

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

ALICE VIENE SERRA GARCIA

Relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil: uma meta-análise

Toledo - PR

2025

ALICE VIENE SERRA GARCIA

Relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil: uma meta-análise

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Éder André Gubiani

Coorientador: Dr. Luiz Guilherme dos Santos Ribas

Toledo – PR

2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALICE VIENE SERRA GARCIA

Relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil: uma meta-análise

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Éder André Gubiani

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
(Presidente)

Prof. Dr. Gilmar Baumgartner

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Igor Paiva Ramos

Universidade Estadual Paulista

Aprovada em: 06 de de marco 2025.

Local de defesa: Microsoft Teams (Modalidade Remota)

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Serra Garcia , Alice Viene

Relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil: uma meta-análise / Alice Viene Serra Garcia ; orientador Éder André Gubiani; coorientador Luiz Guilherme dos Santos Ribas. -- Toledo, 2025.

36 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2025.

1. Manejo. 2. Ecologia Aquática. 3. Crescimento. 4. Alometria. I. Gubiani, Éder André , orient. II. Santos Ribas, Luiz Guilherme dos , coorient. III. Título.

**“Clamei ao Senhor na minha
angústia, e Ele me respondeu. O
Senhor está comigo, não temerei”.**

Salmo 118:5-6

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por me permitir concluir mais um sonho e por me guiar da melhor forma possível.

Quero agradecer aos meus pais Maria Joana e Raimundo Garcia que são fonte da minha inspiração, sem eles eu nada seria. Agradeço aos meus irmãos, Uelson Garcia, Wedson Garcia, Nadielle Garcia e a minha cunhada Rosalina Garcia. Que mesmo longe de casa eles não medem esforços para se fazerem presentes... Eu os amo mais que tudo! Meu muito obrigada.

Agradeço ao meu orientador Éder André Gubiani pela orientação e por estar sem disposto a contribuir com o meu crescimento profissional. E pela paciência e dedicação ao ensinar, meu muito obrigada!

Obrigada também ao meu coorientador Luiz Guilherme Ribas, por todo ensinamento e pela paciência comigo ao usar o software R, muito obrigada!

Agradeço também pelas amizades construídas ao longo de todo percurso em especial as minhas amigas Beatriz Rios e Thâmara Daré, que foram um dos maiores presentes da minha vida acadêmica no mestrado, elas contribuíram demais com o meu trabalho me incentivando e sentando comigo para me auxiliar na minha escrita. Agradeço a minha amiga Karine Nascimento por todo apoio, por todas as nossas conversas, você foi um presente que eu ganhei.

Falando em amizades agradeço também aos meus amigos que conheci na Universidade nas pessoas de Maiko Scheibel, Sergio Vallelongo, Nicolas César, Paula Frassy, Hellen, Elisiane e Rosana. Sou imensamente grata por conhecer cada um de vocês, vocês podem ter certeza que fizeram meus dias mais felizes!

Agradeço também ao pessoal do Laboratório de Ictiologia e Estatística Pesqueira – ICTES, por cada momento compartilhado e por cada aprendizagem... Vocês são especiais!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Revisão sistemática	12
2.2 Média dos Parâmetros e Metanálise.	15
2.3 Análise de Variabilidade, Padrões de Crescimento e efeito de Fatores Moderadores	16
4. DISCUSSÃO	27
AGRADECIMENTOS	30
ANEXO 1	35

Relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil: uma meta-análise

RESUMO

Neste estudo, analisamos a relação peso-comprimento de diferentes espécies de peixes de água doce do Brasil, com o objetivo de identificar padrões de crescimento e possíveis adaptações ecológicas. Por meio de uma metanálise, foram avaliados os coeficientes alométricos a e b para 28 espécies. Os resultados indicaram que o formato corporal e o porte dos indivíduos influenciam significativamente os padrões de crescimento. Espécies com corpo alongado e fusiforme, como *Acestrorhynchus microlepis*, apresentaram predominantemente crescimento alométrico negativo ou isométrico. Em contraste, espécies com morfologia robusta ou lateralmente comprimida, como *Serrasalmus rhombeus*, mostraram tendência ao crescimento alométrico positivo, caracterizado por um aumento mais acentuado no peso em relação ao comprimento. Peixes de grande porte, como *S. rhombeus*, exibiram crescimento mais acelerado em massa corporal, enquanto espécies de pequeno porte, como *Corydoras paleatus*, demonstraram crescimento mais proporcional, refletindo estratégias distintas de alocação de recursos. De maneira geral, piscívoros apresentaram maiores tamanhos corporais, favorecidos por uma dieta rica em proteínas e alto valor energético, o que resultou em crescimento alométrico positivo. Por outro lado, herbívoros, que consomem alimentos de menor valor calórico e digestibilidade variável, tenderam a apresentar crescimento próximo ao isométrico, evidenciando uma adaptação voltada à eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis. Além disso, observou-se que a presença de cuidado parental está associada a um maior desenvolvimento corporal, como exemplificado por *Metynnis lippincottianus* e *A. microlepis*. Concluimos, portanto, que fatores como formato corporal, porte, estratégias reprodutivas e tipo de alimentação influenciam diretamente os coeficientes a e b da relação peso-comprimento. Espécies de grande porte e morfologia robusta tendem a apresentar alometria positiva, enquanto espécies menores se aproximam da isometria. A estratégia alimentar destacou-se como o fator mais determinante, com piscívoros exibindo valores mais elevados de b e detritívoros apresentando variações significativas no coeficiente a , reforçando a influência dos aspectos ecológicos nos padrões de crescimento.

Palavras-chave: Manejo, Ecologia Aquática, Crescimento, Alometria, Conservação.

Length-weight relationship for freshwater fish in Brazil: a meta-analysis

ABSTRACT

In this study, we analyzed the length-weight relationship of different freshwater fish species from Brazil, aiming to identify growth patterns and potential ecological adaptations. Through a meta-analysis, the allometric coefficients a and b were evaluated for 28 species. The results indicated that body shape and body size significantly influence growth patterns. Species with elongated and fusiform bodies, such as *Acestrorhynchus microlepis*, predominantly exhibited negative allometric or isometric growth. In contrast, species with robust or laterally compressed morphology, such as *Serrasalmus rhombeus*, showed a tendency toward positive allometric growth, characterized by a steeper increase in weight relative to length. Large-bodied fish, like *S. rhombeus*, displayed faster growth in body mass, whereas small-sized species, such as *Corydoras paleatus*, showed more proportional growth, reflecting distinct resource allocation strategies. Overall, piscivorous species exhibited larger body sizes, favored by a protein-rich diet with high energy content, resulting in positive allometric growth. On the other hand, herbivores, which consume food of lower caloric value and variable digestibility, tended to show near-isometric growth, highlighting an adaptation focused on efficient resource utilization. Additionally, parental care was associated with greater body development, as exemplified by *Metynnis lippincottianus* and *A. microlepis*. We conclude, therefore, that factors such as body shape, size, reproductive strategies, and diet type directly influence the a and b coefficients of the length-weight relationship. Large-bodied species with robust morphology tend to exhibit positive allometry, while smaller species approach isometry. Feeding strategy emerged as the most determining factor, with piscivores showing higher b values and detritivores presenting significant variations in the a coefficient, reinforcing the influence of ecological aspects on growth patterns.

Keywords: Management, Aquatic Ecology, Growth, Allometry, Conservation.

1. INTRODUÇÃO

A relação peso-comprimento tem sido um importante modelo aplicado à biologia dos peixes, sendo amplamente utilizado em estudos de dinâmica populacional e ecologia pesqueira para caracterizar o crescimento e o estado corporal dos indivíduos (Froese, 2006; Rotta & Yamamoto, 2021). Essa relação fornece uma estimativa indireta da biomassa total da população a partir do comprimento individual dos peixes, tornando a obtenção das informações em campo mais prática e menos invasiva para os indivíduos, contribuindo para a conservação das espécies (Le Cren, 1951; Nascimento *et al.*, 2012; Gubiani *et al.*, 2020). Além disso, a relação peso-comprimento tem aplicabilidade direta na avaliação da condição corporal, como um indicador da saúde e do bem-estar dos indivíduos, que reflete a disponibilidade e o uso dos recursos, bem como a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos (Weatherley & Gill, 1987; Ghisi *et al.*, 2012; Gubiani *et al.*, 2020; Machado, 2021).

Além disso, a relação peso-comprimento é uma ferramenta simples e objetiva para avaliar o crescimento dos peixes, sem levar em conta sua idade. Essa medida tem sido amplamente utilizada para estimativas de crescimento de espécies aquáticas. Fulton (1904), por exemplo, explorou sua aplicação para avaliar o estado físico dos peixes, enquanto Ricker (1934) usou essa relação para investigar o crescimento de populações inteiras. No entanto, foi Le Cren (1951) quem sistematizou seu uso, tornando-a uma ferramenta essencial para o estudo da biologia e do desenvolvimento das espécies. Através dessa abordagem, é possível analisar o crescimento dos peixes e explorar aspectos relacionados à diferenciação de pequenas unidades taxonômicas, proporcionando uma compreensão mais profunda da dinâmica dessas populações.

Uma expressão $W=aL^b$, é amplamente utilizada para estimar a relação entre o peso (W) e o comprimento dos peixes (L geralmente em centímetros), onde a é a taxa de mudança de peso com o comprimento (intercepto), que pode ser interpretado como um fator de escala que ajusta a curva para refletir as características específicas da espécie ou do grupo de organismos em estudo (Tesch 1971; Bolger & Connolly, 1989; Froese 2006; Sampaio *et al.*, 2024). Em termos práticos, ele indica o peso esperado de um organismo com comprimento igual a um (na mesma unidade em que o comprimento está sendo medido) quando o comprimento é elevado a uma determinada potência b . Assim, o valor de a pode variar entre espécies e pode ser influenciado por fatores como idade, saúde e ambiente, e por fim, o coeficiente b fornece informações sobre o crescimento dos indivíduos. Quando $b = 3$, o aumento em peso é isométrico. Quando o valor de b é diferente de 3, o aumento em peso é alométrico (positivo se $b > 3$, negativo se $b < 3$). Em outras palavras, $b < 3$, indica uma diminuição no peso

ou um alongamento na forma com o aumento do comprimento, enquanto $b > 3$, indica um aumento no peso ou um aumento em altura ou largura com o aumento do comprimento (Tesch, 1971). Quanto maior a diferença em relação a 3, maior a mudança no peso ou forma.

