



Beatriz da Cruz Oliveira

Mudanças nas linhas de base do Antropoceno:
os peixes do Alto Rio Paraná diminuíram de tamanho ao longo do
tempo?

Beatriz da Cruz Oliveira

Mudanças nas linhas de base do Antropoceno:
os peixes do Alto Rio Paraná diminuíram de tamanho ao longo do
tempo?

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES – Proc. 88887.486237/2020-00

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lilian Casatti

São José do Rio Preto

2022

O48m

Oliveira, Beatriz da Cruz

Mudanças nas linhas de base do Antropoceno : os peixes do Alto Rio Paraná estão diminuindo de tamanho ao longo do tempo? / Beatriz da Cruz Oliveira. -- São José do Rio Preto, 2022

71 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lilian Casatti

1. Mudanças nas linhas de base. 2. Ictiofauna. 3. Sobrepesca. 4. Coleções Científicas. 5. Modelos mistos aditivos generalizados. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Beatriz da Cruz Oliveira

Mudanças nas linhas de base do Antropoceno:
os peixes do Alto Rio Paraná diminuíram de tamanho ao longo do
tempo?

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES – Proc. 88887.486237/2020-00

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Lilian Casatti
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Carla Natacha Marcolino Polaz
ICMBio - Pirassununga

Prof^a. Dr^a. Jaqueline de Oliveira Zeni
Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, Passos

São José do Rio Preto
26 de julho de 2022

A todos que me ajudaram nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, *Prof^a. Dr^a. Lilian Casatti*, a pessoa que me encorajou a fazer pós-graduação, que ouviu todas as minhas dúvidas e me auxiliou com muita dedicação e paciência durante todo o mestrado. Obrigada por suas ideias inteligentes e atenciosas e por me pressionar a ser uma pesquisadora melhor. Me sinto sempre animada para trabalhar e aprender com você, e nem consigo começar a lhe dizer o quanto sou grata por tudo.

As integrantes da minha banca de qualificação e defesa, *Prof^a. Dr^a. Carla Natacha Marcolino Polaz* e *Prof^a. Dr^a. Jaqueline de Oliveira Zeni*. Nem se eu tentasse, poderia ter escolhido pessoas melhores! Obrigada pela sabedoria e gentileza de vocês.

A *Roselene Ferreira* e *Nathalia Rodrigues* por terem sido minha força tarefa na coleção de peixes. Acho que se existe uma cota de levantamento de pesos para uma vida, vocês definitivamente a atingiram me ajudando pegar e guardar todos os lotes usados nessa pesquisa. Obrigada pelo tanto que vocês me ajudaram.

A *Bianca Barbosa* pelas horas dedicadas em me ajudar a medir e pesar os peixes da coleção. Obrigada por deixar a tarefa muito mais divertida e por todos os finais de semana que você não se importou em perder comigo no laboratório.

Ao *Eduardo Santos* por toda a ajuda com as análises estatísticas desse trabalho. Nunca imaginei que poderia aprender verdadeiramente a linguagem R, mas graças a você eu consegui.

Aos novos e antigos integrantes do Laboratório de Ictiologia, especialmente ao *Gabriel Brejão*, *Guilherme Henrique da Silva*, *Laís Caldas* e *Wellington Frisoni* que sempre estavam presentes de alguma forma e dispostos a ajudar no que fosse.

A todos os professores que estiveram presente durante minha formação no mestrado: *Francisco Langeani*, *Maria Stela Maioli Castilho Noll*, *Fernando Carvalho*, *Monica Abrantes Galindo de Oliveira*, *Eliane Gonçalves de Freitas*, *Denise de Cerqueira Rossa Feres*, *Milton Cezar Ribeiro*, *Carlos Alfredo Joly* e *Gabriela Castellano*. Obrigada por todo conhecimento que vocês me deram. Cada um deles foram essenciais no meu crescimento pessoal e na minha trajetória até aqui.

Sou imensamente grata por estar cercada de pessoas na vida pessoal que caminharam comigo, mesmo em um momento tão conturbado para o mundo todo. Agradeço do fundo do

meu coração aos meus pais, *Elenir* e *Walter*, e a toda minha família por sempre ficarem ao meu lado, comemorando nos momentos bons e ajudando nos ruins. Obrigada pelo apoio incansável e desmedido todos vocês. Um agradecimento especial também ao *Rafael*, que esteve ao meu lado enquanto eu escrevia essa dissertação, que lia sempre que eu pedia e corrigiu todos os meus erros de matemática. Obrigada por ter estado durante meus melhores e piores momentos. Foi uma loucura eu sei, por isso te agradeço por não fugido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* - Código de Financiamento 001, à qual agradeço a concessão da bolsa de pesquisa, sob o processo nº 88887.486237/2020-00.

Por fim, um enorme agradecimento ao *Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade* do IBILCE/Unesp. Obrigada pela oportunidade e por todo amparo!

“Tudo o que você toca

Você muda.

Tudo o que você muda

Muda você.

A única verdade perene

É a mudança.”

Octavia E. Butler (2018, p. 6)

RESUMO

Os ambientes de águas doce vêm experimentando, ao longo dos anos, um colapso ecossistêmico, devido as diferentes pressões antrópicas. Em consequência, muitas espécies importantes têm sido extintas ou sofrido com diferentes níveis de alterações estruturais, como por exemplo, a diminuição do tamanho corpóreo ao longo do tempo. Essas mudanças nas linhas de base podem causar alterações nas histórias de vida, reestruturar as cadeias tróficas e comprometer diversas contribuições da natureza para as pessoas. Assim, identificar sua ocorrência no Antropoceno é de extrema importância para delimitar os impactos das atividades humanas e planejar medidas de conservação adequadas. Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi investigar se houve alterações no tamanho do corpo em peixes nativos da bacia do Alto Rio Paraná nos últimos 70 anos. Para isso, foram obtidos o comprimento padrão e peso (variáveis respostas) de indivíduos de dez espécies com diferentes pressões de pesca (alta ou baixa) e de diferentes níveis tróficos (carnívoros, onívoros e detritívoros) depositadas em coleções biológicas. Desenvolvemos modelos mistos aditivos generalizados (GAMMs) e modelos aditivos generalizados (GAMs) para identificar se os tipos de ambiente contribuíam para explicar as diferenças nas variáveis respostas em função do tempo tanto para peixes adultos, quanto juvenis. Nossos resultados demonstraram uma tendência na diminuição no tamanho do corpo para *Acestrorhynchus lacustris*, *Salminus hilarii* e *Callichthys callichthys*, aumentos para *Hoplias malabaricus* e situações variáveis de acordo com o tipo de ambiente e fase do desenvolvimento para *Leporinus friderici* e *Prochilodus lineatus*. Considerando a importância dos peixes de água doce na pesca e na manutenção das cadeias tróficas aquáticas e terrestres, é imprescindível aplicar esforços para monitorar e proteger essa biodiversidade, bem como desenvolver formas de regulação que sustentem a reprodução, recrutamento e crescimento das espécies de peixes nativas.

Palavras-chave: Mudanças nas linhas de base. Ictiofauna. Sobrepesca. Coleções científicas.

ABSTRACT

Over the years, freshwater environments have been experiencing an ecosystem collapse due to different anthropic pressures. As a result, many important species have gone extinct or have undergone different levels of structural changes, such as a decrease in body size over time. These shifts in baselines can cause changes in life histories, restructure food webs, and compromise many of nature's contributions to people. Thus, identifying its occurrence in the Anthropocene is extremely important to delimit the impacts of human activities and plan appropriate conservation measures. In this context, the general objective of this research was to investigate whether there were changes in body size in native fishes from the Upper Paraná River basin in the last 70 years. To this end, the standard length and weight (response variables) of individuals from ten species with different fishing pressures (high or low) and trophic levels (carnivores, omnivores and detritivores) deposited in biological collections were obtained. We developed generalized additive mixed models (GAMMs) and generalized additive models (GAMs) to identify whether the types of environments contributed to explain the differences in response variables as a function of time for both adult and juvenile fishes. Our results showed a trend towards a decrease in body size for *Acestrorhynchus lacustris*, *Salminus hilarii* and *Callichthys callichthys*, an increase for *Hoplias malabaricus*, and variable situations according to the type of environment and stage of development for *Leporinus friderici* and *Prochilodus lineatus*. Considering the importance of freshwater fishes in fishing and in the maintenance of aquatic and terrestrial trophic webs, it is essential to apply efforts to monitor and protect this biodiversity, as well as to develop forms of regulation that support the reproduction, recruitment, and growth of native fish species.

Keywords: Shifting baselines. Ichthyofauna. Overfishing. Scientific collections.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Bacia do Alto Rio Paraná (vermelho) e bacias vizinhas do Paraguai e Baixo Paraná (azul), Araguaia/Tocantins (verde), São Francisco (amarelo) e rios costeiros (preto).	222
Figura 2. Etapas da construção da usina hidrelétrica de Itaipu.	233
Figura 3. Espécies-alvo.	264
Figura 4. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de <i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875).	322
Figura 5. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de <i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758).	333
Figura 6. Modelo GAM do comprimento padrão (cm) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos adultos de indivíduos adultos de <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824).	34
Figura 7. Modelo GAM do peso (g) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos adultos de <i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794).	34
Figura 8. Modelos GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) de ambientes grandes para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875).	35
Figura 9. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	36
Figura 10. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	37
Figura 11. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	38
Figura 12. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	39
Figura 13. Modelos GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) de ambientes grandes para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850.	40
Figura 14. Modelo GAMM do peso (g) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824).	40
Figura 15. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de médio a grande porte que sofrem com alta pressão de pesca.	42
Figura 16. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de médio a grande porte que sofrem com baixa pressão de pesca.	43
Figura 17. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos carnívoros adultos de médio a grande porte.	43
Figura 18. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de pequeno porte que sofrem com baixa pressão de pesca.	44

Figura 19. Modelo GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos carnívoros adultos de pequeno porte.	45
Figura 20. Pescaria de pintado, dourado e curimba no Rio Piracicaba com vara de bambu em 1960.	47
Figura 21. Modelo sustentável de pesca proposto por Rainer Froese ¹⁰³ , onde Lm indica o comprimento da primeira maturação, Lopt indica a faixa de comprimento onde os peixes podem ser capturados e o rendimento máximo de pesca pode ser obtido, e Lmax é o tamanho máximo alcançado durante a vida do peixe.	52
Figura 22. Histograma geral do comprimento padrão (cm), inclui todos os exemplares medidos de cada espécie.	62
Figura 23. Histograma geral do peso(g), inclui todos os exemplares medidos de cada espécie.	63
Figura 24. Quantidade de indivíduos presente por ano das espécies com evidência estatística na coleção DZSJRP.	64
Figura 25. Modelos GAMMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875).	65
Figura 26. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de <i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794).	65
Figura 27. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de <i>Astyanax lacustris</i> (Lütken, 1875).	66
Figura 28. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de <i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794).	67
Figura 29. Modelos GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836).	67
Figura 30. Modelo GAMMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850.	68
Figura 31. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de <i>Pimelodus maculatus</i> (Valenciennes, 1836).	68
Figura 32. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de <i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758).	69
Figura 33. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de <i>Rineloricaria latirostris</i> (Boulenger 1900).	70
Figura 34. Modelo GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nome científico das espécies-alvo, nome popular, guilda trófica e pressão pesqueira.....	24
Tabela 2. Comprimento padrão mínimo (cm) adotado para cada espécie nas análises estatísticas dos indivíduos adultos para cada tipo de conjuntos de dados utilizados na pesquisa: dados com ambos os tipos de ambientes (ambientes grandes e pequenos), dados apenas com ambientes grandes e apenas com ambientes pequenos. ..	28
Tabela 3. Comprimento padrão (cm) e peso (g) dos exemplares de 10 espécies presentes na coleção DZSJRP.	30
Tabela 4. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de peixes adultos	31
Tabela 5. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de peixes juvenis.	35
Tabela 6. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de indivíduos adultos de pequeno e médio a grande porte.	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Mudanças nas linhas de base do Antropoceno	15
1.2. Peixes de água doce.....	17
1.3. Implicações ecológicas do tamanho do corpo	18
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Bacia do Alto Rio Paraná	21
3.2. Base de dados	23
3.3. Espécies-alvo.....	24
3.4. Obtenção das variáveis	26
3.5. Determinação dos tamanhos mínimos	27
3.6. Análise dos dados	29
4. RESULTADOS.....	30
4.1. Exemplares medidos	30
4.2. Mudança temporal no comprimento padrão e peso de peixes adultos	30
4.3. Mudança temporal no comprimento e peso de peixes juvenis	34
4.4. Mudança temporal no comprimento e peso de indivíduos adultos de pequeno e médio a grande porte	41
5. DISCUSSÃO.....	45
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE I – HISTOGRAMAS GERAIS	62
APÊNDICE II – QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS POR ANO.....	64
APÊNDICE III – MODELOS SEM EVIDÊNCIA ESTATÍSTICA.....	65

