pattern indicates that generalizations tend to produce errors and false conclusions, mainly when such diverse groups with wide latitudinal amplitudes as those from South America (environments with both tropical and cold places that have distinct characteristics) are considered. However, interesting intraspecific patterns were noted. Of the nine species that were analyzed, three follow the converse pattern predicted by the rule of Bergmann (Blackburn et al., 1999), *C. macropomum*, *P. fasciatum* and *P. tigrinum*, all are native to the Amazon region and have great importance in fishing (Batista and Petrere Jr., 2003; Lopes et al., 2016). Several Characiformes and Siluriformes are extremely important for fishing in the Amazon region, responsible for providing employment and food for thousands of people (Lopes et al., 2016). This importance accelerates the need to know and better manage these populations, since they live in very threatened environments and not only fishing, but other anthropogenic actions exert negative pressures on these species, especially for those that are migratory, such as *P. nigricans*, *Pseudoplatystoma* sp. and *Brachyplatystoma* sp. (Castello et al., 2013; Lopes et al., 2016; Pelicice et al., 2017).

According to Bergmann's rule, if two populations differ only in size, this will probably determine the geographical distribution of each, so that the larger individuals tend to be in colder regions (higher latitudes) and smaller ones in warmer regions (Blackburn et al., 1999), but, there is no consensus on the application and generality of this rule, since for many taxa, some of the populations follow this pattern and some have a contrary pattern (Knouft, 2002; Angilletta and Dunham, 2003; Meiri and Dayan, 2003; Rypel, 2014). As Fisher et al. (2010) highlights, understanding these relationships between size and geographic distribution may be the key factor to better manage these populations, since latitude is a temperature proxy (Belk and Houston, 2002) and can be used indirectly to verify the effects of climate change on populations. In addition, these differences may be evolutionary, for example, we note that *P. nigricans* grows faster in higher latitudes, which may be an effect of fishing pressures (reach

maturation rate faster) or even to avoid high mortality rates in the early ages (Enberg et al., 2012).

2.4.1 Gaps and orientation for future studies

Characiformes was the most studied order, however, various orders have few published works, i.e. they need more attention, as little is known about the growth of species belonging to these orders. For example, only three studies were found for species from the order Osteoglossiformes, two for Cypriniformes fishes and one for Cyprinodontiformes. Also, growth information can be considered restricted and local, because there are very different growth parameter estimates for the same species (see Carozza and Cordivola de Yuan, 1991; Barbieri et al., 2000; Angelini and Agostinho, 2005; Santana and Minte-Vera, 2017 for *Prochilodus lineatus*). These differences exist due to differences in environmental conditions and pressures exerted on species in their *habitats*. There is also a genetic difference between populations, which can lead to different growth patterns (Imsland and Jónsdóttir, 2003). Therefore, even if a species has been studied, the use of growth parameters from another population or species as a proxy to a second population, errors may occur and lead to mistaken management decisions.

Despite the large diversity of basins that cover South America, there are three that stand out due to their amplitude, Orinoco, Amazon and Parana-Paraguay, which together have approximately 4000 species of fish (Reis et al., 2016). Therefore, it is expected that many studies will be carried out in these basins, corroborating our results. In Brazil, for example, the Amazon and Paraná basins are often studied due to two large research centers located in these regions – the Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupelia) in Paraná and the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) in Manaus. However even in this country, there were some large hydrographic basins, such as São Francisco, Tocantins and Araguaia Rivers, that were not represented in the database.

These results highlight that a greater research effort is needed to cover more species of South American basins. This kind of basic research is important because South America harbors a high fish diversity, the composition of basins differ and may even form distinct zoogeographic regions (Abell et al., 2008; Lévêque et al., 2008). Only three studies were addressed to the São Francisco river basin, the species studied in this region were *Schizodon knerii*, *Prochilodus argenteus* and *Leporinus piau*. Reis et al. (2016) point out that the São Francisco basin is one of the most diverse in the continent, with more than half of the species

being endemic to the region. We note that the lack of studies in the region is a serious problem, since several species are threatened (ICMBio, 2014) and, due to the peculiar characteristics of the region, several species probably have important growth patterns and adaptations that need to be known.

As demonstrated in the articles, there are various methods that enable the estimation of growth parameters. Worldwide, there is a strong tendency to use otoliths, due mainly to the amount of information about the life history of the fish that can be extracted from this structure (Hermann et al., 2016). Modern validation techniques using chemical markers or natural radiocarbon markers have been used for several species (see Begg et al., 2005; Davis-Foust et al., 2009; Kestelle et al., 2016). We have not found this type of work for freshwater fish of South America, which suggests a lag in this area and the need to implement modern techniques. Validation methods were not discussed in this paper, as most of the works do not possess any type of growth ring validation, making the data even more controversial for use in more robust analyses.

Extrapolating the basic science produced in South America is not an easy task for two main reasons: first, various species still lack basic biological and population parameter information, necessitating more basic science; second, this kind of information needs to be produced with more rigor, as the next step is to use it in stock and management evaluations. Thus, to produce basic science does not mean to “take a step backward”, but to furnish information that is sufficient to advance studies in diverse fields of biology, ecology and population dynamics. It is important that the results be coherent with the true condition of each of these populations, as errors in these stages can seriously compromise these species, both ecologically and economically.

REFERENCES

- Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S.C., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Rebecca, N.G., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H.L., Reis, R.E., Lundberg, J.G., Pérez, M.H.S., Petry, P., 2008. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58, 403-414.

- Albuquerque, S.P., Catella, A.C., 2010. Sistema de Controle da Pesca de Mato Grosso do Sul SCPESCA/MS 14 – 2007. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Pantanal. Corumbá.
- Almeida, O.T., McGrath, D.G., Ruffino, M.L., 2001. The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. *Fish. Manag. Ecol.* 8, 253-269.
- Alves, D.C., Mente-Vera, C.V., 2013. Scientometric analysis of freshwater fisheries in Brazil: repeating past errors? *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 23, 113-126.
- Alves, D.C., Mente-Vera, C.V., Agostinho, A.A., Okada, E.K., Vasconcelos, L.P., 2013. Hydrological attributes and rheophilic freshwater fish: stock assessment. *Rev. Fish. Biol. Fisheries.* 23, 375-394.
- Angelini, R., Agostinho, A.A., 2005. Parameter estimates for fishes of the upper Paraná River floodplain and Itaipu reservoir (Brazil). *Naga, WorldFish Center Newsletter* 28, 53-57.
- Angilletta, M.J., Dunham, A.E., 2003. The temperature-size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general. *Am. Nat.* 162, 332-342.
- Araya, P.R., Agostinho, A.A., Bechara, J.A., 2008. Population structure, growth and fishery yield of *Leporinus acutidens* (Valenciennes, 1837) (Teleostei: Anostomidae) in Yacyretá Reservoir (Argentina). *Neotrop. Ichthyol.* 6, 57-66.
- Barbieri, G., Salles, F.A., Cestarolli, M.A., 2000. Análise populacional do curimatá, *Prochilodus lineatus*, do rio Mogi Guaçu, Pirassununga, SP (Characiformes, Prochilodontidae). *Bol. Inst. Pesca* 26, 137-145.
- Barletta, M., Cussa, V.E., Agostinho, A.A., Baigun, C., Okada, E.K., Cattella, A.C., Fontoura, N., Pompeu, P.S., Jimenez-Segura, L., Batista, V.S., Lasso, C.A., Taphorn, D., Fabré, N.N., 2016. Fisheries Ecology in South American river basins, in: Craig, J. (Ed.), *Freshwater Fisheries Ecology*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp 311-348.
- Batista, V.S., Petrere Jr, M., 2003. Characterization of the commercial fish production landed at Manaus, Amazonas State, Brazil. *Acta Amazonica* 33, 53-66.
- Baudouin, M., Marengo, M., Culioli, J.M., Santoni, M.C., Marchand, B., Durieux, E.D.H., 2016. Comparison of otolith and scale readings for age and growth estimation of common dentex *Dentex dentex*. *J. Fish. Biol.* 88, 760-766.
- Baumann, H., Sutherland, S.J., McBride, R.S., 2013. Longitudinal length back-calculations from otoliths and scales differ systematically in haddock. *T. Am. Fish. Soc.* 142, 184-192.

- Begg, G.A., Campana, S.E., Fowler, A.J., Suthers, I.M., 2005. Otolith research and application: current directions in innovation and implementation. *Mar. Freshwater. Res.* 56, 477-483.
- Belk, M.C., Houston, D.D., 2002. Bergmann's rule in ectotherms: a test using freshwater fishes. *Am. Nat.* 160, 803-808.
- Bertollo, L.A.C., Born, G.G., Dergam, J.A., Fenocchio, A.S., Moreira-Filho, O., 2000. A biodiversity approach in the neotropical Erythrinidae fish, *Hoplias malabaricus*. Karyotypic survey, geographic distribution of cytotypes and cytotaxonomic considerations. *Chromosome Res* 8, 603-613.
- Betancur-R, R., Wiley, E.O., Arratia, G., Acero, A., Bailly, N., Miya, M., Lecointre, G., Ortí, G., 2017. Phylogenetic classification of bony fishes. *BMC Evol. Biol.* 17, 40.
doi:10.1186/s12862-017-0958-3
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Invest. London* 2, 1-533.
- Blackburn, T.M., Gaston, K.J., Loder, N., 1999. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's. *Biodiversity Research* 5, 165-174.
- Bovo-Scomparin, V.M., Train, S., Rodrigues, L.C., 2013. Influence of reservoirs on phytoplankton dispersion and functional traits: a case study in the Upper Paraná River, Brazil. *Hydrobiologia* 702, 115-127.
- Braaten, P.J., Guy, C.S., 2002. Life history attributes of fishes along the latitudinal gradient of the Missouri River. *Trans. Am. Fish. Soc.* 131, 931-945.
- Campana, S.E., 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 59, 197-242.
- Campana, S.E., Thorrold, S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 30-38.
- Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., Petry, P., Macedo, M.N., Renó, V.F., Arantes, C.C., 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv. Lett.* 6, 217-229.
- Cazorla, A.L., Sidorkewicz, N., 2011. Age, growth and reproduction in creole perch (*Percichthys trucha*) in the Negro River, Argentinean Patagonia. *J. Appl. Ichthyol.* 27, 30-38.
- Carozza, C., Cordivola de Yuan, E., 1991. Estudios ictiológicos em la laguna la Cuarentena (Isla Cabajal) río Paraná, Argentina: edad y crecimiento del "sábalo" *Prochilodus lineatus* Val. período 1984-1985 (Pisces, Curimatidae). *Revta. Hydrobiol. Trop.* 24, 229-129.

- Castro, R.M.C., Vari, R.P., 2003. Prochilodontidae (Fannel mouth characiforms), in: Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Brasil, Porto Alegre, pp. 65–70.
- Chang, S.K., Maunder, M., 2012. Aging material matters in the estimation of von Bertalanffy growth parameters for dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). *Fish. Res.* 119-120, 147-153.
- Córdoba, E.A., León, A.V.J., Bonilla-Castillo, C.A., Petreter Junior, M., Peláez, M., Duponchelle, F., 2013. Breeding, growth and exploitation of *Brachyplatystoma rousseauxii* Castelnau, 1855 in the Caqueta River, Columbia. *Neotrop. Ichthyol.* 11, 637-647.
- Davis-Foust, S.L., Bruch, R.M., Campana, S.E., Olynyk, R.P., Janssen, J., 2009. Age validation of freshwater drum using bomb radiocarbon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 138, 385-396.
- Dei Tos, C., Gomes, L.C., Ambrósio, A.M., Goulart, E., 2010. An overview of freshwater fish aging in South America: the science, biases and future directions. *Acta Sci. Biol. Sci.* 32, 323-333.
- Elsdon, T.S., Wells, B.K., Campana, S.E., Gillanders, B.M., Jones, C.M., Limburg, K.E., Secor, D.H., Thorrold, S.R., Walther, B.D., 2008. Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions limitations and inferences. *Oceanogr. Mar. Biol. An Annual Review* 46, 297-330.
- Enberg, K., Jorgensen, C., Dunlop, E.S., Varpe, Ø., Buokal, D.S., Baulier, L., Eliassen, S., Heino, M., 2012. Fishing-induced evolution of growth: concepts, mechanisms and the empirical evidence. *Mar. Ecol.* 33, 1-25.
- Erhardt, J.M., Scarnecchia, D.L., 2014. Population changes after 14 years of harvest closure on a migratory population of bull trout in Idaho. *N. Am. J. Fish. Manage.* 34, 482-492.
- Eschmeyer, W.N., Fricke, R., van der Laan, R., (Eds.). *Catalog of fishes: Genera, species, references.* (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) (accessed 01December 2016).
- Farley, J.H., Williams, A.J., Clear, N.P., Davies, C.R., Nicol, S.J., 2013. Age estimation and validation for South Pacific albacore *Thunnus alalunga*. *J. Fish. Biol.* 82, 1523-1544.
- Fisher, J.A.D., Frank, K.T., Leggett, W.C., 2010. Global variation in marine fish body size and its role in biodiversity- ecosystem functioning. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 405, 1-13.
- Fournier, D.A., Hampton, J., Sibert, J.R., 1998. MULTIFAN-CL: a length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 2015-2116.

- Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 1997. Influence of the flooding regime on the nutritional state and juvenile recruitment of the curimba, *Prochilodus scrofa*, Steindachner, in upper Paraná river, Brazil. *Fisheries Manag. Ecol.* 4, 263-274.
- Gomes, L.C., Bulla, C.K., Agostinho, A.A., Vasconcelos, L.P., Miranda, L.E., 2012. Fish assemblage dynamics in a Neotropical floodplain relative to aquatic macrophytes and the homogenizing effect of a flood pulse. *Hydrobiologia*, 685, 97-107.
- Gubiani, E.A., Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 2012. Estimates of population parameters and consumption/biomass ratio for fishes in reservoirs, Paraná State, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 10, 177-188.
- Heibo, E., Magnhagen, C., Vollestad, L.A., 2005. Latitudinal variation in life-history traits in Eurasian Perch. *Ecology* 86, 3377-3386.
- Hermann, T.W., Stewart, D.J., Limburg, K.E., Castello, L., 2016. Unravelling the life history of Amazonian fishes through otolith microchemistry. *R. Soc. Open. Sci.* 3, 160206. doi:10.1098/rsos.160206
- Hoeinghaus, D.J., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Pelicice, F.M., Okada, E.K., Latini, J.D., Kashiwaqui, E.A.L., Winemiller, K.O., 2009. Effects of river impoundment on ecosystem services of large tropical rivers: embodied energy and market value of artisanal fisheries. *Conserv. Biol.* 23, 1222–1231.
- Imsland, A.K., Jónsdóttir, O.D.B., 2003. Linking population genetics and growth properties of Atlantic cod. *Rev. Fish Biol. Fish.* 13, 1-26.
- Iwaszkiw, J.M., Lacoste, F.F., 2011. La pesca artesanal em la Cuenca del Plata (Argentina) y sus implicâncias em la conservación de la biodiversidad. *Rev. Mus. Argentino. Cienc. Nat.* 13, 21-25.
- Kastelle, C.R., Helser, T.E., Wischniowski, G., Loher, T., Goetz, B.J., Kautzi, L.A., 2016. Incorporation of bomb-produced ^{14}C into fish otoliths: a novel approach for evaluating age validation and bias with an application to yellowfin sole and northern rockfish. *Ecol. Model.* 320, 79-91.
- Khan, S., Khan, M.A., 2004. Importance of age and growth studies in fisheries management. Reviewed Proceedings of National Seminar “Next Generation Sciences: Vision 2020 and beyond”. pp. 194-201.
- Knouft, J.H., 2002. Regional analysis of body size and population density in stream fish assemblages: testing predictions of the energetic equivalence rule. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59, 1350-1360.

- Lansac-Toha, F.A., Velho, L.F.M., Costa, D.M., Simões, N.R., Alves, G.M., 2014. Structure of the testate amoebae community in different habitats in a neotropical floodplain. *Braz. J. Biol.* 74, 181-190.
- Le Guennec, B., Loubens, G., 2004. Biologie de *Pelloma castelnaeana* (Teloestei: Pristigasteridae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol. Explor. Fres.* 15, 369-383.
- Lester, N.P., Shuter, B.J., Abrams, P.A., 2004. Interpreting the von Bertalanffy model of somatic growth in fishes: the cost of reproduction. *The Royal Society* 271, 1625-1631.
- Lévêque, C., Oberdorff, T., Paugy, D., Stiassny, M.L.J., Tedesco, P.A., 2008. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 545-567.
- Liao, H., Sharov, A.F., Jones, C.M., Nelson, G.A., 2013. Quantifying the effects of aging bias in Atlantic Striped Bass Stock Assessment. *Trans. Am. Fish. Soc.* 147, 193-207.
- Lopes, G.C.S., Catarino, M.F., Lima, A.C., Freitas, C.E.C., 2016. Small-scale fisheries in the Amazon Basin: general patterns and diversity of fish landings in five sub-basins. *Bol. Inst. Pesca* 42, 889-900.
- Lozano, I.E., Llamazares Vegh, S., Dománico, A.A., Espinach Ros, A., 2014. Comparison of scale and otolith age readings for trahira, *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), from Paraná River, Argentina. *J. Applied. Ichthyol.* 30, 130-134.
- Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C., Krieter, J., 2014. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in Aquaculture* 6, 1-13.
- Martins, S.V., Milne, J., Thomaz, S.M., McWaters, S., Mormul, R.P., Kennedy, M., Murphy, K., 2013. Human and natural drivers of changing macrophyte community dynamics over 12 years in a Neotropical riverine floodplain system. *Aquat. Conserv.* 23, 678-697.
- Megalofonou, P., 2006. Comparison of otolith growth and morphology with somatic growth and age in young-of-the-year bluefin tuna. *J. Fish. Biol.* 68, 1867-1878.
- Megalofonou, P., Yannopoulos, C., Dean, J.M., 2003. The potential use of scales for estimating age and growth of Mediterranean albacore (*Thunnus alalunga*). *J. Appl. Ichthyol.* 19, 189-194.
- Methot, R.D., Wetzel, C.R. 2013. Stock synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fish. Res.* 142, 86-99.
- Meiri, S., Dayan, T., 2003. On the validity of Bergmann's rule. *J. Biogeogr.* 30, 331-351.

- Minte-Vera, C.V., Maunder, M.N., Casselman, J.M., Campana, S.E., 2016. Growth function that incorporate the cost of reproduction. *Fish. Res.* 180,31-44.
- Morgan, M.J., Shelton, P.A., Brattey, J., 2007. Age composition of the spawning stock does not always influence recruitment. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 38, 1-12.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V.H., 2016. *Fishes of the World*, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Okada, E.K., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., 2005. Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries of a large Neotropical reservoir, the Itaipu Reservoir, Brazil. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 714-724.
- Patternson, H.M., Kingsford, M.J., McColloch, M.T., 2005. Resolution of the early life history of a reef fish using otolith chemistry. *Coral Reefs* 24, 222-229.
- Pauly, D., David, N., 1981. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. *Meeresforsch* 28, 205-211.
- Pelicice, F.M., Azevedo-Santos, V.M., Vitule, J.R.S., Orsi, M.L., Lima Jr, D.P., Magalhães, A.L.B., Pompeu, O.S., Petrere Jr, M., Agostinho, A.A., 2017. Neotropical freshwater fishes imperiled by unsustainable policies. *Fish Fish.* 18, 1119-1133.
- Pontual, H., Panfili, J., Wright, P.J., Troadec, H., 2002. General introduction, in: Panfili, J., Pontual, H., Troadec, H., Wright, P.J. (Eds.) *Manual of fish sclerochronology*. Ifremer-IRDcoedition, Brest, pp 19-22.
- Quince, C., Abrams, P.A., Shuter, B.J., Lester, N.P., 2008. Biphasic growth in fish: Theoretical foundations. *J. Theor. Biol.* 254, 197-206.
- R Core Team, 2015. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, URL <http://www.R-project.org/>.
- Reis, R.E., Albert, J.S., Di Dairo, F., Mincarone, M.M., Petry, P., Rocha, L.A., 2016. Fish biodiversity and conservation in South America. *J. Fish. Biol.* 89, 12-47.
- Reis, R.E., Kullander, S.O., Ferraris, J.R., 2003. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Edipucrs, Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Rypel, A.L., 2012. Meta-analysis of growth rates for a circumpolar fish, the northern pike (*Esox lucius*), with emphasis on effects of continent, climate and latitude. *Ecology of Freshwater Fish* 21, 521-532.
- Rypel, A.L., 2014. The cold-water connection: Bergmann's rule in North American freshwater fishes. *Am. Nat.* 183, 147-156.

- Santana, H.S., Rodrigues, A.C., Dei Tos, C., 2016. Patterns of reproduction and growth of the catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874) after a reservoir formation. *J. Appl. Ichthyol.* 32, 456-463.
- Santana, H.S., Minte-Vera, C.V., 2017. Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Env. Biol. Fish.* 100, 223-235.
- Silva, E.A., Stewart, D.J., 2006. Age structure, growth and survival rates of the commercial fish *Prochilodus nigricans* (bocachico) in North-eastern Ecuador. *Environ. Biol. Fish.* 77, 63-77.
- Sylvester, R.M., Berry Jr, C.R., 2006. Comparison of white sucker age estimates from scales, pectoral fin rays, and otoliths. *N. Am. J. Fish. Manage.* 26, 24-31.
- Sivasundar, A., Bermingham, E., Ortí, G., 2001. Population structure and biogeography of migratory freshwater fishes (*Prochilodus*: Characiformes) in major South American rivers. *Mol. Ecol.* 10, 407-417.
- Tuset, V.M., Lombarte, A., Assis, C.A., 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci. Mar.* 72S1, 7-198.
- Valderrama, M.B., Solano, D., 2004. Estado de la población de bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Characiformes), y su manejo em la cuenca del río Sinú, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ictiólogos* 7, 3-12.
- Van der Meulen, D.E., West, R.J., Gray, C.A., 2013. An assessment of otoliths, dorsal spines and scales to age the long-finned gurnard, *Lepidotrigla argus*, Ogilby, 1910 (Family: Triglidae). *J. Appl. Ichthyol.* 29, 815-824.
- Wright, P.J., Panfili, J., Morales-Nin, B., Geffen, A.J., 2002. Types of calcified structures, in: Panfili, J., Pontual, H., Troadec, H., Wright, P.J. (Eds.) *Manual of fish sclerochronology*. Ifremer-IRD coedition, Brest, pp31-56.
- Zhang, Z., Beamish, R.J., 2000. Use of otolith microstructure to study life history of juvenile chinook salmon in the Strait of Georgia in 1995 and 1996. *Fish. Res.* 46, 239-250.

3 OTOLITH MORPHOMETRY PROVIDES LENGTH AND WEIGHT PREDICTIONS AND INSIGHTS ABOUT CAPTURE SITES OF *PROCHILODUS LINEATUS* (VALENCIENNES, 1836)

Abstract

Here we choose the sábalo *Prochilodus lineatus*, to answer the following questions: Is there linearity between the otolith size and the length or weight of fish? How the otoliths dimensions can be used to predict the length or age of fish? In addition, we aimed to (1) describe the morphology of the *lapillus* and *asteriscus* otoliths of *Prochilodus lineatus*; (2) provide morphometric details of the *lapillus* otolith; and (3) relate otolith growth to the length and age of the fish. The otoliths were obtained from individuals collected in the Upper Paraná River floodplain during 2012 and 2013 years. To test the predictive ability of models developed based on otolith morphometric, we used leave-and-out methods. The models that included the otolith morphometry allowed for accurate predictions of the fish length, mainly the length and weight of the otolith. In 75% of cases is possible to predict the length of the fish with a standard error of ± 10.91 mm using the length of the otolith and a standard error of ± 15.34 mm using the weight of the otolith. The age of the fish was also highly correlated with otolith dimensions but, the variability in otolith measurements for some ages was high, complicating precisions discrimination of age. Also, the length and weight of the otolith were sufficient to differentiate fish from the Paraná river from the Baía and Ivinhema rivers.

Keywords: *lapillus*; sábalo; age of fish; otolith description; migratory fish

3.1 INTRODUCTION

Historically, otoliths have been mainly used for age and growth studies, with a focus on inputs for stock assessments (Chris-Francis and Campana, 2004) and to produce basic information about growth parameters of fish stocks. Due to their chemical and morphological properties, otoliths, however, have been more recently used to separate populations of the same species (Campana et al., 1999; Radhakrishnan et al., 2012; Skeljo and Ferri, 2012), and even species identification. This is particularly relevant in archeology, paleontology and animal diet studies, since otoliths are usually preserved in the fossil record and frequently found in stomach contents of several species (Fitch and Brownell, 1968; Van Neer et al., 2002; Reichenbacher et al., 2007).

The taxonomic characteristics of otoliths have been explored mainly for the marine environment, and various species guides describe in detail the morphology of otoliths (Tuset et al., 2008). In freshwater fish, especially for those descended from the Ostariophysi lineage, the *sagitta* otolith is reduced and is not used for age and growth studies, while pairs of *asteriscus* and *lapillus* otoliths are more developed and have distinctive characteristics for each species. In this sense, the morphological characterization of the otolith can be critical in studies of trophic webs, assisting in the identification of prey through the otoliths found in the stomach contents, and allowing the reconstruction of past fauna compositions (Reichenbacher et al., 2007).

The main method to perform age inferences through otolith is by reading the growth rings produced periodically. This can be done in several ways, for example, cutting the otolith in different planes or performing readings on the entire otolith (see Secor et al., 1991). However, age estimates are usually difficult to obtain using these structures, due to the high cost equipment and skills necessary to process the otolith and make precise and accurate readings (Ilkyaz et al., 2011).

An alternative to minimize these difficulties is to obtain the age using only the morphometry and the weight of the otolith, so that the otolith does not need to be processed. To obtain the age in a reliable manner, there must be a strong correlation between fish growth and growth of the otolith and, furthermore, a set of fish shall be aged using annulus counts. The otoliths, in contrast to other bones, only have accretion processes; this tends to result in positive relationship between the growth of the otolith and fish growth (Battaglia et al., 2010;

Humston et al., 2015). Thus, predictive models that use the weight or any other measure of the otolith could provide cheaper methods to estimate age, as they do not require specialized reader skills nor expensive processing of the otolith (Chris-Francis et al., 2005).

The sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) is an important commercial species that is distributed abundantly in South America, belongs to the Prochilodontidae family, which is characterized mainly by its migratory behaviour (Agostinho et al., 2000). This species has suffered severe population depletions, mainly due to the construction of reservoirs that block access to spawning and nursery grounds (Agostinho et al., 2007; Barletta et al., 2010; Fontes-Júnior et al., 2012). *Prochilodus* sp. forms the foundation of artisanal fisheries for several basins in South America (Welcomme, 1979; Harvey and Carolsfeld, 2003; Baigún et al., 2013). For example, *P. lineatus* is one of the most important species for fisheries in the Itaipu Reservoir (Gomes and Agostinho, 1997; Okada et al., 2005) and contributed almost 90% (~295 tons) of the total freshwater fishes of the Argentinean catch between 1994 and 2010 (Iwazkiw and Lacoste, 2011).

Considering the three pairs of otoliths, *lapillus* is the most robust for *P. lineatus*, because *sagitta* is very small and the *asteriscus*, although it is the largest, is more fragile. Therefore, *lapillus* is more likely to be found intact in stomach contents and fossil record. So, in this study, we aimed to (1) describe the morphology of the *lapillus* otoliths of *Prochilodus lineatus* and (2) to provide morphometric details of the *lapillus* otoliths and addressed the following questions: How the otolith length and weight are correlated to fish measurements (length and weight)? How reliable are the otoliths measurements to predict the length and age of *P. lineatus*? Finally, we propose predictive equations of the length and weight of the fish using length and weight of the otolith.

3.2 MATERIAL AND METHODS

3.2.1 Study area and Sampling

The study covered ten sampling stations located in the Upper Paraná River Floodplain (Fig. 1): three rivers (Paraná, Baía and Ivinhema), four open lagoons (lagoa do guaraná, lagoa dos patos, lagoa das garças e ressaco do pau véio) and three closed lakes (lagoa ventura, lagoa do osmar e lagoa fechada). This set of sites comprises the main growth and breeding sites of *P. lineatus*, since the population of this species has a marked spatial structure (Santana and Minte-Vera, 2017).