Os parâmetros a e b na relação peso-comprimento demonstram uma visão sobre o perfil de crescimento e a condição corporal dos peixes, sendo usados para inferir adaptações ecológicas e fisiológicas em resposta ao ambiente (Ricker, 1973). Essas respostas, ou seja, as adaptações observadas nos parâmetros da relação peso-comprimento, refletem variações no perfil de crescimento, condição corporal e ajustamentos fisiológicos dos peixes. Elas são influenciadas por fatores como qualidade da água, pressão de predação, competição e flutuações sazonais de recursos. Assim, as mudanças observadas nos coeficientes a e b destacam a flexibilidade alométrica dos peixes frente às diferentes pressões ecológicas, evidenciando sua capacidade de adaptação diante das variações ambientais (Moraes & Barbola, 1995; Silva Júnior et al., 2014).

Estudos têm revelado uma tendência em que espécies que vivem em habitats artificialmente modificados geralmente apresentam valores de a mais baixos e valores de b próximos de 3 (Ruitton *et al.*, 2002), o que sugere uma condição corporal desenvolvida e bem adaptada, como por exemplo uma boa proporção de peso em relação ao comprimento e reservas corporais suficientes (Froese & Pauly, 2019). Os indivíduos ajustam suas estratégias de adaptação, buscando otimizar a utilização dos recursos e aumentar suas chances de sobrevivência (Santos *et al.*, 2002). Entender essas tendências é crucial para o manejo sustentável dos recursos e a preservação dos ecossistemas aquáticos, pois permite o desenvolvimento de estratégias de conservação que consideram as especificidades ecológicas e ambientais de cada espécie. Dessa forma, as práticas de manejo podem ser adaptadas para a proteção de espécies mais vulneráveis e promover a estabilidade e a resiliência dos habitats.

Logo, identificar padrões consistentes e desvios na relação peso-comprimento de peixes de água doce por meio da metanálise fornece subsídios essenciais para a tomada de decisões e ações pertinentes ao monitoramento de ecossistemas aquáticos, assim como para a sua conservação. Isso confere ao instrumento de análise uma capacidade de aplicação dos seus resultados para o desenvolvimento de estratégias de conservação utilizando dados científicos sumarizados de importantes fontes.

Desse modo, nós usamos uma abordagem meta analítica para testar como o formato do corpo, o porte dos indivíduos, as táticas reprodutivas e o tipo de alimentação afetam as estimativas dos parâmetros a e b da relação peso-comprimento para diferentes espécies de peixes de água doce do Brasil. Nossa hipótese é que as variáveis morfológicas e ecológicas

influenciam de maneira distinta os coeficientes alométricos a e b . Especificamente, espécies de grande porte e com morfologia robusta tendem a apresentar valores mais elevados de a devido à maior densidade corporal e volume em relação ao comprimento — ou seja, essas espécies acumulam mais massa corporal para um mesmo incremento de comprimento. Já os valores de b próximos de 3 indicam um crescimento alométrico positivo, no qual o peso aumenta de forma ligeiramente mais rápida que o comprimento, o que é compatível com uma estratégia voltada à robustez e maior competitividade. Por outro lado, espécies de pequeno porte e alta fecundidade geralmente apresentam valores de b inferiores a 3. Isso se deve ao fato de que essas espécies priorizam o crescimento em comprimento em vez de massa corporal, resultando em um crescimento mais proporcional (quase isométrico). Além disso, dietas ricas em energia favorecem o aumento de a e b , enquanto dietas de menor valor calórico mantêm b próximo de 3, sugerindo crescimento isométrico. Estratégias ecológicas, como tipo de alimentação, migração e cuidado parental, também modulam a relação peso-comprimento, influenciando o sucesso evolutivo das espécies.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Revisão sistemática. Realizamos uma revisão sistemática seguido de uma metanálise conforme as diretrizes para revisões descritas no protocolo PRISMA (Moher et al., 2009). Inicialmente, realizamos uma busca sistemática para encontrar artigos publicados sobre relação peso-comprimento para peixes de água doce no Brasil em dezembro de 2023, estruturada em três etapas principais: (i) desenvolvimento de um protocolo detalhado, incluindo objetivos, critérios de inclusão/exclusão (ver Anexo 1); (ii) criação de um banco de dados consolidado a partir dos estudos selecionados e (iii) análise dos dados por meio de um modelo multivariado de efeitos aleatórios, buscando incorporar a heterogeneidade entre estudos. Esse modelo foi escolhido porque permite considerar a variação entre diferentes estudos incluídos na metanálise, levando em conta possíveis correlações entre as variações verificadas (como por exemplo, variações ambientais e variações dentro do grupo taxonômico).

A fim de identificar artigos de acordo com o tema descrito acima, realizamos uma busca temática nas plataformas Web of Science da Clarivate Analytics (<http://www.webofknowledge.com>) e SciELO Brasil - Scientific Electronic Library Online (<https://www.scielo.br/>), incluindo artigos em inglês e português, sem restrições de início do período até dezembro de 2023 em todas as bases de dados. As seguintes combinações de termos e operadores booleanos foram utilizados em nossa busca: Length OR weight OR length-weight

relationship* AND freshwater* OR inland water* AND fish* AND Brazil (os mesmos termos e operadores também foram utilizados em português).

Inicialmente, nossa busca identificou 1.781 publicações (Figura 1). Após aplicar os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos, foram excluídos textos como dissertações, teses, livros, editoriais, estudos de caso e trabalhos fora do escopo ou do território brasileiro. Também removemos referências duplicadas, totalizando oito exclusões. A partir disso, 1.773 artigos elegíveis foram selecionados. Em seguida, avaliamos o título e resumo de cada artigo para verificar sua pertinência aos critérios estabelecidos, o que levou à exclusão de 634 trabalhos. Assim, 1.139 publicações foram selecionadas para leitura completa. Após essa etapa, 114 estudos (Figura 1, anexo 1) foram identificados como adequados para a metanálise, atendendo integralmente aos critérios estabelecidos e apresentando informações que pudessem ser extraídas.

Para ser incluído nesta metanálise, um artigo deveria atender aos seguintes critérios de inclusão: ser publicado no formato de artigo científico, apresentar dados de estudos realizados no Brasil e abordar diretamente a relação entre o peso e o comprimento para peixes de água doce, estando coerentemente alinhado com o objetivo central deste estudo.

As análises foram realizadas no software R, versão 4.1.2, utilizando o pacote "metafor" (Viechtbauer, 2010). Para garantir a convergência e o ajuste do modelo, foram realizadas até 10.000 interações. Em seguida, foi realizada a verificação e a determinação do número de valores não faltantes, mantendo apenas os grupos que apresentaram duas observações válidas para as estimativas de a e b . Adicionalmente, realizou-se a contagem de cada espécie e manteve-se apenas as espécies com pelo menos duas ocorrências, como resultado, extraiu-se seus respectivos nomes e criou-se uma lista em que cada elemento foi associado a um subconjunto de dados específico para cada espécie. Desse modo, os dados de cada espécie, organizados por nome, foram extraídos e agrupados de acordo com suas estimativas de a e b , bem como seus erros de variâncias a e b .

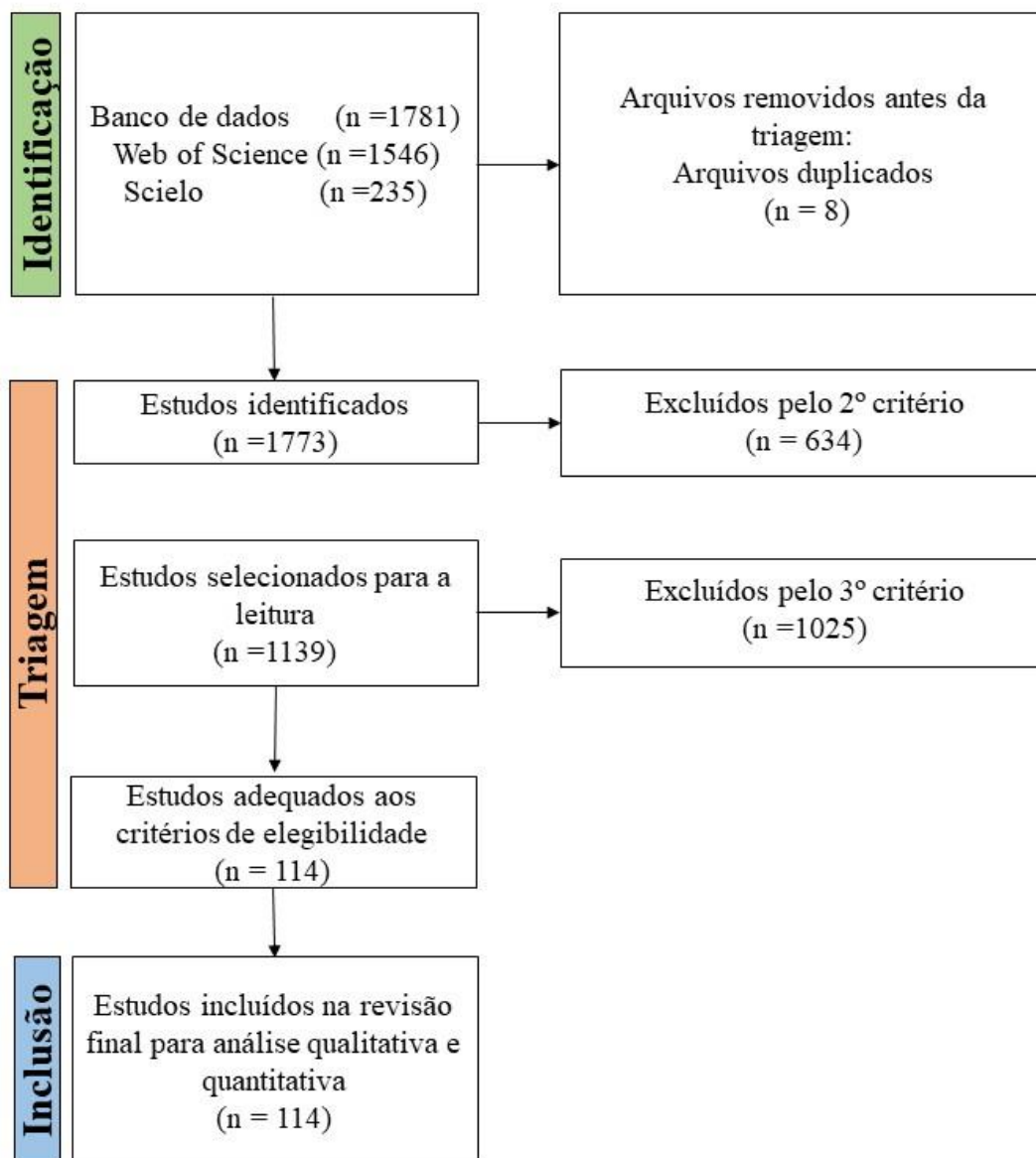


Figura 1. Fluxograma descrevendo a seleção dos estudos considerados na metanálise (protocolo PRISMA), com adaptações conforme as diretrizes de Moher et al. (2009).