1. INTRODUÇÃO

1.1. Mudanças nas linhas de base do Antropoceno

Em 2000, Crutzen & Stoermer chamaram a atenção para o papel central das atividades antrópicas em todas as escalas ecológicas e para o fato de que elas continuarão a agir ainda por muito tempo. Pensando nisso, eles propuseram o termo “Antropoceno” para se referir ao começo de uma nova era geológica, durante a qual os seres humanos são responsáveis por causar mudanças globais generalizadas ¹.

Desde sua sugestão, os órgãos especializados passaram por intensas discussões sobre a validade do termo ² e, vinte anos depois, a palavra Antropoceno permanece sendo usada apenas de maneira informal. Mas, do ponto de vista ambiental, a intensidade, amplitude e variedade dos impactos humanos deixam poucas dúvidas de que estamos em um período de tempo distinto³. Muitos parâmetros ambientais importantes estão fora de seus limites característicos do Holoceno, a atual era geológica até então aceita ^{3,4}. E, apesar das controvérsias que o termo gerou e vem gerando no âmbito científico, seu conceito básico é reconhecer que agora os seres humanos são uma força tão importante, se não mais transformadora, em escala global, do que as forças naturais ³.

O pensamento de que talvez a humanidade esteja vivendo em uma era geológica diferente, deu origem ao conceito de “limites planetários”, além dos quais não é seguro ultrapassar ³. Isso porque o estado Holoceno do sistema terrestre é a única condição conhecida até o presente que suporta a civilização humana e os limites planetários servem como uma tentativa de definir um espaço operacional seguro para a manutenção da vida humana na Terra ⁵. Inicialmente, nove fronteiras foram descritas: mudanças climáticas, acidificação dos oceanos, ozônio estratosférico, ciclo biogeoquímico do N, ciclo do fósforo, poluição, carregamento de aerossóis atmosféricos, uso global de água doce e taxa de perda de biodiversidade ⁶. As quantificações foram apenas primeiras tentativas aproximadas e posteriormente novas variáveis e cálculos mais robustos foram surgindo ⁶. Entretanto, alguns limites, como a perda de biodiversidade, foram considerados já extrapolados ^{3,5,6}.

Independentemente de ser uma fronteira atingida ou não, a biodiversidade vem diminuindo de tal maneira que alguns autores argumentam que estamos testemunhando a sexta extinção em massa ⁷. Taxas elevadas de extinções e enormes declínios populacionais

viraram uma realidade comum e, seja qual for o nome da era ou evento geológico, a biodiversidade está mudando a uma taxa muito maior do que seria esperada na ausência das influências antropogênicas ³. Um dos maiores desafios para a conservação atualmente é a dificuldade de compreender a taxa, magnitude e extensão das alterações que os seres humanos vêm causando ao longo da história ⁸. Como a degradação e a superexploração vem ocorrendo há muitas décadas antes das primeiras avaliações quantitativas da biodiversidade, só se pode imaginar como eram os números antes disso ⁹.

Diante desse problema, Daniel Pauly ¹⁰ chamou a atenção para o perigo da síndrome de mudanças de linha de base (*"Shifting Baseline Syndrome"*, da sigla SBS), onde a sociedade como um todo pode estar aceitando como "natural" as condições de um passado imediato, sem considerar eventos de épocas mais distantes. Em outras palavras, populações de espécies que eram abundantes séculos atrás podem ter diminuído drasticamente desde então, mas a maioria das pessoas viventes hoje, assume erroneamente que a situação apenas dos últimos anos representa a verdadeira situação da espécie, a verdadeira linha de base ou de referência ¹¹. Quando as condições do ambiente natural se degradam gradualmente ao longo do tempo, as pessoas percebem falsamente menos mudanças ou nenhuma, pois desconhecem ou não se lembram com precisão como eram os ambientes no passado e ao longo das gerações ⁸. Na pesquisa e na prática, o movimento contínuo das linhas de base pode significar que as condições degradadas e não sustentáveis tendem a ser aceitas como metas de gestão ¹².

Devido à ausência de experiência, memória e/ou conhecimento do estado passado do ambiente natural, a percepção do que é "natural" muda ⁹. E, com a contínua deterioração em escalas globais, regionais e locais, isso implica que os padrões ambientais básicos continuarão a diminuir, constituindo uma barreira para a conservação e restauração do meio ambiente ⁸. Portanto, nunca foi tão reforçada a necessidade de se manter registros históricos a longo prazo sobre os sistemas biológicos ¹³. Mudanças ambientais e evolutivas estão acontecendo em poucos anos em rápidas proporções ¹⁴ e a espécie humana é a única capaz de tomar decisões visando o aperfeiçoamento nas áreas de conservação e educação ambiental ³.

Em tempos de rápidas mudanças ambientais, discernir que o mundo mudou e que, portanto, a pesquisa e a prática devem se adaptar as novas realidades é o primeiro passo para desenvolver estratégias que levem à sustentabilidade dos ecossistemas contra os estresses induzidos pelo homem ^{1,3}.

1.2. Peixes de água doce

Os corpos d'água doce correspondem a menos de 1% da superfície do planeta ¹⁵; mas é nessa pequena parcela de água que vivem quase 18.000 espécies de peixes ^{15, 16}. Estimativas ainda indicam que cerca de 8.000 a 9.000 de todas essas espécies ocorram somente em águas continentais sul-americanas ¹⁷. No Brasil, essa grande riqueza de peixes está concentrada, principalmente, nas bacias Amazônica e do Paraná ^{17,18}. Juntos, esses dois sistemas fluviais abrigam um alto valor de biodiversidade e endemismo por unidade de área, com diversos estudos sugerindo uma tendência crescente para novas descobertas taxonômicas de peixes¹⁸.

No entanto, dados recentes indicam que as espécies de peixes de água doce do país estão sob forte pressão pesqueira e sofrendo com intensas alterações do meio físico ^{19, 20}, sendo que 30% delas já se encontram ameaçadas de extinção ²¹. Segundo Dudgeon et al. ²², a sobre-exploração, ou seja, extração desses animais para o uso humano a níveis insustentáveis, constitui-se uma das cinco maiores ameaças para a biodiversidade de peixes continentais, juntamente com a modificação de fluxo, destruição ou degradação do habitat, poluição da água e invasões por espécies exóticas. Pesquisas indicam ainda que a pesca intensiva está colapsando as populações de peixes de maneira irreversível, até mesmo aquelas antes abundantes, uma vez que tais atividades prejudicam a capacidade de renovação e a saúde dos ecossistemas, colocando em risco a segurança humana e ambiental ^{22, 23}.

Além disso, os ambientes de água doce e suas formas de vida apresentam, muitas vezes, limitações para suportar e superar as pressões antrópicas ²⁴. Em virtude disso, esses organismos estão sujeitos a uma intensa seleção, que pode acarretar na chamada “pesca na cadeia alimentar”, isto é, a remoção de indivíduos maiores, normalmente predadores e dominantes, e sua substituição por espécies menores, de níveis tróficos inferiores ²⁴. Além dessa eliminação sucessiva de espécies-chave para as funções ecossistêmicas, essa seleção pode levar também a alterações de características funcionais, como a diminuição do tamanho médio e o peso corpóreo das espécies ^{9, 24}. Ngor et al. ²⁶ analisaram 116 espécies de peixes do rio *Tonle Sap*, Camboja, e perceberam que várias espécies comuns tiveram uma diminuição nos tamanhos e pesos individuais e que a maioria das capturas decaíram ao longo do tempo, principalmente as das espécies de médio e grande porte, que tendem a ocupar níveis tróficos superiores ²⁶. Estudos ainda mostram que a diminuição corpórea de peixes ao longo das últimas cinco décadas levou a uma redução de até 35% na biomassa das espécies afetadas ²⁷.

Esses dados merecem atenção porque a sua ocorrência na natureza muitas vezes promove o relaxamento do controle de cima para baixo (*top-down*) dentro das redes tróficas²⁸. Isso pode levar a desequilíbrios no ecossistema, uma vez que resultam em alterações no desempenho de funções críticas realizadas pelas espécies acometidas.

Além disso, também é possível que atualmente a população observe e aceite como natural tamanhos e pesos corpóreos menores dos que os registrados no passado. Essa síndrome de mudanças nas linhas de base nem sempre tem sido detectada, mas é comumente observada quando se investiga as lembranças das pessoas de diferentes gerações (e.g. ^{29, 30, 31}). O problema é que a maior parte desses estudos analisam essas questões apenas para os ecossistemas marinhos. Embora alguns autores defendam também a ocorrência de mudanças de linhas de base em águas doces, são raros os estudos feitos na área. Isso é extremamente preocupante para os esforços de conservação, pois condições degradadas de muitas maneiras diferentes e muitas vezes por séculos podem estar sendo usadas como metas de gestão ⁹.

Os ambientes de águas doce, bem como as espécies que os compõem, são uma das biodiversidades mais impactadas atualmente ¹⁵ e cada vez mais as chances de resiliência desses ecossistemas estão diminuindo e a homogeneização, que resulta em uma diversidade simplificada, está aumentando ^{32, 33}. Ainda que a sucessão biológica ocorra, muitas vezes é acompanhada da perda de inúmeras contribuições da natureza para as pessoas (*"Nature's Contributions to People"*, da sigla NCP) importantes e insubstituíveis, sem os quais o ser humano enfrentaria muitas dificuldades para sobreviver ^{12,32}. E para conservá-los serão necessário dados históricos de referência, bem como o reconhecimento da população em geral da necessidade de conservá-los.

1.3. Implicações ecológicas do tamanho do corpo

Umas das principais formas de classificar ou avaliar um objeto, é medindo seu tamanho. O mesmo é verdade para os indivíduos de uma comunidade. O tamanho do corpo está fortemente correlacionado com a maioria dos parâmetros de história de vida das espécies e é relativamente fácil de medir de maneira confiável, quando comparado com outras medidas ³⁴. Além disso, é um dos melhores preditores de variações ecológicas e um substituto conveniente para variáveis consideradas a causa de muitos padrões ecológicos e evolutivos, mas extremamente difíceis de estimar ³⁴. Como Nee & Lawton ³⁵ observaram,

ecologistas medem o tamanho do corpo, pelo mesmo motivo que os jornalistas relatam a idade das pessoas: “nenhum número é tão informativo e facilmente medido”.