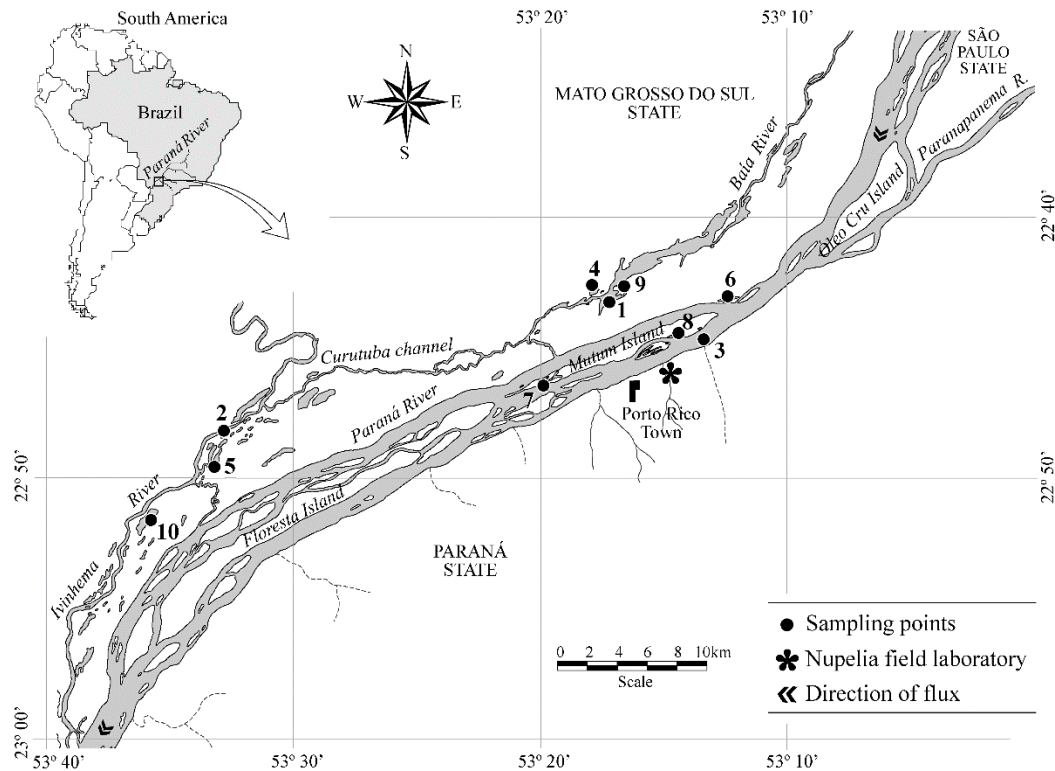


Fig. 1. Study area and location of sampling sites in the floodplain of the Upper Paraná River. (Baa River – 1; Ivinhema River– 2; Paraná River – 3; lagoa guaran – 4; lagoa dos patos – 5; lagoa das garças – 6; lagoa do Osmar – 7; ressaco do pa vio – 8; lagoa fechada – 9; lagoa ventura – 10).

Five samplings were performed: June, September and December 2012 and March and June 2013 using 11 sizes of mesh gillnets (2.4, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 and 16 cm, between opposite knots). Each gillnet remained in the water for 24 hours at each sample site and were revisited every 8 hours. Additionally, in the lakes associated with each river, trawls were performed. Before extraction of the otoliths, the standard length (mm) and total weight (g) of fish were obtained. The otoliths were extracted using a cross-section cut on the dorsal surface of the fish’s head to expose the inner ear where the otoliths are inserted (GSMFC 2003).

3.2.2 Otolith morphology and morphometry

The morphological description of *lapillus* otoliths was defined according to the terminology adopted by Assis (2005). Photographs of the otoliths were taken using a scanning electron microscope (SHIMADZU; Model: SS550). To make predictions about the length and weight of the fish, we took the length (LO) and weight (WgO) of *lapillus* otolith. These two measurements were made because it has already been demonstrated that the length and weight of otolith are the measures most correlated to somatic growth (Megalofonou 2006; Jawad et

al. 2011; Zan et al. 2015). The measures were performed using a digital caliper to the nearest 0.1 mm of precision. The weight was measured using a digital balance with a precision of 0.0001 g. Since the right otolith was cut to provide the age estimates, only the left otoliths were used for the morphometric analysis.

3.2.4 Age determination

The right otoliths were embedded in epoxy acrylic resin and cut using a low-speed Buehler IsoMet hard diamond saw. Three cross-sections were made close to the core of each otolith. The rings (annuli) were counted under transmitted light on a stereoscopic microscope under 40X magnification. The validation and time of formation of the rings were obtained using the increment marginal method proposed by Lai (1987). The marginal increment considers the distances of the last and next to last ring to the edge of the otolith. This metric demonstrated that only one ring is formed annually during the winter, more details about age, growth and validation patterns can be seen in Santana & Minte-Vera (2017). The left otoliths were deposited in the collection of the Growth and Reproduction Laboratory of the Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupelia) in the Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brazil.

3.2.5 Data analysis

Pearson correlations were performed to check the degree of association between the *lapillus* length with *lapillus* weight. Positive correlations indicate that growth in otolith length is directly associated with the increase of its weight. The lack of correlation indicates that the otolith grows in one dimension, but not in the other.

The relationships among the otolith measurements and both length and weight of the fish were performed using linear regressions. To meet the assumptions of analysis, the fish weight was log transformed. In all analyses, the otolith measurements were considered predictors for the fish length or weight.

To test whether the length and weight of the otolith differ between the sampled sites, Variance Analysis was performed. However, due to the positive association between fish length and otolith length and weight, the fish length effect was removed. For this, linear regressions between the length and weight of the otolith and the length of the fish were adjusted and, by means of the equations, all otolith measurements were standardized to a standard fish length of 22cm (Table 1). The value of 22cm was chosen because it is a length sampled in all the

rivers (Baia, Ivinhema and Paraná). The standardized value of otolith length and weight was obtained by regression equations incorporating the residuals (difference between observed and expected measurements) and multiplying the angular coefficient by the adopted standard length (22cm). In Table 1 is an example of how the measurements were standardized, this procedure was followed for all observed values of otolith length and weight.

Table 1. Equations used and example of how the standardization of the length and weight of the otolith was carried out by removing the effect of the standard length of the fish. This procedure was done for all observed values. a = angular coefficient; b = intercept.

River	Equation	Observed Value	Predict Value	Residuals (Observed - Predict)	Standardized Value = (a*22) + (b+residuals)
Baia	OL = 2.3768+0.0797*SL	4.46	4.24975	0.21025	4.32725
Ivinhema	OL = 2.084+0.0931*SL	4.66	4.67218	-0.01218	4.12002
Paraná	OL = 1.8771+0.0988*SL	4.46	4.2438	0.2162	4.2185
Baia	OW = 0.0004+0.0006*SL	0.0139	0.0145	-0.0006	0.013
Ivinhema	OW = 0.0043+0.0008*SL	- 0.0217	0.01682	0.00488	0.01818
Paraná	OW = 0.0062+0.0009*SL	- 0.0179	0.01585	0.00205	0.01565

Finally, we made analysis of Kruskal-Wallis to verify if the measurements obtained through the otoliths could be used to predict the age of the fish. In these analyses, age was considered as a factor and the length and weight were the response variables. All analyses were performed using the R software (R Core Team 2017) and the adopted level of significance was $p < 0.05$.

3.3 RESULTS

3.3.1 Otolith morphology and morphometry

The *lapillus* otolith has a wedge-shaped dorsal body, narrowing from the lateral to the medial side, while its posterior region is wider and rectilinear (Fig. 2).

Considering the morphometry (Table 2), the *lapillus* is a very small otolith, its length is greater than its width. Their length ranged from 2.03 to 5.95 mm (mean = 4.20 ± 0.57 SD) and the weight from 0.0016 to 0.0484 g (mean = 0.015 ± 0.005 SD).

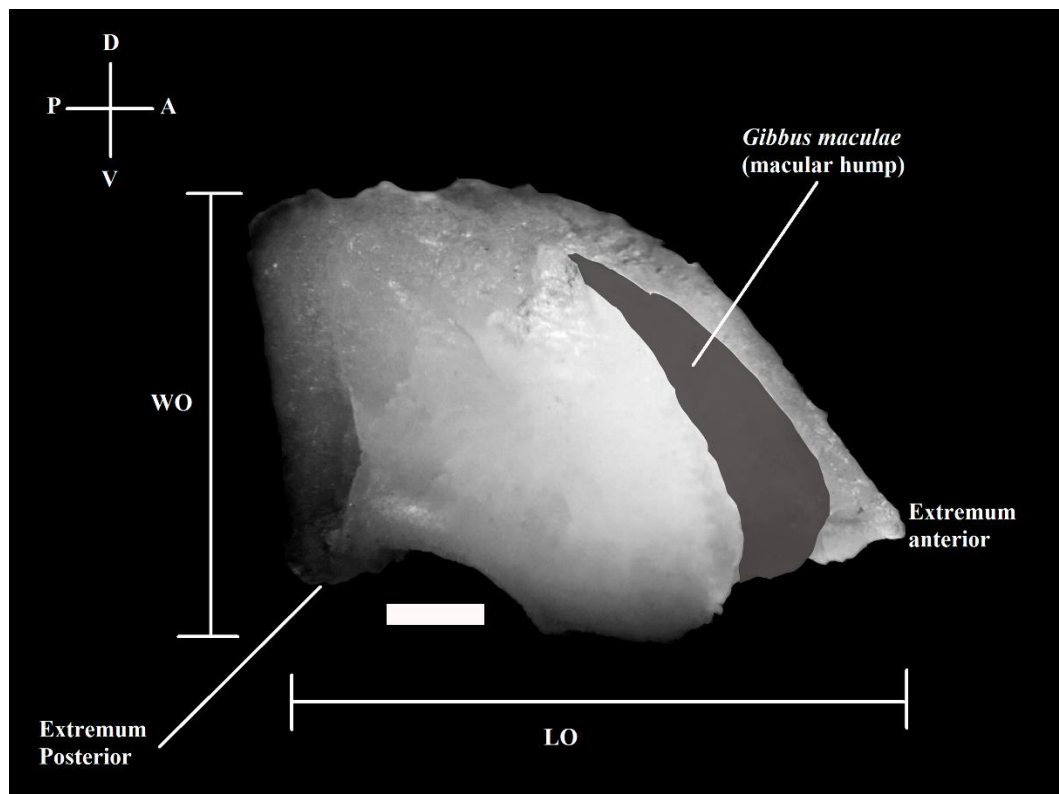


Fig. 2. *Lapillus* otolith images of *Prochilodus lineatus* from a scanning electron microscope with 40X magnification. LO – otolith length; WO – otolith width. The white bar scale is equal to 1 mm. V – Ventral; D – Dorsal, P – Posterior; A – Anterior. The highlighted region (grey region - highlighted digitally) is the macular hump.

Table 2. Range of the measurements observed in the *lapillus* otoliths of *Prochilodus lineatus*. Otolith Length, Otolith Width and Otolith Weight. SD = standard deviation.

	Range	Mean \pm SD
Length	2.03 – 5.95	4.2 \pm 0.57 (mm)
Width	1.36 – 3.98	2.84 \pm 0.38 (mm)
Weight	0.0016 – 0.0484	0.015 \pm 0.005 (g)

We found a positive correlation between the length and weight of the otolith ($r = 0.93$) indicating that the otolith has a uniform growth in length and weight dimensions.

3.3.2 Using the measurements of otoliths as predictors for length, weight and age of the fish

Regression analysis using the otolith measurements as predictors of standard fish length indicated that there is a positive relationship between the length and weight of otolith and the standard length of the fish. Otolith's weight is slightly better to predict the length of the fish ($r^2 = 0.82$) than the otolith's length ($r^2 = 0.80$) (Fig. 3).

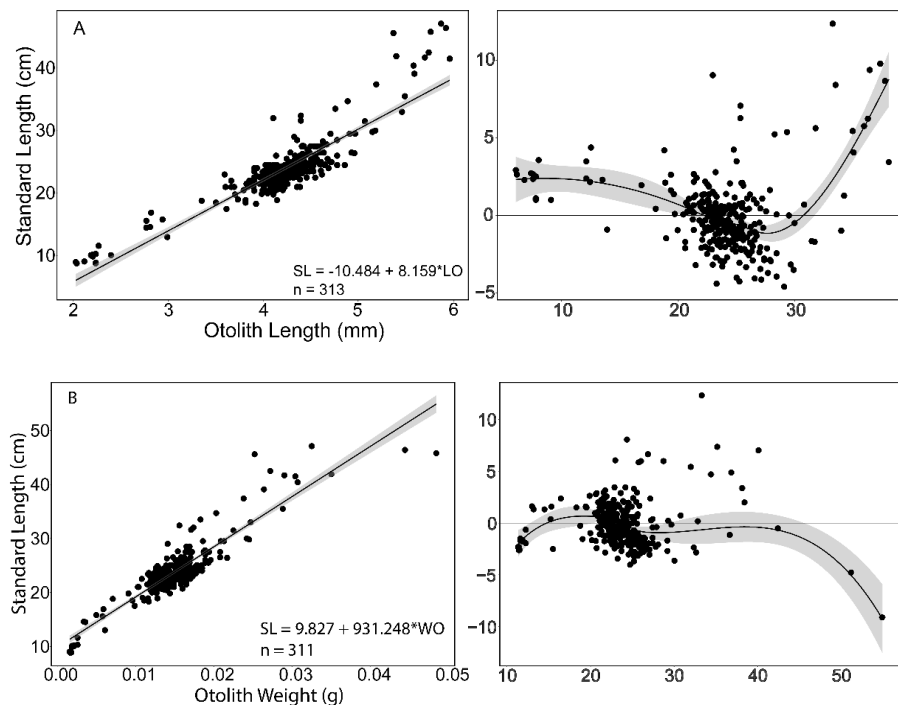


Fig. 3. Fits of the linear regressions between *lapillus* otolith and standard length of fish: (A) Otolith Length ($r^2 = 0.80$) and (B) Otolith Weight ($r^2 = 0.82$). The shaded area represents the confidence interval of 95% of the estimate. Loess fit of residuals are in right panels.

The length and weight of the otolith were also good predictors of the weight's fish (Fig. 4). However, the length of the otolith was better adjusted to the smaller fish, so that when the otolith weight was used, it was evident that the fit overestimated the values for the smaller fish.

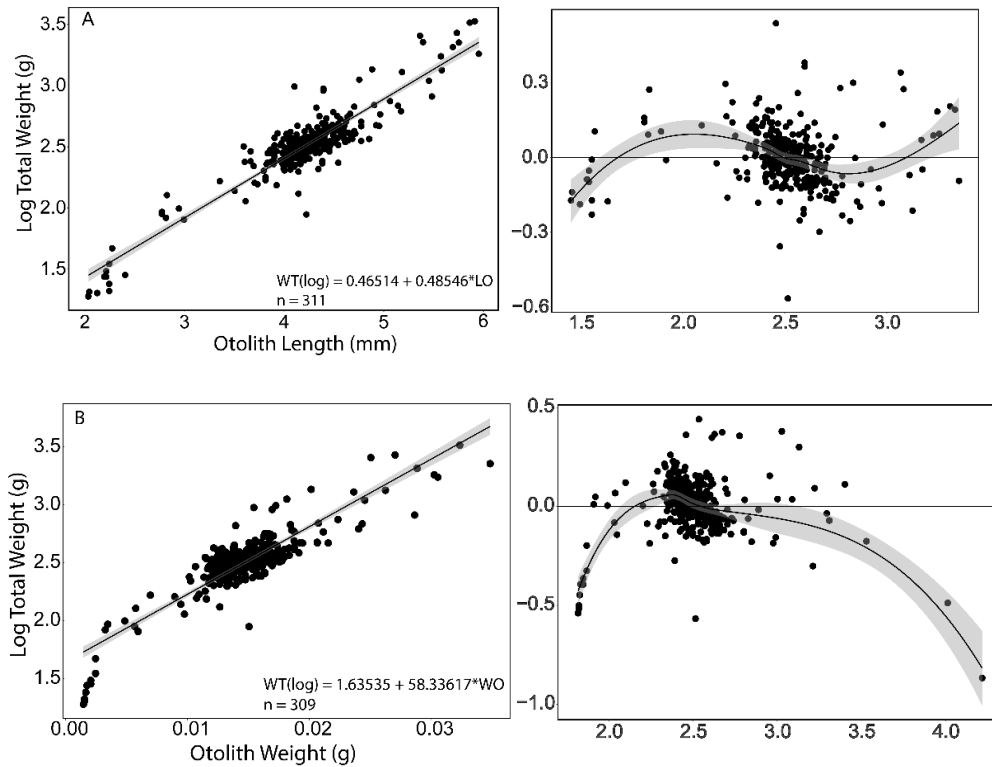


Fig. 4. Fits between *lapillus* otolith measures and the weight of fish: (A) Otolith Length ($r^2 = 0.85$) and (B) Otolith Weight ($r^2 = 0.78$). The shaded area represents the confidence interval of 95% of the estimate. Loess fit of residuals are in right panels.

The length and weight of the otolith were efficient to distinguish the Paraná river from the other two rivers sampled (Baia and Ivinhema), however, in both cases there was no difference between the Baia and Ivinhema rivers. Our analyses indicate that the otoliths of the fish caught in the Paraná River are smaller and lighter than the otoliths caught in the other two rivers (Fig 5).

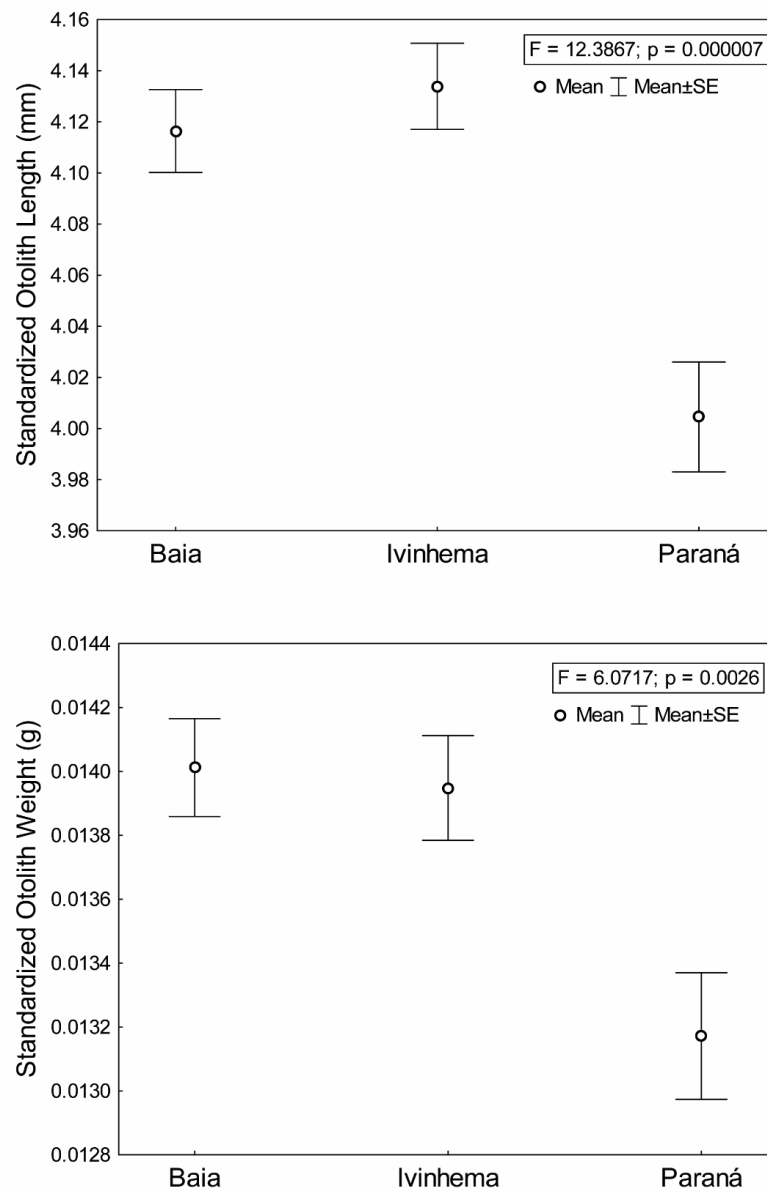


Fig. 5. Analysis of variance between the length and weight of otolith and the three rivers sampled (Baia, Ivinhema and Parana).

Age estimates were made by counting the age rings present in *lapillus* otolith ranging from 2 to 7 years (ages 2 and 7 were not included in the analysis because they have only one individual). Through analysis of the marginal increment in otolith it was confirmed that only one annual ring is formed in the period from June to August.

Despite the success in predicting the length and weight of the fish using the otolith measurements, the relationship between the age of the fish and these variables does not have the same pattern. Analysis of variance performed between the length and weight of the otolith and the age obtained by the same individual were significant (Fig. 6). However, we note that

the standard error range is similar for ages 3, 4 and 5, precluding the prediction of these ages through their respective measures of otoliths. The Tukey test indicated that only fish with six years of age can be easily categorized, but the weight of the otolith seems more effective than otolith length.

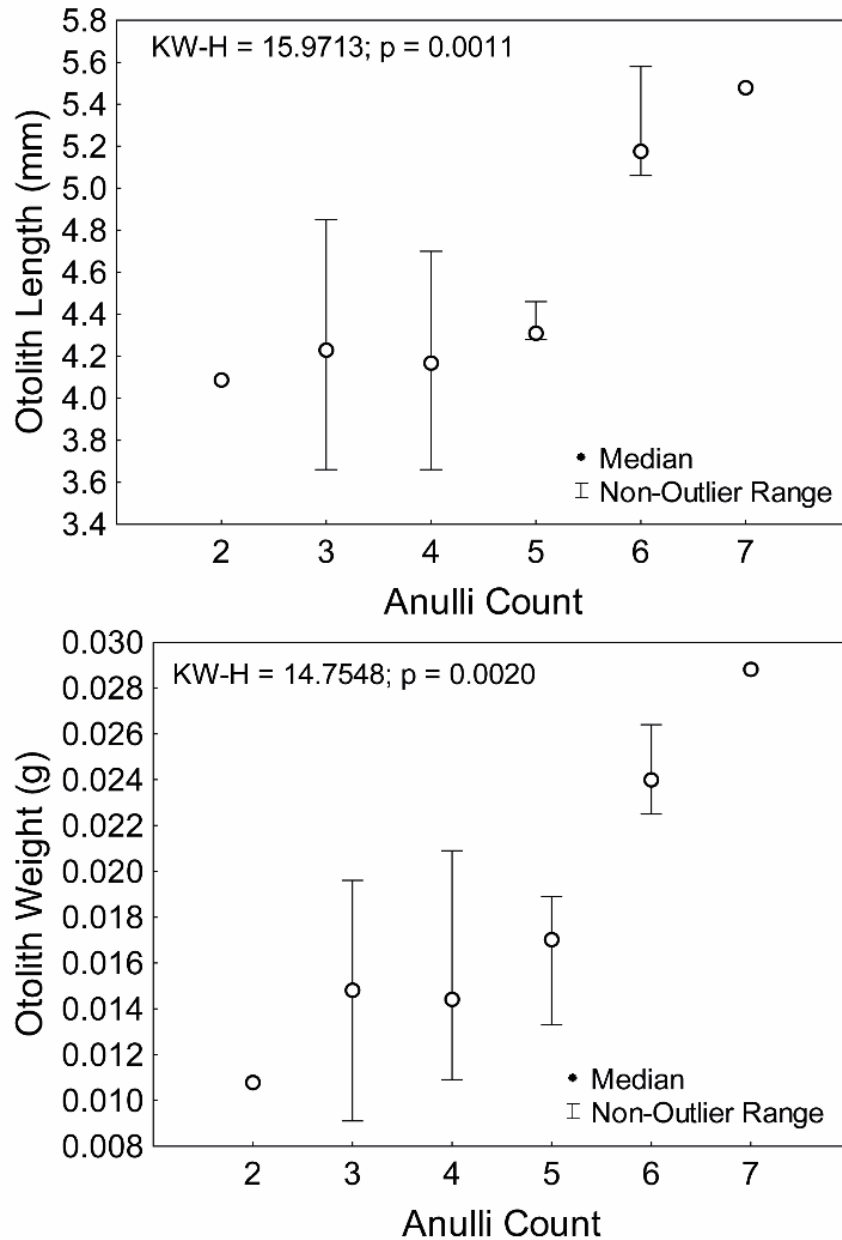


Fig. 6. Kruskal-Wallis results of the *lapillus* length and weight in each fish age. Ages 2 and 7 were not included in analysis because they have only one sample.

3.4 DISCUSSION

Together, the morphology and morphometry of the otoliths can provide a lot of information, especially on the ecology of *P. lineatus*. Dei Tos et al. (2010) performed a review of age and

growth of freshwater fish in South America and concluded that most studies used scales to make the reading of growth rings. Currently the use otoliths in freshwater studies have increased (Silva and Stewart 2006; Cazorla and Sidorkewicz, 2011; Lozano et al., 2014). For example, one otolith atlas of Brazilian freshwater fish with relevant information was recently published (Breem and Schulz, 2014). Nevertheless, age and growth studies of freshwater fish using otoliths are still in the process of consolidation and far from stage of similar studies for marine species.

The morphometry of otoliths has often been used to make predictions about the length, age and weight of fish (Chris-Francis and Campana, 2004; Ilkyaz et al., 2011; Matic-Skoko, et al. 2011). Here, we demonstrate that the length and weight of the otolith are good proxies to predict the length and weight of the fish (the otolith length was the best variable explaining the variance of fish length), a fact corroborated by Megalofonou (2006). This result has two main implications: in diet studies (Waessle et al., 2003), once the otoliths are found well preserved in stomach contents, it is possible to predict the size of the prey that was eaten by the predator with a high degree of reliability; and in fossil studies, the size and shape of otoliths provide evidence for the diversity and size of extinct fish (Reichenbacher et al., 2007). Jawad et al. (2011) claim that, in some cases, it is possible that otolith weight can fit better to fish length because the otoliths stop growing in length when the fish reaches its maximum length. So, once the fish reaches its asymptotic length, the otolith mainly increases in weight and thickness.

Assis (2005), in his extensive discussion of the morphology of the *lapillus* otolith notes that there are two main types of otolith: those from clupeiform fishes and those from non-clupeiform fishes. The *lapillus* otolith of *P. lineatus* belongs to the second group, which is characterized by a remarkable *gibbus maculae* and a dorsal shaped body. This otolith has a regular shape and generally very similar across many species, a fact that complicates their use in taxonomic studies. It is a very resistant otolith and is easily manipulated and extracted.

The length and weight of the otolith were sufficient to differentiate fish from the Paraná river from the Baía and Ivinhema rivers. As Reynalte-Tataje et al. (2013) point out, the Ivinhema river are the main tributary of the Paraná River along its floodplain and this river is a natural nursery and a great breeding site for migratory species. which has a wide diversity of *habitats*, availability of food and little fishing pressure, since it is an environmental park. These characteristics explain the greater weight and length of the otoliths of this river in relation to the otoliths of the Paraná river, since fish from the Parana River probably grow faster due to

both environmental pressures (competition and predation) and anthropic pressures, such as fishing and changes in river flow (Agostinho et al. 2004; Okada et al. 2005).

Still, several authors (Walls et al., 1990; Meekan and Fortier, 1996; Enberg et al., 2011) have shown that faster growth can be an evolutionary response since growing faster implies "escaping" from high mortality rates in the early stages of life and maximize survivorship and reproduction.

Once age estimates are fundamental to studies of stocks assessments, population dynamics and growth (Campana and Thorrold, 2001), we highlight that the use of otolith morphometry to make age predictions should be further investigated and, if possible, more used. The use of morphometry of the otolith in age and growth studies can reduce costs and time necessary to produce good information, so that continuous monitoring programs and stock assessments can use this information to improve its effectiveness.

The use of morphometry of the otolith as the fish age predictor is only one alternative to the traditional and already well-studied techniques that involve the processing of otoliths. Obviously, this methodology does not replace the other, but comes as a great alternative to complement and enhance the work with freshwater species. Here we test the differences between the age of fish using length and weight and found that there is high overlap between the measures, especially in the initial ages. Although some ages were statistically different, this result does not support the idea that the age of the fish can be accurately inferred only using these measures.

We propose as directions for future works, studies should focus on better understanding the otoliths and producing databases of morphological and morphometric information. Examples of marine biology should be followed, particularly aiming to provide more information regarding all species. Indirect methods for age estimation should be used with caution because of the inaccuracies and biases associated with the method and, the results presented here are fundamental to the advancement of studies of age and growth in South America, mainly because it is a species with large commercial interest that has suffered great pressure and population reductions.

REFERENCES

- Agostinho, A.A., Thomaz, S.M., Minte-Vera, C.V., Winemiller, K.O., 2000. Biodiversity in the high Paraná River floodplain, in: Gopal, B., Junk, W.J., Davis, J.A. (Eds.) Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Leiden, Backhuys Publishers, pp. 89-118.
- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Veríssimo, S., Okada, E.K., 2004. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 14, 11–19.
- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Pelicice, F.M., 2007. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. EDUEM, Maringá.
- Assis, C.A., 2005. The utricular otoliths, *lapilli*, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematic studies. *Sci. Mar.* 69, 259-273.
- Baigún, C., Minotti, P., Oldani, N., 2013. Assessment of sábalo (*Prochilodus lineatus*) fisheries in the lower Paraná River basin (Argentina) based on hydrological, biological, and fishery indicators. *Neotrop. Ichthyol.* 11, 199-210.
- Barletta, M., Jaureguizar, A.J., Baigun, C., Fontoura, N.F., Agostinho, A.A., Almeida-Val, V.M.F., Val, A.L., Torres, R.A., Jimenes-Segura, L.F., Giarrizzo, T., Fabr e, N.N., Batista, V.S., Lasso, C., Taphorn, D.C., Costa, M.F., Chaves, P.T., Vieira, J.P., Corr ea, M.F.M., 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *J. Fish. Biol.* 76, 2118-2176.
- Battaglia, P., Malara, D., Romeo, T., Andaloro, F., 2010. Relationships between otolith size and fish size in some mesopelagic and bathypelagic species from the Mediterranean Sea (Strait of Messina, Italy). *Sci. Mar.* 74, 605-612.
- Breem, C.Q., Schulz, U.H., 2014. Otolith atlas of fish of the Sinos River. *Braz. J. Biol.* 74, 274-282.
- Campana, S.E., Chouinard, G.A., Hanson, J.M., Fréchet, A., 1999. Mixing and migration of overwintering Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks near the mouth of the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56, 1873-1881.
- Campana, S.E., Thorrold, S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 30-38.