Dos estudos selecionados, coletamos informações essenciais, como: (i) a espécie estudada; (ii) os coeficientes a e b ; (iii) os erros padrão (EP); (iv) os intervalos de confiança de 95% (IC95%) para a e b ; e (v) as variáveis morfométricas (peso e comprimento). Para garantir a precisão, dois revisores trabalharam de forma independente, preenchendo planilhas. Caso houvesse divergências, elas foram discutidas até chegar a um consenso. A medida de efeito utilizada foi baseada nos coeficientes a e b , que descrevem a relação entre peso e comprimento das espécies. Quando algum estudo não apresentava esses valores diretamente, buscamos estimá-los a partir dos dados disponíveis, utilizando ferramentas estatísticas adequadas ou

extraíndo as informações de forma mais detalhada a partir do próprio texto ou tabelas do artigo. Isso foi fundamental para incluir o maior número possível de estudos na metanálise, mesmo quando os dados não estavam completos.

2.2 Média dos Parâmetros e Metanálise. Nesta etapa, os coeficientes a e b da relação peso-comprimento foram utilizados como medidas de efeito na metanálise. Para permitir uma comparação padronizada entre as diferentes espécies, aplicamos a transformação logarítmica desses coeficientes, conforme proposto por Froese (2006). Antes da análise, realizamos uma etapa de filtragem dos dados, removendo registros com informações ausentes e padronizando as unidades de medida: peso em gramas (g) e comprimento em centímetros (cm). Essa padronização foi essencial para garantir a consistência dos dados e a comparabilidade entre os estudos utilizados na metanálise.

Para linearizar a relação peso-comprimento, aplicamos uma transformação logarítmica ($\log_{10}$), o que facilitou tanto a análise estatística quanto a interpretação dos parâmetros de crescimento.

Devido à natureza exponencial da relação peso-comprimento a transformação foi realizada aplicando o logaritmo em ambos os lados da equação, resultando na seguinte forma linear:

$$\text{Log}_{10}(W) = \log_{10}(a) + b \cdot \log_{10}(L)$$

Nessa forma linear, a estimativa dos parâmetros $\log_{10}(a)$ e b pode ser obtido por regressão linear. Após a obtenção dos valores, o coeficiente a foi recuperado utilizando a conversão da transformação logarítmica:

$$a = 10^{\log(a)}$$

A análise das médias dos parâmetros a e b começou com o cálculo das médias simples relacionadas nos estudos para cada espécie. Essa abordagem inicial, conhecida como média das médias, oferece uma visão preliminar das tendências gerais de crescimento ao considerar a média dos valores reportados, acompanhados pelos erros padrão (EP) e intervalos de confiança de 95% (IC95%). Embora não leve em conta o peso relativo ou a variabilidade entre os estudos, ela fornece uma interpretação inicial dos padrões de crescimento entre as espécies.

Como etapa complementar à metanálise, a média das médias permitiu identificar tendências gerais sem aprofundar-se na heterogeneidade dos estudos. Os dados foram filtrados para remover valores ausentes e manter apenas estimativas de a e b nas unidades de medida gramas (g) e centímetros (cm). Além disso, aplicou-se a transformação logarítmica para padronizar os dados e facilitar comparações. Essa abordagem preliminar, apesar de simplificada, apresentou percepções iniciais sobre as tendências de crescimento.

Em seguida, calculamos a média ponderada dos parâmetros a e b , considerando o número de indivíduos amostrados (N) e o erro padrão (EP), o que permitiu integrar dados heterogêneos e minimizar o impacto de *outliers*. A metanálise foi conduzida utilizando um modelo bivariado de efeitos aleatórios, conforme descrito por Riley et al. (2008), pois esse método foi o único que permitiu a realização das interações necessárias para a análise. Diante do exposto, os resultados dos estudos foram combinados com a finalidade de conduzir a metanálise bivariada. Além disso, utilizou-se o máximo de 10.000 interações, a fim de garantir a convergência e ajuste do modelo, sendo extraídos os coeficientes estimados do resultado da metanálise, que representam os efeitos médios das estimativas analisadas. Esse método estatístico permitiu combinar os resultados de estudos independentes para identificar vários padrões gerais e tendências entre as espécies observadas, considerando variações individuais e coletivas.

2.3 Análise de Variabilidade, Padrões de Crescimento e efeito de Fatores Moderadores.

Investigamos como os moderadores que representam diferentes características ecológicas podem explicar diferenças entre os tamanhos de efeitos médios estimados pela metanálise. As espécies foram classificadas quanto ao formato corporal em cinco grupos: fusiforme, achatado lateralmente, alongado, cilíndrico e comprimido lateralmente, conforme descrições morfológicas da literatura (Helfman et al., 2009). Também categorizamos as espécies pelo porte corporal em três grupos: pequeno (< 15 cm), médio (15-30 cm) e grande (> 30 cm), seguindo critérios de Vazzoler (1996). Essas classificações permitiram analisar a influência do formato e do porte corporal nos padrões de crescimento. Para classificar as espécies conforme suas estratégias reprodutivas, alimentares e ambientais, utilizamos descrições detalhadas disponíveis na literatura científica. As estratégias reprodutivas foram definidas com base em características como periodicidade reprodutiva, fecundidade e comportamento migratório, considerando categorias amplamente utilizadas para peixes neotropicais, como migradores de curta e longa distância. Essa classificação foi fundamentada principalmente nas descrições de Vazzoler (1996), que abordou as táticas reprodutivas de peixes tropicais, relacionando-as com fatores ambientais e ecológicos.

As estratégias alimentares foram determinadas a partir das informações disponíveis sobre a dieta de cada espécie, categorizando-as como herbívoras, carnívoras, onívoras ou detritívoras. Para isso, utilizamos dados compilados em estudos prévios e informações descritas em fontes clássicas, como Lowe-McConnell (1999), que explorou a ecologia alimentar e adaptativa de peixes tropicais. A partir dessas descrições, classificamos as espécies de acordo

com os padrões alimentares predominantes reportados na literatura. Essa abordagem metodológica permitiu a organização das espécies em grupos funcionais, facilitando a análise da influência das estratégias reprodutivas e alimentares nas estimativas dos parâmetros a e b da relação peso-comprimento.

3. RESULTADOS

Durante a extração dos dados dos artigos, constatamos que a maioria das estimativas da relação peso-comprimento foi obtida em ambientes fluviais, sendo mais da metade dos estudos. Seguidos por córregos, reservatórios, lagos e lagoas. Por outro lado, estudos realizados em planícies de inundação foram escassos, sendo observado apenas em três trabalhos

A partir do nosso banco de dados, compilamos estimativas da relação peso-comprimento para 787 espécies de peixes de água doce. *Hoplias malabaricus* foi a espécie com maior número de estimativas registradas para relação peso-comprimento. Apesar do elevado número de espécies registradas, apenas 28 apresentaram número de estimativas suficientes para aplicação da metanálise (Tabela 1).

Dentre as espécies analisadas na metanálise, destacaram-se aquelas com maior número de registros, como *Astyanax altiparanae* (atualmente válido como *Astyanax lacustris*, Lütken 1875), presente em 8 artigos, *Hemiodus unimaculatus* (Bloch 1794), com 6 registros, e *Astyanax bifasciatus* (atualmente válido como *Psalidodon bifasciatus*, Garavello & Sampaio 2010), com 5 artigos, que juntas concentraram 55% das estimativas incluídas na análise. Por outro lado, algumas espécies como *Cichlasoma orientale* (Kullander, 1983) e *Ageneiosus inermis* (Linnaeus, 1766), apresentaram menor representatividade no conjunto analisado, sendo registradas em apenas 2 e 4 artigos, respectivamente (Tabela 1). Ressalta-se que a seleção final considerou não apenas a frequência de ocorrência nos estudos, mas também critérios de qualidade e completude dos dados, como a disponibilidade dos coeficientes alométricos e seus respectivos erros-padrão (Tabela 1).

Estimativas da Relação peso-comprimento (RPC), foram registradas em todas as principais bacias hidrográficas brasileiras, incluindo a Bacia Amazônica, Pantanal, Bacia do Paraná e Bacia do São Francisco. Os registros sobre as espécies analisadas abrangem várias décadas, consolidando informações históricas sobre sua biologia e ecologia. A primeira estimativa para RPC, de acordo com nossos critérios e bases de busca, foi registrada em 1988, para *Astyanax bifasciatus* (Garavello & Sampaio, 2010).

Tabela 1. Informações sobre as espécies de peixes utilizadas na metanálise, incluindo o ano da primeira estimativa registrada da relação peso-comprimento (RPC), o número de artigos que reportaram essas estimativas e as

respectivas bacias hidrográficas de ocorrência. Os dados refletem a abrangência temporal e espacial das publicações e foram utilizados para analisar padrões ecológicos e morfológicos associados ao crescimento das espécies.