Existem várias formas de quantificar o tamanho do corpo, com cada uma refletindo um aspecto diferente do organismo ³⁴. A melhor maneira, dependerá do grupo que se pretende estudar e dos objetivos para a qual a estimativa é exigida. Para os peixes, as mais comuns são massa corporal, profundidade do corpo e comprimento padrão ou total. Normalmente, o comprimento padrão (CP) é preferível em relação ao comprimento total (CT), porque evita mensurar estruturas frágeis que talvez estejam danificadas, como a nadadeira caudal. Mas, a maioria dos pesquisadores optam por medir massa corporal, por serem universalmente comparáveis entre todas as espécies, de vírus até mamíferos ³⁴.

Apesar de geralmente as pesquisas escolherem apenas uma das formas possíveis de quantificar o tamanho do corpo, algumas delas possuem relações entre si, como as existentes entre o comprimento do corpo e o peso. As relações comprimento-peso (“*Length-Weight Relationships*”, da sigla LWR) são estudadas desde o início do século XX para verificar a condição, fitness e bem-estar das assembleias de peixes ³⁶. Isso porque, quando calculado corretamente, o parâmetro LWR se torna uma boa ferramenta para determinar aspectos sobre o ciclo de vida, condições de alimentações e também para analisar e comparar o crescimento dos peixes entre as regiões de estudo ou manejo ³⁷.

Independente da grandeza física adotada, o tamanho do corpo é inegavelmente um fator importante e provavelmente o atributo mais estudado na literatura ³⁴. Blueweiss et al. ³⁸, por exemplo, encontraram boas relações entre o peso individual e total da prole e o peso materno em todos os grupos estudados. Em peixes, a fecundidade e a quantidade de filhotes gerados também aumentaram com o tamanho do adulto ³⁸. Em outro estudo, Berkeley et al. ³⁹ constataram que fêmeas mais velhas (e, normalmente, maiores) contribuíam mais para a reprodução das espécies do que as menores e que as suas proles possuíam taxas de sobrevivência maiores sob condições ambientais adversas. Um aumento na quantidade e qualidade dos ovos produzidos por peixes mais velhos ou maiores também é relatado em uma variedade de pesquisas ⁴⁰.

O crescimento e o desenvolvimento igualmente se relacionam com o tamanho do corpo. O comprimento e a idade são os principais determinantes do início da maturação sexual em peixes, por exemplo. Tais relações deram origem a parâmetros importantes para o manejo da pesca, como os valores de L50, ou seja, o comprimento médio com o qual 50% dos

indivíduos de uma determinada espécie estão aptos a se reproduzirem ⁴¹. Atualmente esse é o principal valor adotado como tamanho mínimo de captura nas políticas de controle da pesca no Brasil ⁴². Entretanto, o tamanho do corpo é um atributo que varia no espaço e no tempo devido tanto a processos ecológicos, quanto evolutivos ⁴³. Assim, características ambientais que aumentam as taxas de crescimento, como maior disponibilidade de alimentos, aceleram a maturação dos peixes, antecipando a idade de maturação, mas sem variar significativamente o comprimento ⁴¹. Por outro lado, intensas atividades antrópicas, como a sobrepesca, podem causar uma seleção “não-natural” nas assembleias de peixes, resultando em idades e comprimentos de maturação menores ⁴⁴.

Diversas outras ações humanas podem resultar em alterações no tamanho do corpo, tais como o aumento da temperatura ambiental que promove o aquecimento das águas continentais ⁴³. Cada espécie de peixe possui um intervalo térmico ótimo, no qual os indivíduos conseguem sobreviver sem que a fisiologia e o metabolismo sejam afetados. No entanto, quando o aumento das temperaturas excede o intervalo ótimo, isso pode aumentar o metabolismo dos grupos afetados e reduzir, assim, suas taxas de crescimento, caso não consigam ingerir uma quantidade maior de alimento ^{43, 45}. A continua redução das taxas de crescimento, sem a realocação adequada de recursos calóricos, pode resultar em tamanhos de referências menores para as espécies ⁴³.

Os padrões de variação do tamanho do corpo também estão correlacionados com o uso do habitat. Espécies de habitats grandes ou abertos, como pastagens e grandes canais fluviais, tendem a ser maiores do que as espécies de habitats menores, porém estruturalmente mais complexos, como riachos ³⁴. Esse padrão pode ser observado através dos valores de L50: normalmente, peixes de ambientes pequenos (córregos e riachos) possuem valores de L50 menores do que peixes de ambientes grandes (reservatórios e rios) ⁴¹. Vale lembrar, que os ambientes pequenos também são mais vulneráveis em termos de impactos do que os ambientes grandes, que são mais estáveis. E isso se reflete nas espécies que habitam esses locais. Logo, é provável que espécies de corpo naturalmente pequeno que habitam ambientes mais complexos sejam mais vulneráveis as mudanças ecológicas e evolutivas que tendem a diminuir o tamanho do corpo ao longo do tempo ⁴⁶.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar se dez espécies de peixes nativas da bacia do Alto Rio Paraná, que ocupam diferentes níveis tróficos (carnívoros, onívoros e detritívoros) e sofrem com diferentes pressões de pesca (alta ou baixa), apresentaram decréscimos no comprimento padrão e peso corpóreo entre os anos de 1950 e 2019.

A ausência de alteração no comprimento padrão e peso ao longo do tempo foi a hipótese nula testada no presente trabalho. Em contrapartida, os resultados esperados era uma tendência de redução nas dimensões corporais apuradas para as espécies-alvo que sofrem com alta pressão de pesca e ocupam níveis tróficos superiores, fundamentando assim, os relatos de SBS e, também, fornecendo resultados de extrema importância para identificar linhas de base apropriadas, delimitar impactos sobre o ecossistema e propor métodos de manejo ambiental adequados a fim de auxiliar tomadores de decisão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Bacia do Alto Rio Paraná

A bacia do Alto Rio Paraná (Figura 1) abrange os estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal ⁴⁷. Ocupa o terço superior da bacia do rio Paraná, uma região de aproximadamente 900.000 km², a montante do antigo salto de Sete Quedas (agora inundado pelo Reservatório de Itaipu) ¹⁸. É composto por diversos biótopos, como lagos, rios, córregos e lagoas. Suas drenagens atravessam vários domínios morfoclimáticos, como por exemplo, a Mata Atlântica, Florestas Estacionais Semidecíduais, Cerrados, Florestas Ombrófilas Mistas, Campos Rupestres e Matas de Galeria, sendo, portanto, componente de um mosaico de paisagens, biodiversidade, interação social e conservação ambiental ^{18, 48}.

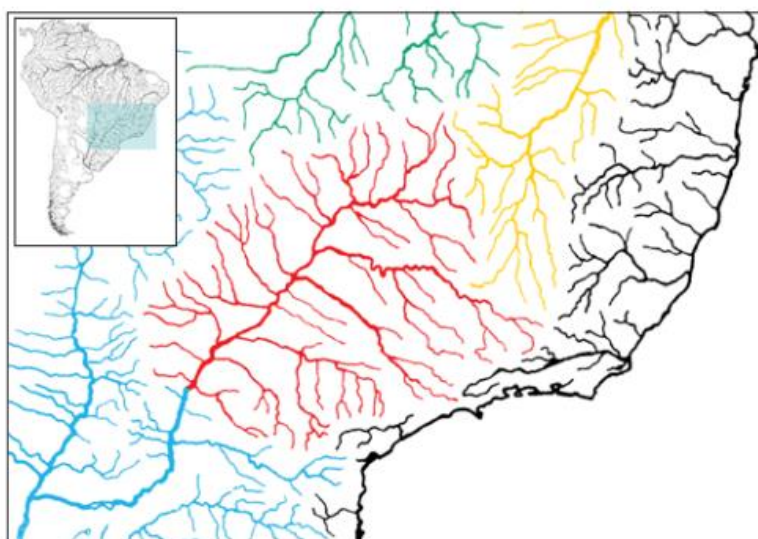


Figura 1. Bacia do Alto Rio Paraná (vermelho) e bacias vizinhas do Paraguai e Baixo Paraná (azul), Araguaia/Tocantins (verde), São Francisco (amarelo) e rios costeiros (preto). (Fonte: Langeani et al. ¹⁸).

A região compreendida pela bacia do Alto Rio Paraná possui ainda um antigo histórico de ocupação que inclui a formação de grandes aglomerados populacionais ao longo dos últimos séculos, como São Paulo, Campo Grande, Goiânia e o Distrito Federal ⁴⁹. Atualmente se tornou umas das bacias mais urbanizadas em comparação com as demais ⁴⁹ e foi vítima de uma rápida destruição das florestas nativas, devido ao uso das terras para o cultivo agrícola e para a pecuária ⁵⁰. Sinergicamente, os recursos hídricos e seus componentes também foram intensamente explorados para irrigação dos campos, transporte (hidrovias), pesca e, mais recentemente, para a construção de barragens ⁵¹ (Figura 2). Isso mostra que a bacia do Alto Rio Paraná vem sofrendo há muito tempo com pressões antrópicas que tem alterado seus ambientes e a composição das espécies ^{49, 51}. Nesse sentido, a bacia e as suas espécies de peixes representam uma boa oportunidade para estudar possíveis variações no tamanho médio e peso corpóreo ao longo dos anos.



Figura 2. Etapas da construção da usina hidrelétrica de Itaipu. (Fonte: JIE ⁵²)

3.2. Base de dados

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foi necessário obter o comprimento padrão e peso dos peixes registrados ao longo do tempo. Tais dados foram obtidos de exemplares depositados em coleções biológicas, uma vez que esses locais são verdadeiros bancos de dados sobre a biodiversidade, contendo espécimes coletados e estudados no passado e no presente, oferecendo assim uma excelente oportunidade para se atingir as metas deste trabalho. A coleção analisada foi a DZSJRP (Departamento de Ciências Biológicas, UNESP, campus São José do Rio Preto), criada oficialmente em 1988 pelo Prof^o. Dr^o Francisco Langeani Neto. No entanto, antes disso alguns professores do campus já realizavam coletas científicas e os lotes preservados foram incorporados à coleção após a sua criação. O exemplar mais antigo é um *Synbranchus* de 1950 coletado pelo professor Grigor Dartanhan ⁵³. Hoje a coleção abriga cerca de 22.877 lotes de espécimes conservados em álcool, para estudos morfológicos e moleculares ⁵³ e atende à pesquisadores do mundo todo. Os seus exemplares são provenientes principalmente do Alto Rio Paraná, nas sub-bacias dos rios Grande, Paraná, Paranaíba, Paranapanema e Tietê, além de incluir tipos primários (17 holótipos) e secundários (121 lotes de parátipos) ⁵³.

3.3. Espécies-alvo

Segundo Langeani et al. ¹⁸, na bacia do Alto Rio Paraná existem cerca de 310 espécies de peixes, distribuídas em 11 ordens e 38 famílias, sendo as ordens Siluriformes e Characiformes as com maiores riquezas. Diante dessa diversidade, foram adotados os seguintes critérios para elegibilidade das espécies-alvo:

- 1) Ser espécie autóctone na bacia do Alto Rio Paraná;
- 2) Ter boa disponibilidade de exemplares nas coleções alvo do projeto, com boa distribuição temporal entre 1950 e 2019;
- 3) Representar guildas tróficas distintas (carnívoros, onívoros e detritívoros) e que sofram diferentes pressões em termos de pesca (alta e baixa).