- Cazorla, A.L., Sidorkewicz, N., 2011. Age, growth and reproduction in creole perch (*Percichthys trucha*) in the Negro River, Argentinean Patagonia. *J. Appl. Ichthyol.* 27, 30-38.
- Chris-Francis, R.I.C., Campana, S.E., 2004. Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61, 1269-1284.
- Chris-Francis, R.I.C., Harley, S.J., Campana, S.E., Doering-Arjes, P., 2005. Use of otolith weight in length-mediated estimation of proportions at age. *Mar. Freshwater Res.* 56, 735-743.
- Dei Tos, C., Gomes, L.C., Ambrósio, A.M., Goulart, E., 2010. An overview of freshwater fish aging in South America: the science, biases and future directions. *Acta Sci. Biol. Sciences* 32, 323-333.
- Enberg, K., Jorgensen, C., Dunlop, E.S., Varpe, O., Boukal, D.S., Baulier, L., Eliassen, S., Heino, M., 2011. Fishing-induced evolution of growth: concepts, mechanisms and the empirical evidence. *Mar. Ecol.* 33, 1-25.
- Fitch, J.E., Brownell Jr., R.L., 1968. Fish otoliths in cetacean stomachs and their importance in interpreting feeding habits. *J. Fish. Res. Board Can.* 25, 2561-2574.
- Fontes-Júnior, H.M., Castro-Santos, T., Makrakis, S., Gomes, L.C., Latini, J.D., 2012. A barrier to upstream migration in the fish passage of Itaipu Dam (Canal da Piracema), Paraná River basin. *Neotrop. Ichthyol.* 10, 697-704.
- Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 1997. Influence of the flooding regime on the nutritional state and juvenile recruitment of the curimba, *Prochilodus scrofa*, Steindachner, in upper Paraná River, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* 4, 263-274.
- GSMFC (Gulf States Marine Fisheries Commission), 2003. A practical handbook for determining the ages of Gulf of Mexico fishes. Ocean Springs, Gulf State Marine Fisheries Commission.
- Harvey, B., Carolsfeld, J., 2003. Introduction: Fishes of the Floods, in: Carolsfeld, J., Harvey, B., Ross, C., Baer, A. (Eds.). *Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Victoria, Alaris Design., pp. 1-18.
- Humston, R., Moore, M., Wass, C., Dennis, D., Doss, S., 2015. Correlations between body length and otolith size in smallmouth bass *Micropterus dolomieu* Lacépède, 1802 with implications for retrospective growth analyses. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 883-887.

- Ilkyaz, A.T., Metin, G., Kinacigil, H.T., 2011. The use of otolith length and weight measurements in age estimations of three Gobiidae species (*Deltentosteus quadrimaculatus*, *Gobius niger*, and *Lesuerigobius friesii*). *Turk. J. Zool.* 35, 819-827.
- Iwaszkiw, J.M., Lacoste, F.F., 2011. La pesca artesanal en la Cuenca del Plata (Argentina) y sus implicancias en la conservación de la biodiversidad. *Rev. Mus. Argent. Cienc. Nat.* 13, 21-25.
- Jawad, L.A., Ambuali, A., Al-Mamry, J.M., Al-Busaidi, H.K., 2011. Relationships between fish length and otolith length, width and weight of the indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817) collected from the sea of Oman. *Ribarstvo* 69, 51-61.
- Lai, H.L., 1987. Age determination of pacific cod *Gadus macrocephalus* using five ageing methods. *Fish. Bull.* 85, 713-723.
- Lozano, I.E., Llamazares Vegh, S., Dománico, A.A., Espinach Ros, A., 2014. Comparison of scale and otolith age readings for trahira, *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), from Paraná River, Argentina. *J. Appl. Ichthyol.* 30, 130-134.
- Matic-Skoko, S., Ferri J., Skeljo, F., Bartulovic, V., Glavic, K., Glamuzina, B., 2011. Age, growth and validation of otolith morphometrics as predictors of age in the forkbeard, *Phycis phycis* (Gadidae). *Fish. Res.* 112, 52-58.
- Meekan, M.G., Fortier, L., 1996. Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod *Gadus morhua* on the Scotian Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 137, 25-37.
- Megalofonou, P., 2006. Comparison of otolith growth and morphology with somatic growth and age in young-of-the-year bluefin tuna. *J. Fish. Biol.* 68, 1867-1878.
- Okada, E.K., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., 2005. Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries of a large Neotropical reservoir, the Itaipu Reservoir, Brazil. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 714-724.
- Radhakrishnan, K.V., Yuxuan, L., Jayalakshmy, K.V., Ming, L., Murphy, B.R., Songguang, X., 2012. Application of otolith shape analysis in identifying different ecotypes of *Coilia ectenes* in the Yangtze Basin, China. *Fish. Res.*, 125-126, 156-160.
- R Core Team, 2017. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from <http://www.R-project.org/>.

- Reichenbacher, B., Sienknecht, U., Küchenhoff, H., Fenske, N., 2007. Combined otolith morphology and morphometry for assessing taxonomy and diversity in fossil and extant killifish (*Aphanius*, *Prolebias*). *J. Morphol.* 268, 898-915.
- Reynalte-Tataje, D.A., Agostinho, A.A., Bialecki, A., 2013. Temporal and spatial distribution of the fish larval assemblages of the Ivinhema River sub-basin (Brazil). *Environ. Biol. Fish.* 96, 811–822.
- Secor, D.H., Dean, J.M., Laban, E.H., 1991. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. Columbia, Baruch Institute Technical Report.
- Santana, H.S., Minte-Vera, C.V., 2017. Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Environ. Biol. Fish.* 100, 223-235.
- Silva, E.A., Stewart, D.J., 2006. Age structure, growth and survival rates of the commercial fish *Prochilodus nigricans* (bocachico) in North-eastern Ecuador. *Environ. Biol. Fish.* 77, 63-77.
- Skeljo, F., Ferri, J., 2012. The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. *J. Appl. Ichthyol.* 28, 524-530.
- Tuset, V.M., Lombarte, A., Assis, C.A., 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci. Mar.* 72S1, 7-198.
- Van Neer, W., Erynck, A., Bolle, L.J., Millner, R.S., Rijnsdorp, A.D., 2002. Fish Otoliths and their relevance to archaeology: an analysis of Medieval, Post-Medieval, and Recent Material of Plaice, Cod and Haddock from the North Sea. *Environmental Archaeology* 7, 61-76.
- Waessle, J.Á., Lasta, C.A., Favero, M., 2003. Otolith morphology and body size relationships for juvenile scianidae in the Río de la Plata estuary (35-36°S). *Sci. Mar.* 67, 233-240.
- Walls, M., Kortelainen, I., Sarvala, J., 1990. Prey responses to fish predation in freshwater communities. *Annales Zoologici Fennici* 27, 183-199.
- Welcomme, R.L., 1979. Fisheries Ecology of Floodplain Rivers. New York, Logman Inc.

Zan, X.X., Zhang, C., Xu, B.D., Zhang, C.L., 2015. Relationships between fish size and otolith measurements for 33 fish species caught by bottom trawl in Haizhou Bay, China. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 544-548.

4 CRESCIMENTO BIFÁSICO: ENTENDENDO A IMPORTÂNCIA DA REPRODUÇÃO E DO METABOLISMO NO CRESCIMENTO SOMÁTICO

RESUMO

Historicamente, o crescimento somático de espécies de peixes tem sido estudado principalmente por meio do ajuste da curva proposta por von Bertalanffy. Contudo, muitas críticas têm sido feitas em relação a essa curva, já que é aplicada sem consideração ao estágio reprodutivo do indivíduo, ou seja, incluindo juvenis e adultos na mesma estimativa de parâmetros. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivos principais (i) explorar modelos de crescimento bifásicos para o *Prochilodus lineatus* e (ii) verificar o efeito do parâmetro metabólico β sobre o crescimento. Para isso, foram utilizados dois tipos de modelos, um que separa o crescimento de juvenis e adultos (modelo de Lester) e outro que modela o crescimento de juvenis e adultos simultaneamente incorporando uma transição relacionada ao investimento energético (modelo de Quince-Boukal). Adicionalmente este modelo incorpora variações na estratégia metabólica por meio do parâmetro β que é um expoente que descreve como a energia disponível para crescimento/reprodução se relaciona com a variação em massa. Este estudo foi realizado com dados simulados de comprimento por idade com base em parâmetros conhecidos do *P. lineatus*, a fim de responder à pergunta: se houvessem dados ideais de tamanho por idade para esta espécie, seria possível estimar parâmetros da história de vida apenas com esses dados? O modelo de Lester permitiu recuperar o comprimento assintótico que foi calculado em 64 cm, o coeficiente de crescimento em 0.145182 e o t_0 em -1.774332 e os dados simulados foram bem próximos aos dados preditos, indicando uma alta confiabilidade do modelo. O valor de β que produziu a menor verossimilhança foi de 0.75 ($\beta = \frac{3}{4}$), mas todos os valores produziram curvas muito similares de crescimento. Contudo, apesar da semelhança entre as curvas, as mesmas implicam em histórias de vida completamente distintas, o valor estimado de r , que é o investimento reprodutivo, variou de 0.15 a 4.29 entre as curvas. Isso implica que, considerar um valor 'default' para o beta pode levar a sérios erros de estimativas de outros parâmetros da história de vida, principalmente aqueles relacionados à reprodução e maturidade.

Palavras-chave: crescimento bifásico, reprodução de peixes, traços da história de vida, crescimento alométrico.

ABSTRACT

Historically, the somatic growth of fish species has been studied mainly by fitting the curve proposed by von Bertalanffy. However, many criticisms have been made regarding this curve, since it is applied without regard to the reproductive stage of the individual, including juveniles and adults in the same parameter estimation. In this sense, this work aims (i) To explore growth biphasic models for *Prochilodus lineatus* and (ii) to verify the effect of a metabolic parameter β on growth. For this, two types of models were used, one that separates the growth of juveniles and adults (Lester model) and the Quince-Boukal model that models the growth of juveniles and adults simultaneously incorporating a transition related to the energetic investment. Additionally, this model incorporates variations in the strategy metabolic through the parameter β which is an exponent that describes how the energy available for growth/reproduction is related to mass variation. This study was carried out using simulated length-for-age data based on known parameters of *P. lineatus* to answer the question: if there were ideal size-for-age data for this species, would it be possible to estimate the various parameters of life history only with this data? The Lester model allowed to recover the asymptotic length, calculated in 64 cm, the coefficient of growth in 0.145182 and the t_0 in -1.774332 and the simulated data were very close to the predicted data, indicating a high reliability of the model. In addition, the β value that produced the lowest likelihood was 0.75 ($\beta = 3/4$), but all values produced very similar growth curves. However, despite the similarity between the curves, they imply in completely different life histories, the estimated value of r , which is the reproductive investment, ranged from 0.15 to 4.29 between the curves. This implies that considering a default value for the beta can lead to serious errors in estimates of other life history parameters, especially those related to reproduction and maturity.

Keywords: biphasic growth, fish reproduction, life-history traits, allometric growth.

4.1 INTRODUÇÃO

A ciência pesqueira tem recebido bastante atenção nas últimas décadas, principalmente devido às notáveis diminuições de vários estoques pesqueiros (FAO, 2014) e à necessidade de entender melhor o funcionamento da dinâmica populacional das diferentes espécies. Pode-se destacar as espécies que são comercialmente exploradas, por exemplo o atum e o bacalhau em ambientes marinhos, os grandes bagres na Amazônia e as espécies migradoras de água doce

em geral (Petrere et al., 2004; Dankel et al., 2008; Castello et al., 2011; Alves et al., 2013; Sant'Anna et al., 2014; Allain et al., 2016). Inúmeras tentativas têm sido feitas e elaboradas ao longo dos anos para obter dados e parâmetros confiáveis relacionados ao crescimento, a mortalidade e a reprodução das espécies que permitam a tomadas de decisões em relação ao manejo dos estoques que leve em conta as limitações na produtividade biológica.

Historicamente, o principal método de estudo do crescimento somático de peixes é baseado no modelo de von Bertalanffy (1938), o qual supõe um crescimento contínuo ao longo da vida, que tende a atingir um tamanho máximo teórico. Essa curva possui três parâmetros básicos, o comprimento assintótico (L_{∞}) que é o comprimento que os animais mais velhos de uma população podem atingir em média, o coeficiente de crescimento (K), relacionado à velocidade com que o peixe irá atingir esse comprimento e o t_0 , idade teórica de um peixe com comprimento zero. Contudo, muitas críticas têm sido feitas em relação a esse modelo, já que não considera o estágio reprodutivo do indivíduo, ou seja, incluindo juvenis e adultos na mesma estimativa. Isto é um problema pois este modelo não considera que o investimento metabólico possa variar ao longo da vida de um peixe, em especial durante a fase reprodutiva (Day e Taylor, 1997; Lester et al., 2004; Quince et al., 2008a).

Espera-se que até a primeira maturação a energia seja alocada primariamente ao crescimento, levando a uma alta velocidade de crescimento, posteriormente haveria uma diminuição nessa velocidade, já que os inputs energéticos seriam divididos entre reprodução e crescimento (Enberg et al., 2012; Boukal et al., 2014). Vários autores têm proposto métodos que incorporam o custo da reprodução nas curvas de crescimento (Charnov, 2002; Lester et al., 2004; Shuter et al., 2005; Quince et al., 2008b; Minte-Vera et al., 2016) de forma que os parâmetros do modelo não só tenham mais significado biológico. Ainda, estes parâmetros podem considerar compensações na história de vida, e permitir o estudo simultâneo de vários aspectos da história de vida.

Um ponto crítico nas avaliações de estoques pesqueiros é a estimativa da mortalidade natural (M). Esse parâmetro é reconhecido como um dos mais difíceis de serem estimados, já que existem diversos fatores que o influenciam, como densidade-dependência, reprodução, dinâmica predador-presa e maturidade (Enberg et al., 2012; Hordik et al., 2015a) e que são difíceis de serem medidos na natureza. Vários métodos são propostos para estimar a mortalidade (Beverton and Holt, 1959; Pauly, 1980). Beverton and Holt (1959) estudaram dados de vários estoques pesqueiros perceberam a existência de padrões entre os valores de crescimento e os valores de mortalidade, a chamada relação K/M , encontrando valores variando de ≈ 1.5 a 2.0

entre várias espécies. Contudo, Thorson et al. (2017), por meio de uma extensa análise, atualizaram esse estudo indicando que essa relação é muito próxima para espécies que são filogeneticamente próximas, mas para espécies distantes (de outra família ou ordem por exemplo) podem apresentar valores bem distintos. Além dessas relações, outras foram encontradas entre o comprimento de primeira maturação e o comprimento assintótico L_{50}/L_{∞} (Beverton, 1992; Hordik et al., 2015a, 2015b; Prince et al., 2015). Estas relações entre os parâmetros da história de vida ficaram conhecidas como ‘Beverton-Holt Life History Invariants’. A descoberta dessas relações facilitou a obtenção de valores para os parâmetros de difícil estimação como a mortalidade natural, relacionando-os com os processos de crescimento, maturidade e reprodução, que são mais fáceis de estudar (Jensen, 1997).

A teoria da história de vida tenta prever as trajetórias de crescimento, sobrevivência e reprodução que maximizam o *fitness* da espécie em diferentes ambientes. Nessa mesma linha, Quince et al. (2008a) elaboraram uma abordagem considerando um parâmetro chamado de β que é definido como o coeficiente alométrico que escala a entrada de energia em relação ao tamanho do indivíduo, e assim dita a magnitude de energia que está disponível para o crescimento ou para a reprodução (Boukal et al. 2014). Essa abordagem infere que a energia disponível está diretamente relacionada com o custo da reprodução, influenciando tanto no comprimento individual quanto na velocidade de crescimento. Ainda, diferentes estratégias que visam maximizar tanto a prole, quanto sobrevivência *efitness*, possuem relação direta com a maturidade (Enberg et al., 2012), fazendo com que ocorra uma evolução direcionada a atingir a maturidade em uma idade reduzida (Lester et al., 2014). Dessa forma, a idade de maturação é um fator chave para a mudança de alocação de energia, principalmente para fêmeas.

Considerando essas relações e as devidas ressalvas em relação ao modelo de crescimento de von Bertalanffy, Minte-Vera et al. (2016) demonstram a relação entre o custo da reprodução e o crescimento somático. Nesse sentido, levar em consideração os invariantes de Beverton e Holt (Heibo and Vollestad, 2006), tanto reprodutivos, quanto de crescimento e mortalidade e, encontrar padrões consistentes é uma forma de fornecer subsídios para estudos de avaliação de estoques.

Esse estudo objetiva verificar as relações entre traços de história de vida e aplicar o modelo de crescimento bifásico para uma espécie migradora de água doce. A população selecionada para o estudo de caso foi a de curimba *Prochilodus lineatus*, uma espécie amplamente distribuída em toda a América do Sul e essencial na pesca de pequena escala. Essa espécie, é uma das

mais estudadas no continente, possuindo muitos estudos populacionados, tornando-a apta a ser estudada de forma mais específica, já que existem dados suficientes para servirem de entrada para os modelos. Assim, este trabalho teve por objetivos principais (i) Explorar modelos bifásicos de crescimento para o *Prochilodus lineatus* e (ii) verificar o efeito de um parâmetro metabólico β sobre o crescimento.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois tipos de modelos que incorporam o custo da reprodução no crescimento foram usados, Lester et al. (2004) – Modelo Lester e Quince et al. (2008a) – Modelo Quince-Boukal modificado por Boukal et al. (2014) e Minte-Vera et al. (2016).

4.2.1 Modelo Lester

O modelo de Lester et al. (2004) une um modelo linear para o crescimento dos juvenis a um modelo de von Bertalanffy para o crescimento dos adultos, de forma que o crescimento passa a diminuir quando a energia é direcionada à reprodução. Esse modelo necessita de parâmetros de entrada, como a idade de primeira maturação (T_{mat}), o crescimento somático anual (h), a idade teórica em que comprimento é zero (t_1), o custo biológico da reprodução (g) e o coeficiente de variação (CV) das idades em relação ao comprimento (Tabela 1) e dados que indicam a variação de idade da espécie.

As idades mínima e máxima foram extraídas de dados reportados na literatura para a espécie na América do Sul. A idade máxima reportada foi para a região do Paraná Médio, na Argentina (Cordiviola de Yuan, 1971). A idade de maturação foi extraída de Santana e Minte-Vera (em preparação) no qual o comprimento de maturação é estimado em 23,26 para as fêmeas. O valor referente ao parâmetro ‘ h ’ foi obtido por meio do ajuste realizado por Santana and Minte-Vera (2017). O custo da reprodução foi estimado pela equação (1) proposta por Lester et al. (2004), para espécies com crescimento indeterminado.

$$g = 0,5 * \left(\frac{3}{T_{mat}} - t_1 \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde g é o custo da reprodução, T_{mat} é a idade de maturação e t_1 é a idade teórica em que o peixe tem comprimento igual a zero. O coeficiente de variação utilizado foi de 15%, que é um valor razoável para os erros em estimativas de idade em peixes (Lorenzen 2016; Wilson et al. 2017).

Tabela 1. Valores de entrada para ajustar o modelo de crescimento bifásico para o *Prochilodus lineatus*.

	Valor
Idades	1 – 10
T_{mat}	3
h	100 (mm)
t_1	- 0,2
g	0,46875
CV	0,15

Os parâmetros de crescimento da equação de von Bertalanffy (L_∞ , K e t_0) foram calculados a partir das equações derivadas por Lester et al. (2004):

$$L_\infty = 3h/g \quad \text{Equação 2}$$

$$k = \ln\left(1 + \frac{g}{3}\right) \quad \text{Equação 3}$$

$$t_0 = T_{mat} + (\ln(1 - g(T_{mat} - t_1)))/\ln(1 + g/3) \quad \text{Equação 4}$$

O crescimento dos juvenis foi descrito de forma linear (Equação 5), enquanto que o crescimento após a maturidade foi ajustado de acordo com a equação de von Bertalanffy (Equação 6):

$$l_t = h(t - t_1) \quad \text{quando } t \leq T_{mat} \quad \text{Equação 5}$$

$$l_t = l_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{quando } t > T_{mat} \quad \text{Equação 6}$$

4.2.2 Simulação

Para verificar como os parâmetros calculados se ajustam à distribuição de dados de comprimento por idade foi feita uma simulação. A simulação foi feita por meio da função ‘rnorm’ do software R (R Core Team, 2015) na qual foram simulados 15 valores de

comprimento para cada idade, considerando tanto a fase juvenil quanto a fase adulta, com tamanho médio proveniente da curva de crescimento de Lester e coeficiente de variação (CV) no tamanho de 15%. O modelo foi ajustado aos dados simulados, a fim de explorar a capacidade do modelo em recuperar os valores dos parâmetros. O modelo foi ajustado minimizando a função de verossimilhança normal variando os cinco parâmetros contidos na tabela 1 utilizando a função ‘optim do software R (Wilson et al. 2017). Os intervalos de confiança 95% inferior e superior foram calculados por meio da equação 7.

$$IC = PAR \pm 1,96 * EP_PAR \quad \text{Equação 7}$$

Onde ‘PAR’ é o valor predito do parâmetro e EP_PAR é o erro padrão desse valor.

Por meio dos parâmetros calculados a partir das equações, foram extraídos o comprimento predito para três situações distintas: Situação 1– situação hipotética caso não houver investimento em reprodução, ou seja, sem gasto energético em atividades que envolvem a reprodução (crescimento gonadal, maturação, migração, procura por locais ótimos), Situação 2 – situação hipotética caso a reprodução tiver início logo no primeiro ano de vida e Situação 3 – crescimento bifásico com estimativas lineares até a maturidade e assintóticas na fase adulta.

4.2.2 Modelo Quince-Boukal

A partir do modelo proposto por Lester et al. (2004), Quince et al. (2008a) e Boukal et al. (2014) propuseram abordagens que reinterpretam os parâmetros por uma ótica metabólica e energética, com inferências sobre a influência do crescimento alométrico sobre o crescimento somático individual. Esses autores revisaram a abordagem teórica e testam empiricamente (Quince et al. 2008b) a importância do β que é um expoente alométrico (expoente que dita a quantidade de energia disponível para o crescimento somático) para o crescimento, com considerações diretas sobre as variações desse valor após a primeira maturação. Neste trabalho foram ajustados vários modelos com diferentes pressupostos sobre o valor de β , representando diferentes estratégias metabólicas.

Estes modelos foram ajustados ao mesmo conjunto de dados simulados a partir do modelo A – Lester, a fim de verificar como diferentes histórias de vida, representadas pelos parâmetros, estão implícitas na curva de crescimento de Lester. Os parâmetros do modelo são oito (Tabela 2, Equação 9): b (coeficiente da relação peso-comprimento), a (expoente da relação peso-

comprimento), c (coeficiente alométrico da relação peso-comprimento), β (expoente alométrico), r (investimento reprodutivo), q (fator de conversão entre o investimento gonadal eo somático, L_0 (comprimento inicial na idade zero) e a idade de maturação (a_{mat}). Os valores iniciais dos parâmetros ‘ b ’, ‘ a ’, ‘ a_{mat} ’ e ‘ L_0 ’ foram retirados de dados coletados por meio de um projeto denominado Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) que consiste em amostragens periódicas na mesma região em que os dados de idade foram obtidos, os valores de ‘ c ’ e ‘ q ’ foram retirados de Boukal et al. (2014), o valor de ‘ r ’ foi calculado a partir da equação 1 ($g = r$) e, finalmente, foram utilizados diferentes pressupostos sobre os valores de beta ‘ β ’: 0,5; 0,6; 0,67; 0,75; 0,8; 0,88; 1; 1,05 e 1,1. Todos esses valores são pressupostos aceitáveis para peixes teleósteos, a teoria metabólica ecológica prevê que esse valor seria igual a $\frac{3}{4}$ (0.75) (Brown et al. 2004), mas Clarke e Johnston (1999) encontraram uma amplitude de β de 0,40 a 1,29 para espécies pertencentes a 28 famílias e 12 ordens.

$$L(a + 1) = \{ [L(a)^{(1-\beta)d} + (1 - \beta)cb^{-(1-\beta)}] [1 + q^{-1}(1 - \beta)rp(a + 1)]^{-1} \}^{[(1-\beta)d]^{-1}}$$

Equação 9

Tabela 2. Valores e fontes dos parâmetros utilizados como entrada para o ajuste do modelo de crescimento.

Parâmetro	Valor Inicial	Fonte
b	0,03	PELD
a	2,95	PELD
c	7,15	Boukal et al. (2014)
r	0,46875	Equation 1
q	1	Boukal et al. (2014)
a_{mat}	2	Dados não publicados
L_0	0	Santana e Minte-Vera (2017)

Para o ajuste do modelo os parâmetros ‘ β ’, ‘ a_{mat} ’, ‘ a ’ e ‘ b ’ foram fixados, ou seja, não foram estimados dentro do modelo, enquanto os parâmetros L_0 , r e q foram estimados pelo modelo, de forma que os valores contidos na tabela 2 foram os valores iniciais fornecidos. Esse modelo foi ajustado por meio de uma função de verossimilhança a partir dos dados de comprimento por idade implementada no programa ADMB (Fournier et al., 2012).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Modelo Lester

Pelo modelo de Lester, o comprimento assintótico foi calculado em 64 cm, o coeficiente de crescimento em 0.145182 e o t_0 em -1.774332. Com estes valores teóricos, a curva bifásica de crescimento (Figura 1) reflete em um crescimento linear durante a fase juvenil que, numa situação hipotética de ausência de reprodução, implicaria em crescimento linear durante toda a vida do indivíduo (linha cinza pontilhada – Figura 1). Após essa fase, devido à divisão energética entre o crescimento somático e a reprodução, a velocidade de crescimento decai, seguindo a curva proposta por von Betalanffy (linha preta – Figura 1). Enquanto a ausência de eventos reprodutivos implicaria em um crescimento linear indefinido ao longo da vida (Tabela 3, Situação 1), uma situação hipotética de reprodução desde o início da vida, implica em uma curva de von Betalanffy desde a idade 0 (Tabela 3, Situação 2). Finalmente, o modelo de Lester (Tabela 3, Situação 3) prediz um crescimento linear até a idade 3, idade de primeira maturação, seguido de um crescimento assintótico na idade adulta.

Tabela 3 – Estimativas de comprimento por idade em milímetros em três situações distintas do ciclo de vida de *Prochilodus lineatus*. Situação 1– situação hipotética caso não houver investimento em reprodução. Situação 2 – situação hipotética caso a reprodução tiver início logo no primeiro ano de vida. Situação 3 – crescimento bifásico com estimativas lineares até a maturidade e assintóticas na fase adulta.

Situação/Idade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Situação 1	120,00	220,00	320,00	420,00	520,00	620,00	720,00	820,00	920,00	1020,00
Situação 2	212,19	270,00	320,00	363,24	400,64	432,99	460,96	485,16	506,08	524,18
Situação 3	120,00	220,00	320,00	363,24	400,64	432,99	460,96	485,16	506,08	524,18

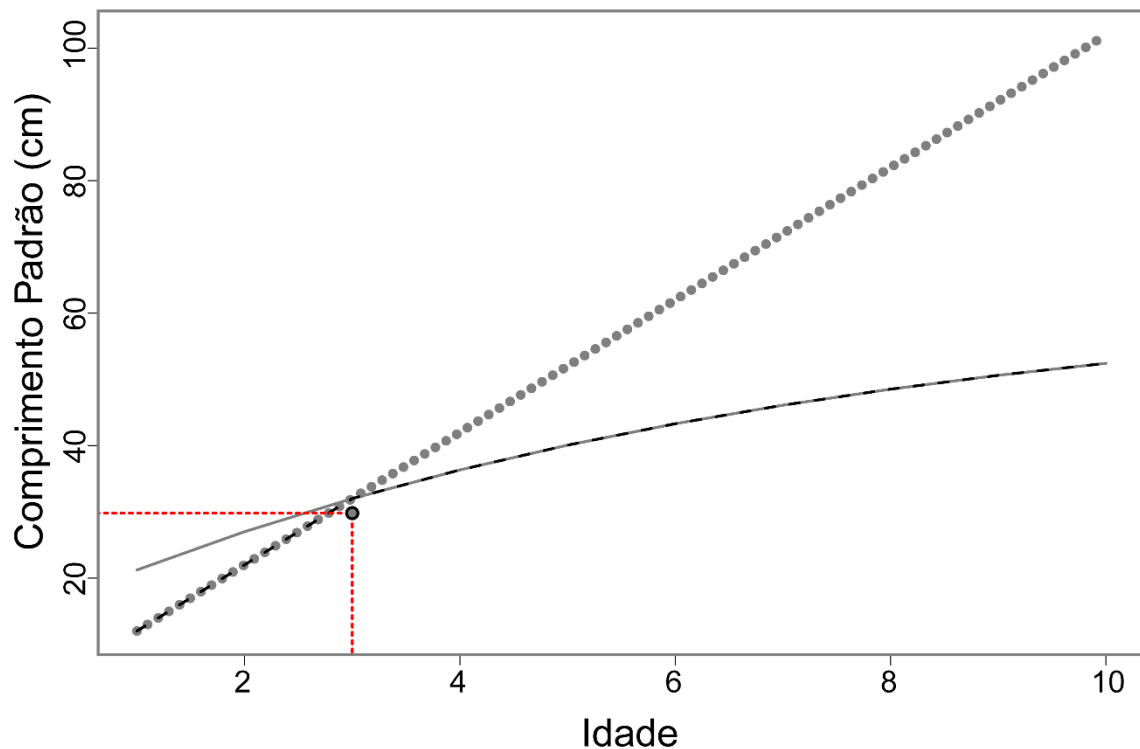


Figura 1. A linha vermelha indica a idade e o comprimento em que todos os peixes já estão maduros, de forma que a curva até essa linha indica a primeira fase do crescimento. A linha cinza pontilhada seria um modelo teórico caso não houvesse investimento energético em reprodução. A linha cinza contínua é o crescimento assintótico caso investissem na reprodução desde o nascimento e a linha preta intertrancada indica o crescimento composto pelas duas fases (modelo de Lester), juvenil, crescimento linear, e adulta, crescimento segundo a curva de von Bertalanffy.