Espécie	Ano da primeira estimativa	Nº de artigos com estimativas RPC	Bacia(s) hidrográfica(s)
<i>Metynnis lippincottianus</i>	1986	9	Amazonas, Paraná
<i>Hypostomus regani</i>	1987	9	Paraná, São Francisco
<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	1987	9	Paraná, São Francisco
<i>Cichlasoma orientale</i>	1988	9	Paraná
<i>Hoplias malabaricus</i>	1989	9	Pantanal
<i>Hoplosternum littorale</i>	1990	8	Pantanal
<i>Leporinus friderici</i>	1994	8	Pantanal
<i>Pimelodus maculatus</i>	1994	7	São Francisco
			Amazônica, São Francisco
<i>Poecilia reticulata</i>	1995	7	Francisco
<i>Ageneiosus inermis</i>	1995	7	Tocantins-Araguaia
			Amazônica, São Francisco
<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	1996	7	Francisco
<i>Iheringichthys labrosus</i>	1996	7	Paraná, São Francisco
<i>Rhamdia quelen</i>	1997	7	Tocantins-Araguaia
<i>Serrasalmus maculatus</i>	2001	6	Amazônica
<i>Geophagus brasiliensis</i>	2001	6	São Francisco
<i>Astyanax altiparanae</i>	2002	6	Amazonas, Paraná
<i>Astyanax bifasciatus</i>	2002	6	Amazônica
<i>Astyanax bimaculatus</i>	2006	6	Amazônica
<i>Bryconops melanurus</i>	2006	5	Tocantins-Araguaia
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	2007	5	Tocantins-Araguaia
<i>Lycengraulis batesii</i>	2011	5	Paraná, São Francisco
<i>Piabina argentea</i>	2013	4	São Francisco
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	2013	4	Amazônica
<i>Prochilodus lineatus</i>	2014	3	Tocantins-Araguaia
<i>Psectrogaster amazonica</i>	2014	2	Amazonas, Paraná
<i>Serrasalmus eigenmanni</i>	2018	2	Pantanal
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	2018	2	Amazônica
<i>Corydoras paleatus</i>	2019	2	Paraná, São Francisco

A partir disso, houve um aumento progressivo no número de estudos, especialmente nas décadas de 1990 e 2000, com destaque para as estimativas da relação peso-comprimento feitas para *Hoplias malabaricus* (14 artigos) (Bloch, 1794) e *Astyanax altiparanae* (atualmente válido como *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875), que foram as espécies mais avaliadas ao longo do tempo.

Em relação às estimativas dos parâmetros da relação peso-comprimento, foi observada uma variação considerável entre as espécies. *Iheringichthys labrosus* (Linnaeus, 1766)

apresentou a menor estimativa para o parâmetro a (0,0074), indicando uma menor proporção de peso em relação ao comprimento. Por outro lado, espécies como *Metynnis lippincottianus* (Cope, 1870) demonstraram alometria negativa, sugerindo um crescimento mais lento em peso em relação ao comprimento, o que pode estar associado à forma corporal comprimida lateralmente ou a hábitos alimentares específicos.

O coeficiente b revelou variações significativas entre as espécies analisadas, com valores variando de 2,626 a 3,330. O maior valor foi observado em *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) ($b = 3,330$), indicando crescimento alométrico positivo, no qual o peso cresce proporcionalmente mais rápido do que o comprimento. Em contraste, *Corydoras paleatus* (Jenyns, 1842), apresentou o menor valor de b (2,626), indicando crescimento alométrico negativo, no qual o comprimento cresce mais rapidamente do que o peso. Essas variações refletem diferentes estratégias de crescimento entre as espécies, com algumas apresentando aumento mais pronunciado no peso à medida que o comprimento aumenta, enquanto outras mostraram relação inversa, com o comprimento se desenvolvendo mais rapidamente do que o peso. O valor médio de b foi 3,038, sugerindo que a maioria das espécies apresenta crescimento isométrico. A mediana de b foi 3,030, com a maioria dos valores concentrada em torno dessa medida. A análise dos quartis revelou que o primeiro quartil (Q1) foi 2,800 e o terceiro quartil (Q3) foi 3,200, mostrando que 50% das espécies analisadas apresentaram valores de b entre esses limites. Em termos de tipos de crescimento, seis espécies exibiram crescimento alométrico positivo ($b > 3,0$), enquanto quatro espécies apresentaram crescimento alométrico negativo ($b < 3,0$). Esses resultados destacaram tendência predominante de crescimento isométrico ou positivo.

Espécies fusiformes, como *Hoplosternum littorale* (Hancock, 1828), exibiram $b \approx 3$, indicando crescimento isométrico, enquanto espécies comprimidas lateralmente, como *Serrasalmus maculatus* (Spix & Agassiz, 1829) e *Serrasalmus rhombeus*, apresentaram $b > 3$, caracterizando alometria positiva. Espécies de grande porte, como *Iheringichthys labrosus* (Linnaeus, 1766), exibiram maior ganho de peso ($b > 3$), enquanto espécies de pequeno porte, como *Astyanax bifasciatus altiparanae* (atualmente válido como *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875), mantiveram crescimento isométrico ($b \approx 3$). Espécies com dietas especializadas, como *Corydoras paleatus* (Jenyns, 1842), apresentaram maior variabilidade nos parâmetros a e b , refletindo diferenças ecológicas nos estudos analisados.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) com moderadores indicaram que a estratégia alimentar foi o único fator que apresentou diferenças significativas nos valores do coeficiente a entre as diferentes espécies ($F = 3,710$, $GL = 3$ e $P = 0,035$; Figura 3b). O teste de

Tukey revelou que as espécies detritívoras apresentaram valores significativamente maiores do que as espécies insetívoras (diferença = 0,029; $P = 0,035$).

Além disso, a análise mostrou que tanto o porte ($F = 4,765$; $GL = 2$; $P = 0,0250$) quanto a estratégia alimentar influenciaram o coeficiente b ($F = 5,374$; $GL = 3$; $P = 0,010$; Figura 3b). Entretanto, ao investigar a diferença entre os grupos de porte, não foram encontradas diferenças significativas através do teste de Tukey.

Tabela 2. Tabela com parâmetros da relação peso-comprimento e alometria para diferentes espécies de peixes. São apresentadas estimativas de coeficientes alométricos (a e b) com seus erros padrão (EP) e intervalos de confiança (IC) inferiores e superiores, acompanhados pelo número de indivíduos analisados (N), tanto na média não ponderada quanto na média ponderada através da metanálise bivariada. A coluna de isometria indica se os valores observados sugerem alometria negativa (-), positiva (+), ou isometria (=) para cada espécie e parâmetro analisado.

Média dos Parâmetros									Metanálise							
Parâmetros									Parâmetros							
Espécie	Nº de Artigos	a	Epa	ICa	b	Epb	ICb	Tipo de crescimento	Nº de Espécies	a	EPa	ICa	b	EPb	ICb	Tipo de crescimento
<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	4	0.013	0.001	0.011-0.014	2.879	0.020	2.840-2.920	-	3713	0.013	0.003	0.006-0.019	2.879	0.112	2.659-3.098	=
<i>Ageneiosus inermis</i>	4	0.014	0.004	0.012-2.948	3.023	0.102	0.028-3.348	=	288	0.014	0.004	0.006-0.021	3.030	0.061	2.911-3.148	=
<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	5	0.015	0.005	0.010-0.028	2.783	0.069	2.647-2.915	-	1205	0.015	0.003	0.008-0.021	2.839	0.069	2.704-2.972	-
<i>Astyanax altiparanae</i>	8	0.030	0.002	0.021-0.029	3.020	0.065	2.916-3.172	=	7631	0.026	0.003	0.021-0.0307	3.106	0.051	3.005-3.205	+
<i>Astyanax bifasciatus</i>	5	0.030	0.001	0.031-0.033	2.924	0.010	2.902-2.940	-	52162	0.028	0.080	(-0.129)-0.184	2.854	0.050	2.756-2.951	=
<i>Astyanax bimaculatus</i>	4	0.016	0.002	0.012-0.020	3.051	0.066	2.920-3.181	=	728	0.015	0.005	0.005-0.023	3.076	0.169	2.745-3.407	=
<i>Bryconops melanurus</i>	9	0.023	0.003	0.011-0.021	2.968	0.070	2.831-3.104	=	226	0.015	0.008	0.0003-0.029	3.051	0.141	2.773-3.328	=
<i>Cichlasoma orientale</i>	2	0.016	0.014	0.013-0.069	3.044	0.062	2.922-3.166	=	343	0.014	0.005	0.003-0.023	2.966	0.062	2.844-3.088	=
<i>Corydoras paleatus</i>	3	0.096	0.006	0.084-0.109	2.640	0.100	2.042-2.435	-	6820	0.053	0.048	(-0.041)-0.148	2.626	0.345	1.950-3.301	=
<i>Geophagus brasiliensis</i>	8	0.032	0.002	0.024-0.033	2.996	0.053	2.896-3.102	=	1948	0.020	0.005	0.009-0.029	3.038	0.029	2.981-3.095	=
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	6	0.016	0.003	0.005-0.018	3.074	0.305	1.931-3.126	=	11496	0.012	0.003	0.005-0.019	3.135	0.074	2.99-3.280	=
<i>Hoplias malabaricus</i>	14	0.024	0.002	0.008-0.018	3.048	0.052	2.946-3.151	=	2003	0.029	0.015	(-0.0002)-0.057	3.043	0.045	2.954-3.131	=
<i>Hoplosternum littorale</i>	6	0.035	0.003	0.024-0.035	2.755	0.039	2.882-3.034	=	998	0.030	0.008	0.014-0.045	2.952	0.034	2.885-3.018	=
<i>Hypostomus regani</i>	4	0.013	0.001	0.009-0.014	2.950	0.046	2.858-3.037	=	931	0.013	0.004	0.006-0.020	2.975	0.056	2.866-3.084	=
<i>Iheringichthys labrosus</i>	5	0.008	0.001	0.005-0.009	3.208	0.081	3.056-3.372	+	780	0.007	0.003	0.001-0.013	3.198	0.087	3.027-3.368	+
<i>Leporinus friderici</i>	9	0.022	0.003	0.016-0.028	3.003	0.054	2.911-3.122	=	739	0.021	0.005	0.011-0.030	3.024	0.068	2.890-3.156	=
<i>Lycengraulis batesii</i>	4	0.015	0.003	0.005-0.017	2.906	0.207	2.175-2.987	-	1957	0.010	0.003	0.003-0.015	2.879	0.205	2.477-3.280	=
<i>Metynnys lippincottianus</i>	4	0.044	0.011	0.025-0.069	2.942	0.248	2.088-3.061	=	1439	0.041	0.012	0.018-0.063	3.003	0.072	2.861-3.144	=
<i>Piabina argentea</i>	4	0.042	0.007	0.029-0.055	3.185	0.185	2.814-3.538	=	480	0.039	0.028	(-0.015)-0.092	3.129	0.121	2.890-3.366	=
<i>Pimelodus maculatus</i>	8	0.016	0.003	0.007-0.020	3.024	0.068	2.881-3.146	=	2476	0.015	0.004	0.007-0.023	3.060	0.050	2.963-3.157	=
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	7	0.013	0.002	0.009-0.018	3.093	0.058	2.98-3.208	=	1042	0.014	0.004	0.005-0.022	3.094	0.062	2.972-3.215	=
<i>Poecilia reticulata</i>	6	0.012	0.002	0.012-0.019	2.965	0.174	2.645-3.327	=	3332	0.016	0.003	0.009-0.022	2.994	0.066	2.865-3.123	=