Em vista disso, foram selecionadas dez espécies: *Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875), *Astyanax lacustris* (Lütken 1875), *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), *Leporinus friderici* (Bloch, 1794), *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836), *Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758), *Pimelodus maculatus* La Cepède, 1803, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) e *Rineloricaria latirostris* (Boulenger, 1900) (Tabela 1).

Tabela 1. Nome científico das espécies-alvo, nome popular, guilda trófica e pressão pesqueira.

Ordem/Espécie	Nome popular	Guilda trófica	Pressão pesqueira
Characiformes:			
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	Peixe-cachorra	Carnívora	Baixa
<i>Astyanax lacustris</i> (Lütken 1875)	Lambari-do-rabo-amarelo	Onívora	Baixa
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	Traíra	Carnívora	Baixa
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	Piau-três-pintas	Onívora	Alta
<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	Curimba	Detritívora	Alta
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850	Tabarana	Carnívora	Alta
Siluriformes:			
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	Tamboatá	Onívora	Baixa
<i>Pimelodus maculatus</i> La Cepède, 1803	Mandi	Carnívora	Alta
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Jundiá	Carnívora	Baixa
<i>Rineloricaria latirostris</i> (Boulenger 1900)	Cascudo-chinelo	Onívora	Baixa

Salminus hilarii, *P. lineatus*, *L. friderici* e *P. maculatus* (Figura 3) realizam movimentos migratórios e são importantes para a pesca comercial. Portanto, são espécies que vem sofrendo com intensas pressões por parte da indústria pesqueira e com a construção de barragens na região. O mandi, *P. maculatus*, é membro da família Pimelodidae, habita riachos, lagoas e canais e se alimenta de pequenos peixes e larvas de insetos ⁵⁴. A tabarana, *S. hilarii*, é da família Characidae, encontrada em rios onde atua como predador de topo. Alguns

autores a consideram como quase ameaçada de extinção em algumas regiões da bacia ⁵⁵. O piau-três-pintas, *L. friderici*, membro da família Anostomidae, é encontrado em rios, riachos e lagos e se alimenta de vegetais, insetos e outros peixes. O curimba, *P. lineatus*, da família Prochilodontidae, é encontrado em lagoas, rios e canais, alimentando-se de detritos e sedimentos ⁵⁴.

Acestrorhynchus lacustris, *R. quelen* e *A. lacustris* são espécies que sofrem baixas pressões com relação a pesca, no entanto, realizam curtas migrações e, portanto, não estão totalmente isentas dos efeitos das ações antrópicas ⁵⁴. O peixe-cachorra, *A. lacustris*, membro da família Acestrorhynchidae, é encontrado em vários habitats como, rios, lagos e canais, alimenta-se de larvas de insetos e peixes. O jundiá, *R. quelen*, da família Heptapteridae, vive em lagoas, rios e riachos, alimentando-se de larvas de insetos e pequenos peixes. O lambari-do-rabo-amarelo, *A. lacustris*, da família Characidae, vive em rios, riachos, lagoas e canais e alimenta-se de larvas de insetos e algas ⁵⁴.

Hoplias malabaricus, *C. callichthys* e *R. latirostris* não realizam migrações ou sofrem com altas pressões de pesca ⁵⁴. A traíra, *H. malabaricus*, é membro da família Erythrinidae e é considerada uma espécie sedentária, encontrada em rios, riachos, lagoas e canais, alimentando-se de peixes. O tamboatá, *C. callichthys*, é membro da família Callichthyidae, é encontrado em riachos, lagoas e canais, alimentando-se de pequenos peixes, insetos e vegetais. E, por fim, o cascudo-chinelo, *R. latirostris*, da família Loricariidae, prefere ambientes de corredeiras e alimenta-se de insetos imaturos, algas e detritos ⁵⁴.

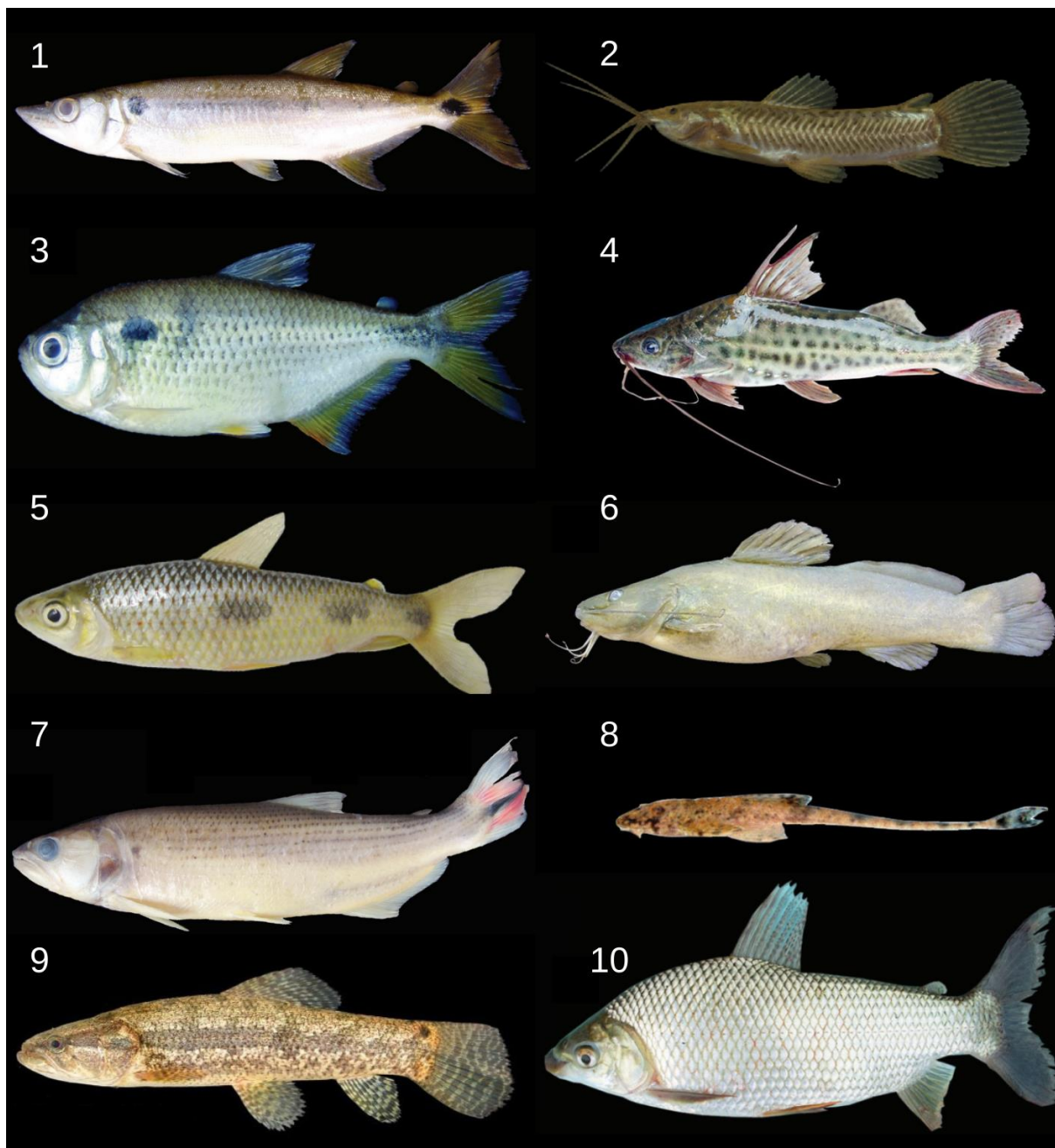


Figura 3. Espécies-alvo. Em 1. *Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875) (CP = 15 cm); 2. *Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758) (CP = 12 cm); 3. *Astyanax lacustris* (Lütken 1875) (CP = 6,8 cm); 4. *Pimelodus maculatus* La Cepède, 1803 (CP = 18 cm); 5. *Leporinus friderici* (Bloch, 1794) (CP = 18,9 cm); 6. *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) (CP = 16,3 cm); 7. *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 (CP = 17 cm); 8. *Rineloricaria latirostris* (Boulenger 1900) (CP = 8,6 cm); 9. *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (CP = 26 cm) e 10. *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (CP = 49,5 cm). (Fonte: Graça et al. ⁵⁵ e Froese & Pauly ⁵⁶).

3.4. Obtenção das variáveis

O comprimento padrão e o peso foram as variáveis resposta desse estudo. As tomadas de dados corporais das espécies selecionadas foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital (mm) e régua (cm). Seguindo Oliveira et al. ⁵⁷, as medições do comprimento padrão (CP) foram obtidas medindo a distância da projeção anterior do focinho ou do lábio

superior até a base da cauda, sempre em linha reta, nunca ao longo da curva do corpo do animal. Já para a tomada do peso (g) do animal, foi utilizada uma balança digital.

A principal variável explanatória foi o ano da amostragem. Contudo, foram também obtidas informações sobre os tipos de ambiente nos registros da coleção, com o objetivo de avaliar se esta variável também poderia contribuir para explicar as diferenças nos comprimentos e pesos observados. Dessa forma, os peixes foram divididos em dois tipos de ambientes de acordo com Castro & Polaz ⁴⁶: ambientes pequenos (córregos e riachos) e ambientes grandes (reservatórios, lagoas e rios).

Sabemos que o apetrecho de coleta pode exercer um efeito seletivo importante nos exemplares de maior ou menor tamanho, contudo, esse tipo de informação começou a ser registrada apenas muito recentemente (em 2003) na DZSJRP, portanto, não foi possível incluir essa variável nas análises.

3.5. Determinação dos tamanhos mínimos

Um dos maiores desafios dos peixes depositados em coleções é discernir os juvenis e os adultos. A medida mais comumente adotada quando não se pode dissecar os exemplares para checar as gônadas, é utilizar dados de L50 presentes na literatura para as espécies. No entanto, faz-se necessário esclarecer algumas limitações desse parâmetro. Diversos estudos recentes demonstram como a pesca e mudanças climáticas podem estar alterando as idades de maturação dos peixes ao longo do tempo, levando-os a reproduções precoces (e.g. ^{40, 58, 59, 60}). Assim, valores de L50 válidos para os peixes de hoje podem não ser os mesmos que os obtidos para os mesmos peixes de anos atrás. Além disso, apesar da grande maioria dos exemplares serem provenientes do estado de São Paulo, também foram medidos peixes de todos os estados que a bacia do Alto Rio Paraná abrange (Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal) e sabe-se que os valores de L50 podem também variar de local para local ⁴¹.

Outro aspecto que trouxe impedimentos para o uso do L50 nos dados desta pesquisa foi relacionado com a quantidade de exemplares adultos na coleção DZSJRP. Ao filtrar os exemplares de acordo com o L50 para algumas espécies, não sobraram exemplares suficientes para se analisar. Por exemplo, para *P. lineatus* do Alto Rio Paraná foram encontrados valores

de L50 de 24 centímetros (cm) para fêmeas e 21,3 cm para machos ⁵⁴, mas o maior exemplar presente nos dados utilizados aqui, possuía 21,5 cm (ver Tabela 3 em Resultados).

Apesar de todas essas questões, os valores de L50 presentes na literatura continuam sendo a melhor referência para diminuir a influência da presença de indivíduos jovens em amostras de coleções científicas e, por isso, foram utilizados nessa pesquisa como base para a determinação do comprimento padrão mínimo a ser considerado nas análises de dados para cada espécie e tipo de ambiente (Tabela 2). Afim de garantir um bom tamanho amostral para as espécies ao longo dos anos, optou-se por realizar médias entre os valores de L50 para machos e fêmeas quando estes diferiam na literatura adotada. Já para as espécies que não foi possível determinar o comprimento da primeira maturação, realizou-se uma média para o conjunto de dados com ambos os tipos de ambientes, e uma média para cada tipo de ambiente separadamente. Apenas os indivíduos acima dessas médias foram considerados nas análises dos dados para os indivíduos adultos. Os exemplares com valores abaixo dessas médias ou abaixo do comprimento padrão mínimo adotado, foram considerados juvenis.