4.3.2 Ajuste a dados simulados

A curva de crescimento bifásica se ajustou bem aos dados simulados, de forma que o ajuste não superestimou ou subestimou o comprimento para nenhuma das classes de idade (Figura 2).

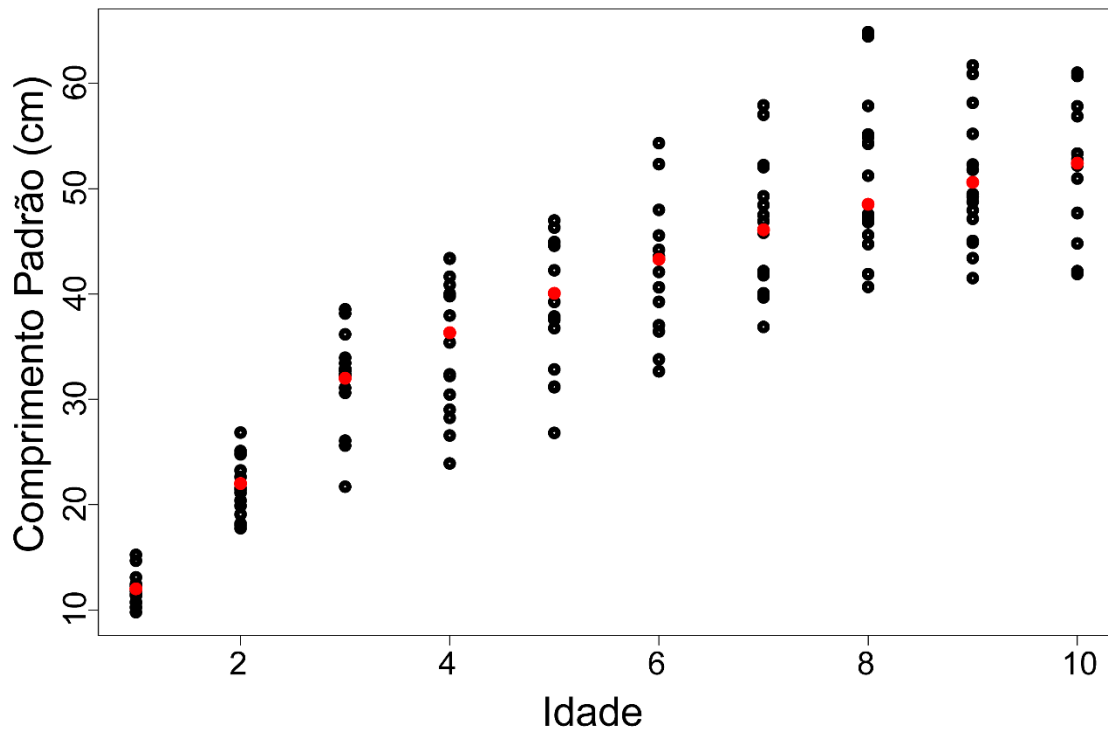


Figura 2. Dados de comprimento por idade gerados aleatoriamente segundo o modelo de Lester com parâmetros iguais aos valores da Tabela 1. Pontos vermelhos indicam o comprimento médio e pontos pretos representam os valores simulados de comprimento.

As estimativas dos parâmetros obtidas a partir do ajuste a dados simulados indicam que o modelo parece ser acurado, uma vez que para a maioria dos parâmetros os valores estimados são muito próximos dos valores reais (Tabela 4, Figura 3). Entretanto, considerando os valores médios de comprimento por idade, os valores simulados geram uma curva que suavemente superestima o comprimento para a maioria das idades, mas com um comprimento assintótico muito parecido com o real, já que o estimado foi de 62,24 centímetros e o valor obtido a partir dos dados reais foi de 64 centímetros, de forma que o final da curva é semelhante para ambos os dados (Figura 3).

Tabela 4. Valores reais, estimados e intervalos de confiança para os cinco parâmetros da curva de crescimento de Lester ajustada a dados simulados.

Parâmetro	Valor Real	Valor Estimado	IC – inferior	IC - superior
h	100mm	111,48mm	92,382	130,580
t ₁	-0,2	-0,07	-0.307	0.158
g(log)	-0,757	-0,621	-0.870	-0,371
CV	0,15	0,151	0.134	0.169
T _{mat}	3	2,717	2,389	3,046

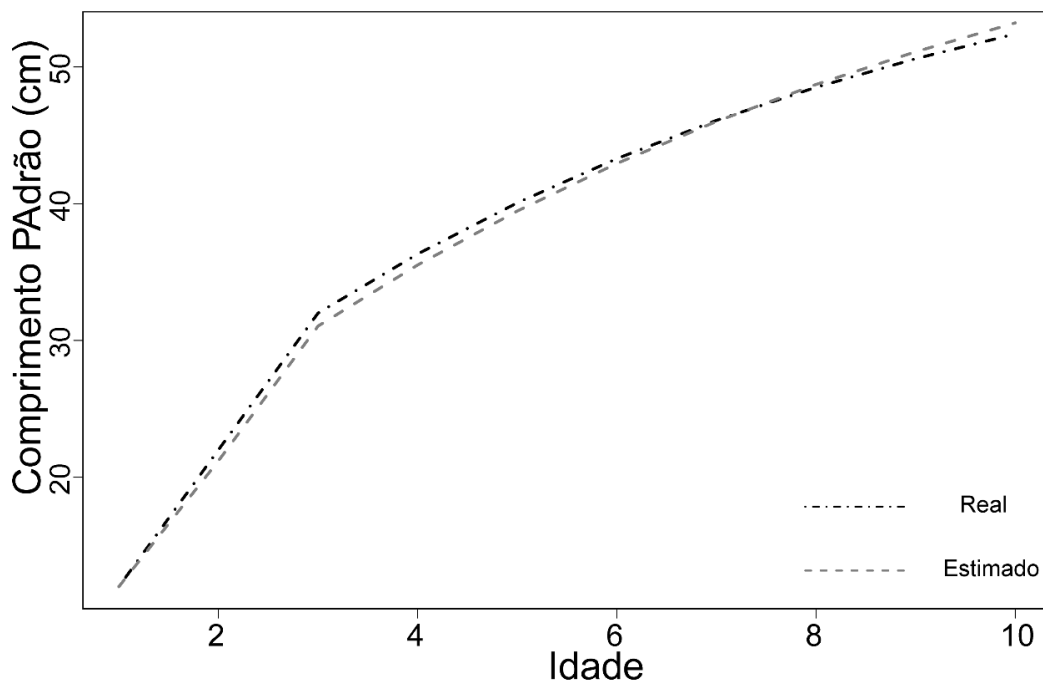


Figura 3. Comparação do comprimento médio por idade gerado a partir dos parâmetros calculados por meio das equações 2, 3 e 4 com os parâmetros estimados por meio dos dados simulados.

4.3.3 Modelo Quince- Boukal

Os ajustes do modelo proposto por Quince et al. (2008a) e modificado por Boukal et al. (2014) demonstram a grande influência que o β possui na interpretação da curva de crescimento (Figura 4). O valor que produziu a menor verossimilhança foi de beta igual 0.75 ($\beta = \frac{3}{4}$), mas todos os valores produziram curvas muito similares de crescimento (Figura 4).

Para todos os valores de beta acima de 1,0 não houve convergência, de forma que todas as estimativas foram irreais. Apesar da semelhança entre as curvas, as mesmas implicam em histórias de vida completamente distintas, o valor estimado de r, que é o investimento reprodutivo, variou de 0.15 a 4.29 entre as curvas (Tabela 4).

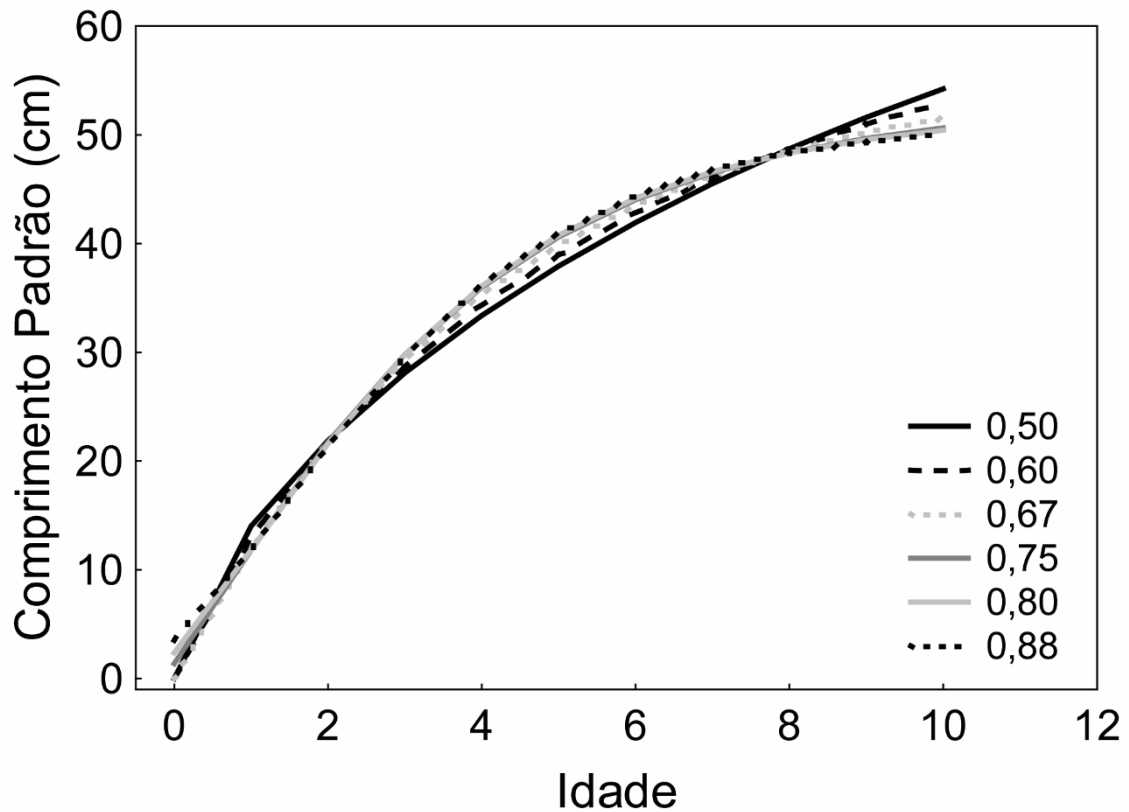


Fig. 4. Ajuste do modelo de Quince-Boukal com diferentes valores para o parâmetro beta a dados simulados de comprimento por idade para *Prochilodus lineatus*.

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros L_0 e r considerando diferentes valores de β a partir dos dados simulados de comprimento por idade para o *Prochilodus lineatus*.

	$\beta = 0.50$	$\beta = 0.60$	$\beta = 0,67$	$\beta = 0,75$	$\beta = 0.80$	$\beta = 0.88$
L_0	1.97E-06	5.58E-10	2.19E-10	1.38	2.36	3.52
r	0.151	0.456	0.852	1.560	2.180	4.292
Verossimilhança	817.85	808.36	803.83	803.53	803.89	804.65

4.4 DISCUSSÃO

Incorporar um maior significado biológico às curvas e aos parâmetros de crescimento contribui para compreender melhor a história de vida e os trade-offs entre crescimento e

sobrevivência, que estão diretamente ligados à reprodução e mortalidade. Resultados que incorporam esses custos possuem um alto valor tanto ecológico quanto econômico, já que além de fornecer importantes informações biológicas, são uma rica fonte para a tomada de decisões em relação à exploração de determinado estoque. Os modelos aqui apresentados indicam como uma nova visão em relação à curva de crescimento de von Bertalanffy é essencial para a modelagem populacional. Aqui foi utilizado como estudo de caso a espécie *P. lineatus*, principalmente devido a sua importância comercial na América do Sul (Okada et al., 2005; Iwaszkiw and Lacoste, 2011).

As equações propostas por Lester et al. (2004) fornecem uma forma mais simples de calcular os três parâmetros da curva de crescimento de von Bertalanffy a partir de dados que não envolvem comprimento por idade. Os valores calculados por meio das equações se aproximam muito dos valores estimados por Santana and Minte-Vera (2017) que chegaram a um valor do comprimento assintótico igual a 68,84 centímetros e um coeficiente de crescimento de 0,15, enquanto aqui esses parâmetros foram calculados em 64 e 0,145, respectivamente. Essa proximidade corrobora que há relação entre traços da história de vida como maturidade e reprodução e o crescimento somático, de forma que tanto o comprimento máximo como a velocidade de crescimento dependem diretamente de quanta energia é alocada para o desenvolvimento gonadal. Nesse sentido, características como o tipo de desova, duração do período reprodutivo e a existência ou não de cuidado parental são fatores preponderantes que devem ser considerados na modelagem do crescimento.

Uma vez que antes da maturidade não há investimento ou custo energético em atividades ou órgãos reprodutivos, é coerente assumir um crescimento linear quando $T < T_{mat}$ de forma que, como está explícito na Figura 1, o peixe crescerá linearmente durante toda a vida caso não houvesse uma divisão de recursos energéticos após a maturação. Após a maturidade o crescimento se ajusta à curva de von Bertalanffy atingindo uma assíntota à medida que se aproxima das classes mais velhas de idade. Lester et al. (2004) pontuam que, estimar um modelo bifásico evita que as estimativas sejam apenas estatísticas, aproximando de forma mais clara da biologia do indivíduo. Essa realidade biológica é explicada pela teoria de história de vida que, por meio dos invariantes de Beverton e Holt (Prince et al., 2015), prediz relações e até constantes entre os parâmetros de crescimento e a mortalidade por exemplo.

O valor calculado para o investimento reprodutivo foi de 0,48. Esse valor possui uma relação direta com a mortalidade natural. Lester et al. (2004) pontuam que em espécies que possuem crescimento indeterminado, maturar mais cedo pode ser uma estratégia que se aproxima do

ótimo, visto que isso implica em garantir o quanto antes o sucesso reprodutivo. Assim, essa interpretação biológica dos parâmetros de crescimento fornece informações sobre as limitações dos parâmetros, já que o investimento reprodutivo irá limitar tanto a velocidade de crescimento quanto o crescimento máximo que o indivíduo irá atingir.

Por meio dos dados simulados foi possível verificar que o parâmetro que mais diferiu entre predito e estimado foi o t_1 . Esse parâmetro geralmente tem sido utilizado apenas de forma estatística, já que indicaria a idade teórica em que o comprimento é zero. Contudo, quando necessário, estimativas precisas desse parâmetro são difíceis, justificando muitas vezes ele ser fixado como zero. Para espécies vivíparas ou mesmo ovovivíparas ajustar esse parâmetro como zero é um erro de forma que o mesmo não possui nenhum significado biológico, já que o indivíduo, mesmo na idade zero, já possuirá determinado tamanho. Outro parâmetro com grande importância nos modelos utilizados é a idade de primeira maturação que foi inicialmente ajustada como três anos e estimada como 2,717. Essa pequena diferença também reforça a precisão que as equações utilizadas possuem para prever o crescimento e ajustar a curva completa da espécie.

A precisão desses ajustes pode ser facilmente atestada na Figura 3, onde os comprimentos preditos pelos dados reais são plotados juntamente com os comprimentos simulados. É interessante destacar o crescimento linear até os três anos, em ambos os ajustes, e o crescimento assintótico após os três anos, indicando claramente o efeito que a reprodução possui no molde da curva, de forma que, por meio de dados precisos de idade e crescimento poderia ser feito o inverso, ou seja, calcular a idade de primeira maturação, por meio do ponto em que há uma mudança no formato da curva.

Quince et al. (2008a) e Boukal et al (2014) fizeram um ajuste da proposta de Lester et al. (2004) incorporando um parâmetro chamado de β , que é relacionado com a teoria metabólica e com a energia disponível para investir em crescimento e/ou reprodução. De acordo com a teoria metabólica ecológica o valor ótimo para esse parâmetro seria de $3/4$, mas há indicativos de que esse ótimo pode variar muito de uma espécie para outra (Minte-Vera et al. 2016). Esses mesmos autores testaram para a truta do lago *Salvelinus namaycush* o efeito desse parâmetro na curva de crescimento encontrando que valores diferentes de beta produzem curvas diferentes de crescimento, resultando em diferentes estratégias de história de vida. Aqui o crescimento foi modelado utilizando valores de β variando de 0,5 a 1,2 simulando diferentes taxas metabólicas para a espécie afim de verificar qual valor seria o mais indicado.

Todos os valores geraram curvas de crescimento semelhantes, inclusive o valor de 0,75 que condiz com a teoria metabólica (Brown et al. 2004).

De acordo com Quince et al. (2008a) o modelo proposto por eles não é uma substituição à equação clássica de von Bertalanffy, mas uma alternativa, principalmente para espécies em que a reprodução é um evento fisiológico marcante. O *Prochilodus lineatus* se encaixa perfeitamente nessa definição, uma vez que essa espécie é migradora de longa distância. As migrações rio acima que os indivíduos fazem são chamadas de migrações reprodutivas (Agostinho et al. 1993), de forma que muita energia deve ser alocada para que a migração aconteça. Mochek and Pavlov (1998) corroboram isso demonstrando que nem toda a população está apta a migrar todos os anos, principalmente devido a limitações fisiológicas. Nesse sentido, inserir o custo que essas mudanças fisiológicas possuem no crescimento é um passo além para que os parâmetros estimados possuam amparo biológico, de acordo com a situação e dinâmica populacional da espécie. Isso é corroborado por Quince et al. (2008b) que testaram empiricamente o modelo para a truta do lago encontrando que o modelo bifásico se ajustou melhor do que o modelo tradicional de von Bertalanffy.

Considerando os valores de verossimilhança para cada um dos modelos testados, nota-se que o modelo em que o beta utilizado é igual 2/3 (igual ao modelo de von Bertalanffy) é o segundo melhor modelo, mas o valor de r estimado para esse modelo é cinco vezes maior do que o modelo em que o beta é igual a 0.5. Isso implica que, considerar um valor 'default' para o beta pode levar a sérios erros de estimativas de outros parâmetros da história de vida, principalmente aqueles relacionados à reprodução e maturidade (Boukal et al. 2014; Mente-Vera et al. 2016). Dessa forma, a grande vantagem do modelo proposto por Quince et al. (2008a) e testado aqui por meio de simulações é a liberdade em alterar o valor de beta, já que devido a variações tanto intra quanto interespecíficas, é plausível esperar que esse valor não seja o mesmo para todas as espécies e estoques.

Os resultados obtidos por meio das simulações indicam que é possível recuperar os parâmetros de crescimento e mesmo estimar traços que refletem a biologia da espécie, como maturidade e custo da reprodução. A capacidade de obtenção dos parâmetros de crescimento sem utilizar dados diretos de comprimento por idade é uma interessante alternativa, principalmente para locais pobres de dados. Destaca-se que apenas um conjunto de dados foi simulado e que a continuação da pesquisa deverá incorporar a simulação de mais conjuntos de dados para estudar as propriedades dos estimadores. Portanto, diferentes pressupostos de disponibilidade de dados podem ser simulados para verificar quais são as condições que

permitem a aplicação destes modelos a dados de comprimento por idade, com ou sem informações auxiliares.

REFERÊNCIAS

Agostinho, A.A., Vazzoler, A.E.A., Gomes, L.C., Okada, E.K., 1993. Estratificación espacial y comportamiento de *Prochilodus scrofa* en distintas fases del ciclo de vida, en la planicie de inundación del alto río Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brasil. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 26, 79-90.

Allain, V., Pilling, G.M., Williams, P.G., Harley, S., Nicol, S., Hampton, J., 2016. Overview of tuna fisheries, stock status and management framework in the Western and Central Pacific Ocean, in: Fache, E., Pauwels, S. (Eds.), *Fisheries in the Pacific: The Challenges of Governance and Sustainability*. Pacific-credo Publications, Marseille, pp. 19-48.

Alves, D.C., Mente-Vera, C.V., Agostinho, A.A., Okada, E.K., Vasconcelos, L.P., 2013. Hydrological attributes and rheophilic freshwater fish: stock assessment. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 23, 375-394.

Beverton, R.J.H., 1992. Patterns of reproductive strategy parameters in some marine teleost fishes. *J. Fish. Biol.* 41, 137-160.

Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1959. A review of the lifespan and mortality rates of fish in nature and their relationship to growth and other physiological characteristics. *Ciba Foundation Colloquium of Ageing* 5, 142-180.

Boukal, D.S., Dieckmann U., Enberb, K., Heino, M., Jørgensen, C., 2014. Life-history implications of the allometric scaling of growth. *Journal of Theoretical Biology*, 359, 199-207.

Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, van, M., West, G.B., 2004. Towards a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85, 1771-1789.

Castello, L., McGrath, D.G., Beck, P.S.A., 2011. Resource sustainability in small-scale fisheries in the Lower Amazon floodplains. *Fish. Res.* 110, 356-364.

Charnov, E.L., 2002. Reproductive effort, offspring size and benefit-cost ratios in the classification of life histories. *Evolutionary Ecology Research*. 4, 749-758.

- Clarke, A., Johnson, N.M., 1999. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. *J. Anim. Ecol.* 68, 893–905.
- Cordiviola de Yuan, E., 1971. Crecimiento de peces del Parana medio I. “sabalo” (*Prochilodus platensis* Holmberg), (Pisces, Tetragonopteridae). *Physis* 30, 483–504.
- Dankel, D.J., Skagen, D.W., Ulltang, Ø., 2008. Fisheries management in practice: review of 13 commercially important fish stocks. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 18, 201-233.
- Day, T., Taylor, P.D., 1997. Von Bertalanffy’s growth equation should not be used to model age and size at maturity. *The American Naturalist* 149, 381-393.
- Enberg, K., Jorgensen, C., Dunlop, E.S., Varpe, Ø., Boukal, D.S., Baulier, L., Eliassen, S., Heino, M., 2012. Fishing-induced evolution of growth: concepts, mechanisms and the empirical evidence. *Mar Ecol* 33, 1-25.
- FAO, 2014. State of the World's Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO.
- Fournier, D.A., Skaug, H.J., Ancheta, J., Iannelli, J., Magnusson, A., Maunder, M.N., Nielsen, A., Sibert, J., 2012. AD model builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Software* 27, 233–249.
- Heibo, E., VØllestad, L.A., 2006. Na analysis of life-history invariants in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Evolutionary Ecology Res.* 8, 51-62.
- Hordyk, A., Ono, K., Valencia, S., Loneragan, N., Prince, J., 2015a. Some explorations of the life history ratios to describe length composition, spawning-per-recruit, and the spawning potential ratio. *ICES Journal of Marine Science.* 72, 204-216.
- Hordyk, A., Ono, K., Valencia, S., Loneragan, N., Prince, J., 2015b. A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries. *ICES Journal of Marine Science.* 72, 217-231.
- Iwazskiw, J.M., Lacoste, F.F., 2011. La pesca artesanal en la Cuenca del Plata (Argentina) y sus implicancias en la conservación de la biodiversidad. *Rev Mus Argent Cienc Nat* 13, 21-25.
- Jensen, A.L., 1997. Origin of the relation between K and L_{inf} and synthesis of relations among life history parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 987-989.

- Lester, N.P., Shuter, B.J., Abrams, P.A., 2004. Interpreting the von Bertalanffy model of somatic growth in fishes: the cost of reproduction. *The Royal Society* 271, 1625-1631.
- Lester, N.P., Shuter, B.J., Venturelli, P., Nadeau, D., 2014. Life-history plasticity and sustainable exploitation: a theory of growth compensation applied to walleye management. *Ecological Applications*, 24, 38-54.
- Lorenzen, K., 2016. Toward a new paradigm for growth modeling in fisheries stock assessments: Embracing plasticity and its consequences. *Fish. Res.* 180, 4-22.
- Minte-Vera, C.V., Maunder, M.N., Casselman, J.M., Campana, S.E., 2016. Growth function that incorporate the cost of reproduction. *Fisheries Research* 180, 31-44.
- Mochek, A.D., Pavlov, D.S., 1998. The ecology of sabalo *Prochilodus lineatus* (Curimatidae, Characoidei) of the Pilcomayo river (South America). *Journal of Ichthyology* 38, 28-36.
- Okada, E.K., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., 2005. Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries of a large Neotropical reservoir, the Itaipu Reservoir, Brazil. *Can J Fish Aquat Sci* 62, 714-724.
- Pauly, D., 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM* 39, 175-192.
- Petrete Jr., M., Barthem, R.B., Córdoba, A.E., Gómez, B.C., 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 43-414.
- Prince, J., Hordyk, A., Valencia, S.R., Loneragan, N., Sainsbury, K., 2015. Revisiting the concept of Beverton-Holt life-history invariants with the aim of informing data-poor fisheries assessment. *ICES Journal of Marine Science* 72, 194-203.
- Quince, C., Abrams, P.A., Shuter, B.J., Lester, N.P. 2008a. Biphase growth in fish I: Theoretical foundations. *Journal of Theoretical Biology* 254, 197-206.
- Quince, C., Shuter, B.J., Abrams, P.A., Lester, N.P., 2008b. Biphase growth in fish II: Empirical assessment. *Journal of Theoretical Biology* 254, 207-214.
- R Core Team, 2015. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, URL <http://www.R-project.org/>.

Sant'Anna, I.R.A., Doria, C.R.C., Freitas, C.E.C., 2014. Pre-impoundment stock assessment of two Pimelodidae species caught by small-scale fisheries in the Madeira River (Amazon Basin – Brazil). *Fisheries Management and Ecology* 21, 322-329.

Santana, H.S., Minte-Vera, C.V., 2017. Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Env Biol Fish* 100, 223-235.

Shuter, B.J., Lester, N.P., LaRose, J., Purchase, C.F., Vascotto, K., Morgan, G., Collins, N.C., Abrams, P.A. 2005. Optimal life histories and food web position: linkages among somatic growth, reproductive investment, and mortality. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 62, 738-746.

Thorson, J.T., Munch, S.B., Cope, J.M., Gao, J., 2017. Predicting life history parameters for all fishes worldwide. *Ecological Applications* 27, 2262-2276.

Von Bertalanffy L., 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.* 10, 181-213.

Wilson, K.L., Honsey, A.E., Moe, B., Venturelli, P., 2017. Growing the biphasic framework: Techniques and recommendations for fitting emerging growth models. *Methods in Ecology and Evolution*, doi: 10.1111/2041-210X.12931.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O estado da arte dos estudos de idade e crescimento de peixe de água doce realizados na América do Sul foi estabelecido. As ecorregiões mais cientificamente exploradas são o alto rio Paraná, a região do rio Iguazu e do Amazonas. Esses resultados contrastam com algumas ecorregiões da Amazônia, do rio São Francisco e do rio Araguaia, onde poucos estudos foram realizados. Tal fato dificulta o uso de métodos de avaliação de pescarias pobres em dados, por exemplo o método de produtividade e suscetibilidade que se utiliza apenas dados de história de vida como idade e tamanho máximos, velocidade de crescimento, estratégia reprodutiva e idade de primeira maturação (Patrick et al., 2010¹), e impossibilita a aplicação de modelos mais elaborados para o estudo da dinâmica populacional dos estoques explorados nesses locais.

As espécies mais estudadas na América do Sul são *Hoplias malabaricus*, *Prochilodus lineatus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Colossoma macropomum*, *Odontesthes bonariensis*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* e *Pseudoplatystoma tigrinum*. Devido às diferenças entre a história de vida de espécies aparentadas provenientes de diferentes locais, deve-se ter cautela para utilizar dados ou parâmetros provenientes de outros locais, já que tanto o ambiente quanto variações genéticas podem ser responsáveis por produzir dinâmicas populacionais totalmente distintas.

Estudos básicos de biologia pesqueira de idade e crescimento, épocas reprodutivas e comprimentos em que os indivíduos começam a se reproduzir são básicos para a utilização dos métodos de avaliações de estoques e devem ser incentivados em sistemas de água doce na América Latina. O uso de estruturas duras como os otólitos *lapillus* é promissor para os estudos de idade e crescimento para peixes de água doce (e.g. Santana e Minte-Vera 2017²). Esta pesquisa mostrou que a morfometria dos otólitos parece não apresentar suficientes informações para indicar a idade, de forma que técnicas tradicionais devem ser utilizadas, por exemplo a contagem de anéis diários ou anuais.

Modelos de crescimento somático que incorporam o custo da reprodução parecem ser promissores para compreender simultaneamente diferentes aspectos da história de vida das espécies, que muito provavelmente estão intimamente intrincados. Esses modelos permitem limitar os possíveis valores entre sobrevivência, crescimento e reprodução, partindo do

pressuposto de que as espécies evoluíram para maximizar o output reprodutivo e que a energia que podem alocar ao crescimento e reprodução é limitada, o que resulta em *trade-offs* entre os diferentes aspectos da história de vida. Assim, um próximo passo é testar até que ponto outros traços da história de vida podem ser extraídos desse tipo de informação, visando principalmente estoques pobres em dados que ainda são carentes de estudos populacionais e, conseqüentemente, de adequadas ações de gestão.

¹Patrick, W.S., Spencer, P., Link, J., Cope, J., Field, J., Kobayashi, D., Lawson, P., Gedamke, T., Cortés, E., Ormseth, O., Bigelow, K., Overholtz, W., 2010. Using productivity and susceptibility indices to assess the vulnerability of United States fish stocks to overfishing. *Fish. Bull.* 108, 305-322.

²Santana, H.S., Minte-Vera, C.V., 2017. Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Env Biol Fish* 100, 223-235.