<i>Prochilodus lineatus</i>	8	0.024	0.004	0.010-0.027	2.983	0.071	2.88-3.157	=	1241	0.019	0.005	0.010-0.028	2.999	0.021	2.957-3.039	=
<i>Psectrogaster amazonica</i>	2	0.037	0.008	0.008-0.040	2.933	0.540	0.793-2.911	-	6631	0.032	0.008	0.017-0.047	2.995	0.115	2.769-3.220	=
<i>Rhamdia quelen</i>	9	0.012	0.002	0.006-0.015	3.029	0.071	2.890-3.167	=	712	0.010	0.002	0.005-0.014	3.040	0.052	2.937-3.141	=
<i>Serrasalmus eigenmanni</i>	4	0.017	0.003	0.0089-0.022	3.165	0.234	2.313-3.230	=	718	0.016	0.002	0.011-0.019	3.132	0.144	2.849-3.414	=
<i>Serrasalmus maculatus</i>	7	0.021	0.003	0.014-0.028	3.180	0.063	3.042-3.288	+	1782	0.020	0.002	0.016-0.024	3.207	0.025	3.158-3.254	+
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	4	0.010	0.001	0.006-0.011	3.313	0.223	2.468-3.340	=	2187	0.010	0.003	0.004-0.014	3.330	0.014	3.303-3.356	+

Peixes com formato corporal alongado e fusiforme apresentaram, predominantemente, crescimento isométrico (Figura 2A). Esse padrão foi observado em espécies como *Acestrorhynchus microlepis* (Agassiz, 1829) e *Hypostomus regani* (Ihering, 1905). No entanto, algumas espécies com morfologia semelhante, como *Ageneiosus ucayalensis* (Steindachner, 1882), exibiram crescimento alométrico negativo (Figura 2A).

Por outro lado, espécies com corpo lateralmente comprimido, como *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) e *Serrasalmus maculatus* (Spix & Agassiz, 1829), apresentaram alometria positiva (Figura 2A). No que diz respeito ao tamanho corporal, espécies de grande porte, como *Serrasalmus rhombeus* (Figura 2B), tenderam a exibir crescimento alométrico positivo, enquanto espécies de menor porte, como *Corydoras paleatus* (Jenyns, 1842), demonstraram alometria negativa.

Espécies de tamanho intermediário, como *Astyanax altiparanae* (atualmente válido como *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875)), apresentaram crescimento próximo ao isométrico ($b \approx 3$). Ainda assim, as espécies de maior porte exibiram variação nos padrões de crescimento, com algumas mostrando crescimento isométrico e outras alometria positiva (Figura 2B). Peixes migradores, tanto de curta quanto de longa distância, apresentaram coeficientes b próximos à média geral ($b \approx 3$), embora com variações nos padrões alométricos. *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837), por exemplo, exibiu crescimento próximo ao isométrico (Figura 2B), enquanto *Pimelodus maculatus* (Lacepède, 1803) demonstrou leve alometria positiva. Em contraste, espécies não migradoras mostraram maior variação, com *Corydoras paleatus* apresentando alometria negativa e *Serrasalmus maculatus* alometria positiva (Figura 2B). Os resultados também sugeriram relação entre a estratégia alimentar e os padrões de crescimento.

Espécies piscívoras, como *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), mostraram tendência à alometria positiva, enquanto espécies herbívoras, como *Metynnis lippincottianus* (Cope, 1870), apresentaram crescimento próximo ao isométrico (Figura 2B).

Espécies com intervalos amplos, como *Corydoras paleatus* e *Metynnis lippincottianus*, apresentaram maior variabilidade nos dados, resultando em menor precisão na estimativa dos coeficientes a e b . Para *C. paleatus*, o coeficiente b variou entre 2,626 e 3,301, indicando inconsistência no padrão de crescimento entre os estudos analisados. Já *M. lippincottianus* apresentou valores de b próximos a 3, mas com um intervalo de confiança amplo. Essa variabilidade pode estar relacionada às diferenças nos métodos de amostragem, ambientes de coleta e variações sazonais. Esses resultados reforçam como características morfológicas e ecológicas distintas influenciam a relação peso-comprimento, especialmente em espécies com

ampla distribuição geográfica e hábitos alimentares variados, respondendo ao objetivo de identificar os fatores que afetam as estimativas dos parâmetros a e b .

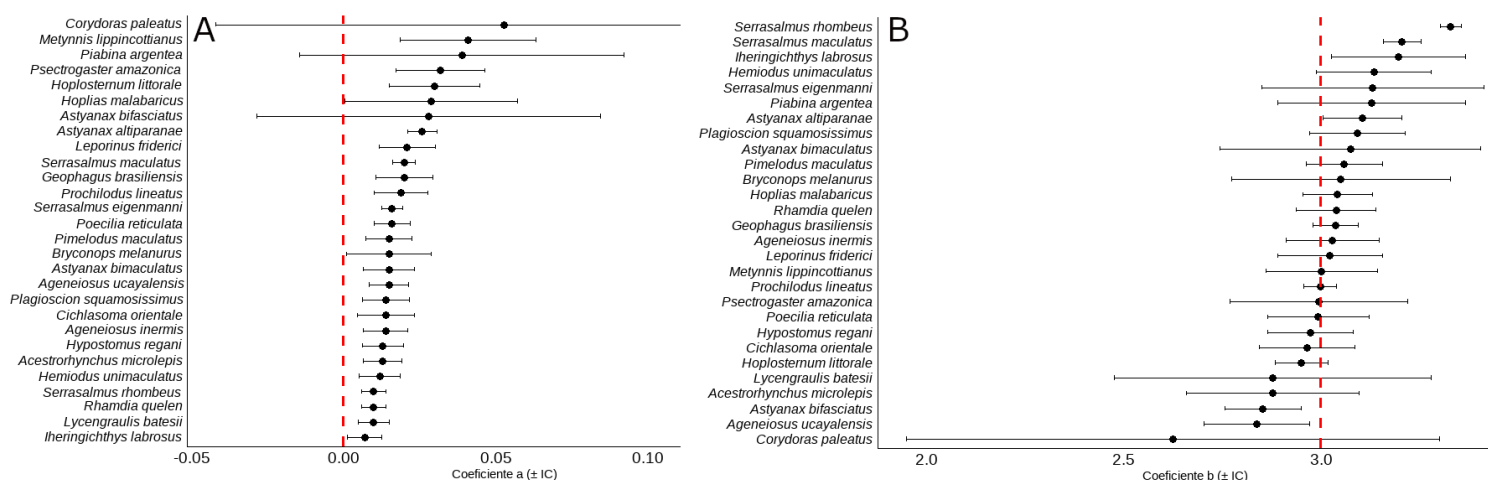


Figura 2. Estimativas dos coeficientes da relação peso-comprimento para 28 espécies de peixes. (A) Coeficiente a com seus respectivos intervalos de confiança de 95% ($\pm$ IC). (B) Coeficiente b com intervalos de confiança de 95% ($\pm$ IC). A linha tracejada vermelha em (A) está posicionada em 0, indicando o valor de referência para o coeficiente a , enquanto em (B) está posicionada em 3, valor esperado para o coeficiente b em crescimento isométrico. As espécies estão organizadas em ordem decrescente dos valores estimados.

De modo geral, padrões distintos de crescimento foram observados entre peixes migradores e não migradores (Figura 3A e 3B). As espécies migradoras tenderam a apresentar coeficientes b próximos da isometria, sugerindo um crescimento proporcional entre peso e comprimento, possivelmente relacionado à necessidade de desempenho natatório durante longos deslocamentos. Já entre as espécies não migradoras, verificou-se maior variabilidade nos coeficientes, incluindo casos de alometria positiva e negativa, o que pode refletir uma diversidade maior de estratégias ecológicas e morfológicas nesse grupo.

No coeficiente a (Figura 3A), migradoras tendem a valores próximos a zero, enquanto não migradoras apresentaram maior variação, com algumas espécies indicando maior peso relativo para o comprimento. Em relação ao formato corporal (Figura 3C e 3D), peixes alongados e fusiformes, como *Acestrorhynchus microlepis* (Agassiz, 1829) e *Hypostomus regani* (Ihering, 1905), mostraram crescimento próximo ao isométrico. No entanto, algumas espécies fusiformes, como *Ageneiosus ucayalensis* (Steindachner, 1882), apresentaram alometria negativa (Figura 3D). Espécies com corpo lateralmente comprimido, como *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766), exibiram alometria positiva. No coeficiente a (Figura 3C), espécies comprimidas lateralmente apresentaram maior variação em relação às demais morfologias.