Tabela 2. Comprimento padrão mínimo (cm) adotado para cada espécie nas análises estatísticas dos indivíduos adultos para cada tipo de conjuntos de dados utilizados na pesquisa: dados com ambos os tipos de ambientes (ambientes grandes e pequenos), dados apenas com ambientes grandes e apenas com ambientes pequenos. N = quantidade de indivíduos medidos na DZSJRP acima dos comprimentos mínimos adotados. Ref. = referência bibliográfica utilizada na determinação dos comprimentos mínimos para cada espécie em cada tipo de ambiente.

Ordem/Espécie	Comprimento Padrão (cm)						
	Ambientes grandes e pequenos	N	Ambientes grandes	N	Ambientes pequenos	N	Ref.
Characiformes:							
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	13	66	11,85	77	8,30	22	54, 61, 62
<i>Astyanax lacustris</i> (Lütken 1875)	4,70	25	5,20	11	3,90	15	54, 61, 41
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	12,80	122	15,80	45	12,25	61	61, 62
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	13,10	33	14,65	17	11,50	11	54, 41, 62
<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	22,65	0	22,65	0	19	1	54, 62
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850	22	2	23	1	21	0	63
Siluriformes:							
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	5,88	35	6,49	12	5,11	23	média
<i>Pimelodus maculatus</i> La Cepède, 1803	14,60	7	12,30	7	10,25	0	61, 41, 62
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	14,95	36	13,70	17	8,76	145	61, 64 e média
<i>Rineloricaria latirostris</i> (Boulenger, 1900)	9,29	12	9,29	7	7,30	7	65 e média

Para o *S. hilarii* não foi encontrado comprimento da primeira maturação para a bacia do Alto Rio Paraná na literatura, logo utilizou-se tamanhos referentes à bacia do Rio São Francisco ⁶³.

3.6. Análise dos dados

Para verificar as associações entre as variáveis dependentes e explanatórias foram desenvolvidos Modelos Aditivos Generalizados (*Generalized Additive Models* - GAMs) e Modelos Mistos Aditivos Generalizados (*Generalized Additive Mixed Models* - GAMMs). Esse tipo de modelagem foi adotada porque permite incorporar estruturas de autocorrelação espacial (no caso, o tipo de ambiente) e, também, evidenciar relações não lineares entre as variáveis envolvidas.

Assim, dois tipos de conjuntos de dados foram utilizados na realização das modelagens para cada espécie. Um primeiro conjunto de dados, que incluiu os dois tipos de ambientes juntos (ambientes grandes e pequenos), para o qual realizou-se GAMMs, com o tipo de ambiente representando o efeito randômico. E um segundo tipo de conjunto de dados, que incluiu apenas um tipo de ambiente de cada vez. Nesse caso, por não precisar incorporar efeitos randômicos nos modelos, realizou-se GAMs.

Com a finalidade de isolar os efeitos da pressão de pesca e alimentação, também foram realizados modelos GAMMs que incluíam todas as espécies conjuntamente. Para isso, foram estruturados modelos que incluíam todas as espécies com alta pressão de pesca (*L. friderici*, *P. lineatus*, *S. hilarii* e *P. maculatus*), todas as espécies com baixa pressão de pesca (*Acestrorhynchus lacustris*, *Astyanax lacustris*, *H. malabaricus*, *C. callichthys*, *R. quelen* e *R. latirostris*) e todas as espécies carnívoras (*Acestrorhynchus lacustris*, *H. malabaricus*, *R. quelen*, *S. hilarii* e *P. maculatus*). Nesses casos, a espécie e o tipo de ambiente compunham os efeitos randômicos e a padronização de tamanhos seguiu Castro & Polaz ⁴⁶. Assim, indivíduos adultos com comprimento padrão maior do que 15 centímetros foram considerados peixes de médio a grande porte, enquanto que indivíduos adultos menores do que 15 centímetros, foram considerados de pequeno porte.

Antes da realização de cada modelo, foi feito o teste de Rosner's em cada conjunto de dados para a identificação e remoção de *outliers*. E, após a realização de cada modelo, utilizou-se a função "gam.check" para estimar a variância residual sem transformação e com

transformação logarítmica. Para a avaliação dos modelos, foram usados o maior valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e os valores de significância entre as variáveis respostas e explanatórias (adotou-se $p < 0.05$ como critério para o nível de significância). Todos os procedimentos das modelagens foram realizados com as funções disponíveis nos pacotes “mgcv” versão 1.8–16⁶⁶, “nlme4”⁶⁷ e “EnvStats”⁶⁸ no ambiente R 4.2.0⁶⁹.

4. RESULTADOS

4.1. Exemplares medidos

Um total de 1.575 indivíduos foram estudados (Tabela 3). As espécies com maior número de exemplares foram *Hoplias malabaricus* (N = 496), *Rhamdia quelen* (N = 443) e *Prochilodus lineatus* (N = 140). Os espécimes amostrados variaram de 2,7 a 25,5 cm de CP. Já a pesagem abrangeu valores entre 1 g e 543 g.

Tabela 3. Comprimento padrão (cm) e peso (g) dos exemplares de 10 espécies presentes na coleção DZSJRP.

Ordem/Espécie	N	Comprimento Padrão (cm)			Peso (g)		
		Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Characiformes:							
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	125	13,22	3,3	22,5	41,24	1	180
<i>Astyanax lacustris</i> (Lütken 1875)	72	4,71	2,7	8,6	3,88	1	19
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	496	9,91	3	28	37,94	1	543
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	118	9,99	2,7	22,5	43,81	1	286
<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	140	10,62	3,6	21,5	40,99	1	291
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850	21	14,51	6,4	24,3	76,76	5	289
Siluriformes:							
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	81	5,86	2,8	11,4	9,28	1	42
<i>Pimelodus maculatus</i> La Cepède, 1803	41	10,64	3,7	25,5	38,44	1	252
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	443	9,05	3,2	24	20,12	1	237
<i>Rineloricaria latirostris</i> (Boulenger, 1900)	38	8,68	4,8	19,6	7,05	1	58

4.2. Mudança temporal no comprimento padrão e peso de peixes adultos

Das dez espécies elegidas para a pesquisa, apenas para quatro delas, *Acestrorhynchus lacustris*, *Callichthys callichthys*, *Rhamdia quelen* e *Leporinus friderici* foi rejeitada a hipótese

nula de que não houve alterações nos comprimentos padrão e peso dos indivíduos adultos ao longo do tempo (Tabela 4). O script completo pode ser consultado ao final do trabalho na seção “Disponibilidade do código”.

Tabela 4. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de peixes adultos

Comprimento padrão (cm)									
Espécies	Ambientes grandes e pequenos			Ambientes grandes			Ambientes pequenos		
	p	R²	Tendência	p	R²	Tendência	p	R²	Tendência
Adultos									
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	0,000156	0.342	Diminuição	7.76e-05	0.376	Diminuição	0.0384	0.174	Diminuição
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	0.0152	0.278	Diminuição	Não Significativo			0.00196	0.515	Diminuição
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Não Significativo			Não Significativo			0.0229	0.0696	Diminuição

Peso (g)									
Adultos									
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	0.00587	0.227	Diminuição	0.00142	0.286	Diminuição	0.0172	0.249	Diminuição
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	Não Significativo			Não Significativo			0.0287	0.535	Diminuição
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	0.0195	0.276	Diminuição	Não Significativo			0.00603	0.48	Diminuição

De modo geral, as análises de resíduos revelaram que todos os modelos com transformação logarítmica se ajustaram melhor aos dados. Os modelos com evidência estatística (ou seja, $p < 0.05$ e $R^2 > 0.01$) das espécies *Acestrorhynchus lacustris*, *C. callichthys*, *L. friderici* e *R. quelen* exibiram tendências em direção a um menor comprimento padrão e peso ao longo do tempo para os indivíduos adultos (Tabela 4). *Acestrorhynchus lacustris* foi a única espécie que apresentou tendências em direção a um menor comprimento padrão e peso de indivíduos adultos para os três tipos de modelos (Figura 4).

***Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875)**

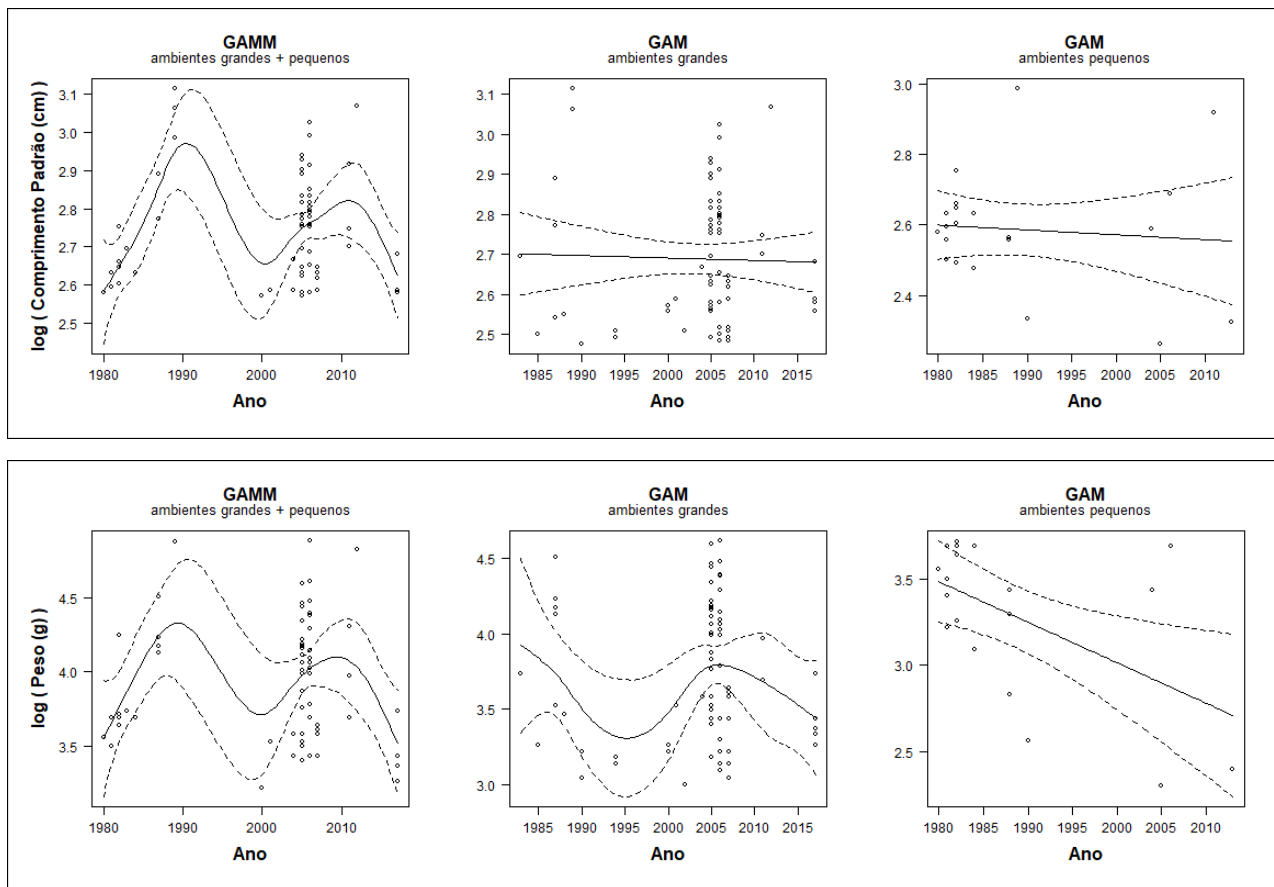


Figura 4. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de *Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875).