REFERÊNCIAS

- Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S.C., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H.L., Reis, R.E., Lundberg, J.G., Sabaj Pérez, M.H., Petry, P., 2008. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioscience* 58, 403–414. doi:10.1641/B580507
- Agostinho, A.A., Barbieri, G., Verani, J.R., 1991. Idade de crescimento do cascudo preto *Rhinelepis aspera* (Siluriformes, Loricariidae) no rio Paranapanema, bacia do rio Paraná. *Rev. UNIMAR* 13, 259–272.
- Agostinho, C.S., Marques, E.E., 1994. Idade e crescimento das piranhas *Serrasalmus spilopleura* e *Serrasalmus marginatus* (Osteichthyes, Serrasalminae) do alto rio Paraná. *Rev. UNIMAR* 16, 175–187.
- Alonso, J.C., Pirker, L.E.M., 2005. Dinâmica populacional e estado atual da exploração de piramutaba e de dourada, in: Fabré, N.N., Barthem, R.B. (Eds.), *O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba edourada no eixo Solimões-Amazonas*. Ibama, Pró Várzea, Manaus, AM, pp. 21–28.
- Alvarez, O.F., Peña, D.S., Olaya-Nieto, C.W., 2004. Crecimiento y mortalidad del blanquillo, *Sorubim cuspicaudus* (Pisces: Pimelodidae), en el río Sinú, Colombia. *Dahlia - Rev. la Asoc. Colomb. Ictiólogos* 67–77.
- Amaral, M.F. do, Aranha, J.M.R., Menezes, M.S. de, 1999. Age and growth of *Pimelodella pappenheimi* (Siluriformes, Pimelodidae) from an Atlantic Forest Stream in Southern Brazil. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 42, 449–453. doi:10.1590/S1516-89131999000400010
- Ambrosio, A.M., Balbi, T.J., Francisco, T.M., Gomes, L.C., Zuliani, M.S., Okada, E.K., 2014. Aging and growth parameter from the *Piaractus mesopotamicus* (pacu) from the Cuiabá river, Mato Grosso, Brazil. *Iheringia. Série Zool.* 104, 413–417. doi:10.1590/1678-476620141044413417
- Ambrósio, Â.M., Gomes, L.C., Agostinho, Â.A., 2003. Age and growth of *Hypophthalmus edentatus* (Spix), (Siluriformes, Hypophthalmidae) in the Itaipu Reservoir, Paraná, Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 20, 183–190. doi:10.1590/S0101-81752003000200002
- Ambrósio, A.M., Hayashi, C., 1997. Idade e crescimento de *Steindachnerina insculpta* (Fernandes-Yepes, 1948), (Characiformes, Curimatidae) da planície de inundação do Alto rio Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Biol.* 57, 687–698.
- Anaya, Z.R., Olaya, N.C., 2003. Crecimiento y mortalidad del barbul (*Pimelodus clarias*, Bloch, 1785) en el río Sinú, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 8, 280.
- Angelini, R., Agostinho, A.A., 2005. Parameter estimates for fishes of the Upper Paraná River floodplain and Itaipu Reservoir (Brazil). *NAGA, WorldFish Cent. Newsl.* 28, 53–57.
- Antoniutti, D.M., Ranzani-Paiva, M.J.T., Godinho, H.M., Paiva, P. de, 1985. Relação peso total/comprimento total, crescimento e idade do cascudo *Plecostomus albopunctatus* Regan, 1908 (Osteichthyes, Loricariidae) do rio Jaguari, São Paulo, Brasil. *Bol. do Inst. Pesca* 12, 105–120.

- Arantes, C.C., Castello, L., Stewart, D.J., Cetra, M., Queiroz, H.L., 2010. Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. *Ecol. Freshw. Fish* 19, 455–465. doi:10.1111/j.1600-0633.2010.00431.x
- Araya, P.R., Agostinho, A.A., Bechara, J.A., 2008. Population structure, growth and fishery yield of *Leporinus acutidens* (Valenciennes, 1837) (Teleostei: Anostomidae) in Yacyretá Reservoir (Argentina). *Neotrop. Ichthyol.* 6, 57–66. doi:10.1590/S1679-62252008000100007
- Araya, P.R., Agostinho, A.A., Bechara, J.A., 2005. The influence of dam construction on a population of *Leporinus obtusidens* (Valenciennes, 1847) (Pisces, Anostomidae) in the Yacyretá Reservoir (Argentina). *Fish. Res.* 74, 198–209. doi:10.1016/j.fishres.2005.02.007
- Araya, P.R., Sverlij, S.B., 1999. Edad y crecimiento de *Prochilodus scrofa* (Characiformes, Prochilodontidae) en el Alto río Paraná, Argentina. *Iheringia. Série Zool.* 45–54.
- Arenzon, A., Peret, A.C., Bohrer, M.B.C., 2001. Growth of the annual fish *Cynopoecilus melanotaenia* (Regan, 1912) based in a temporary water body population in Rio Grande do Sul State, Brazil (Cyprinodontiformes, Rivulidae). *Rev. Bras. Biol.* 61, 117–123.
- Baigún, C., Minotti, P., Oldani, N., 2013. Assessment of sábalo (*Prochilodus lineatus*) fisheries in the lower Paraná River basin (Argentina) based on hydrological, biological, and fishery indicators. *Neotrop. Ichthyol.* 11, 199–210. doi:10.1590/S1679-62252013000100023
- Balboni, L., Colautti, D.C., Baigún, C.R.M., 2011. Biology of growth of *Hoplias* aff. *malabaricus* (Bloch, 1794) in a shallow pampean lake (Argentina). *Neotrop. Ichthyol.* 9, 437–444. doi:10.1590/S1679-62252011000200022
- Barbieri, G., 1995a. Biología populacional de *Cyphocharax modesta* (Hensel, 1869) (Characiformes, Curimatidae) da represa do Lobo, Estado de São Paulo. I. Estrutura populacional e crescimento. *Bol. do Inst. Pesca* 22, 49–56.
- Barbieri, G., 1995b. Biología do cascudo, *Rineloricaria latirostris* Boulenger, 1899 (Siluriformes, Loricariidae) do rio Passa Cinco. Ipeúna/São Paulo: idade e crescimento. *Rev. Bras. Biol.* 55, 467–470.
- Barbieri, G., 1992. Biología de *Astyanax scabripinnis paranae* (Characiformes, Characidae) do ribeirão do Fazzari. São Carlos. Estado de São Paulo. I. Estrutura populacional e crescimento. *Rev. Bras. Biol.* 52, 579–588.
- Barbieri, G., 1991. Determinação da época de formação dos anéis etários em *Parodon tortuosus* Eigenmann & Norris, 1900 (Characiformes, Parodontidae), pelo método da variação do quociente de crescimento marginal nas escamas. *An. do Semin. Reg. Ecol.* VI, São Carlos.
- Barbieri, G., 1989. Dinâmica da reprodução e crescimento de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae) da represa do Monjolinho, São Carlos/SP. *Rev. Bras. Zool.* 6, 225–233. doi:10.1590/S0101-81751989000200006
- Barbieri, G., Barbieri, M.C., 1989. Growth of *Apareiodon affinis* (Steindachner, 1879) (Osteichthyes, Parodontidae) from Passa Cinco River (Ipeúna - São Paulo - Brazil). *Rev. Bras. Biol.* 49, 539–544.
- Barbieri, G., Barbieri, M.C., 1988a. Age, growth and reproduction of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) (Osteichthyes, Cichilidae) in the Monjolinho Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Rev. Ceres* 35, 578–585.

- Barbieri, G., Barbieri, M.C., 1988b. Ageing of *Parodon tortuosus* Eigenmann and Norris, 1900 (Osteichthyes, Parodontidae) from the Passa Cinco River, Brazil. *J. Fish Biol.* 33, 819.
- Barbieri, G., Barbieri, M.C., 1984. Crescimento de *Gymnotus carapo* (Linnaeus, 1758) na represa do Lobo, Estado de São Paulo, pelo método da distribuição da frequência de comprimento (Pisces, Gymnotidae). *Rev. Bras. Biol.* 44, 239–246.
- Barbieri, G., Barbieri, M.C., 1983. Growth and first sexual maturation size of *Gymnotus carapo* (Linnaeus, 1758) in the Lobo reservoir (state of São Paulo, Brazil) (pisces, gymnotidae). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 16, 195–201.
- Barbieri, G., Barbieri, M.C., Marins, J.A., Verani, J.R., Peret, A.C., Pereira, J.A., 1986. Crescimento de *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) en el embalse del Monjolinho, São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil. *Rev. Latinoam. Acuicultura* 19–32.
- Barbieri, G., Cruz-Barbieri, M., 1989. Growth and first sexual maturation size of *Parodon tortuosus* Eigenmann & Norris, 1900 from Passa Cinco River (Ipeúna, São Paulo State, Brazil) (Osteichthyes, Parodontidae). *Naturalia* 14, 45–54.
- Barbieri, G., Marins, M. de A., 1990. Aspectos da dinâmica da reprodução e crescimento de *Hoplias* cf. *malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae) da represa do Lobo, SP/Brasil. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 42, 169–181.
- Barbieri, G., Pereira, J.A., Costa, F.J.C.B., 1981. Crescimento de *Geophagus brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1824) (Pisces-Cichlidae) pelo método do retrocálculo. *Bol. do Núcleo Estud. Ciências do Mar* 4, 9–32.
- Barbieri, G., Salles, F.A., Cestarolli, M.A., 2001. Growth and first sexual maturation size of *Salminus maxillosus* Valenciennes, 1849 (Characiformes, Characidae), in Mogi Guaçu river, state of São Paulo, Brazil. *Acta Sci.* 23, 453–459.
- Barbieri, G., Salles, F.A., Cestarolli, M.A., 2000a. Análise populacional do curimatá, *Prochilodus lineatus*, do rio Mogi Guaçu, Pirassununga, SP (Characiformes, Prochilodontidae). *Bol. do Inst. Pesca* 26, 137–145.
- Barbieri, G., Santos, E.P. dos., 1988. Análise comparativa do crescimento e de aspectos reprodutivos da piava, *Leporinus friderici* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Anostomidae) da represa do Lobo e do rio Moji-Guaçu, Estado de São Paulo. *Cienc. Cult.* 40, 693–697.
- Barbieri, G., Santos, E.P. dos., 1987. Crescimento e tamanho de primeira maturação gonadal de *Hypostomus* aff. *plecostomus* (Linnaeus, 1758) (Osteichthyes, Loricariidae), da represa do Monjolinho (São Carlos, SP). *Cienc. Cult.* 39, 659–663.
- Barbieri, G., Vermulm Jr, H., Giamas, M.T.D., Teixeira Filho, A.R., Campos, E.C., 2000b. Biologia populacional da tilápia, *Oreochromis niloticus*, da represa de Guarapiranga, São Paulo - I. Estrutura da população, idade e crescimento. *Bol. do Inst. Pesca* 26, 1–7.
- Barla, M.J., Freyre, L.R., Giraud, L.M., Gutierrez, M., Sendra, E.D., 1988. Age and growth of *Astyanax eigenmanniorum* (Cope) (Pisces, Characiformes) from San Roque Lake, Argentina. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 23, 177–188.
- Benitez, R.S., Suárez, Y.R., 2009. Biologia populacional de *Serrapinnus notomelas* (Eigenmann, 1915) (Characiformes, Cheirodontinae) em um riacho de primeira ordem na bacia do rio Dourados, Alto rio Paraná. *Panam. J. Aquat. Sci.* 4, 271–278.

- Betancur-R, R., Wiley, E.O., Arratia, G., Acero, A., Bailly, N., Miya, M., Lecointre, G., Ortí, G., 2017. Phylogenetic classification of bony fishes. *BMC Evol. Biol.* 17, 40. doi:10.1186/s12862-017-0958-3
- Bevilaqua, D.R., Soares, M.G.M., 2010. Crescimento e mortalidade de *Pygocentrus nattereri* Kner, 1985 em lagos de várzea da região de Manacapuru, Amazônia. *Rev. Bras. Eng. Pesca* 5, 43–52.
- Blanco, V.H., Solipá, G.J., Olaya-Nieto, C.W., Segura-Guevara, F.F., Brú-Cordero, S.B., Tordecilla-Petro, G., 2005. Crecimiento y mortalidad de la yalua (*Cyphocharax magdalenae* Steindachner, 1878) en el río Sinú, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 10, 555–563.
- Boujard, T., Lecomte, F., Renno, J.-., Meunier, F., Neveu, P., 1991. Growth in four populations of *Leporinus friderici* (Bloch, 1794) (Anostomidae, Teleostei) in French Guiana. *J. Fish Biol.* 38, 387–397. doi:10.1111/j.1095-8649.1991.tb03128.x
- Braga, F.M. de S., 2000. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), no reservatório de Volta Grande, rio Grande (MG-SP). *Acta Limnol. Bras.* 12, 1–14.
- Braga, F.M. de S., 1999. Idade, crescimento e taxas de mortalidade de *Astyanax bimaculatus* (Characidae, Tetragonopterinae) na represa de Barra Bonita, rio Piracicaba (SP). *Naturalia* 24, 239–250.
- Braga, F.M. de S., 1998. Population parameters of "corvina" (*Plagioscion squamosissimus*) in the Barra Bonita Reservoir, Brazil. *Naga, ICLARM Q.* 21, 43–45.
- Braga, F.M. de S., Gomiero, L.M., Souza, U.P., 2009. Biologia populacional de *Pareiorhina rudolphi* (Loricariidae, Hypostominae) na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira oriental, Estado de São Paulo. *Acta Sci. Biol. Sci.* 31, 79–88. doi:10.1590/S1676-06032009000300021
- Braga, F.M. de S., Souza, U.P., Carmassi, A.L., 2007. Dinâmica populacional de *Characidium lauroi* e *C. alipioi* (Teleostei, Crenuchidae) na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira Oriental, Estado de São Paulo. *Acta Sci. Biol. Sci.* 29, 281–287. doi:10.4025/actascibiols.v29i3.481
- Braga, M.F. de S., 2001. Crescimento e mortalidade de *Leporinus friderici* (Ostariophysi, Anostomidae) na represa de Volta Grande, rio Grande, localizada entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, Brasil. *Acta Sci. Biol. Sci.* 23, 415–420.
- Brú-Cordero, S.B., Segura-Guevara, F.F., Olaya-Nieto, C.W., 2004. Crecimiento y mortalidad de la liseta, *Leporinus muyscorum* (Pisces: Anostomidae), en el río Sinú, Colombia. *Dahlia - Rev. la Asoc. Colomb. Ictiólogos* 7, 79–86.
- Bruschi Jr, W., Peret, A., Verani, J., Fialho, C., 1997. Crescimento de *Loricariichthys anus* (Valenciennes, 1840) na lagoa Emboaba, Osório, RS. *Bol. do Inst. Pesca* 24, 65–71.
- Camargo, M., Giarrizzo, T., Isaac, V.J., 2015. Population and biological parameters of selected fish species from the middle Xingu River, Amazon Basin. *J. Fish Biol.* 75, 112–124. doi:10.1590/1519-6984.01914BM
- Campos, C.P., Carvalho Freitas, C.E. de, Amadio, S., 2015a. Growth of the *Cichla temensis* Humboldt, 1821 (Perciformes: Cichlidae) from the middle rio Negro, Amazonas, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 13, 413–420. doi:10.1590/1982-0224-20140090
- Campos, C.P., Costa Sousa, R.G., Catarino, M.F., de Albuquerque Costa, G., Freitas, C.E.C., 2015b.

- Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil). *Fish. Manag. Ecol.* 22, 400–406. doi:10.1111/fme.12139
- Campos, C.P. de, Freitas, C.E. de C., 2010. Curva de crescimento do tucunaré *Cichla monoculus* Spix & Agassiz 1831 do lago Grande de Manacapuru, Amazonas, Brasil. *Rev. Bras. Eng. Pesca* 5, 1–9.
- Carmassi, A.L., Rondineli, G.R., Gomiero, L.M., Braga, F.M. de S., 2011. Crescimento e mortalidade de *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) (Characiformes, Characidae) no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Santa Virgínia, São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 11, 39–43. doi:10.1590/S1676-06032011000200004
- Carmassi, A.L., Silva, A.T. da, Rondineli, G.R., Braga, F.M. de S., 2008. Biologia populacional de *Cyphocarax modestus* (Osteichthyes, Curimatidae) no córrego Ribeirão Claro, Município de Rio Claro (SP). *Biota Neotrop.* 8, 109–114. doi:10.1590/S1676-06032008000100013
- Carozza, C., Cordiviola de Yuan, E., 1991. Estudios ictiológicos en la laguna La Cuarentena (Isla Carabajal), río Paraná, Argentina: Edad y crecimiento del «sábalo» *Prochilodus lineatus* (Val.), período 1984-1985 (Pisces, Curimatidae). *Rev. d'hydrobiologie Trop.* 24, 119–129.
- Castro, R.M.C., Vari, R.P., 2003. Prochilodontidae (Fannel mouth characiforms), in: Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Brasil, Porto Alegre, pp. 65–70. doi:85-7430-361-5
- Castro, A.C.L. de, 1998. Idade e crescimento de *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Acanthopterygii, Sciaenidae) do reservatório de Barra Bonita-SP, através da estrutura dos otólitos. *Acta Sci. Biol. Sci.* 20, 179–184. doi:10.4025/actascibiolsci.v20i0.4470
- Catarino, M.F., Campos, C.P., Garcez, C.S.R., Freitas, C.E. de C., 2014. Populacional dynamics of *Prochilodus nigricans* caught in Manacapuru Lake (Amazon Basin, Brazil). *Bol. do Inst. Pesca* 40, 589–595.
- Cavalcante, D.P., 2008. Crescimento e maturação sexual de aruanãs brancos (*Osteoglossum bicirrhosum*) em Mamirauá, in: Queiroz, H.L. de, Camargo, M. (Eds.), *Biologia, conservação e manejo dos aruanãs na Amazônia brasileira*. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Tefé-AM, pp. 105–117.
- Cazorla, A.L., Sidorkewicz, N., 2011. Age, growth and reproduction in creole perch (*Percichthys trucha*) in the Negro River, Argentinean Patagonia. *J. Appl. Ichthyol.* 27, 30–38.
- Cazorla, A.L., Sidorkewicz, N., 2008. Age and growth of the largemouth perch *Percichthys colhuapiensis* in the Negro river, Argentine Patagonia. *Fish. Res.* 92, 169–179. doi:10.1016/j.fishres.2008.01.016
- Colautti, D.C., Freyre, L.R., 2001. Crecimiento de la carpa (*Cyprinus carpio*) en la laguna de Lobos, Buenos Aires, Argentina. *Rev. Ictiol.* 9, 5–11.
- Cordiviola de Yuan, E., 1971. Crecimiento de peces del Parana medio I. “sábalo” (*Prochilodus platensis* Holmberg), (Pisces, Tetragonopteridae). *Physis* 30, 483–504.
- Córdoba, E.A., León, A.V.J., Bonilla-Castillo, C.A., Petrere Jr, M., Peláez, M., Duponchelle, F., 2013. Breeding, growth and exploitation of *Brachyplatystoma rousseauxii* Castelnau, 1855 in the Caqueta River, Colombia. *Neotrop. Ichthyol.* 11, 637–647.

- Cunha, N.L., Catella, A.C., Kinas, M.A., 2007. Growth parameters estimates for a small fish of the Pantanal, Brazil: *Moenkhausia dichroua* (Characiformes; Characidae). *Brazilian J. Biol.* 67, 293–297. doi:10.1590/S1519-69842007000200014
- Cutrim, L., Batista, V. da S., 2005. Determinação de idade e crescimento do mapará (*Hypophthalmus marginatus*) na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 35, 85–92. doi:10.1590/S0044-59672005000100013
- de Santana, H.S., Minte-Vera, C.V., 2017. Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Environ. Biol. Fishes* 100, 223–235. doi:10.1007/s10641-017-0574-5
- de Santana, H.S., Rodrigues, A.C., Dei Tos, C., 2016. Patterns of reproduction and growth of the catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874) after a reservoir formation. *J. Appl. Ichthyol.* 32, 456–463. doi:10.1111/jai.13059
- Dei Tos, C., Gomes, L.C., Agostinho, A.A., Batista, R.P., 2009. Age, growth, mortality and yield per recruit of the dourado *Salminus brasiliensis*, Corumbá Reservoir, Goiás State, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 7, 223–230. doi:10.1590/S1679-62252009000200014
- Dománico, A.A., 1998. Edad y crecimiento de *Hoplias malabaricus malabaricus* (Bloch, 1794) (Teleostei, Erythrinidae) en la laguna de San Miguel del Monte (Argentina) y comparación con otros ambientes lénticos pampásicos. *Rev. del Mus. Argentino Ciencias Nat. "Bernardino Rivadavia"*. *Hidrobiol.* 8, 31–41.
- Dománico, A.A., Guerrero, C.A., 1990. Utilización del otolito para la determinación de la edad y el crecimiento en *Percichthys trucha* (Valenciennes, 1850) (Osteichthyes: Percichthyidae). *Medio Ambient.* 11, 42–52.
- Domanico, A., Delfino, R., Lauce, F., 1993. Edad y crecimiento de *Hoplias malabaricus malabaricus* (Bloch, 1974) (Teleostei, Erythrinidae) en la laguna de Lobos (Argentina). *Iheringia. Série Zool.* 74, 141–149.
- Dourado, O.F., Chacon, J. de O., Davies, W.D., 1971. Idade e crescimento da curimatã comum, *Prochilodus cearensis* Steindachner, no açude "Pereira de Miranda", Pentecoste, Ceará, Brasil. *Bol. Técnico DNOCS* 29, 95–118.
- Duponchelle, F., Lino, F., Hubert, N., Panfili, J., Renno, J.-F., Baras, E., Torrico, J.P., Dugue, R., Nuñez, J., 2007. Environment-related life-history trait variations of the red-bellied piranha *Pygocentrus nattereri* in two river basins of the Bolivian Amazon. *J. Fish Biol.* 71, 1113–1134. doi:10.1111/j.1095-8649.2007.01583.x
- Duponchelle, F., Lino, F., Renno, J.-F., Dugué, R., Nuñez, J., 2005. Variación de historia de vida de la piraña roja *Pygocentrus nattereri*, en dos cuencas de la Amazonía Boliviana, in: Renno, J., García-Dávila, C., Duponchelle, F., Nuñez, J. (Eds.), *Biología de las poblaciones de peces de la Amazonía y piscicultura*. IIAP - Iquitos/IRD - Paris, Iquitos, Peru, pp. 42–46.
- Duponchelle, F., Ruiz Arce, A., Waty, A., Panfili, J., Renno, J.-F., Farfan, F., Garcia-Vasquez, A., Chu Koo, F., Garcia Davila, C., Vargas, G., Ortiz, A., Pinedo, R., Nuñez, J., 2012. Contrasted hydrological systems of the Peruvian Amazon induce differences in growth patterns of the silver arowana, *Osteoglossum bicirrhosum*. *Aquat. Living Resour.* 25, 55–66. doi:10.1051/alr/2012005
- Feitosa, L.A., Fernandes, R., Costa, R.S. da, Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 2004. Parâmetros

- populacionais e simulação do rendimento por recruta de *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) do alto rio Paraná. *Acta Sci. Biol. Sci.* 26, 317–323. doi:10.4025/actascibiolsci.v26i3.1593
- Feitoza, L.A., Okaua, E.K., Ambrosio, A.M., 2004. Idade e crescimento de *Pterodoras granulosus* (Valenciennes, 1833) (Siluriformes, Doradidae) no reservatório de Itaipu, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Sci. Biol. Sci.* 26, 47–53. doi:10.4025/actascibiolsci.v26i1.1669
- Fenerich, N.A., Narahara, M.Y., Godinho, H.M., 1975. Curva de crescimento e primeira maturação sexual do mandi, *Pimelodus maculatus* Lac. 1803 (Pisces, Siluroidei). *Bol. do Inst. Pesca* 4, 1–28.
- Fernandes, R., Ambrósio, A.M., Okada, E.K., 2002. Idade e crescimento de *Satanoperca pappaterra* (Heckel, 1840) (Osteichthyes, Cichlidae) no reservatório de Itaipu, Estado do Paraná. *Acta Sci. Biol. Sci.* 24, 445–450.
- Ferraz de Lima, J.A., Ferraz de Lima, C.L.B., Barbieri, G., 1984. Crescimento do pacu, *Colossoma mitrei*, em ambiente natural (rio Cuiabá - Pantanal de Mato Grosso). *An. do Simpósio Bras. Aquicultura III, São Carlos-SP.*
- Ferreira, F.S., Suárez, Y.R., 2015. Estrutura populacional e aspectos reprodutivos de *Corydoras aeneus* (Siluriformes, Callichthyidae) em riachos da bacia do rio Ivinhema, Alto rio Paraná. *Iheringia. Série Zool.* 105, 474–483. doi:10.1590/1678-476620151054474483
- Flores-Gómez, S., 2016. Inter annual variation of biological parameters “pejerrey” *Odontesthes bonariensis* in Titicaca lake (Peruvian Margen), period 2009-2015. *Tech. Rep.* 1–17. doi:10.13140/RG.2.2.23849.60004
- Fontoura, N.F., Weck, C.R., Lutz, M.X. de T., Koch, W.R., 1993. Dinâmica populacional da ictiofauna da lagoa Fortaleza, Cidreira, Rio Grande do Sul, I. *Astyanax alburnus* (Hensel, 1870) (Teleostei, Characiformes, Characidae). *Biociências* 1, 77–94.
- Francisco, T.M., Ambrósio, A.M., Balbi, T.J., Zuliani, M.S., Okada, E.K., Gomes, L.C., 2011. Age and growth parameters of cachara *Pseudoplatystoma reticulatum* (Siluriformes, Pimelodidae) from the Cuiabá River, Brazil. *Iheringia. Série Zool.* 101, 304–309. doi:10.1590/S0073-47212011000300004
- Freyre, L.R., Maroñas, M.E., Sendra, E.D., 1997. Demografía del pejerrey *Odontesthes bonariensis bonariensis* de la laguna de Lobos, Provincia de Buenos Aires. *Nat. Neotrop.* 28, 47–59.
- Freyre, L.R., Maroñas, M.E., Sendra, E.D., Dománico, A.A., 2005. Analisis de progresion modal de *Bryconamericus iheringi* (Boulenger, 1887) en la laguna Lacombe provincia de Buenos Aires. *Biol. Acuática* 123–129.
- Freyre, L.R., Protogino, L.C., Iwaszkiw, J.M., 1983. Demografía del pejerrey *Basilichtys bonariensis bonariensis* (Pisces, Atherinidae) en el embalse río Tercero, Córdoba. Descripción de las artes de pesca. *Biol. Acuática* 1–25.
- García-Vásquez, A., Alonso, J.C., Carvajal, F., Moreau, J., Nuñez, J., Renno, J.F., Tello, S., Montreuil, V., Duponchelle, F., 2009. Life-history characteristics of the large Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Iquitos region, Peru. *J. Fish Biol.* 75, 2527–2551.
- García-Vásquez, A., Vargas, G., Sánchez, H., Tello, S., Duponchelle, F., 2015. Periodic life history strategy of *Psectrogaster rutiloides*, Kner 1858, in the Iquitos region, Peruvian Amazon. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 31–39.

- Giamas, M.T.D., Santos, R.A. do, Vermulm Jr, H., Campos, E.C., Camara, J.J.C. da, 1992. Determinação da curva de crescimento através da lepidologia em diferentes áreas do corpo de *Astyanax bicamulatus* (Linnaeus, 1758) (Pisces, Characidae), na represa de Ibitinga, SP. Brazilian J. Vet. Res. Anim. Sci. 29, 185–192.
- Giamas, M.T.D., Santos, R.A. dos, Vermulm Jr, H., Campos, E.C., Camara, J.J.C. da, 1995. Estimativa da curva de crescimento, através da lepidologia, relacionada com o tamanho de primeira maturação gonadal do ximborê *Schizodon nasutus* Kner, 1859 (Osteichthyes, Anostomidae) na represa de Ibitinga, (21°46'S - 48°59'W), Estado de São Paulo, Brasil. Bol. do Inst. Pesca 22, 103–110.
- Gomiero, L.M., Carmassi, A.L., Braga, F.M. de S., 2007. Crescimento e mortalidade de *Brycon opalinus* (Characiformes, Characidae) no Parque Estadual da Serra do Mar, Mata Atlântica, Estado de São Paulo. Biota Neotrop. 7, 21–26. doi:10.1590/S1676-06032007000100002
- Gomiero, L.M., Carmassi, A.L., Rondineli, G.R., Villares Junior, G.A., Braga, F.M., 2010. Growth and mortality of *Cichla* spp. (Perciformes, Cichlidae) introduced in Volta Grande Reservoir (Grande River) and in a small artificial lake in Southeastern Brazil. J. Fish Biol. 70, 1093–1101. doi:10.1590/S1519-69842010000500027
- González, Á., Mendoza, J., Arocha, F., A. Márquez, 2015. Edad y crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxi* del Orinoco medio según anillos de la espina pectoral. Zootec. Trop. 33, 153–161.
- González, Á., Mendoza, J., Arocha, F., Márques, A., 2005. Crecimiento de la curvinata de río, *Plagioscion squamosissimus*, en el Orinoco medio. Zootec. Trop. 23, 155–170.
- González, S.Á.R., Mendoza, J., Arocha, F., Márquez, A., 2010. Edad y crecimiento del bagre rayado *Pseudoplatystoma orinocoense* del Orinoco medio en Venezuela. Zootec. Trop. 28, 283–293.
- Gonzo, G.M., Martínez, V., 1997. Crecimiento de la yusca *Heptapterus mustelinus* en ríos y arroyos de Salta. Manejo de Fauna 32–34.
- Goulart, E., Verani, J.R., 1992. Idade e crescimento do cascudo, *Hypostomus commersonii* Valenciennes, 1840 (Osteichthyes-Loricariidae) da represa Capivari-Cachoeira, Paraná, Brasil. Rev. UNIMAR 14, 1–17.
- Goulart, M.G., Aschenbrenner, A. da C., Bortoluzzi, T., Silveira, C. da R. da, Lepkoski, E.D., Martins, J.A., Brandli, E. da S., Roos, D.C., Querol, E., Querol, M.V., 2007. Análise do crescimento de escamas de *Lycengraulis grossidens* (Agassiz, 1829), em populações da bacia rio Uruguai médio Rio Grande do Sul. Biodiversidade Pampeana 5, 3–8.
- Grosman, F., 1999. Estructura da comunidade de peixes da represa “Lago del Fuerte”, Tandil, Argentina. Acta Sci. Biol. Sci. 21, 267–275.
- Grosman, F., 1993. Comparación de diferentes metodologías para la estimación del crecimiento del pejerrey patagónico. Ecol. Austral 3, 33–41.
- Grosman, F., 1991. Estudio demografico del “pejerrey patagonico” *Patagonina hatcheri* Eigenmann de la laguna Terraplen, Prov. del Chubut. Biol. Acuática 198–199.
- Grosman, F., Sanzano, P., Agüeria, D., González, G., Sergueña, S., 2001. Ecología reproductiva, edad, crecimiento, condición y alimentación del pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en un ambiente del SO de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Aquat. 1–24.