Os padrões observados indicam que a estratégia alimentar influencia diretamente os coeficientes alométricos (Figura 3E e 3F). De forma geral, piscívoros apresentaram maior tendência à alometria positiva, enquanto herbívoros e onívoros mostraram valores próximos da isometria ou maior variabilidade. Essas diferenças podem estar associadas à eficiência metabólica, qualidade energética da dieta e ao custo energético de obtenção do alimento, refletindo adaptações distintas entre os grupos tróficos.

A análise também demonstrou que o porte corporal influencia os padrões de crescimento observados (Figura 3G e 3H). Espécies de grande porte tenderam à alometria positiva, indicando maior acúmulo de massa em relação ao comprimento. Já espécies de pequeno porte apresentaram tanto crescimento isométrico quanto alométrico negativo, sugerindo estratégias corporais mais diversas. A variação nos coeficientes a entre essas espécies reforçam essa heterogeneidade, possivelmente relacionada à diversidade funcional e de nicho desses peixes.

Por fim, a presença de cuidado parental foi associada a padrões distintos de crescimento (Figura 3I e 3J). Espécies que não possuem cuidado parental, como *Piabina argentea* (Garman, 1890), mostraram crescimento próximo ao isométrico, enquanto aquelas com cuidado parental, como *Hoplias malabaricus*, apresentaram maior variação, incluindo alometrias positiva e negativa. No coeficiente a (Figura 3I), espécies sem cuidado parental apresentaram valores mais concentrados próximos a zero, enquanto aquelas com cuidado parental exibiram maior dispersão.

4. DISCUSSÃO

Os padrões de crescimento dos peixes de água doce no Brasil, particularmente as relações peso-comprimento (RPC), são influenciados por uma série de fatores ecológicos e evolutivos, com implicações para a biologia e ecologia das espécies. Em nossos resultados, observamos que a maioria das espécies apresentou crescimento isométrico ($b \approx 3$), como foi o caso de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1837) e *Lycengraulis batesii* (Günther, 1868). Esse padrão foi predominante no conjunto analisado, sendo observado em aproximadamente 57% das espécies avaliadas. Esse resultado reforça a tendência geral identificada no estudo, indicando que parte significativa dos peixes analisados apresenta crescimento alométrico positivo, especialmente entre aqueles de maior porte corporal ou com hábitos piscívoros.

A estabilidade ecológica observada em ecossistemas como grandes rios e áreas alagáveis pode contribuir para esse tipo de crescimento, uma vez que condições ambientais adequadas favorecem o crescimento corporal proporcional (Pauly, 1984; Froese, 2006; Caetano & Jané, 2018). No entanto, a sazonalidade desses ambientes, marcada por períodos de cheia e seca, reflete uma instabilidade ambiental que influencia as estratégias de vida das espécies, como as classificadas em *r* e *k*. A reprodução está diretamente ligada à disponibilidade de recursos, sendo que espécies migradoras ajustam seu ciclo de vida ao período de cheia, quando há maior oferta alimentar e áreas propícias para o recrutamento (Bailly, 2006). Por outro lado, espécies não migradoras apresentam estratégias distintas para lidar com essas variações ambientais (Galícia et al., 2021).

Entretanto, observamos variações gerais nos padrões de crescimento entre as espécies, com destaque para aqueles que apresentaram formatos corporais distintos. Espécies com corpo comprimido lateralmente, como *S. rhombeus* e *S. maculatus*, apresentaram alometria positiva, caracterizada pelo aumento mais acentuado do peso em relação ao comprimento. Esse padrão pode ser explicado pela estratégia de acumulação de reservas energéticas, que confere maior resistência física e favorece a sobrevivência em ambientes lênticos, onde as condições geralmente são mais estáveis e previsíveis (Webb, 1984; Winemiller, 1991). No entanto, mesmo nesses habitats, variações sazonais e oscilações na disponibilidade de recursos podem ocorrer (Boily & Magnan, 2002). Assim, espécies com essa morfologia, frequentemente associadas a remansos de águas calmas, podem apresentar maior capacidade de acúmulo energético. No entanto, essa característica tende a ser ainda mais vantajosa em ambientes sujeitos a flutuações ambientais, nos quais o armazenamento de energia funciona como uma estratégia adaptativa frente a períodos de escassez alimentar.

Por outro lado, espécies de formato fusiforme, como *C. paleatus*, apresentaram alometria negativa, ou seja, o aumento do comprimento foi mais acentuado do que o ganho de peso. Esse padrão é típico de espécies adaptadas a ambientes de correnteza, onde a eficiência natatória é crucial para a sobrevivência e o forrageamento (Lima-Junior et al., 2002). Espécies com esse tipo de morfologia são mais bem equipadas para nadar rapidamente e explorar recursos dispersos em ambientes de fluxo constante, como rios de correnteza forte (Almeida, 2014)

O porte corporal também desempenhou um papel significativo nos padrões de crescimento observados. Espécies de grande porte, como *S. rhombeus*, exibiram alometria positiva, um padrão que pode ser vantajoso para o sucesso predatório e para a redução da vulnerabilidade a predadores em ecossistemas com alta competição ecológica (Huxley, 1932; Wootton, 1998). O aumento do peso nessas espécies pode ser uma estratégia evolutiva para melhorar a captura de presas maiores e aumentar a competitividade entre os predadores. Espécies de pequeno porte, por outro lado, como *C. paleatus*, apresentaram alometria negativa, o que pode ser uma adaptação para ambientes com recursos mais dispersos. Esses peixes se beneficiam de maior eficiência na locomoção e menores custos energéticos, características que são vantajosas em habitats com alta competição por recursos (Blanckenhorn, 2000; Lima-Junior et al., 2002).

A relação entre o porte corporal e a estratégia alimentar também foi um fator importante na definição dos padrões de crescimento. Espécies piscívoras de grande porte, como *Hoplias malabaricus*, com alometria positiva, ocupam posições elevadas na cadeia alimentar, sendo capazes de capturar e ingerir presas de tamanho considerável, o que favorece maior acúmulo de biomassa corporal. Isso está em conformidade com os estudos de Pauly (1984) e Froese (2006), que sugerem que as dietas ricas em proteínas, como em peixes piscívoros, favorecem o acúmulo de peso e o crescimento mais rápido.

Por outro lado, espécies herbívoras, como *Lycengraulis batesii*, que dependem de recursos mais provenientes e abundantes, mas de menor valor energético, tendem a apresentar crescimento isométrico, um padrão adaptativo que permite maior estabilidade no crescimento corporal e menor necessidade de aumento do peso. Esse padrão reflete a eficiência das estratégias tróficas menos exigentes energeticamente, conforme proposto por Winemiller (1991). A relação entre os coeficientes de alometria (b) elevados em piscívoros e menores em herbívoros reflete a diversidade funcional das espécies e como as adaptações alimentares moldam a morfologia e o desempenho ecológico das populações.

A análise das estratégias reprodutivas revelou uma possível relação entre o cuidado parental e os padrões de crescimento. Em algumas espécies que adotam esse comportamento, como *Hoplias malabaricus* (traíra), o investimento energético na proteção da prole pode influenciar a distribuição de energia entre crescimento, manutenção e reprodução (Gross, 2005; Barros et al., 2016). No entanto, considerando seu hábito alimentar carnívoro estrito, é provável que a dieta desempenhe um papel mais determinante nos padrões de crescimento dessa espécie, contribuindo para os valores elevados do coeficiente b observados.

Em termos mais gerais, nossos resultados demonstraram que os padrões de crescimento das espécies de peixes de água doce no Brasil são amplamente específicos por uma combinação de fatores ecológicos. A variação nos padrões de alometria observados entre espécies de diferentes portes e formato corporal indica como as adaptações ecológicas moldam o crescimento e o sucesso reprodutivo. Em particular, a alometria dos peixes resulta da interação entre múltiplos fatores ecológicos e morfológicos. Espécies piscívoras com formato corporal comprimido lateralmente tendem a exibir alometria positiva, enquanto espécies menores e fusiformes, apresentaram alometria negativa ou isométrica. Essas variações refletem adaptações ecológicas associadas não apenas à dieta, mas também a estratégias de crescimento, locomoção e possíveis interações com o ambiente e o cuidado parental. Esses padrões ilustraram a complexidade das interações ecológicas e evolutivas nos ecossistemas aquáticos neotropicais e enfatizam a importância de considerar múltiplos fatores ao estudar os padrões de crescimento das espécies.

Em conclusão, nossos resultados confirmaram nossas hipóteses de que as variáveis morfológicas e ecológicas influenciam distintamente os coeficientes alométricos a e b . Espécies de grande porte e morfologia robusta apresentaram valores elevados de b (>3), apresentaram crescimento alométrico positivo, enquanto espécies menores e altamente fecundas, exibiram crescimento isométrico ($b \approx 3$). Além disso, dietas ricas em energia favoreceram o aumento de a e b , como indicado para piscívoros, enquanto dietas menos calóricas favoreceram b próximo de 3, refletindo crescimento isométrico, conforme esperado. A análise estatística também evidenciou que a estratégia alimentar influencia significativamente os coeficientes alométricos, especialmente entre espécies detritívoras e insetívoras. Outros fatores ecológicos, como migração e cuidado parental, também influenciaram a relação peso-comprimento, mas sem um padrão evidente. Os peixes migradores apresentaram crescimento predominantemente isométrico, enquanto espécies não migradoras exibiram tanto alometria positiva quanto negativa, dependendo de suas estratégias ecológicas. A variação dos coeficientes alométricos (b variando entre 2.626 e 3.330) reforça a diversidade de padrões de crescimento, confirmando

que espécies com diferentes características morfológicas e ecológicas adotam estratégias distintas de desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, pelo apoio e acolhimento. Agradeço a CAPES pelo fornecimento da bolsa e ao Laboratório de Ictiologia e Estatística Pesqueira - ICTES.

REFERENCIAS

Agostinho, AA; Bini, LM; Gomes, LC. Ecologia de comunidades de peixes de áreas de influência do reservatório de Segredo. In: Agostinho, AA; Gomes, LC (Eds.). *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá: Eduem, 1997.