Callichthys callichthys exibiu tendências de diminuição do comprimento padrão e peso ao longo do tempo quando analisou-se exemplares adultos de ambos os tipos de ambientes juntos e com apenas indivíduos adultos de ambientes pequenos (Figura 5). Apesar de apresentarem evidência estatística, os modelos de ambientes pequenos incluíram poucos indivíduos ($n=12$) e apenas dois exemplares antes do ano 2000.

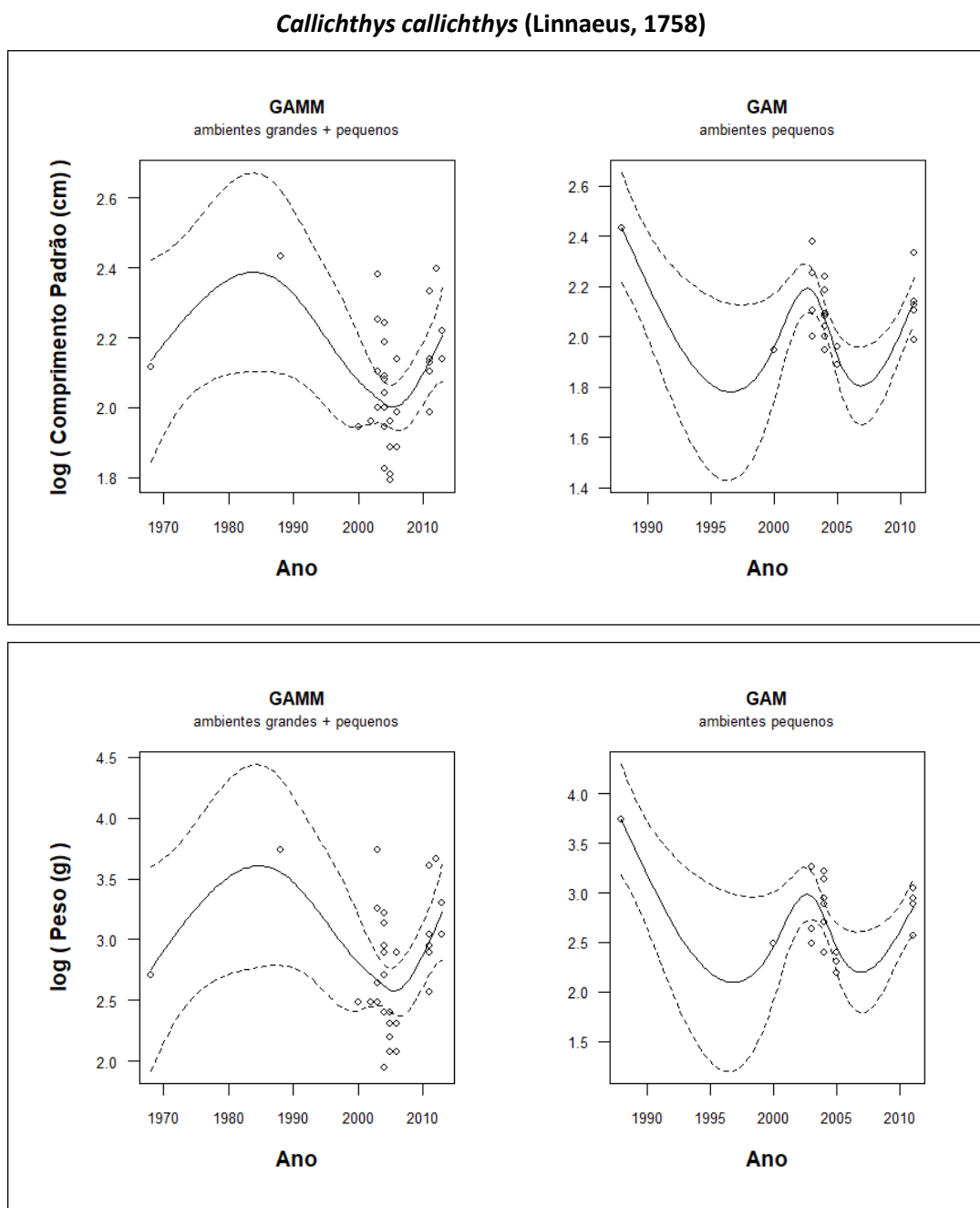


Figura 5. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de *Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758).

Rhamdia quelen apresentou tendências de diminuição do comprimento padrão no modelo GAM de ambientes pequenos (Figura 6), entretanto o valor de R^2 foi baixo (ou seja, $R^2 < 0,1$) (Tabela 4). Já *L. friderici*, exibiu tendências de diminuição para o peso de indivíduos adultos apenas de ambientes pequenos (Figura 7), mas poucos indivíduos foram analisados ($n=11$).

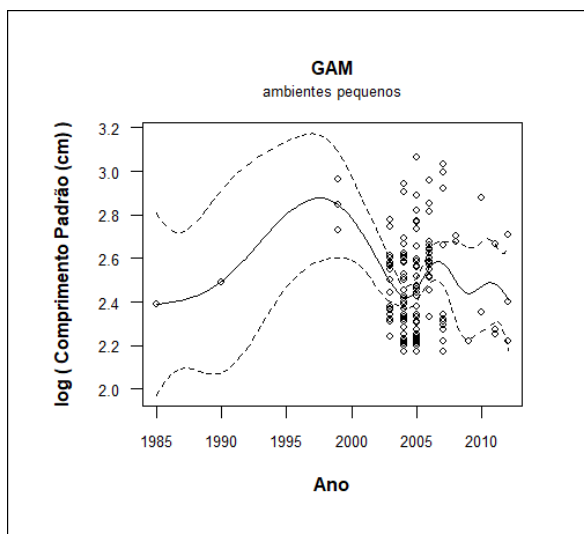
***Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824)**

Figura 6. Modelo GAM do comprimento padrão (cm) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos adultos de *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824).

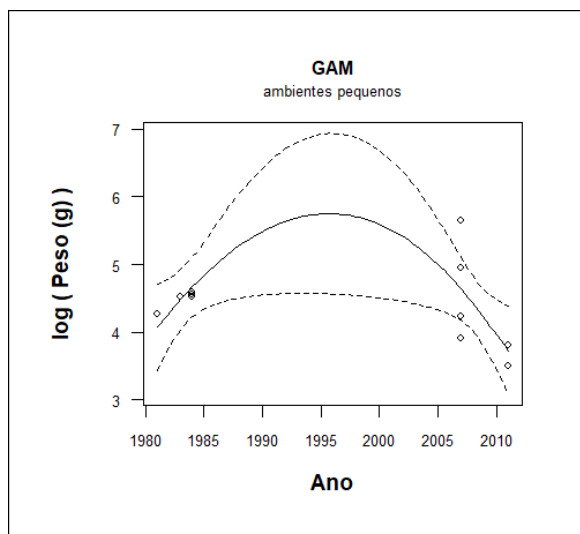
***Leporinus friderici* (Bloch, 1794)**

Figura 7. Modelo GAM do peso (g) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos adultos de *Leporinus friderici* (Bloch, 1794)

4.3. Mudança temporal no comprimento e peso de peixes juvenis

As análises estatísticas de indivíduos juvenis revelaram resultados significativos (ou seja, $p < 0.05$) para as espécies *Acestrorhynchus lacustris*, *Hoplias malabaricus*, *Leporinus friderici*, *Salminus hilarii*, *Prochilodus lineatus*, *Callichthys callichthys* e *Rhamdia quelen* (Tabela 5). E, assim como para os indivíduos adultos, as análises de resíduos indicaram que os modelos GAMMs e GAMs com transformação logarítmica se ajustaram melhor aos conjuntos de dados.

Acestrorhynchus lacustris apresentou tendências significativas em direção ao um menor comprimento padrão e peso para indivíduos juvenis provenientes de ambientes pequenos (Figura 8).

Tabela 5. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de peixes juvenis.

Comprimento padrão (cm)									
Espécies	Ambientes grandes e pequenos			Ambientes grandes			Ambientes pequenos		
	p	R²	Tendência	p	R²	Tendência	p	R²	Tendência
Jovens									
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)			Não Significativo	0.00094	0.68	Diminuição			Não Significativo
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	0.033	-0.000337	Aumento	0.0211	0.0462	Aumento	0.00282	0.14	Aumento
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	0.00648	0.0895	Diminuição	0.0201	0.142	Aumento	0.00107	0.364	Diminuição
<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	<2e-16	0.281	Aumento	<2e-16	0.369	Aumento			Não Significativo
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850			Não Significativo	0.0418	0.546	Diminuição			Não Significativo
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)			Não Significativo	0.044	0.278	Diminuição			Não Significativo
Peso (g)									
Jovens									
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)			Não Significativo	0.00931	0.531	Diminuição			Não Significativo
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)			Não Significativo	0.000553	0.106	Aumento	0.00284	0.14	Aumento
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	0.00742	0.0827	Diminuição	0.0119	0.162	Aumento	0.00055	0.396	Diminuição
<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	<2e-16	0.274	Diminuição	<2e-16	0.314	Diminuição			Não Significativo
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes, 1850			Não Significativo	0.0492	-0.291	Diminuição			Não Significativo
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	0.0108	0.0603	Diminuição	0.00732	0.314	Diminuição			Não Significativo
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	0.0279	0.00606	Diminuição			Não Significativo			Não Significativo

Acestrorhynchus lacustris (Lütken, 1875)

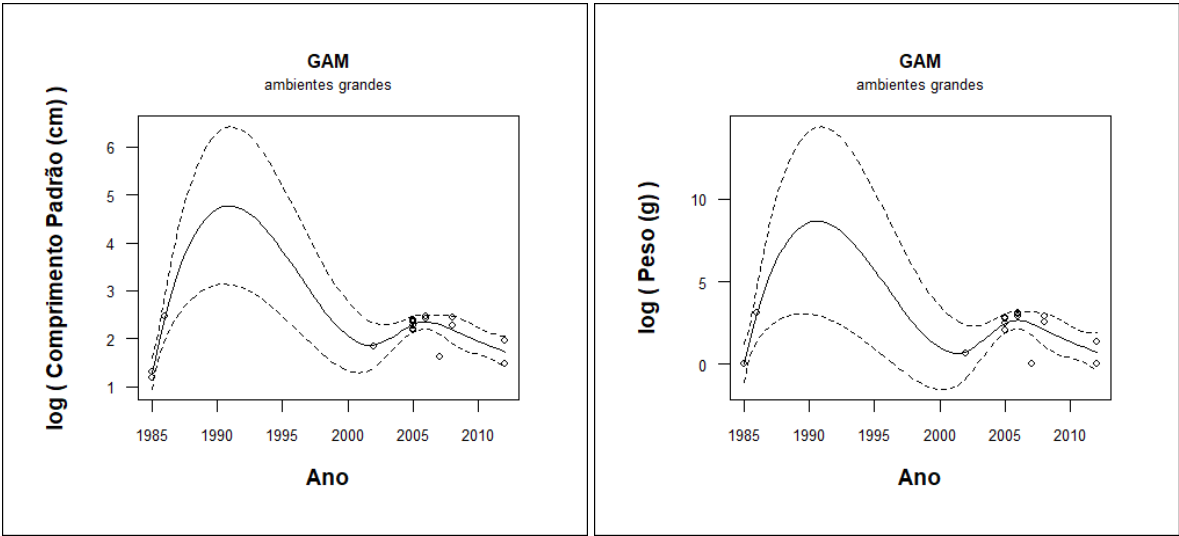


Figura 8. Modelos GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) de ambientes grandes para o conjunto de indivíduos juvenis de *Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875).