- Gubiani, É.A., Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 2012. Estimates of population parameters and consumption/biomass ratio for fishes in reservoirs, Paraná State, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 10, 177–188. doi:10.1590/S1679-62252012000100017
- Guerrero, C.A., 1984. Edad y crecimiento en la perca criolla bocona, "*Percichthys colhuapiensis*" Mac Donagh, 1955 (Osteichthyes, Percichthyidae). *Comun. del Mus. Argentino Ciencias Nat. "Bernardino Rivadavia"*. *Inst. Nac. Investig. las Ciencias Nat. Zool.* 4, 95–108.
- Gurgel, H. de C.B., Barbieri, G., 1994. Idade e crescimento de *Metynnis cf. roosevelti* Eigenman, 1915 (Characiformes, Myleinae) da lagoa Redonda. Município de Nizia Floresta. Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Rev. Ictiol.* 2/3, 35–40.
- Gurgel, H. de C.B., Barbieri, G., 1991. Idade e crescimento do bagre amarelo *Rhamdia branneri* Haseman, 1911 (Siluriformes, Pimelodidae) do rio Iguaçú/Paraná. *Rev. UNIMAR* 13, 249–258.
- Hartz, S.M., Barbieri, G., 1995. Crescimento do peixe-cachorro, *Oligosarcus jenynsii* (Gunther, 1864), na lagoa Caconde, Rio Grande do Sul, Brasil (Teleostei, Characidae). *Bol. do Inst. Pesca* 22, 33–40.
- Hartz, S.M., Barbieri, G., 1993. Growth of *Cyphocharax voga* (Hensel, 1869) in Emboaba Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 28, 169–178.
- Hartz, S.M., Bruschi Jr, W., Formehl, M.V., 1998. Idade e crescimento de *Gymnophagus lacustris* Reis & Malabarba, um Cichlidae endêmico da bacia hidrográfica do rio Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 15, 605–612.
- Holley, M.H., Maceina, M.J., Thomé-Souza, M., Forsberg, B.R., 2008. Analysis of the trophy sport fishery for the speckled peacock bass in the Rio Negro River, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* 15, 93–98. doi:10.1111/j.1365-2400.2007.00587.x
- Ilieș, I., Traniello, I.M., Sîrbulescu, R.F., Zupanc, G.K.H., 2014. Determination of relative age using growth increments of scales as a minimally invasive method in the tropical freshwater *Apteronotus leptorhynchus*. *J. Fish Biol.* 84, 1312–1325. doi:10.1111/jfb.12354
- Isaac, V.J., Ruffino, M.L., 1996. Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* 3, 315–333. doi:10.1046/j.1365-2400.1996.d01-154.x
- Jepsen, D.B., Winemiller, K.O., Taphorn, D.C., Rodrigues Olarte, D., 1999. Age structure and growth of peacock cichlids from rivers and reservoirs of Venezuela. *J. Fish Biol.* 55, 433–450. doi:10.1111/j.1095-8649.1999.tb00689.x
- Le Guennec, B., Loubens, G., 2004. Biologie de *Pellona castelnaeana* (Teleostei: Pristigasteridae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol. Explor. Freshwaters* 15, 369–383.
- Lecomte, F., Boujard, T., Meunier, F.J., Renno, J.F., Rojas-Beltran, R., 1993. The growth of *Myleus rhomboidalis* (Cuvier, 1817) (Characiforme, Serrasalminidae) in two rivers of French Guiana. *Rev. d'Écologie (La Terre La Vie)* 48, 421–435.
- Lecomte, F., Meunier, F.J., Rojas-Beltran, R., 1986. Données préliminaires sur la croissance de deux téléostéens de Guyane, *Arius proops* (Ariidae, Siluriformes) et *Leporinus friderici* (Anostomidae, Characoidei). *Cybiurn* 10, 121–134.
- Lizama, M. de los A.P., 2000. Estimativa dos parâmetros de crescimento, recrutamento e mortalidade

- de *Prochilodus lineatus* da planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. Bol. do Inst. Pesca 26, 121–128.
- Lizama, M. de los A.P., Ambrósio, A.M., 2004. Growth, recruitment, and mortality parameters for *Astyanax altiparanae* Garutti and Britski, 2000 and *A. schubarti*, Britski, 1964 (Pisces, Characidae) in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. Acta Sci. Biol. Sci. 26, 437–442.
- Lizama, M. de los A.P., Ambrósio, A.M., 2003. Crescimento, recrutamento e mortalidade do pequi *Moenkhausia intermedia* (Osteichthyes, Characidae) na planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. Acta Sci. Biol. Sci. 25, 329–333. doi:10.4025/actascibiolsci.v25i2.2020
- López Cazorla, A., Sidorkewicz, N., 2005. Edad y crecimiento de *Cheirodon interruptus* (Characiformes: Tetragonopteridae) en la cuenca alta del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. Biol. Acuática 189–196.
- Loubens, G., 2003. Biologie de *Plagioscion squamosissimus* (Teleostei: Sciaenidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). Ichthyol. Explor. Freshwaters 14, 335–352.
- Loubens, G., Panfili, J., 2001. Biologie de *Piaractus brachypomus* (Teleostei: Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). Ichthyol. Explor. Freshwaters 12, 51–64.
- Loubens, G., Panfili, J., 2000. Biologie de *Pseudoplatystoma fasciatum* et *P. tigrinum* (Teleostei, Pimelodidae) dans le bassin du Marmoré (Amazonie Bolivienne). Ichthyol. Explor. Freshwaters 11, 13–34.
- Loubens, G., Panfili, J., 1997. Biologie de *Colossoma macropomum* (Teleostei : Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). Ichthyol. Explor. Freshwaters 8, 1–22.
- Loubens, G., Panfili, J., 1995. Biologie de *Prochilodus nigricans* (Teleostei: Prochilodontidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). Ichthyol. Explor. Freshwaters 6, 17–32.
- Lourenço, L. da S., Costa, R.M.R. da, Rondon, P.L., Mateus, L.A.F., 2017. Individual, spatial and inter-sex variation in somatic growth: a study of *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Serrasalminidae), a long-distance freshwater Neotropical migratory fish. Neotrop. Ichthyol. 15, 1–12. doi:10.1590/1982-0224-20160097
- Lourenço, L. da S., Fernandes, I.M., Suárez, Y.R., 2012. Spatial and temporal variation in population structure of *Hemigrammus marginatus* (Characiformes: Characidae) in streams of the Ivinhema River basin, Brazil. Zool. 29, 300–307. doi:10.1590/S1984-46702012000400003
- Lourenço, L. da S., Suárez, Y.R., Florentino, A.C., 2008. Aspectos populacionais de *Serrapinnus notomelas* (Eigenmann, 1915) e *Bryconamericus stramineus* Eigenmann, 1908 (Characiformes: Characidae) em riachos da bacia do rio Ivinhema, Alto rio Paraná. Biota Neotrop. 8, 43–49. doi:10.1590/S1676-06032008000400003
- Lozano, I.E., Llamazares Vegh, S., Dománico, A.A., Espinach Ros, A., 2014. Comparison of scale and otolith age readings for trahira, *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), from Paraná River, Argentina. J. Appl. Ichthyol. 30, 130–134. doi:10.1111/jai.12317
- Mancini, M., Grosman, F., 1998. Aspectos poblacionales del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en el Embalse Río Tercero, Córdoba. Nat. Neotrop. 29, 137–143.
- Martins, J.M.E., Rego, A.C.L., Pinese, J.F., 2009. Determinação da idade e crescimento de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Characiformes, Erythrinidae) na represa de Capim Branco I, rio

- Araguari, MG. Rev. Bras. Zool. 11, 261–268.
- Mateus, L.A. de F., Estupiñán, G.M.B., 2002. Fish stock assessment of piraputanga *Brycon microlepis* in the Cuiabá River basin, Pantanal of Mato Grosso, Brazil. Brazilian J. Biol. 62, 165–170. doi:10.1590/S1519-69842002000100018
- Mateus, L.A.F., Penha, J.M.F., 2007. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Siluriformes, Pimelodidae). Rev. Bras. Zool. 24, 87–98. doi:10.1590/S0101-81752007000100012
- Mateus, L.A.F., Petrere Jr, M., 2004. Age, growth and yield per recruit analysis of the pintado *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829) in the Cuiabá River basin, Pantanal Matogrossense, Brazil. Brazilian J. Biol. 64, 257–264. doi:10.1590/S1519-69842004000200011
- Miranda, L.E., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., 2000. Appraisal of the selective properties of gill nets and implications for yield and value of the fisheries at the Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay. Fish. Res. 45, 105–116. doi:10.1016/S0165-7836(99)00114-9
- Monasterio de Gonzo, G.A., Martinez, V.H., Vera, R.V., 1996. Biología de *Pimelodus albicans* (Val. 1846) I. Crecimiento. Rev. la Asoc. Ciencias Nat. del Litoral 27, 7–12.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V.H., 2016. Fishes of the World, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Nomura, H., 1988. Caracteres merísticos e biologia do cascudo, *Hypostomus fluviatilis* (Schubart, 1964) (Osteichthyes, Loricariidae) do rio Mogi-Guaçu, São Paulo, Brasil. Rev. Bras. Zool. 5, 75–78. doi:10.1590/S0101-81752007000400008
- Nomura, H., 1985. Dados biológicos e número de vértebras do cascudo-barata, *Hypostomus regani* (Ihering, 1905) (Osteichthyes, Loricariidae) do rio Mogi Guaçu, S. Paulo. Rev. Agric. 60, 125–140.
- Nomura, H., 1984. Biologia e número de vértebras do cascudo-maculado, *Hypostomus nigromaculatus* (Schubart, 1964) (Osteichthyes, Loricariidae), do rio Mogi Guaçu, São Paulo. An. do Simpósio Bras. Aqüicultura III, São Carlos-SP.
- Nomura, H., 1975. Comparação da idade e do crescimento de três espécies de peixes do gênero *Astyanax* Baird & Girard, 1854 (Osteichthyes, Characidae) do rio Mogi Guaçu, SP. Rev. Bras. Biol. 35, 531–547.
- Nomura, H., Barbosa, J.M., 1980. Biologia do acará-cascudo, *Cichlasoma bimaculatum* (L., 1758) do riacho Bem Posta (Campo Maior, Piauí) (Osteichthyes, Cichlidae). Rev. Bras. Biol. 40, 159–163.
- Nomura, H., Chacon, J. de O., 1976. Idade e crescimento da pescada-do-Piauí, *Plagioscion squamosissimus* (Heckel) (Osteichthyes, Sciaenidae), do Açude Amanari (Maranguape, Ceará). Rev. Ceres 23, 191–197.
- Nomura, H., Hayashi, C., 1980. Caracteres merísticos e biologia do saguiru, *Curimatus gilberti* (Quoy & Gaimard, 1824), do rio Morgado (Matão, São Paulo) (Osteichthyes, Curimatidae). Rev. Bras. Biol. 40, 165–176.
- Nomura, H., Mueller, I.M. de M., 1980. Biologia do cascudo, *Plecostomus hermanni* Ihering, 1905 do rio Mogi Guaçu, São Paulo (Osteichthyes, Loricariidae). Rev. Bras. Biol. 40, 267–275.
- Nomura, H., Mueller, I.M.M., 1983. Caracterização merística e dados biológicos sobre *Hypostomus strigaticeps* (Regan, 1907) (Osteichthyes, Loricariidae), do rio Mogi Guaçu, São Paulo. Rev. Agric.

58, 175–196.

- Nomura, H., Nemoto, L., 1983. Alguns caracteres merísticos e da biologia do cascudo, *Plecostomus paulinus* Ihering, 1905 (Pisces, Loricariidae) do rio Mogi Guaçu, SP. O Solo 75, 64–79.
- Nomura, H., Pozzi, R., Manreza, F.A., 1972. Caracteres merísticos e dados biológicos sobre o mandi-amarelo *Pimelodus clarias* (Bloch, 1782), do rio Mogi Guaçu (Pisces, Pimelodidae). Rev. Bras. Biol. 32, 1–14.
- Novaes, J.L., Carvalho, E.D., 2011. Population structure and stock assessment of *Hoplias malabaricus* (Characiformes: Erythrinidae) caught by artisanal fishermen in river-reservoir transition area in Brazil. Rev. Biol. Trop. 59, 71–83.
- Nuñez, J., Inturias, A., Dugué, R., Barreto, J., Rivera, R., Duponchelle, F., Renno, J.F., 2005a. Reproducción y crecimiento de *Pseudoplatystoma fasciatum* en la cuenca amazónica boliviana, in: Renno, J., García-Dávila, C., Duponchelle, F., Nuñez, J. (Eds.), Biología de las poblaciones de peces de la Amazonía y piscicultura. IIAP - Iquitos/IRD - Paris, Iquitos, Peru, pp. 47–51.
- Nuñez, J., Maldonado, E., Dugué, R., Duponchelle, F., Aliaga, C., Rivera, R., Renno, J.F., 2005b. Reproducción y crecimiento de *Colossoma macropomum* en las cuencas del Iténez y del Mamoré (Amazonía Boliviana), in: Renno, J., García-Dávila, C., Duponchelle, F., Nuñez, J. (Eds.), Biología de las poblaciones de peces de la Amazonía y piscicultura. IIAP - Iquitos/IRD - Paris, Iquitos, Peru, pp. 52–57.
- Olaya-Nieto, C.W., Ubarnes-Coronado, G.M., Ensuncho-Morales, J.E., 2014. Crecimiento y mortalidad de mojarra amarilla *caquetaia kraussii* en la ciénaga Grande de Lorica, Colombia. Revista Logos Cienc. Tecnol. 5, 202–212.
- Oliveira, M. de A., Novelli, R., 2005. Idade e crescimento do bagre *Genidens genidens* na barra da Lagoa do Açú, norte do Estado do Rio de Janeiro. Trop. Oceanogr. 33, 57–66.
- Orsi, M.L., Shibatta, O.A., 1999. Crecimiento de *Schizodon Intermedius* Garavello & Britski (Osteichthyes, Anostomidae) do rio Tibagi (Sertanópolis, Paraná). Rev. Bras. Zool. 16, 701–710. doi:10.1590/S0101-81751999000300009
- Parra Urdaneta, R.E., Andrade de Pasquier, G.J., 2000. Aspectos biológicos-pesqueros de los bagres paletón (*Sorubim* sp.), malarmo (*Platysilurus malarmo*) y doncella (*Ageneiosus* sp.) desembarcados en puerto Concha, Municipio Colón, Estado Zulia, Venezuela. Rev. Científica 10, 100–106.
- Peixer, J., Catella, A.C., Petrere Jr, M., 2007. Yield per recruit of the pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) in the pantanal of Mato Grosso do Sul, Brazil. Brazilian J. Biol. 67, 561–567. doi:10.1590/s1519-69842007000200021
- Penha, J.M.F., Mateus, L.A.F., Barbieri, G., 2004a. Age and growth of the duckbill catfish (*Sorubim* cf. *lima*) in the Pantanal. Brazilian J. Biol. 64, 125–134. doi:10.1590/S1519-69842004000100014
- Penha, J.M.F., Mateus, L.A.F., Barbieri, G., 2004b. Age and growth of the porthole shovelnose catfish (*Hemisorubim platyrhynchos*) in the Pantanal. Brazilian J. Biol. 64, 833–840. doi:10.1590/S1519-69842004000500013
- Penna, M.A.H., Villacorta-Corrêa, M.A., Walter, T., Petrere-Jr, M., 2005. Growth of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) (Characiformes: Characidae): which is the best model? Brazilian J. Biol. 65, 129–139.

- Pérez-Lozano, A., Aniello, B., 2013. Parámetros poblacionales de los principales recursos pesqueros de la cuenca del río Apure, Venezuela (2000-2003). *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 41, 447–458.
- Pérez, A., Fabr e, N.N., 2009. Seasonal growth and life history of the catfish *Calophysus macropterus* (Lichtenstein, 1819) (Siluriformes: Pimelodidae) from the Amazon floodplain. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 343–349. doi:10.1111/j.1439-0426.2008.01104.x
- Petriere Jr, M., 1983. Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil. *Brazilian J. Biol.* 22, 133–144.
- Prestes, L., Soares, M.G.M., Silva, F.R., Bittencourt, M.M., 2010. Din mica populacional de *Triporthes albus*, *T. angulatus* e *T. auritus* (Characiformes: Characidae) em lagos da Amaz nia Central. *Biota Neotrop.* 10, 177–181. doi:10.1590/S1676-06032010000300020
- Reid, S., 1983. La biologia de los bagres rayados (*Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. tigrinum*) en la cuenca del rio Apure, Venezuela. *Rev. Unellez Cienc. y Tecnol.* 1, 13–41.
- Reina, M.P., Ramírez, H., Valderrama, B.M., 1995. Edad y crecimiento de *Paulicea luetkeni* (Steindachner, 1876) (Pisces: Pimelodidae) basado en la lectura de estructuras duras (espinas de aleta pectoral) en el alto rio Meta (Colombia). *Boletín Científico INPA* 115–135.
- Reis, E.G., 1986. Age and growth of the marine catfish, *Netuma barba* (Siluriformes, Ariidae) in the estuary of the Patos Lagoon (Brasil). *Fish. Bull.* 84, 679–686.
- Resende, E.K. de, Catella, A.C., Nascimento, F.L., Palmeira, S. da S., Pereira, R.A.C., Lima, M. de S., Almeida, V.L.L. de, 1996. Biologia do curimat  (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do rio Miranda, pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil, (Embrapa-Cpap. Boletim de Pesquisa, 02). EMBRAPA-CP, Corumbá, MS.
- Rodrigues, J.D., Mota, A., Moraes, M.N. de., Ferreira, A.E., 1978. Curvas de maturac o gonadal e crescimento de fêmeas de pirambema, *Serrasalmus spilopleura* Kner, 1859 (Pisces, Cypriniformes). *Bol. do Inst. Pesca* 5, 51–63.
- Ruffino, M.L., Isaac, V.J., 2000. Ciclo de vida e parâmetros biológicos de algumas espécies de peixes da Amazônia brasileira, in: IBAMA (Ed.), Recursos pesqueiros do médio Amazonas: biologia e estatística pesqueira. IBAMA, Brasília, pp. 11–30.
- Ruffino, M.L., Isaac, V.J., 1999. Din mica populacional do surubim-tigre, *Pseudoplatystoma tigrinum* (Valenciennes, 1840) no Médio Amazonas (Siluriformes, Pimelodidae). *Acta Amaz.* 29, 463–476.
- Ruffino, M.L., Isaac, V.J., 1995. Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish species. *NAGA, ICLARM Q.* 18, 41–45.
- S -Oliveira, J.C., Angelini, R., Isaac-Nahum, V.J., 2015. Population parameters of the fish fauna in a long-established Amazonian reservoir (Amap , Brazil). *J. Appl. Ichthyol.* 31, 290–295. doi:10.1111/jai.12667
- Sabinson, L.M., Rodrigues Filho, J.L., Peret, A.C., Verani, J., 2014. Growth and reproduction aspects of *Pimelodus maculatus* Lac p de 1803 (Siluriformes, Pimelodidae) of the Cachoeira Dourada reservoir, state of Goiás and Minas Gerais, Brazil. *Brazilian J. Biol.* 74, 450–459.
- Santos, G.B., Barbieri, G., 1993. Idade de crescimento do “piau gordura” *Leporinus piau* Fowler, 1941, na represa de Três Marias (Estado de Minas Gerais) (Pisces, Ostariophysi, Anostomidae). *Rev.*

- Bras. Biol. 53, 649–658.
- Santos, G.B., Barbieri, G., 1991. Idade e crescimento de *Prochilodus marggravii* (Walbaum, 1792) (Characiformes, Prochilodontidae) do rio São Francisco, Minas Gerais. Rev. Ceres 38, 5–16.
- Santos, R.A. dos, Camara, J.J.C. da, Campos, E.C., Mandelli Jr, J., 1991a. Curvas de maturação gonadal e crescimento de fêmeas de saguiri prata, (*Steindachnerina insculpta* Fernandez-Yepes, 1948) capturadas na represa de Ibitinga, Estado de São Paulo, Brasil. Brazilian J. Vet. Res. Anim. Sci. 28, 207–217.
- Santos, R.A. dos, Campos, E.C. da, Camara, J.J.C. da, Mandelli Jr, J., 1991b. Curvas de maturação gonadal e crescimento de fêmeas de tambiú, *Astyanax bimaculatus* Linnaeus, 1758 (Characiformes, Characidae), na represa de Ibitinga, Estado de São Paulo. Bol. do Inst. Pesca 1, 1–11.
- Santos Filho, L.C. dos, Batista, V. da S., 2009. Dinâmica populacional da matrinxã *Brycon amazonicus* (Characidae) na Amazônia Central. Zoologia 26, 195–203. doi:10.1590/S1984-46702009000200001
- Sato, Y., Barbieri, G., 1983. Crescimento de *Schizodon knerii* Steindachner, 1875 (Pisces, Anostomidae) na represa Três Marias, Minas Gerais. An. Semin. Reg. Ecol. III, São Carlos, SP.
- Schulz, U.H., Leal, M.E., 2005. Growth and mortality of black bass, *Micropterus salmoides* (Pisces, Centrarchidae; Lacapède, 1802) in a reservoir in southern Brazil. Brazilian J. Biol. 65, 363–369. doi:10.1590/S1519-69842005000200021
- Sendra, E., Colautti, D., 1997. Procedimiento metodológico para el estudio del crecimiento del pejerrey *Odontesthes bonariensis bonariensis* de la laguna de San Miguel del Monte, Prov. Buenos Aires, Argentina. Nat. Neotrop. 28, 105–115.
- Sendra, E.D., Freyre, L.R., 1981. Estudio demográfico de *Cheirodon interruptus interruptus* (Pisces Tetragonopteridae) de la laguna Chascomus. I. Crecimiento. Limnobiós 2, 111–126.
- Sendra, E.D., Freyre, L.R., 1978. Dinámica poblacional de *Bryconamericus iheringi* (Pisces Tetragonopteridae) de la laguna de Chascomus. Limnobiós 1, 299–321.
- Siangas, E.L., Pouilly, M., Vallejos, A., Pérez, T., Rejas, D., 2012. Effect of water quality on growth of four fish species in the Iténez basin (Upper Madera, Amazon). Environ. Biol. Fishes 95, 371–381. doi:10.1007/s10641-012-0011-8
- Silva, E.A., Stewart, D.J., 2006. Age structure, growth and survival rates of the commercial fish *Prochilodus nigricans* (bocachico) in North-eastern Ecuador. Environ. Biol. Fishes 77, 63–77. doi:10.1007/s10641-006-9055-y
- Sosa, D.L.M., 1992. Estimación de edad y crecimiento en la “pacora” (*Plagioscion surinamensis* Bleeker, 1873) por medio de la comparación de los métodos de análisis de distribución de frecuencias y las marcas en escamas y otolitos. Acta Amaz. 22, 369–380.
- Sousa, F.B. de, Soares, M.G.M., Prestes, L., 2013. Population dynamics of the yellow piranha *Serrasalmus spilopleura* Kner, 1858 (Characidae, Serrasalminae) in Amazonian floodplain lakes. Acta Sci. Biol. Sci. 35, 367–372. doi:10.4025/actascibiolsci.v35i3.15749
- Sverlij, S.B., Arcederillo, J.P.M., 1991. Crecimiento del pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Pisces, Atheriniformes) en el embalse La Florida, San Luis, Argentina. Rev. D’Hydrobiologie Trop. 24,

183–195.

- Sverlij, S.B., Espinach Ros, A., 1986. El dorado, *Salminus maxillosus* (Pisces, Characiformes), en el río de la Plata y río Uruguay inferior. Rev. Investig. y Desarro. Pesq. 57–75.
- Tondato, K.K., Fialho, C.B., Suárez, Y.R., 2012. Life history traits of *Odontostilbe pequirá* (Steindachner, 1882) in the pantanal of Porto Murtinho, Mato Grosso do Sul State, Brazil. Oecologia Aust. 16, 878–890.
- Tordecilla-Petro, G., Sánchez-Banda, S., Olaya-Nieto, C., 2005. Crecimiento y mortalidad del moncholo (*Hoplias malabaricus*) en la Ciénaga Grande de Lórica, Colombia. MVZ-Córdoba 10, 623–632.
- Valderrama, M.B., Solano, D., 2004. Estado de la población de bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Characiformes), y su manejo en la cuenca del río Sinú, Colombia. Dahlia - Rev. la Asoc. Colomb. Ictiólogos 3–12.
- Vasconcelos, L.P., Suárez, Y.R., Lima-Junior, S.E., 2011. Population aspects of *Bryconamericus stramineus* in streams of the upper Paraná River basin, Brazil. Biota Neotrop. 11, 55–62. doi:10.1590/S1676-06032011000200006
- Velasco, G., Reis, E.G., Vieira, J.P., 2007. Calculating growth parameters of *Genidens barbatus* (Siluriformes, Ariidae) using length composition and age data. J. Appl. Ichthyol. 23, 64–69. doi:10.1111/j.1439-0426.2006.00793.x
- Vicentin, W., Costa, F.E. dos S., Suárez, Y.R., 2013. Population ecology of red-bellied piranha *Pygocentrus nattereri* Kner, 1858 (Characidae: Serrasalminae) in the Negro River, Pantanal, Brazil. Environ. Biol. Fishes 96, 57–66. doi:10.1007/s10641-012-0022-5
- Vicentin, W., Rocha, A.S., Rondon, P.L., Costa, F.E. dos S., Suárez, Y.R., 2012. Parâmetros populacionais, período reprodutivo e crescimento de *Prochilodus lineatus* (Characiformes, Prochilodontidae) na cabeceira do rio Miranda, alto rio Paraguai. Oecologia Aust. 16, 891–904. doi:10.4257/oeco.2012.1604.12
- Vila, P.I., Soto, B.D., Bahamondes, I., 1981. Age and growth of *Basilichthys australis* Eigenmann 1927 in Rapel Reservoir, Chile. (Pisces, Atherinidae). Stud. Neotrop. Fauna Environ. 16, 9–22.
- Weis, M.L.C., Castello, J.P., 1983. Interpretação da idade e cálculo da curva de crescimento do jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1924) do banhado de Santa Catarina, RS. Ciência e Nat. 5, 103–126.
- Zuliani, M.S., Ambrósio, A.M., Francisco, T.M., Balbi, T.J., Okada, E.K., Gomes, L.C., 2016. Age and growth parameters of the dourado *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) from the river Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. Acta Sci. Biol. Sci. 38, 59–65. doi:10.4025/actascibiolsci.v38i1.27868

APÊNDICEA: Publication details (years, source, species and hydrographic basin), data from literature (asymptotic length (L_{∞} , cm), growth coefficient (K) and hypothetical time at zero length (t_0) for both sexes (BS), males (M) and females (F)) for hydrographic basin of South America. (Athe. = Atheriniformes, Cich. = Cichliformes, Char. = Characiformes, Clup. = Clupeiformes, Cyprin = Cypriniformes, Cyprino = Cyprinodontiformes, Gymn. = Gymnotiformes, Silur. = Siluriformes, Perc. = Perciformes, Osteo. = Osteoglossiformes).

*¹ Species update: <https://www.calacademy.org/scientists/projects/catalog-of-fishes>; *² Taxonomic classification according to (Nelson et al., 2016) and (Betancur-R et al., 2017); *³ Ecoregions of South America based on (Abell et al., 2008) and <http://www.feow.org/>. *⁴ Access to the original data to determine the ecoregions. *⁵ The sampling site was not informed. *⁶ Identification according to (Castro and Vari, 2003).