Agostinho, AA; Gomes, LC; Pelicice, FM. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem, 2007.

Agostinho, AA; Gomes, LC; Veríssimo, S.; Okada, EK. *Fishery yield relative to hydroelectric dams in the Upper Paraná River Basin: Conservation issues*. *Fisheries Research*, v. 90, n. 1-3, p. 164-170, 2007. DOI: 10.1016/j.fishres.2007.10.004.

Agostinho, Angelo A.; Thomaz, Sidinei M.; Gomes, Luiz C. *Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters*. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 646-652, 2005.

Almeida, H. L. Variações na história de vida de peixes na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (AM) e suas implicações na morfologia e estruturação gênica das populações. 2014. Tese de Doutorado. [PhD Thesis] Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Bailly, Dayani. Influência do regime de cheias na reprodução de espécies de peixes com diferentes estratégias reprodutivas da planície de inundação do rio Cuiabá, Alto Pantanal, Brasil. 2006.

Barros, NHC et al. Estudos sobre as táticas e as estratégias reprodutivas de sete espécies de peixes de água doce do Rio Grande do Norte, Brasil. *Holos*, v. 3, p. 84-103, 2016.

Barros, FDL; Soares, MCS; Oliveira, RP. Cuidado parental e o desenvolvimento dos peixes: uma visão sobre a evolução das estratégias reprodutivas. *Ecologia Brasileira*, v. 4, p. 88-100, 2016.

Blackwell, BG; Marrone, ML; Willis, DW. *Relative weight (Wr) status and current use in fisheries assessment and management*. *Reviews in Fisheries Science*, v. 8, p. 1-44, 2000.

Blanckenhorn, WU. *The evolution of body size: What keeps organisms small?* *Quarterly Review of Biology*, v. 75, n. 4, p. 385-407, 2000. DOI: 10.1086/393699.

Boily, Patrice; Magnan, Pierre. *Relationship between individual variation in morphological characters and swimming costs in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) and yellow perch (*Perca flavescens*)*. *Journal of Experimental Biology*, v. 205, n. 7, p. 1031-1036, 2002.

Bolger, T.; Connolly, PL. *The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition*. *Journal of Fish Biology*, p. 171-182, 1989.

Caetano, DLF; Jané, DR. Peso-comprimento e fator de condição relativo de *Bryconamericus iheringii* em riachos do Paranapanema. *Revista Agroecossistemas*, v. 3, p. 825-841, 2018.

Correa, SB. Frugivoria de peixes em áreas úmidas neotropicais: passado, presente e futuro de uma interação única. *Biodiversidade Brasileira*, n. 2, p. 34-44, 2019.

Correia, CDS; Smith, WS. Hábitos alimentares em peixes de água doce: uma revisão sobre metodologias e estudos em várzeas brasileiras. *Ecologia Australis*, v. 4, 2019. DOI: 10.4257/o.2019.2304.

Cook, TD. O potencial e as limitações das avaliações secundárias. Em: *Avaliação educacional: análise e responsabilidade*. p. 155-235.

Cooke, SJ et al. *The ecology of fish movement*. *Journal of Fish Biology*, v. 101, n. 4, p. 756-779, 2022. DOI: 10.1111/jfb.15203.

Froese, R. *Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations*. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 22, n. 4, p. 241-253, 2006.

Froese, R.; Tsikliras, AC; Stergiou, KI. *Editorial note on weight-length relations of fishes*. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, p. 261-263, 2011.

Froese, R.; Pauly, D. *FishBase*. Available at: <https://www.fishbase.org>. Accessed on: Oct. 29, 2024.

Galicia, Xunta et al. *Ecologia reprodutiva e pescarias no contexto ibero-americano*. 2021. (Originalmente em português ou espanhol — mantido em português conforme enviado)

Ghisi, NC; Ito, KM; Prioli, AJ; Oliveira, EC. Relação peso-comprimento e fator de condição de *Astyanax aff. paranae* (Peixes) em corpos hídricos com diferentes níveis de interferência antrópica, no centro-oeste do Paraná. *Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 1, p. 53-60, 2012.

Gross, MR. *The evolution of parental care*. *The Quarterly Review of Biology*, v. 80, n. 1, p. 37-45, 2005. DOI: 10.1086/431023.

Helfman, GS; Collette, BB; Facey, DE; Bowen, BW. *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2009.

Huxley, JS. *Problems of Relative Growth*. Methuen & Co., 1932.

Lima-Junior, SE; Cardone, IB; Goitein, R. Determinação de um método para cálculo do fator de condição alométrico de peixes. *Neotropical Ichthyology*, v. 4, n. 2, p. 237-240, 2002.

Lima, AF e cols. Reprodução, larvicultura e alevinagem de peixes. *Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos*. Brasília-DF: Embrapa, p. 301-322, 2013.

Lowe-McConnell, RH. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo: Edusp, 1999.

Le Cren, ED. *The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis)*. *Journal of Animal Ecology*, v. 20, n. 2, p. 201-219, 1951.

Machado, MN et al. Utilização de biomarcadores genéticos e bioquímicos em *Hypostomus ancistroides* (Ihering, 1911) (Siluriformes, Loricariidae) em um rio urbanizado. 2021
Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, DG. *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement*. *Journal of Clinical Epidemiology*, v. 62, n. 10, p. 1006–1012, 2009.

Nascimento, WS; Yamamoto, ME; Chellappa, S. Proporção sexual e relação peso-comprimento do peixe anual *Hypsolebias antenori* (Cyprinodontiformes: Rivulidae) de poças temporárias da região semiárida do Brasil. *Biota Amazônia*, v. 1, p. 37-44, 2012.

Pauly, D. *Dinâmica populacional de peixes em águas tropicais: um manual para uso com calculadoras programáveis*. Manila: Iclarm Studies and Reviews, v. 8, 1984.

Peroni, N.; Hernández, I. Ecologia de populações e comunidades. Florianópolis: UFSC, 2011.

Petrakis, G.; Stergiou, KI. *Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters*. *Fisheries Research*, v. 21, n. 3-4, p. 465–469, 1995.

Ricker, WE. *Linear regressions in fishery research*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, v. 30, p. 409–434, 1973.

Rotta, M.; Yamamoto, K. C. Relação peso-comprimento de peixes de interesse ornamental da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé – Manaus, Amazonas - Brasil / *Length-weight relationship of ornamental fish interest in the Tupé Sustainable Development Reserve - Manaus, Amazonas – Brazil*. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 15085–15100.
<https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-230>

Ruitton, S.; Charbonnel, E.; Serre, C. Efeitos do aumento da complexidade do habitat em conjuntos de peixes associados a grandes unidades de recifes artificiais na costa francesa do Mediterrâneo. *Revista ICES de Ciências Marinhas*, v. 59 (Suplemento), 2002. Disponível em: <https://do.org/10.1006/jmsc.2002>.

Sampaio, IS; Melo, HP; Silva, RA; Freire, AN; Virgílio, LR. Relação peso-comprimento e fator de condição relativo em quatro espécies de Auchenipteridae (Siluriformes) da Amazônia brasileira. *REVISTA DELOS*, 17(62), e3274. <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n62-142>

Santos, Minnesota; Gaspar, MB; Vasconcelos, P.; Monteiro, CC. *Weight-length relationships for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal)*. *Fisheries Research*, v. 59, n. 1-2, p. 289-295, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(01\)00453-5](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(01)00453-5).

Santos, ALP. Ecologia alimentar e etnoecologia de pacus (*Serrasalminidae*) do rio Xingu após a implementação da usina hidrelétrica de Belo Monte, Pará, Brasil. 2019.

Santos, AFGN; Santos, LN; Araújo, FG; Santos, RN; Andrade, CC; Silva, PS; Alvarenga, RJ; Caetano, CB. Relação peso-comprimento e fator de condição do acará *Geophagus brasiliensis* no reservatório de Lajes, RJ. *Revista Universidade Rural, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Série Ciências da Vida*, v. 2, p. 115-121, 2002.

Scielo. Disponível em: <http://www.scielo.org>. Acesso em: 19 jul. 2023.

Silva Júnior, M. G. da; Castro, A. C. L. de; Soares, L. S.; França, V. L. Relação peso-comprimento de espécies de peixes do estuário do rio Paciência da Ilha do Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 2014, 20.

Tesch, FW. Idade e crescimento. Em: Ricker, WE (Ed.). *Métodos para avaliação da produção de peixes em águas doces*. Blackwell Scientific Publications, 1971. (Tradução — o original é em inglês, mas mantido como enviado)

Vazzoler, AEAM. Manual e métodos para estudo biológico de populações de peixes. Reprodução e crescimento. CNPq, 106 p., 1982.

Viechtbauer, W. *Conducting meta-analyses in R with the metafor package*. *Journal of Statistical Software*, v. 36, n. 3, p. 1-48, 2010. DOI: 10.18637/jss.v036.i03.

Weatherley, AH; Gill, HS. *The biology of fish growth*. London: Academic Press, 1987.

WEB OF SCIENCE. Disponível em: <https://www.webofscience.com>. Acesso em: 19 jul. 2023.

Webb, PW. *Form and function in fish swimming*. *Scientific American*, v. 251, n. 1, p. 72-82, 1984. DOI: 10.1038/scientificamerican0784-72.

Winemiller, KO. *Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions*. *Ecological Monographs*, v. 61, n. 4, p. 343-365, 1991. DOI: 10.2307/2937046.

Winemiller, KO; McIntyre, PB; Castello, L.; Fluet-Chouinard, E.; Giarrizzo, T.; Nam, S.; Baird, IG; Darwall, W.; Lujan, NK; Harrison, I.; Stiassny, MLJ; Silvano, RAM; Fitzgerald, DB; Pelicice, FM; Almeida-Val, VMF; Sullivan, JP; Arantes, CC; Sousa, LM; Koning, AA; Sáenz, L. *Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong*. *Science*, v. 351, n. 6269, p. 128-129, 2016. DOI: 10.1126/science.aac7082.

Wootton, RJ. *Ecology of teleost fishes*. 2nd ed. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 1998.