Hoplias malabaricus foi a única espécie que apresentou tendências de aumento para comprimento padrão e peso de juvenis em todos os modelos com evidência estatística (Figura 9). Entretanto, para os modelos GAMMs e GAMs de ambientes grandes, o R^2 apresentou valores próximos a zero (Tabela 5). A exceção, foram os modelos GAMs de ambientes pequenos que tiveram valores de R^2 estatística e ecologicamente claros. Assim, para os ambientes menores, a tendência foi traíras maiores e mais pesadas ao longo do tempo.

***Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794)**

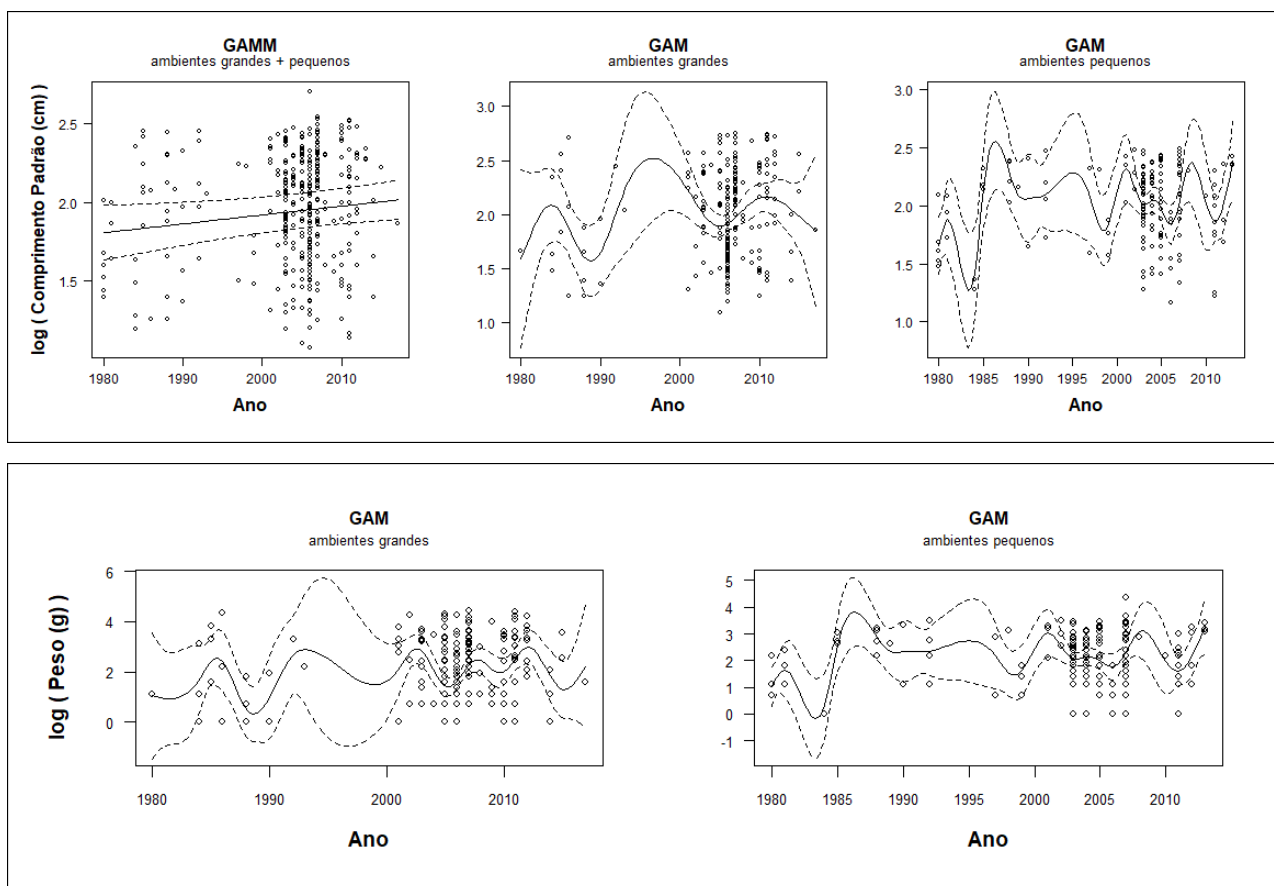


Figura 9. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794).

Os modelos GAMMs para *L. friderici* exibiram tendências de diminuição tanto para o comprimento padrão, quanto para o peso (Figura 10). Mas, embora os valores de p tenham tido evidência estatística para esses modelos, os valores de R^2 foram próximos a zero (Tabela 5). Já os modelos GAMs estatisticamente claros, mas diferiram nas tendências: enquanto para os ambientes grandes a tendência foi de peixes jovens maiores e mais pesados com o passar dos anos, para os ambientes pequenos a tendência foi de peixes jovens menores e mais leves.

Leporinus friderici (Bloch, 1794)

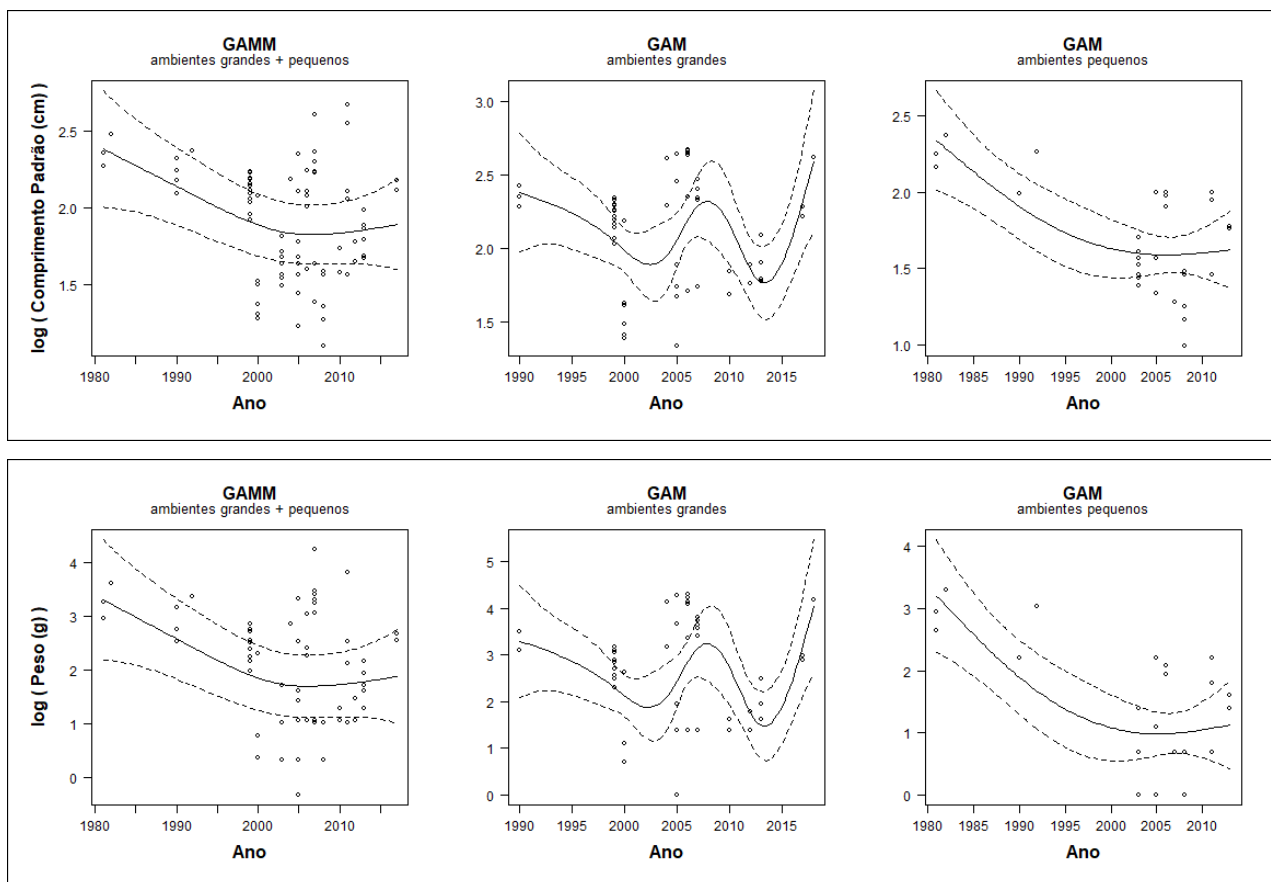


Figura 10. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Leporinus friderici* (Bloch, 1794).

Prochilodus lineatus apresentou tendências de aumentos do comprimento padrão, e tendências de diminuição para o peso (Figura 11). Cerca de 92% dos indivíduos de *P. lineatus* medidos na DZSJRP eram provenientes de ambientes grandes, principalmente após 2005, quando os exemplares passaram a ser apenas de lagoas marginais. Além disso, o teste de Rosner's sinalou *outliers* para o peso, mas não para o comprimento padrão.

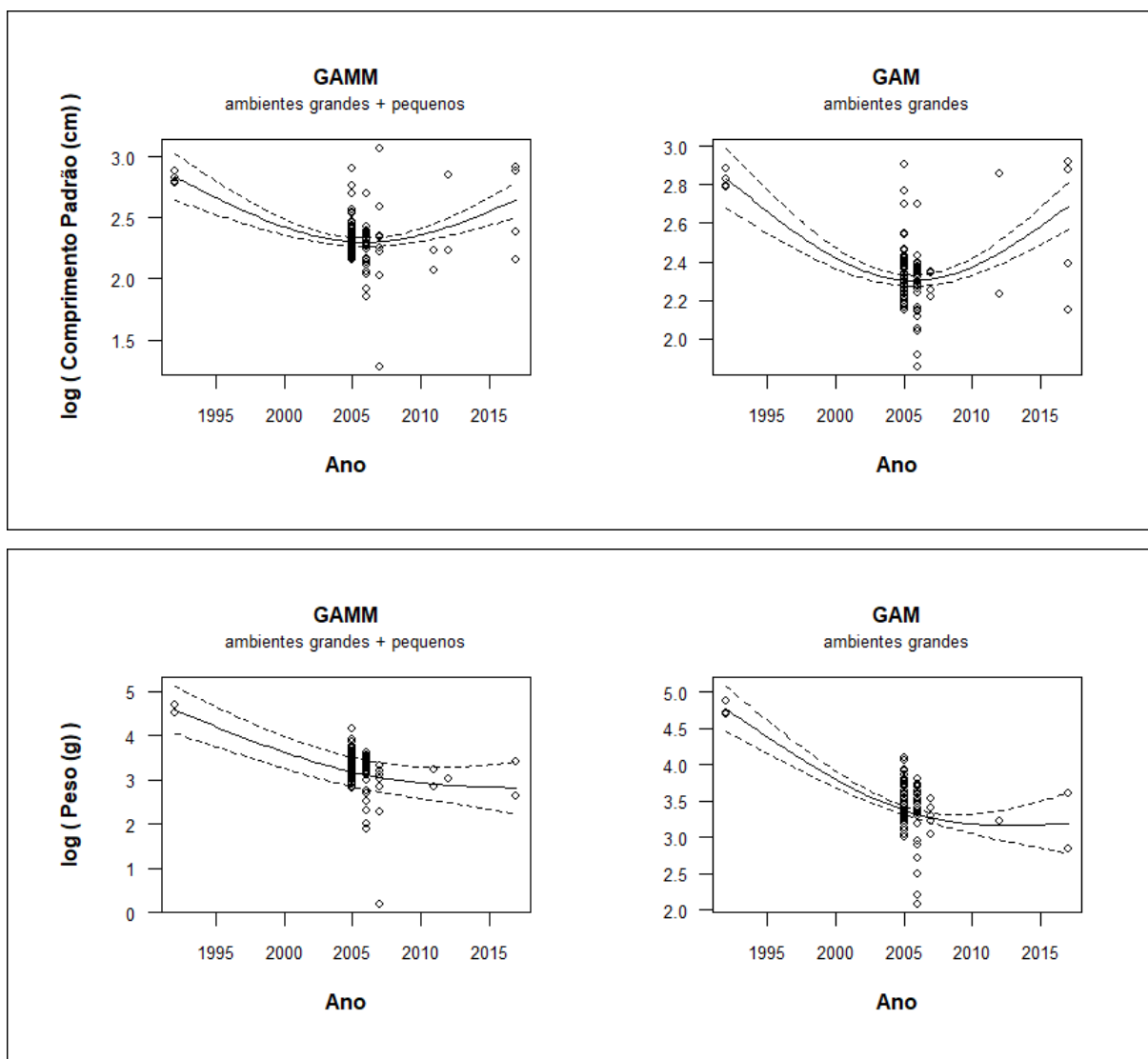
Prochilodus lineatus (Valenciennes, 1836)

Figura 11. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836).