Publication Details				Data								
Source	Species* ¹	Ordem/family* ²	Ecoregions of South America, units* ³	L_{∞} (BS)	K (BS)	t_0 (BS)	L_{∞} (M)	K (M)	t_0 (M)	L_{∞} (F)	K (F)	t_0 (F)
(Cordivola de Yuan, 1971)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Lower Parana, 345	62.63	0.2415	-0.5714						
(Dourado et al., 1971)	<i>Prochilodus brevis</i> * ⁶	Char./Prochilodontidae	Northeastern Caatinga and Coastal Drainages, 326	51.50	0.4200	-1.3500						
(Nomura et al., 1972)	<i>Pimelodus maculatus</i>	<u>Silur./Pimelodidae</u>	Upper Parana, 344				52.00	0.1100	-0.6400	52.00	0.1100	-0.9100
(Fenerich et al., 1975)	<i>Pimelodus maculatus</i>	<u>Silur./Pimelodidae</u>	Upper Parana, 344				45.40	0.2104	-0.6100	56.50	0.1938	-0.3600
(Nomura, 1975)	<i>Astyanax fasciatus</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344				14.02	0.3350	0.7610	17.65	0.2400	0.7500
(Nomura, 1975)	<i>Astyanax fasciatus</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344				14.17	0.3230	0.8230	17.64	0.2310	0.9540
(Nomura, 1975)	<i>Astyanax lacustris</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344				18.98	0.1640	1.4000	19.11	0.1860	1.1150

(Nomura, 1975)	<i>Astyanax lacustris</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344	15.51	0.2560	1.1650	20.82	0.1440	1.7660
(Nomura, 1975)	<i>Astyanax schubarti</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344	9.50	1.0380	0.0960	20.08	0.1310	2.0000
(Nomura, 1975)	<i>Astyanax schubarti</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344	11.48	0.5400	0.6100	23.56	0.0860	3.2000
(Nomura and Chacon, 1976)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	<u>Perc./Sciaenidae</u>	Northeastern Caatinga and Coastal Drainages, 326	91.89	0.1100	0.5500	112.43	0.0760	0.9200
(Sendra and Freyre, 1978)	<i>Bryconamericus iheringii</i>	<u>Char./Characidae</u>	Bonaerensean Drainages, 347	8.99	1.4364	0.2847			
(Sendra and Freyre, 1978)	<i>Bryconamericus iheringii</i>	<u>Char./Characidae</u>	Bonaerensean Drainages, 347	8.99	1.5319	-0.1402			
(Rodrigues et al., 1978)	<i>Serrasalmus spilopleura</i>	<u>Char./Serrasalminidae</u>	Upper Parana, 344				30.71	0.2560	
(Nomura and Barbosa, 1980)	<i>Cichlasoma bimaculatum</i>	<u>Cich./Cichlidae</u>	Parnaiba, 325	15.99	0.4100	-1.1000	14.64	-0.4000	-1.4500
(Nomura and Hayashi, 1980)	<i>Steindachnerina brevipinna</i>	<u>Char./Curimatidae</u>	Upper Parana, 344	15.19	0.3800	-1.6300	15.52	0.3800	-1.5500
(Nomura and Mueller, 1980)	<i>Hypostomus hermanni</i>	<u>Silur./Loricariidae</u>	Upper Parana, 344	28.80	0.1000	-3.0000	31.80	0.0700	-4.4300
(Barbieri et al., 1981)	<i>Geophagus brasiliensis</i>	<u>Cich./Cichlidae</u>	Upper Parana, 344	14.60	0.4430	0.0000	13.10	0.3940	0.0000
(Sendra and Freyre, 1981)	<i>Cheirodon interruptus</i>	Char./Characidae	Bonaerensean Drainages, 347	48.70	1.1647	-0.0920	61.57	0.9986	-0.0179
(Sendra and Freyre, 1981)	<i>Cheirodon interruptus</i>	Char./Characidae	Bonaerensean Drainages, 347	48.70	1.1509	0.2737	61.57	0.8537	0.2529

Freyre, 1981)			Drainages, 347							
(Vila et al., 1981)	<i>Basilichthys australis</i>	Athe./Atherinopsidae	South Andean Pacific Slopes, 341	27.50	0.7790	-0.4000	29.30	0.6570	-0.3650	
(Barbieri and Barbieri, 1983)	<i>Gymnotus carapo</i>	Gymn./Gymnotidae	Upper Parana, 344	52.60	0.3070	-0.0625	50.00	0.3110	-0.0650	
(Sato and Barbieri, 1983)	<i>Schizodon knerii</i>	Char./Anostomidae	S. Francisco, 327	28.08	0.2250	0.0000	32.31	0.1510	0.0000	
(Freyre et al., 1983)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Lower Parana, 345	31.80	0.3378	-1.5710				
(Petrere Jr, 1983)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmidae	Rio Negro, 314	107.30	0.2270					
(Reid, 1983)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	103.00	0.1224	-1.7583	130.00	0.0978	-1.4773	
(Reid, 1983)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	146.00	0.1149	-0.9793	173.00	0.0887	-1.1117	
(Nomura and Mueller, 1983)	<i>Hypostomus strigaticeps</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	30.30	0.1500	-0.8600	28.60	0.1700	-0.9400	
(Nomura and Nemoto, 1983)	<i>Hypostomus paulinus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	14.52	0.2300	-2.6400	15.30	0.3200	-1.5600	
(Weis and Castello, 1983)	<i>Rhamdia quelen</i>	Silur./Heptapteridae	Laguna dos Patos, 334	51.59	0.2525	-0.6215	66.45	0.1348	-1.6022	
(Weis and Castello, 1983)	<i>Rhamdia quelen</i>	Silur./Heptapteridae	Laguna dos Patos, 334	51.67	0.2521	-0.6290	66.96	0.1324	-1.6239	
(Barbieri and Barbieri, 1984)	<i>Gymnotus carapo</i>	Gymn./Gymnotidae	Upper Parana, 344	54.60	0.4270	0.0000				
(Ferraz de Lima et al.,	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Char./Serrasalmidae	Upper Parana, 344	75.53	0.1436	-1.1900				

1984)

(Guerrero, 1984)	<i>Percichthys colhuapiensis</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	73.15	0.1008	-0.1672	113.58	0.0550	-0.0405
(Nomura, 1984)	<i>Hypostomus nigromaculatus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	13.81	0.3600	-1.1700	15.63	0.2800	-1.3200
(Nomura, 1985)	<i>Hypostomus regani</i>	<u>Silur./Loricariidae</u>	Upper Parana, 344	63.20	0.1530	-0.6210	60.90	0.1210	-0.6110
(Antoniutti et al., 1985)	<i>Hypostomus albopunctatus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	62.70	0.0644	-3.1289	54.10	0.0757	-3.2816
(Antoniutti et al., 1985)	<i>Hypostomus albopunctatus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	53.51	0.0810	-2.8543	44.02	0.1054	-2.8596
(Barbieri et al., 1986)	<i>Coptodon rendalli</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344	39.71	0.2989		30.68	0.3892	
(Lecomte et al., 1986)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Guianas, 311	40.90	0.2480	-0.0700			
(Reis, 1986)	<i>Genidens barbuis</i>	Silur./Ariidae	Laguna dos Patos, 334	63.80	0.1287	-0.1950			
(Sverlij and Espinach Ros, 1986)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	South Andean Pacific Slopes, 341	76.99	0.3080	-0.5880	81.09	0.3130	-0.7230
(Sverlij and Espinach Ros, 1986)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	South Andean Pacific Slopes, 341	77.97	0.2810	-0.6860	81.41	0.2930	-0.7290
(Barbieri and Santos, 1987)	<i>Hypostomus aff. plecostomus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	23.60	0.4430	0.0000			
(Barbieri and Barbieri,	<i>Coptodon rendalli</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344	35.40	0.2910		31.00	0.3887	

1988a)											
(Barbieri and Barbieri, 1988b)	<i>Parodon nasus</i>	Char./Parodontidae	Upper Parana, 344	16.57	0.2719						
(Barbieri and Santos, 1988)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344			30.60	0.3140		37.90	0.1960	
(Barbieri and Santos, 1988)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344			29.60	0.3970		33.90	0.2400	
(Barla et al., 1988)	<i>Astyanax eigenmanniorum</i>	Char./Characidae	Mar Chiquita– Salinas Grandes, 339			8.76	0.7357	-0.2740	12.47	0.2831	-1.1360
(Barla et al., 1988)	<i>Astyanax eigenmanniorum</i>	Char./Characidae	Mar Chiquita– Salinas Grandes, 339			9.89	0.4290	-0.9475	10.79	0.4471	0.7122
(Nomura, 1988)	<i>Hypostomus fluviatilis</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344			31.53	0.0980	-2.7500	35.13	0.0870	-2.7600
(Barbieri and Barbieri, 1989)	<i>Apareiodon affinis</i>	Char./Parodontidae	Upper Parana, 344	13.69	0.2693						
(Barbieri, 1989)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344	40.50	0.2430						
(Barbieri and Cruz-Barbieri, 1989)	<i>Parodon nasus</i>	Char./Parodontidae	Upper Parana, 344	16.57	0.2719				0.0000		
(Barbieri and Marins, 1990)	<i>Hoplias cf. malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344	42.48	0.1658				0.0000		
(Dománico and Guerrero, 1990)	<i>Percichthys trucha</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	115.59	0.0345				-0.5545		

(Agostinho et al., 1991)	<i>Rhinelepis aspera</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	68.20	0.1160	-0.8400	64.60	0.1240	-0.8600	74.50	0.1020	-0.8400
(Barbieri, 1991)	<i>Parodon nasus</i>	Char./Parodontidae	Upper Parana, 344	15.60	0.2320							
(Boujard et al., 1991)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Guianas, 311	40.90	0.2480	-0.0700						
(Carozza and Cordiviola de Yuan, 1991)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Lower Parana, 345	53.60	0.4000	-0.1100	51.20	0.4500	-0.3100	53.50	0.4000	0.1300
(Carozza and Cordiviola de Yuan, 1991)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Lower Parana, 345	49.20	0.3800	-1.3000	48.40	0.3700	1.9000	52.70	0.2900	-1.5000
(Grosman, 1991)	<i>Odontesthes hatcheri</i>	Athe./Atherinopsidae	Patagonia, 348	53.91	0.3714	0.1134						
(Gurgel and Barbieri, 1991)	<i>Rhamdia branneri</i>	Silur./Heptapteridae	Iguassu, 346				37.50	0.2830		42.00	0.2140	
(Santos and Barbieri, 1991)	<i>Prochilodus argenteus</i> * ⁶	Char./Prochilodontidae	S. Francisco, 327	60.00	0.2257							
(Santos et al., 1991a)	<i>Steindachnerina insculpta</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344							14.35	0.3810	
(Santos et al., 1991b)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344							17.85	0.2130	
(Sverlij and Arcederillo, 1991)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Mar Chiquita–Salinas Grandes, 339	36.80	0.3420	-0.6280	35.05	0.3800	-0.5700	38.83	0.3040	-0.6790
(Barbieri, 1992)	<i>Astyanax paranae</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344				7.50	0.7190		9.33	0.6130	

(Giamas et al., 1992)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	22.31	0.1027	-1.8549						
(Goulart and Verani, 1992)	<i>Hypostomus commersoni</i>	Silur./Loricariidae	Southeastern Mata Atlantica, 331				52.36	0.1986		45.46	0.2413	
(Sosa, 1992)	<i>Plagioscion surinamensis</i>	Perc./Sciaenidae	Ucayali–Urubamba Piedmont, 317	77.51	0.3620	0.0978						
(Domanico et al., 1993)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Bonaerensean Drainages, 347	79.21	0.0701	-1.0244						
(Hartz and Barbieri, 1993)	<i>Cyphocharax voga</i>	Char./Curimatidae	Tramandai–Mampituba, 335				23.40	0.3650	0.0000	24.90	0.4890	0.0000
(Fontoura et al., 1993)	<i>Diapoma alburnum</i>	Char./Characidae	Laguna dos Patos, 334	6.69	1.5232	-0.3300						
(Fontoura et al., 1993)	<i>Diapoma alburnum</i>	Char./Characidae	Laguna dos Patos, 334	7.20		-0.4300						
(Grosman, 1993)	<i>Odontesthes hatcheri</i>	Athe./Atherinopsidae	Patagonia, 348	53.91	0.37135	0.1134						
(Grosman, 1993)	<i>Odontesthes hatcheri</i>	Athe./Atherinopsidae	Patagonia, 348	52.45	0.2490	-0.5100						
(Grosman, 1993)	<i>Odontesthes hatcheri</i>	Athe./Atherinopsidae	Patagonia, 348	39.45	0.5730	-0.0590						
(Lecomte et al., 1993)	<i>Myloplus rhomboidalis</i>	Char./Serrasalminidae	Guianas, 311	24.22	0.3570	-0.0390						
(Lecomte et al., 1993)	<i>Myloplus rhomboidalis</i>	Char./Serrasalminidae	Guianas, 311	55.25	0.1050	-0.7090						
(Santos and Barbieri, 1993)	<i>Leporinus piau</i>	Char./Anostomidae	S. Francisco, 327				16.90	0.2400	0.0000	19.30	0.1820	0.0000
(Agostinho and	<i>Serrasalmus</i>	Char./Serrasalminidae	Upper Parana, 344				19.03	0.2530	-0.5380	22.11	0.1910	-0.7890

Marques, 1994)	<i>marginatus</i>									
(Agostinho and Marques, 1994)	<i>Serrasalmus spilopleura</i>	Char./Serrasalmidae	Upper Parana, 344		24.98	0.2080	-1.0640	28.30	0.1740	-1.0430
(Gurgel and Barbieri, 1994)	<i>Metynnis cf. roosevelti (=Metynnis lippincottianus)</i>	Char./Serrasalmidae	Northeastern Caatinga and Coastal Drainages, 326		9.87	0.2412		10.94	0.1964	
(Barbieri, 1995a)	<i>Cyphocharax modestus</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344		14.80	0.4950		16.10	0.3580	
(Barbieri, 1995b)	<i>Rineloricaria latirostris</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344		15.40	0.5300		9.35	0.6870	
(Giamas et al., 1995)	<i>Schizodon nasutus</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344		34.54	0.2141	-0.5292	40.71	0.1795	-0.5712
(Hartz and Barbieri, 1995)	<i>Oligosarcus jenynsii</i>	Char./Characidae	Tramandai–Mampituba, 335		20.39	0.6087	0.0000	25.87	0.3163	0.0000
(Loubens and Panfili, 1995)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318		38.30	0.4640	-0.6620	37.90	0.5880	-0.4360
(Loubens and Panfili, 1995)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318		35.90	0.5190		38.30	0.5260	
(Reina et al., 1995)	<i>Zungaro zungaro</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307		174.00	0.1090	-1.6000	218.00	0.0910	-1.5000
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	68.00	0.5000					
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	58.00	0.4500					

(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	121.00	0.2300	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	118.00	0.2300	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Schizodon fasciatus</i>	Char./Anostomidae	Amazonas Lowlands, 316	58.00	0.5200	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Cichla monoculus</i>	Perc./Cichlidae	Amazonas Lowlands, 316	71.00	0.3600	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	181.00	0.2600	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	184.00	0.3000	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	178.00	0.3300	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	169.00	0.2700	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Zungaro zungaro</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	161.00	0.2200	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Zungaro zungaro</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	168.00	0.2000	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	69.00	0.3800	
(Ruffino and Isaac, 1995)	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	70.00	0.3800	
(Monasterio de Gonzo et al., 1996)	<i>Pimelodus albicans</i>	Silur./Pimelodidae	Chaco, 342	47.99	0.2190	-0.0975

(Isaac and Ruffino, 1996)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	118.50	0.2260	0.0000							
Isaac and Ruffino (1996)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	121.20	0.2290	0.0000							
(Resende et al., 1996)	<i>Prochilodus lienatus</i>	Char./Prochilodontidae	Paraguay, 343				43.21	0.2766	-2.6179	45.78	0.4539	-0.9279	
(Resende et al., 1996)	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343				100.10	0.2149	-2.5800	111.50	0.2746	-1.0700	
(Resende et al., 1996)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343							94.50	0.2718	-2.1200	
(Ambrósio and Hayashi, 1997)	<i>Steindachnerina insculpta</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344	17.60	0.1600	-2.0000	16.50	0.1800	-1.6000	16.70	0.1800	-2.0000	
(Ambrósio and Hayashi, 1997)	<i>Steindachnerina insculpta</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344	12.70	0.1800	-2.3000	11.30	0.2200	-2.2000	13.95	0.1600	-2.5000	
(Bruschi Jr et al., 1997)	<i>Loricariichthys anus</i>	Silur./Loricariidae	Laguna dos Patos, 334				35.73	0.8997	0.0000	40.65	0.5756	0.0000	
(Freyre et al., 1997)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	44.66	0.3876	-0.6400							
(Gonzo and Martínez, 1997)	<i>Heptapterus mustelinus</i>	Silur./Heptapteridae	Lower Parana, 345	48.14	0.1290	0.2400							
(Loubens and Panfili, 1997)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318	72.30	0.2090	-0.5920	70.50	0.2160	-0.6090	74.00	0.1950	-0.7770	
(Loubens and Panfili, 1997)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318				72.00	0.2010	-1.0670	74.00	0.2120	-0.4320	
(Sendra and Colautti, 1997)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	52.2	0.4431	-0.5110							

(Sendra and Colautti, 1997)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	78.9	0.2177	-0.0820						
(Sendra and Colautti, 1997)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	61.2	0.3099	-0.3500						
(Braga, 1998)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Upper Parana, 344				44.20	0.3000		68.40	0.2200	
(Castro, 1998)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Upper Parana, 344				68.40	0.1840		89.10	0.1600	
(Dománico, 1998)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Bonaerensean Drainages, 347	81.76	0.0789	-0.7647						
(Hartz et al., 1998)	<i>Gymnogeophagus lacustris</i>	Cich./Cichlidae	Tramandai–Mampituba, 335				20.66	0.3209	0.0000	12.02	0.4786	0.0000
(Mancini and Grosman, 1998)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Lower Parana, 345	28.80	0.3870	-1.2290						
(Amaral et al., 1999)	<i>Pimelodella pappenheimi</i>	Silur./Heptapteridae	Southeastern Mata Atlantica, 331	15.86	0.5782	-0.1551						
(Araya and Sverlij, 1999)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Lower Parana, 345	49.40	0.2500	-0.5600	43.50	0.3100	-0.4000	47.60	0.2900	-0.3800
(Braga, 1999)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	12.63	0.2260	-2.3300						
(Grosman, 1999)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	30.96	0.3156	-0.2247	34.52	0.3279	-0.2031	40.82	0.1681	-0.7056
(Jepsen et al.,	<i>Cichla intermedia</i>	Cich./Cichlidae	Orinoco Llanos,	38.91	0.4000	-2.4000						

1999)			307									
(Jepsen et al., 1999)	<i>Cichla orinocensis</i>	Cich./Cichlidae	Orinoco Llanos, 307	65.05	0.0790	-5.2000						
(Jepsen et al., 1999)	<i>Cichla temensis</i>	Cich./Cichlidae	Orinoco Llanos, 307	84.37	0.1620	-2.3000						
(Orsi and Shibatta, 1999)	<i>Schizodon intermedius</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344				33.94	0.1018	0.0000	44.81	0.1262	0.0000
(Ruffino and Isaac, 1999)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	180.00	0.2900							
(Ruffino and Isaac, 1999)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	180.00	0.2900							
(Ruffino and Isaac, 1999)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	180.00	0.2900							
(Barbieri et al., 2000a)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344				56.60	0.4820	0.0000	71.33	0.3820	0.0000
(Barbieri et al., 2000b)	<i>Oreochromis niloticus</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344				33.00	0.4560		28.70	0.5080	
(Braga, 2000)	<i>Pimelodus maculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344				38.40	0.3500		45.70	0.4300	
(Lizama, 2000)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	60.14	0.1700	0.0000						
(Lizama, 2000)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	62.00	0.1700	0.0000						
(Lizama, 2000)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	59.49	0.1800	0.0000						
(Lizama, 2000)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	60.14	0.1700	0.0000						
(Loubens and Panfili, 2000)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318					0.4680	0.0140		0.3350	-0.1810
(Loubens and Panfili, 2000)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318				77.00	0.4390	-0.0190	103.10	0.2370	-0.4850

(Loubens and Panfili, 2000)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318			0.2230	-0.6330		0.1970	-0.8300	
(Loubens and Panfili, 2000)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318			119.80	0.1720	-1.1350	131.80	0.1510	-1.3030
(Miranda et al., 2000)	<i>Hypophthalmus oremaculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	56.00	0.2070						
(Miranda et al., 2000)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Upper Parana, 344	47.60	0.3690						
(Miranda et al., 2000)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	80.50	0.2170						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Cichla monoculus</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Lowlands, 316	71.00	0.3600						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	121.20	0.2290						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	118.50	0.2260						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	69.00	0.3800						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	70.00	0.3800						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	58.00	0.4500						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	68.00	0.5000						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	178.00	0.3300						
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Pseudoplatystoma</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas	169.00	0.2700						

Isaac, 2000)	<i>fasciatum</i>		Lowlands, 316									
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	181.00	0.2600							
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	184.00	0.3000							
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Schizodon fasciatus</i>	Char./Anostomidae	Amazonas Lowlands, 316	58.00	0.5200							
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Zungaro zungaro</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	161.00	0.2200							
(Ruffino and Isaac, 2000)	<i>Zungaro zungaro</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	167.50	0.2040							
(Parra Urdaneta and Andrade de Pasquier, 2000)	<i>Sorubim</i> sp.	Silur./ Pimelodidae	Maracaibo, 303	76.00	1.5000	-0.0340						
(Parra Urdaneta and Andrade de Pasquier, 2000)	<i>Ageneiosus</i> sp.	Silur./Auchenipteridae	Maracaibo, 303	71.00	1.2000	-0.0040						
(Parra Urdaneta and Andrade de Pasquier, 2000)	<i>Platysilurus malarmo</i>	Silur./ Pimelodidae	Maracaibo, 303	74.00	1.0000	-0.0020						
(Arenzon et al., 2001)	<i>Cynopoecilus melanotaenia</i>	Cyprino./Rivulidae	Tramandai–Mampituba, 335				3.45	0.5242	0.2785	2.51	0.6373	0.3252
(Barbieri et al.,	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344				71.30	0.3572	0.0000	87.40	0.3917	0.0000

2001)

(Braga, 2001)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	49.50	0.3040	-0.4800							
(Colautti and Freyre, 2001)	<i>Cyprinus carpio</i>	Cypri./Cyprinidae	Bonaerensean Drainages, 347	59.73	0.3200	0.7200							
(Colautti and Freyre, 2001)	<i>Cyprinus carpio</i>	Cypri./Cyprinidae	Bonaerensean Drainages, 347	60.32	0.3400	0.7100							
(Loubens and Panfili, 2001)	<i>Piaractus brachypomus</i>	Char./Serrasalminidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318	61.90	0.2300	-0.8800	59.20	0.2700	-0.7200	63.60	0.2100	-1.0300	
(Grosman et al., 2001)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	39.17	0.2770	-0.4453							
(Grosman et al., 2001)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Bonaerensean Drainages, 347	37.53	0.3043	-0.4660							
(Fernandes et al., 2002)	<i>Satanoperca pappaterra</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344				18.10	1.0200		16.90	1.5200		
(Mateus and Estupiñán, 2002)	<i>Brycon hilarii</i>	Char./Bryconidae	Paraguay, 343	70.10	0.2800								
(Mateus and Estupiñán, 2002)	<i>Brycon hilarii</i>	Char./Bryconidae	Paraguay, 343	71.00	0.2700								
(Ambrósio et al., 2003)	<i>Hypophthalmus oremaculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344				57.30	0.1900		79.60	0.1200		
(Ambrósio et al., 2003)	<i>Hypophthalmus oremaculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344				48.50	0.2700		59.20	0.2100		

(Anaya and Olaya, 2003)	<i>Pimelodus blochii</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas High Andes, 312	32.50	0.2600	-0.6300					
(Lizama and Ambrósio, 2003)	<i>Moenkhausia intermedia</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	10.00	0.3000	0.0000					
(Loubens, 2003)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318				64.50	0.1820	-0.6570	69.60	0.2100 -0.3280
(Alvarez et al., 2004)	<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Silur./Pimelodidae	Magdalena-Sinu, 302	85.80	0.2800	-0.4500					
(Alvarez et al., 2004)	<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Silur./Pimelodidae	Magdalena-Sinu, 302	78.40	0.2900	-0.4400					
(Brú-Cordero et al., 2004)	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Char./Anostomidae	Magdalena-Sinu, 302	45.70	0.29	-0.5100					
(Feitosa et al., 2004)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344				76.70	0.3100	0.0000	81.10	0.3100 0.0000
(Feitoza et al., 2004)	<i>Pterodoras granulosus</i>	Silur./Doradidae	Upper Parana, 344				48.57	0.1600	-1.8300	65.06	0.1100 -1.8700
(Le Guennec and Loubens, 2004)	<i>Pellona castelnaeana</i>	Clup./Pristigasteridae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318				45.70	0.4510	-0.4600	63.30	0.3280 -0.4150
(Le Guennec and Loubens, 2004)	<i>Pellona castelnaeana</i>	Clup./Pristigasteridae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318				43.70	0.5700		57.50	0.4480
(Lizama and Ambrósio, 2004)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	18.00	0.2600	0.0000					
(Lizama and Ambrósio,	<i>Astyanax schubarti</i>	<u>Char./Characidae</u>	Upper Parana, 344	12.00	0.2500	0.0000					

2004)						
(Mateus and Petrere Jr, 2004)	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	183.00	0.0850	-3.2740
(Penha et al., 2004a)	<i>Sorubim cf. lima</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	56.00	0.2450	-2.6050
(Penha et al., 2004b)	<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	64.00	0.2220	-2.1490
(Valderrama and Solano, 2004)	<i>Prochilodus magdalenae</i>	Char./Prochilodontidae	Magdalena-Sinu, 302	58.17	0.3200	-0.4300
(Alonso and Pirker, 2005)	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	110.50	0.1300	-0.3200
(Alonso and Pirker, 2005)	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	132.00	0.3300	-0.5600
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	<u>Char./Acestrorhynchidae</u>	Upper Parana, 344	38.00	0.4000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	Char./Acestrorhynchidae	Upper Parana, 344	38.00	0.3100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344	35.00	0.4100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	14.00	0.4500	0.0000
(Angelini and Agostinho,	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	15.00	0.6600	0.0000

2005)

(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Auchenipterus osteomystax</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344	33.00	0.3400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Auchenipterus osteomystax</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344	33.00	0.3500	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Brycon orbignyana</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	40.00	0.2900	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Cyphocharax modestus</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344	18.00	0.7800	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	52.00	0.2300	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344	44.00	0.7000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344	55.00	0.5100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hoplosternum littorale</i>	Silur./Callichthyidae	Upper Parana, 344	23.00	0.5200	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hypophthalmus oremaculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	56.00	0.2400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hypophthalmus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	56.00	0.2800	0.0000

Agostinho, 2005)	<i>oremaculatus</i>					
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hypostomus</i> spp.	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	34.00	0.6000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Hypostomus</i> spp.	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	41.00	0.4100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Iheringichthys labrosus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	30.00	0.5500	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Iheringichthys labrosus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	33.00	0.5600	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	42.00	0.3400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Leporinus friderici</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	42.00	0.4800	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	42.00	0.3000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	44.00	0.1800	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Loricaria</i> sp.	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	36.00	0.5000	0.0000

(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Loricariichthys platymetopon</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	36.00	0.5700	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Megalancistrus parananus</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	52.00	0.2600	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Moenkhausia intermedia</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	11.00	0.4100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pimelodus maculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	40.00	0.3900	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pimelodus maculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	43.00	0.4100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pinirampus pinirampu</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	68.00	0.2400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Upper Parana, 344	48.00	0.1500	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Upper Parana, 344	62.00	0.4800	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	81.00	0.2300	0.0000
(Angelini and Agostinho,	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	81.00	0.3300	0.0000

2005)

(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	143.00	0.2500	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	165.00	0.1900	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pterodoras granulosus</i>	Silur./Doradidae	Upper Parana, 344	55.00	0.3000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Pterodoras granulosus</i>	Silur./Doradidae	Upper Parana, 344	70.00	0.3700	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Char./Cynodontidae	Upper Parana, 344	80.00	0.4000	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Char./Cynodontidae	Upper Parana, 344	80.00	0.3100	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Rhinelepis aspera</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344	53.00	0.3900	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	80.00	0.1300	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Schizodon altoparanae</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	27.00	0.4800	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Schizodon borellii</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	36.00	0.4000	0.0000

Agostinho, 2005)						
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Schizodon borellii</i>	Char./Anostomidae	Upper Parana, 344	38.00	0.3500	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Serrasalmus marginatus</i>	Char./Serrasalmidae	Upper Parana, 344	26.00	0.3600	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Serrasalmus marginatus</i>	Char./Serrasalmidae	Upper Parana, 344	26.00	0.6200	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Serrasalmus spilopleura</i>	Char./Serrasalmidae	Upper Parana, 344	27.00	0.3400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Steindachnerina insculpta</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344	14.00	0.8400	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Parauchenipterus galeatus</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344	24.00	0.4700	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Parauchenipterus galeatus</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344	27.00	0.4600	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Trachydoras paraguayensis</i>	Silur./Doradidae	Upper Parana, 344	15.50	0.6300	0.0000
(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Trachydoras paraguayensis</i>	Silur./Doradidae	Upper Parana, 344	16.00	0.5900	0.0000

(Angelini and Agostinho, 2005)	<i>Zungaro jahu</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	130.00	0.2800	0.0000							
(Araya et al., 2005)	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Char./Anostomidae	Lower Parana, 345	57.80	0.1200	-1.2900	54.70	0.1200	-1.4500	57.60	0.1200	-1.3000	
(Blanco et al., 2005)	<i>Cyphocharax magdalenae</i>	Char./Curimatidae	Magdalena-Sinu, 302	22.70	0.2800	-0.6400							
(López Cazorla and Sidorkewicz, 2005)	<i>Cheirodon interruptus</i>	Char./Characidae	Bonaerensean Drainages, 347	5.76	0.6900	-1.7200							
(Cutrim and Batista, 2005)	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	52.63	0.5500	-0.0290							
(Duponchelle et al., 2005)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Mamore-Madre de Dios Piedmont, 318				23.26	0.3100	-2.0800	24.35	0.3700	-1.6300	
(Duponchelle et al., 2005)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Guapore-Itenez, 319				22.24	0.5300	-0.8900	23.23	0.3900	-1.6800	
(Freyre et al., 2005)	<i>Bryconamericus iheringii</i>	Char./Characidae	Bonaerensean Drainages, 347	69.37	1.0775	-0.0401							
(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Llanos, 307	67.80	0.1330	-0.3400							
(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Guiana Shield, 308	62.60	0.1400	-0.2500							
(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Guiana Shield, 308	69.34	0.1280	-0.3300							
(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Guiana Shield, 308	68.40	0.1270	-0.3700							