Wickham, H. *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-242-4

Wolf, DF. Estrutura populacional, tática reprodutiva e alocação de energia de peixes em ambientes amazônicos. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2013. Disponível em: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/11268/1/Dissertação_Daniela_De_Fex_Wolf.pdf.

Wootton, RJ. *Ecology of teleost fishes*. Chapman & Hall, 1990.

ANEXO 1

Criterios de Elegibilidade	Inclusão	Exclusão
1	Artigos científicos	Dissertações, teses, livros, editoriais, estudos de casos, entre outros formatos de textos
2	Estudos realizados no Brasil	Estudos realizados fora do Brasil
3	Coerência com o tema central do estudo	Assunto desapropriado ao tema central do estudo

Figura 4: Critérios de elegibilidade (inclusão e exclusão) para a seleção dos estudos da relação peso-comprimento para peixes no Brasil para análise.

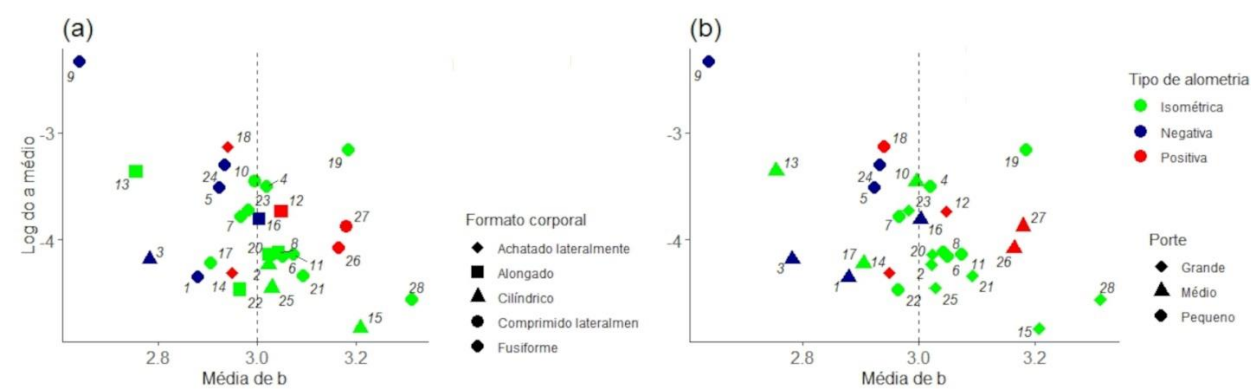


Figura 5: Média da tabela (a) e (b) mostram a relação entre o tamanho corporal (log de "a médio") e o coeficiente alométrico (média de "b") em diferentes espécies. No gráfico (a), os símbolos representam o formato corporal, enquanto as cores indicam o tipo de alometria (isométrica, negativa, positiva). No gráfico (b), os símbolos diferenciam o porte corporal das espécies (grande, médio, pequeno) associado ao tipo de alometria. Espécies representadas: 1. *Acestrorhynchus microlepis*, 2. *Ageneiosus inermis*, 3. *Ageneiosus ucayalensis*, 4. *Astyanax altiparanae*, 5. *Astyanax bifasciatus*, 6. *Astyanax bimaculatus*, 7. *Bryconops melanurus*, 8. *Cichlasoma orientale*, 9. *Corydoras paleatus*, 10. *Geophagus brasiliensis*, 11. *Hemiodus unimaculatus*, 12. *Hoplias malabaricus*, 13. *Hoplosternum littorale*, 14. *Hypostomus regani*, 15. *Iheringichthys labrosus*, 16. *Leporinus friderici*, 17. *Lycengraulis batesii*, 18. *Metynnis lippincottianus*, 19. *Piabina argentea*, 20. *Pimelodus maculatus*, 21. *Plagioscion squamosissimus*, 22. *Poecilia reticulata*, 23. *Prochilodus lineatus*, 24. *Psectrogaster amazonica*, 25. *Rhamdia quelen*, 26. *Serrasalmus eigenmanni*, 27. *Serrasalmus maculatus*, 28. *Serrasalmus rhombeus*.

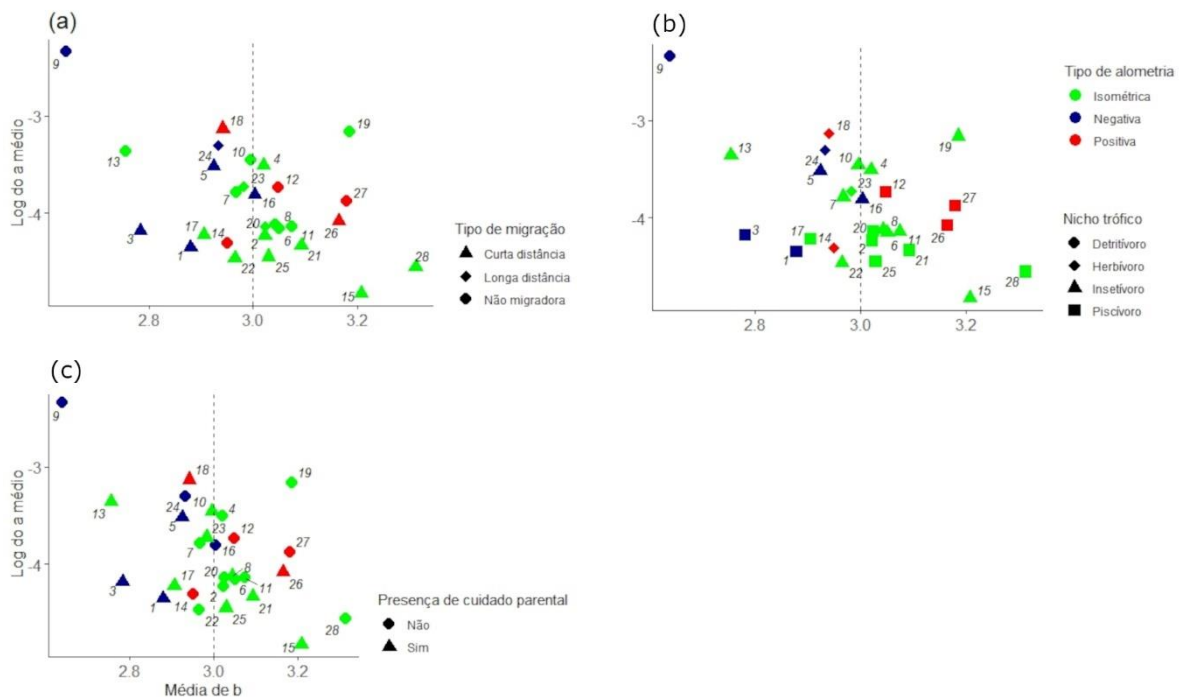


Figura 6: Média da tabela mostra a relação entre o log(a) e a média de b para diferentes espécies de peixes, dividida em quatro subgráficos (a, b e c) com base em diferentes características ecológicas e comportamentais. (a) Classificação das espécies pelo tipo de migrador (curta distância, grande distância, ou não migradora). (b) Classificação das espécies de acordo com a cadeia trófica (detritívoro, herbívoro, insetívoro e piscívoro) e (c) presença ou ausência de cuidado parental. A linha tracejada vertical indica $b = 3,0$, representando o ponto de crescimento isométrico. Espécies representadas: 1. *Acestrorhynchus microlepis*, 2. *Ageneiosus inermis*, 3. *Ageneiosus ucayalensis*, 4. *Astyanax altiparanae*, 5. *Astyanax bifasciatus*, 6. *Astyanax bimaculatus*, 7. *Bryconops melanurus*, 8. *Cichlasoma orientale*, 9. *Corydoras paleatus*, 10. *Geophagus brasiliensis*, 11. *Hemiodus unimaculatus*, 12. *Hoplias malabaricus*, 13. *Hoplosternum littorale*, 14. *Hypostomus regani*, 15. *Iheringichthys labrosus*, 16. *Leporinus friderici*, 17. *Lycengraulis batesii*, 18. *Metynnis lippincottianus*, 19. *Piabina argentea*, 20. *Pimelodus maculatus*, 21. *Plagioscion squamosissimus*, 22. *Poecilia reticulata*, 23. *Prochilodus lineatus*, 24. *Psectrogaster amazonica*, 25. *Rhamdia quelen*, 26. *Serrasalmus eigenmanni*, 27. *Serrasalmus maculatus*, 28. *Serrasalmus rhombeus*.

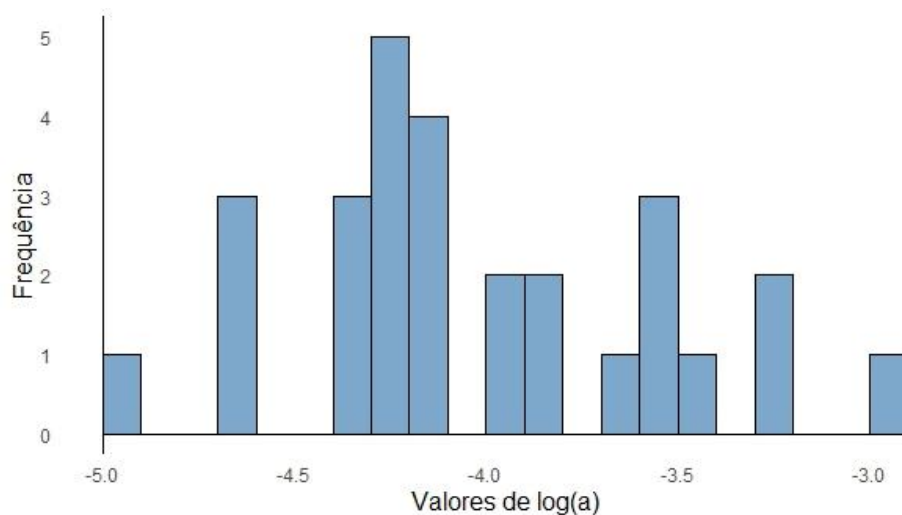


Figura 7: Distribuição de frequência dos valores de log(a) para 28 espécies de peixes. Os valores de log(a) variam entre -5,0 e -3,0, com maior concentração entre -4,5 e -3,5. O pico de frequência ocorre em torno de -4,0.