(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Guiana Shield, 308	57.80	0.1200	-1.8600						
(González et al., 2005)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Guiana Shield, 308	62.60	0.1610	-0.3700						
(Nuñez et al., 2005a)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Mamore-Madre de Dios Piedmont, 318				81.57	0.1760	-1.1700	102.60	0.1490	-1.0100
(Nuñez et al., 2005a)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Guapore–Itenez, 319				74.34	0.1610	-2.5000	97.82	0.1300	-1.7500
(Nuñez et al., 2005b)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmidae	Mamore-Madre de Dios Piedmont, 318	74.61	0.2400							
(Nuñez et al., 2005b)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmidae	Guapore–Itenez, 319	86.74	0.1800							
(Oliveira and Novelli, 2005)	<i>Genidens genidens</i>	Silur./Ariidae	Paraiba do Sul, 329	35.20	0.4747	0.2041						
(Penna et al., 2005)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmidae	NC* ⁵	100.39	0.1370	-1.6760						
(Penna et al., 2005)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmidae	NC* ⁵	85.12	0.2250	-0.8070						
(Schulz and Leal, 2005)	<i>Micropterus salmoides</i>	Perc./Centrarchidae	Laguna dos Patos, 2005	43.91	0.9900	0.0900						
(Tordecilla-Petro et al., 2005)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Magdalena-Sinu, 302	48.10	0.2900	-0.5000						
(Silva and Stewart, 2006)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	45.75	0.1800	-1.1800	46.21	0.1700	-1.3300	44.40	0.2000	-1.0700
(Silva and Stewart, 2006)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	39.84	0.2800	-1.1600	40.05	0.2900	-1.0600	39.13	0.2900	-1.0900

(Braga et al., 2007)	<i>Characidium alipioi</i>	Char./Crenuchidae	Paraiba do Sul, 329		10.10	0.7600		12.20	0.9000	
(Braga et al., 2007)	<i>Characidium lauroi</i>	Char./Crenuchidae	Paraiba do Sul, 329		6.90	0.7800		8.70	0.6800	
(Cunha et al., 2007)	<i>Moenkhausia dichroua</i>	Char./Characidae	Paraguay, 343	8.10	0.8500					
(Duponchelle et al., 2007)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Mamore–Madre de Dios Piedmont, 318		22.11	0.6000	-0.5900	23.62	0.6700	-0.2800
(Duponchelle et al., 2007)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Guapore-Itenez, 319		23.89	0.4000	-1.1500	22.39	0.5900	-0.7400
(Gomiero et al., 2007)	<i>Brycon opalinus</i>	Char./Characidae	Ribeira do Iguape, 330		29.80	0.5450	-0.4980	37.70	0.5600	-0.4540
(Goulart et al., 2007)	<i>Lycengraulis grossidens</i>	Clup./Engraulidae	Lower Uruguay, 332		26.00	0.1200	0.6900	26.00	0.2660	2.1900
(Goulart et al., 2007)	<i>Lycengraulis grossidens</i>	Clup./Engraulidae	Lower Uruguay, 332		26.00	0.4200	0.6900	26.00	0.5900	0.1200
(Mateus and Penha, 2007)	<i>Pinirampus pirinampu</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	90.60	0.3000	-0.4100				
(Mateus and Penha, 2007)	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	149.70	0.1270	-0.8710				
(Mateus and Penha, 2007)	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	122.40	0.1300	-0.8980				
(Mateus and Penha, 2007)	<i>Zungaro jahu</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343	172.00	0.1280	-0.8320				
(Peixer et al., 2007)	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Char./Serrasalminidae	Paraguay, 343	87.20	0.3400	-0.3630				
(Peixer et al., 2007)	<i>Piaractus</i>	Char./Serrasalminidae	Paraguay, 343	86.50	0.3400	-0.3630				

2007)	<i>mesopotamicus</i>											
(Velasco et al., 2007)	<i>Genidens barbatus</i>	Silu./Ariidae	Laguna dos Patos, 334	118.60	0.0430	-1.5050						
(Velasco et al., 2007)	<i>Genidens barbatus</i>	Silu./Ariidae	Laguna dos Patos, 334	104.60	0.1370	-4.0130						
(Araya et al., 2008)	<i>Leporinus acutidens</i>	Char./Anostomidae	Lower Parana, 345	33.80	0.1600	-2.1000						
(Carmassi et al., 2008)	<i>Cyphocharax modestus</i>	Char./Curimatidae	Upper Parana, 344	15.40	0.3400							
(Cavalcante, 2008)	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	Oste./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	77.60	0.5470	-0.5060						
(Cazorla and Sidorkewicz, 2008)	<i>Percichthys colhuapiensis</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	46.21	0.2300	-0.9400	40.23	0.3300	-0.6700	54.84	0.1500	-1.5900
(Cazorla and Sidorkewicz, 2008)	<i>Percichthys colhuapiensis</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	53.74	0.1700	-1.0000	49.76	0.2100	-0.7900	58.20	0.1400	-1.5300
(Holley et al., 2008)	<i>Cichla temensis</i>	Cich./Cichlidae	Rio Negro, 314	83.0	0.1810	-1.7060						
(Lourenço et al., 2008)	<i>Piabarchus stramineus</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	5.47	0.5400							
(Lourenço et al., 2008)	<i>Serrapinnus notomelas</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	4.21	0.6000							
(Benitez and Suárez, 2009)	<i>Serrapinnus notomelas</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	3.58	1.0500							
(Braga et al., 2009)	<i>Pareiorhina rudolphi</i>	Silur./Loricariidae	Paraiba do Sul, 329	7.20	0.3500	0.0000						

(Dei Tos et al., 2009)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344				37.10	0.7687	0.0000	56.60	0.5174	0.0000
(Martins et al., 2009)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344				57.13	0.0750	-4.3200	93.25	0.0420	-4.5200
(Pérez and Fabré, 2009)	<i>Calophysus macropterus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316				41.90	0.4260	-0.3610	40.05	0.4430	-0.3730
(Santos Filho and Batista, 2009)	<i>Brycon amazonicus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	51.00	0.5700	-0.5400						
(Santos Filho and Batista, 2009)	<i>Brycon amazonicus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	51.10	0.7200	-0.6400						
(Santos Filho and Batista, 2009)	<i>Brycon amazonicus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	43.20	0.5400	-0.4900						
(Santos Filho and Batista, 2009)	<i>Brycon amazonicus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	46.90	0.4300	-0.4000						
(García-Vásquez et al., 2009)	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Lowlands, 316	155.00	0.2800	-0.3800	142.00	0.3000	-0.3600	153.30	0.2900	-0.3700
(Arantes et al., 2010)	<i>Arapaima</i> sp.	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	386.00	0.0986	-0.9310						
(Arantes et al., 2010)	<i>Arapaima</i> sp.	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	248.00	0.2552	-0.7190						
(Bevilaqua and Soares, 2010)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	29.40	0.6300	0.0000						
(Campos and	<i>Cichla monoculus</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas	53.55	0.3800	0.0000						

Freitas, 2010)			Lowlands, 316									
(Campos and Freitas, 2010)	<i>Cichla monoculus</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Lowlands, 316	59.91	0.2500	0.0000						
(Gomiero et al., 2010)	<i>Cichla kelberi</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344	44.50	0.6100	-0.2300						
(Gomiero et al., 2010)	<i>Cichla kelberi</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344	57.70	0.3500	-0.3900						
(Gomiero et al., 2010)	<i>Cichla piquiti</i>	Cich./Cichlidae	Upper Parana, 344	57.20	0.4000	-0.3400						
(González et al., 2010)	<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	112.60	0.0801	-0.0554						
(González et al., 2010)	<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	106.10	0.0888	-0.0821						
(Prestes et al., 2010)	<i>Triporthus albus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	24.68	0.8600	0.0000						
(Prestes et al., 2010)	<i>Triporthus angulatus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	26.78	0.7700	0.0000						
(Prestes et al., 2010)	<i>Triporthus auritus</i>	Char./Characidae	Amazonas Lowlands, 316	27.83	0.6500	0.0000						
Balboni et al. (2011)	<i>Hoplias aff. malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Lower Parana,345	48.65	0.5700	0.5400						
(Balboni et al., 2011)	<i>Hoplias aff. malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Lower Parana,345	49.97	0.4700	0.1300						
(Carmassi et al., 2011)	<i>Oligosarcus hepsetus</i>	Char./Characidae	Ribeira do Iguape, 330	23.30	0.7200							
(Cazorla and Sidorkewicj,	<i>Percichthys trucha</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	44.47	0.2900	-0.5100	39.65	0.4000	-0.1100	46.07	0.2700	-0.500

2011)												
(Cazorla and Sidorkewicz, 2011)	<i>Percichthys trucha</i>	Perc./Percichthyidae	Patagonia, 348	46.26	0.2600	-0.5000	47.57	0.2400	-0.700	46.85	0.2600	-0.480
(Francisco et al., 2011)	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	Silur./Pimelodidae	Paraguay, 343				72.70	0.4400	-1.5974	84.50	0.3300	-2.0943
(Novaes and Carvalho, 2011)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Upper Parana, 344	35.18	0.3200	0.0000						
(Vasconcelos et al., 2011)	<i>Piabarchus stramineus</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	6.28	0.7600							
Duponchelle et al. (2012)	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	83.30	0.5000	0.0800						
(Duponchelle et al., 2012)	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	75.40	0.6700	0.0400						
(Duponchelle et al., 2012)	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	65.80	0.7300	0.0500						
(Duponchelle et al., 2012)	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	Osteo./Osteoglossidae	Amazonas Lowlands, 316	68.40	0.6400	0.0700						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Apareiodon affinis</i>	Char./Parodontidae	Upper Parana, 344 ^{*4}	16.48	0.5000	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Astyanax minor</i>	Char./Characidae	Iguassu, 346 ^{*4}	13.65	0.5000	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Apareiodon vittatus</i>	Char./Parodontidae	Iguassu, 346 ^{*4}	17.64	0.9500	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Deuterodon sp. B</i>	Char./Characidae	Southeastern Mata Atlantica, 331 ^{*4}	12.28	0.8000	0.0000						

(Gubiani et al., 2012)	<i>Deuterodon sp. D</i>	Char./Characidae	Southeastern Mata Atlantica, 331 ^{*4}	13.44	0.8000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hypostomus commersoni</i>	Silur./Loricariidae	Iguassu, 346 ^{*4}	44.62	0.2400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hypostomus derbyi</i>	Silur./Loricariidae	Iguassu, 346 ^{*4}	42.00	0.5100	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hypostomus myersi</i>	Silur./Loricariidae	Iguassu, 346 ^{*4}	25.20	0.4900	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hypostomus topavae</i>	Silur./Loricariidae	Iguassu, 346 ^{*4}	21.00	0.5000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hypostomus multidentis</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344 ^{*4}	31.08	0.5000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Loricaria sp.</i>	Silur./Loricariidae	Upper Parana, 344 ^{*4}	29.10	0.5500	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344 ^{*4}	85.05	0.3400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Rineloricaria sp.</i>	Silur./Loricariidae	Ribeira de Iguape, 330 ^{*4}	20.58	0.4300	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Astyanax bifasciatus</i>	Char./Characidae	Iguassu, 346 ^{*4}	19.16	1.0000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Astyanax longirhinus</i>	Char./Characidae	Iguassu, 346 ^{*4}	8.80	0.8000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Coptodon rendalli</i>	Cich./Cichlidae	Ribeira de Iguape, 330 ^{*4}	39.27	0.3100	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Astyanax lacustris</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344 ^{*4}	14.70	0.7900	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Auchenipterus</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana,	27.82	0.5000	0.0000

2012)	<i>osteomystax</i>		344* ⁴			
(Gubiani et al., 2012)	<i>Bryconamericus ikaa</i>	Char./Characidae	Iguassu, 346* ⁴	8.61	0.6000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Bryconamericus</i> sp.	Char./Characidae	Iguassu, 346* ⁴	7.66	0.7000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Corydoras carlae</i>	Silur./Callichthyidae	Upper Parana, 344* ⁴	7.03	0.3400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Deuterodon</i> sp.	Char./Characidae	Ribeira de Iguape, 330* ⁴	14.38	0.7500	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Pimelodus britskii</i>	Silur./Pimelodidae	Iguassu, 346* ⁴	35.49	0.1800	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Bryconamericus</i> sp.	Char./Characidae	Iguassu, 346* ⁴	7.50	0.7000	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Corydoras</i> cf. <i>paleatus</i>	Silur./Callichthyidae	Iguassu, 346* ⁴	8.93	0.7400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Geophagus brasiliensis</i>	Cich./Cichlidae	Iguassu, 346* ⁴	23.84	0.3700	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Iguassu, 346* ⁴	52.50	0.2400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Cyprinus carpio</i>	Cypri./Cyprinidae	Iguassu, 346* ⁴	79.28	0.1400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Glanidium ribeiroi</i>	Silur./Auchenipteridae	Iguassu, 346* ⁴	25.73	0.2200	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Pimelodus ortmanni</i>	Silur./Pimelodidae	Iguassu, 346* ⁴	41.50	0.4400	0.0000
(Gubiani et al., 2012)	<i>Ageneiosus militaris</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344* ⁴	25.40	0.3500	0.0000

Gubiani et al. (2012)	<i>Crenicichla iguassuensis</i>	Cich./Cichlidae	Iguassu, 346* ⁴	38.54	0.1000	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Crenicichla yaha</i>	Cich./Cichlidae	Iguassu, 346* ⁴	36.75	0.1400	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Iguassu, 346* ⁴	53.13	0.4200	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Oligosarcus longirostris</i>	Char./Characidae	Iguassu, 34* ⁴	30.98	0.7200	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Oligosarcus paranensis</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344* ⁴	31.19	0.7000	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Rhamdia voulezi</i>	Silur./Heptapteridae	Iguassu, 346* ⁴	49.77	0.2400	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Rhamdia quelen</i>	Silur./Heptapteridae	Iguassu, 346* ⁴	39.17	0.0100	0.0000						
(Gubiani et al., 2012)	<i>Tatia neivai</i>	Silur./Auchenipteridae	Upper Parana, 344* ⁴	10.00	0.6000	0.0000						
(Lourenço et al., 2012)	<i>Hemigrammus marginatus</i>	Char./Characidae	Upper Parana, 344	3.73	0.6600	-0.1900						
(Siangas et al., 2012)	<i>Schizodon fasciatus</i>	Char./Anostomidae	Guapore–Itenez, 319	25.30	0.6900							
(Siangas et al., 2012)	<i>Psectrogaster essequibensis</i>	Char./Curimatidae	Guapore–Itenez, 319	17.20	0.3900							
(Siangas et al., 2012)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Guapore–Itenez, 319	24.50	0.2800							
(Siangas et al., 2012)	<i>Triporthus angulatus</i>	Char./Characidae	Guapore–Itenez, 319	14.90	1.7100							
(Tondato et	<i>Odontostilbe pequira</i>	Char./Characidae	Paraguay, 343				37.57	0.8200	0.0000	39.59	0.9300	0.0000

al., 2012)													
(Vicentin et al., 2012)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Paraguay, 343	55.68	0.4600	0.0000							
(Baigún et al., 2013)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Lower Parana, 345	68.30	0.2800	-0.2000							
(Córdoba et al., 2013)	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Silur./Pimelodidae	Western Amazon Piedmont, 313	153.30	0.2200	-0.4900	132.30	0.2500	-0.4500	149.10	0.2400	-0.4500	
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	120.03	0.2100	0.5300							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	109.93	0.2200	0.5100							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Brachyplatystoma juruense</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	108.92	0.2200	0.5100							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	110.94	0.2200	0.5200							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalmididae	Orinoco Llanos, 307	88.66	0.2500	0.4700							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Brachyplatystoma platyneum</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	114.98	0.2100	0.5200							
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Piaractus brachypomus</i>	Char./Serrasalmididae	Orinoco Llanos, 307	102.85	0.2300	0.5000							

(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Oxydoras niger</i>	Silur./Doradidae	Orinoco Llanos, 307	114.98	0.2100	0.5200						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Pellona flavipinnis</i>	Clup./Pristigasteridae	Orinoco Llanos, 307	115.99	0.2100	0.5200						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Orinoco Llanos, 307	90.69	0.2500	0.4800						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Prochilodus mariae</i>	Char./Prochilodontidae	Orinoco Llanos, 307	46.90	0.4000	0.3600						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Pygocentrus cariba</i>	Char./Serrasalminidae	Orinoco Llanos, 307	37.63	0.4600	0.3100						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Mylossoma duriventre</i>	Char./Serrasalminidae	Orinoco Llanos, 307	33.51	0.4900	0.2900						
(Pérez-Lozano and Aniello, 2013)	<i>Hoplosternum littorale</i>	Silur./Callichthyidae	Orinoco Llanos, 307	24.21	0.6200	0.2300						
(Sousa et al., 2013)	<i>Serrasalmus spilopleura</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	23.10	0.3400	0.0000						
(Vicentin et al., 2013)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Char./Serrasalminidae	Paraguay, 343	31.80	0.4500	0.0000						
(Ambrosio et al., 2014)	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Char./Serrasalminidae	Paraguay, 343				50.00	0.1800	-3.0000	59.23	0.1400	-3.3600
(Catarino et al., 2014)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Amazonas Lowlands, 316	34.6	0.4400							

(Lozano et al., 2014)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Lower Parana, 345	40.76	0.3900	-1.0500						
(Lozano et al., 2014)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Lower Parana, 345	45.80	0.2900	-1.3400						
(Ilieş et al., 2014)	<i>Apteronotus leptorhynchus</i>	Gymn./Apteronotidae	Orinoco Llanos, 307				20.30	0.0350	3.9000	19.10	0.0290	0.7000
(Olaya-Nieto et al., 2014)	<i>Caquetaia kraussii</i>	Cich./Cichlidae	Magdalena-Sinu, 302	29.70	0.2600	-0.6500						
(Sabinson et al., 2014)	<i>Pimelodus maculatus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344				42.17	0.1851		43.86	0.1708	
(Camargo et al., 2015)	<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	<u>Char./Acestrorhynchidae</u>	Xingu, 322	34.00	0.5800	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>	Char./Acestrorhynchidae	Xingu, 322	36.00	0.3900	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	Char./Acestrorhynchidae	Xingu, 322	32.60	0.6000	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Laemolyta fernandezi</i>	Char./Anostomidae	Xingu, 322	27.40	0.5800	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Laemolyta fernandezi</i>	Char./Anostomidae	Xingu, 322	27.40	0.5600	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Laemolyta proxima</i>	Char./Anostomidae	Xingu, 322	27.40	0.5300	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Leporinus</i> sp.	Char./Anostomidae	Xingu, 322	37.90	0.4100	0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Leporinus tigrinus</i>	Char./Anostomidae	Xingu, 322	16.80		0.0000						
(Camargo et al., 2015)	<i>Brycon falcatus</i>	Char./Characidae	Xingu, 322	45.20		0.0000						

al., 2015)						
(Camargo et al., 2015)	<i>Brycon pesu</i>	Char./Characidae	Xingu, 322	18.90		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Chalceus epakros</i>	Char./Chalceidae	Xingu, 322	16.80		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Bryconamericus orinocoense</i>	<u>Char./Characidae</u>	Xingu, 322	14.70		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Moenkhausia intermedia</i>	Char./Characidae	Xingu, 322	13.70	0.9500	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Roebooides</i> sp.	Char./Characidae	Xingu, 322	11.60		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Caenotropus labyrinthicus</i>	<u>Char./Chilodontidae</u>	Xingu, 322	21.50	0.8400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Boulengerella cuvieri</i>	Char./Ctenoluciidae	Xingu, 322	78.00	0.3600	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Boulengerella maculata</i>	Char./Ctenoluciidae	Xingu, 322	30.50		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Curimata inornata</i>	Char./Curimatidae	Xingu, 322	21.10	0.9300	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Curimata ocellata</i>	Char./Curimatidae	Xingu, 322	23.20		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Curimatella immaculata</i>	Char./Curimatidae	Xingu, 322	19.00	0.9000	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Cyphocharax gouldingi</i>	Char./Curimatidae	Xingu, 322	16.80	0.9500	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hydrolycus armatus</i>	Char./Cynodontidae	Xingu, 322	94.70	0.1500	0.0000

(Camargo et al., 2015)	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Char./Cynodontidae	Xingu, 322	74.70	0.3100	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hoplias malabaricus</i>	Char./Erythrinidae	Xingu, 322	41.00		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Argonectes robertsi</i>	Char./Hemiodontidae	Xingu, 322	43.10	0.4500	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Bivibranchia fowleri</i>	Char./Hemiodontidae	Xingu, 322	21.00		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hemiodus argenteus</i>	Char./Hemiodontidae	Xingu, 322	27.30	0.5800	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Char./Hemiodontidae	Xingu, 322	26.30	0.6500	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hemiodus vorderwinkleri</i>	Char./Hemiodontidae	Xingu, 322	23.10	0.6300	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Prochilodus nigricans</i>	Char./Prochilodontidae	Xingu, 322	42.10	0.3900	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Semaprochilodus brama</i>	Char./Prochilodontidae	Xingu, 322	67.40	0.3300	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Myleus setiger</i>	Char./Serrasalminidae	Xingu, 322	25.20	0.6000	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Myloplus rhomboidalis</i>	Char./Serrasalminidae	Xingu, 322	56.80	0.5600	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Myloplus rubripinnis</i>	Char./Serrasalminidae	Xingu, 322	35.70	0.6300	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Myloplus schomburgkii</i>	Char./Serrasalminidae	Xingu, 322	31.60	0.5100	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Myloplus torquatus</i>	Char./Serrasalminidae	Xingu, 322	42.00	0.4300	0.0000

al., 2015)						
(Camargo et al., 2015)	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Char./Serrasalmidae	Xingu, 322	46.20	0.6400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Serrasalmus serrulatus</i>	Char./Serrasalmidae	Xingu, 322	48.40	0.4900	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Tometes</i> sp.	Char./Serrasalmidae	Xingu, 322	45.00	0.5800	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Agoniatès halecinus</i>	Char./Characidae	Xingu, 322	28.00	0.6900	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Triportheus rotundatus</i>	Char./Characidae	Xingu, 322	30.50	0.7600	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Ilisha amazonica</i>	Clup./Pristigasteridae	Xingu, 322	25.20	0.6400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Cichla melaniae</i>	Cich./Cichlidae	Xingu, 322	53.00	0.4800	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Geophagus argyrostictus</i>	Cich./Cichlidae	Xingu, 322	22.10		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Geophagus</i> gr. <i>altifrons</i>	Cich./Cichlidae	Xingu, 322	26.30	0.8200	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Geophagus proximus</i>	Cich./Cichlidae	Xingu, 322	25.00		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Pachyurus junki</i>	Perc./Sciaenidae	Xingu, 322	38.00	0.6700	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Petilipinnis grunniens</i>	Perc./Sciaenidae	Xingu, 322	18.90	0.8400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Plagioscion</i>	Perc./Sciaenidae	Xingu, 322	62.10	0.4100	0.0000

al., 2015)	<i>magdalenae</i>					
(Camargo et al., 2015)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Xingu, 322	63.10		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Baryancistrus niveatus</i>	Silur. /Loricariidae	Xingu, 322	40.00	0.4600	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Ageneiosus inermis</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	73.70	0.2500	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	32.60	0.5400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Auchenipterichthys longimanus</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	25.20		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Auchenipterus nuchalis</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	25.30	0.8300	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Centromochlus heckelii</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	18.00	0.8000	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Centromochlus schultzi</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	14.70		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Tocantinsia piresi</i>	Silur./Auchenipteridae	Xingu, 322	61.00	0.3400	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Hassar orestis</i>	Silur./Doradidae	Xingu, 322	24.00	0.8800	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Loricaria cataphracta</i>	Silur./Loricariidae	Xingu, 322	39.00	0.4900	0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Silur./Pimelodidae	Xingu, 322	190.00		0.0000
(Camargo et al., 2015)	<i>Phractocephalus hemioliopus</i>	Silur./Pimelodidae	Xingu, 322	140.00	0.3000	0.0000

(Camargo et al., 2015)	<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>	Silur./Pimelodidae	Xingu, 322	130.00		0.0000							
(Campos et al., 2015a)	<i>Cichla temensis</i>	Cich./Cichlidae	Rio Negro, 314	68.05	0.2000	0.0000							
(Campos et al., 2015b)	<i>Colossoma macropomum</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Lowlands, 316	65.10	0.1800	0.0000							
(Ferreira and Suárez, 2015)	<i>Corydoras aeneus</i>	Silur./Callichthyidae	Upper Parana, 344	5.46	1.1000	0.0000							
(García-Vásquez et al., 2015)	<i>Psectrogaster rutiloides</i>	Char./Curimatidae	Amazonas Lowlands, 316	16.80	0.3600	-0.5400	15.21	0.3800	-0.520	16.82	0.3600	-0.5400	
(González et al., 2015)	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Silur./Pimelodidae	Orinoco Llanos, 307	130.10	0.2330	-1,8720							
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	Char./Acestrorhynchidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	21.10	0.4700	0.0000							
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>	Char./Acestrorhynchidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	24.32	0.3900	0.0000							
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Ageneiosus inermis</i>	Silur./Auchenipteridae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	60.89	0.3200	0.0000							
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	Silur./Auchenipteridae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	22.24	0.5400	0.0000							

(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Aphanotorulus emarginatus</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	33.51	0.4800	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Astyanax bimaculatus</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	13.50	0.6000	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Auchenipterus nuchalis</i>	Silur./Auchenipteridae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	24.11	0.5300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Bivibranchia notata</i>	Char./Hemiodontidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	20.58	0.5500	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Boulengerella cuvieri</i>	Char./Ctenoluciidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	48.10	0.3600	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Chaetobranchus flavescens</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	12.35	0.5400	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Charax gibbosus</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	23.70	0.5300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Cichla ocellaris</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages,	76.47	0.2300	0.0000

			323			
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Curimata inornata</i>	Char./Curimatidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	33.20	0.5000	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Cyphocharax gouldingi</i>	Char./Curimatidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	15.59	0.5800	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Geophagus proximus</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	17.57	0.5200	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Harttia duriventris</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	22.56	0.5400	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Hemiodus microlepis</i>	Char./Hemiodontidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	29.18	0.5000	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Char./Hemiodontidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	18.40	0.6500	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Hoplias aimara</i>	Char./Erythrinidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	102.85	0.1200	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Hoplias aimara</i>	Char./Erythrinidae	Amazonas Estuary	92.01	0.1500	0.0000

al., 2015)			and CoastalDrainages, 323			
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Hypostomus plecostomus</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	28.35	0.5000	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Laemolyta fernandezii</i>	Char./Anostomidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	24.32	0.5200	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Leporinus aff. parae</i>	Char./Anostomidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	31.55	0.5000	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Leporinus affinis</i>	Char./Anostomidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	39.28	0.4400	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Megalonema platycephalum</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	24.21	0.5300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Moenkhausia chrysargyrea</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	15.69	0.5800	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Myloplus rhomboidalis</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages,	46.36	0.4000	0.0000

			323			
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pachypops fourcroi</i>	Perc./Sciaenidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	26.29	0.5200	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Peckoltia oligospila</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	23.70	0.5300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pellona flavipinnis</i>	Clup./Pristigasteridae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	75.46	0.2400	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Piaractus brachypomus</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	59.35	0.3300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pimelodus blochii</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	25.77	0.5200	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pimelodus ornatus</i>	Silur./Pimelodidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	40.20	0.4900	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Perc./Sciaenidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	43.39	0.4100	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Psectrogaster</i>	Char./Curimatidae	Amazonas Estuary	35.06	0.4800	0.0000

al., 2015)	<i>aff.falcata</i>		and CoastalDrainages, 323			
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pseudacanthicus spinosus</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	34.03	0.4700	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Pterygoplichthys joselimaianus</i>	Silur./Loricariidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	31.97	0.4900	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Retroculus lapidifer</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	30.94	0.4900	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Retroculus septentrionalis</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	24.53	0.5300	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Roeboides affinis</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	21.41	0.5400	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Satanoperca acuticeps</i>	Cich./Cichlidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages, 323	19.54	0.5500	0.0000
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Serrasalmus gibbus</i>	Char./Serrasalmidae	Amazonas Estuary and CoastalDrainages,	36.60	0.4600	0.0000

			323									
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Tometes trilobatus</i>	Char./Serrasalminidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	49.43	0.4100	0.0000						
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Triportheus angulatus</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	26.60	0.5100	0.0000						
(Sá-Oliveira et al., 2015)	<i>Triportheus trifurcatus</i>	Char./Characidae	Amazonas Estuary and Coastal Drainages, 323	23.07	0.5300	0.0000						
(Flores-Gómez, 2016)	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athe./Atherinopsidae	Titicaca, 337	52.50	0.3400	-0.4200						
(de Santana et al., 2016)	<i>Iheringichthys labrosus</i>	Silur./Pimelodidae	Upper Parana, 344	27.79	0.1200	-2.6400						
(Zuliani et al., 2016)	<i>Salminus brasiliensis</i>	Char./Characidae	Paraguay, 343				69.00	0.2100	-0.8600	77.90	0.1700	-0.4100
(de Santana and Minte-Vera, 2017)	<i>Prochilodus lineatus</i>	Char./Prochilodontidae	Upper Parana, 344	68.84	0.1500	0.0000						
(Lourenço et al., 2017)	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Char./Serrasalminidae	Paraguay, 343				63.23	0.1960	-1.5300	64.99	0.2300	-1.3300