Nas análises contendo apenas indivíduos de ambientes grandes, *C. callichthys* exibiu uma leve tendência de diminuição para o comprimento padrão, e para o peso (Figura 12). Quando analisados ambos os tipos de ambientes juntos, a espécie também apresentou tendência de diminuição do peso, mas, de acordo com o valor de R^2 (Tabela 5), a porcentagem de explicação do modelo GAMM foi baixa.

***Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758)**

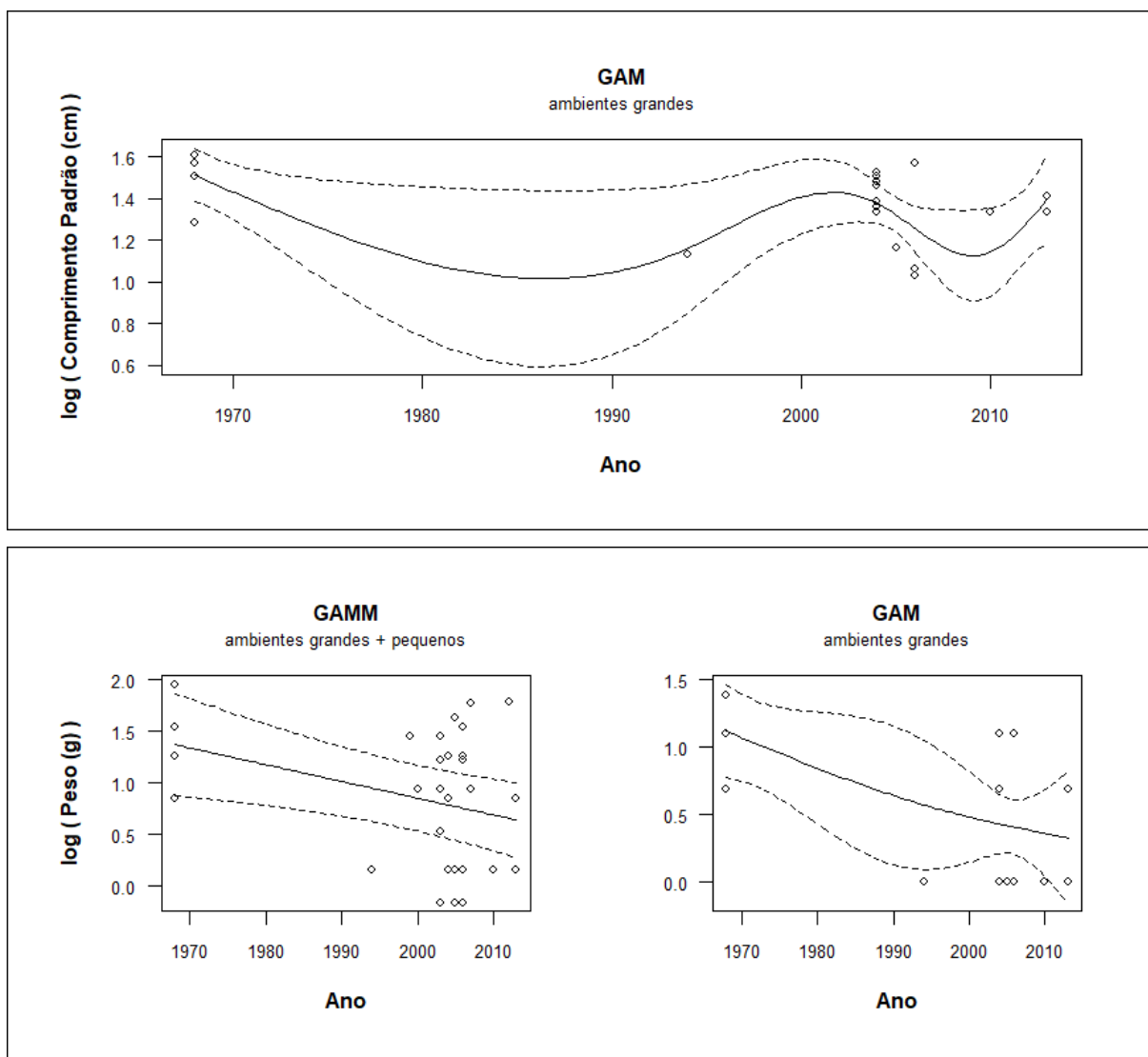


Figura 12. Modelos GAMMs e GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758).

Salminus hilarii apresentou tendência em direção a um menor comprimento padrão e peso ao longo do tempo para indivíduos juvenis provenientes de ambientes grandes (Figura 13), entretanto, o R^2 do peso foi baixo (Tabela 5) e poucos indivíduos da espécie foram medidos (total de 21 exemplares). Já *R. quelen* demonstrou tendências de diminuição do peso quando se analisou ambos os tipos de ambientes juntos (Figura 14), mas a porcentagem de explicação do modelo também foi baixa.

***Salminus hilarii* Valenciennes, 1850**

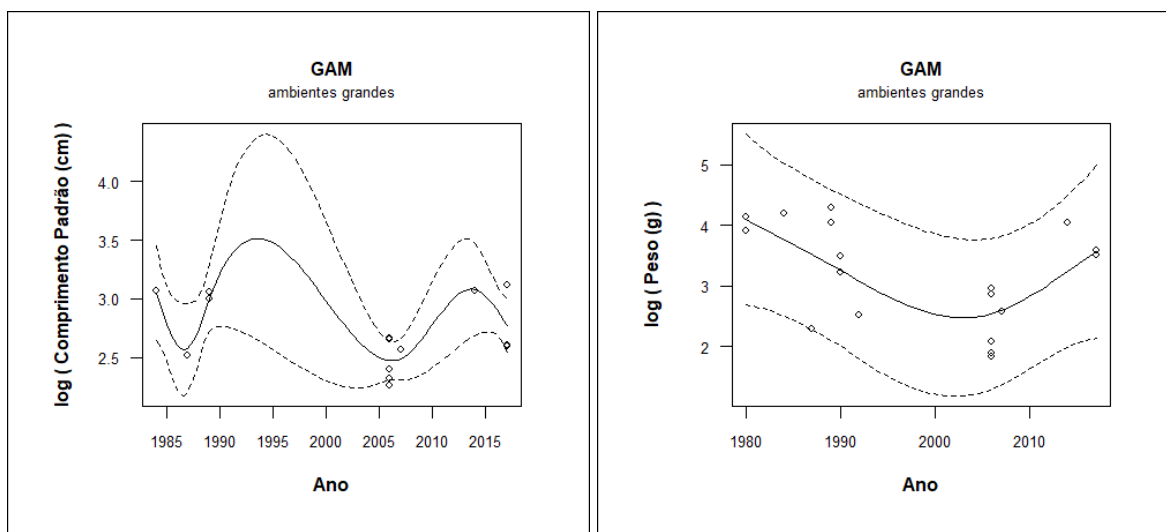


Figura 13. Modelos GAMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) de ambientes grandes para o conjunto de indivíduos juvenis de *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850.

***Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824)**

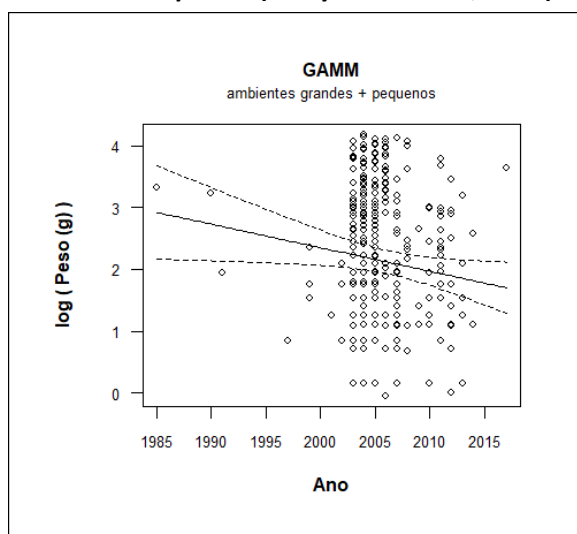


Figura 14. Modelo GAMM do peso (g) de ambientes pequenos para o conjunto de indivíduos juvenis de *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824).

Os modelos que não apresentaram evidência estatística (ou seja, $p > 0.05$ e $R^2 > 0.1$) tanto para peixes adultos, quanto para juvenis, podem ser observados no Apêndice III.

4.4. Mudança temporal no comprimento e peso de indivíduos adultos de pequeno e médio a grande porte

Os modelos que abordavam todas as dez espécies-alvo conjuntamente não foram estatisticamente claros (ou seja, $p > 0.05$ e $R^2 < 0.1$). Mas, embora não tenham apresentado evidência estatística, alguns modelos apresentaram tendências biologicamente importantes (Tabela 6). De modo geral, todos os modelos que incluíam apenas exemplares de ambientes pequenos, exibiram tendências de diminuição. E, enquanto o comprimento padrão apresentou tendências variadas (diminuição, aumento e sem mudança), a maior parte dos modelos para o peso exibiram tendências de diminuição. Apenas dois modelos para o peso exibiram tendências de aumentou.

Tabela 6. Síntese dos resultados obtidos para o comprimento padrão (cm) e peso (g) de indivíduos adultos de pequeno e médio a grande porte.

Comprimento padrão (cm)

Espécies	Ambientes grandes e pequenos			Ambientes grandes			Ambientes pequenos		
	p	R ²	Tendência	p	R ²	Tendência	p	R ²	Tendência
Peixes de médio a grande porte									
Alta pressão de pesca	Não significativo		Aumento	Não significativo		Aumento			-----
Baixa pressão de pesca	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Aumento	Não significativo		Diminuição
Carnívoros	Não significativo		Aumento	Não significativo		Aumento	Não significativo		Diminuição
Peixes de pequeno porte									
Baixa pressão de pesca	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Aumento	Não significativo		Diminuição
Carnívoros	Não significativo		Sem Mudança	Não significativo		Sem Mudança			-----

Peso (g)

Peixes de médio a grande porte									
Alta pressão de pesca	Não significativo		Aumento	Não significativo		Diminuição			-----
Baixa pressão de pesca	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Diminuição
Carnívoros	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Diminuição
Peixes de pequeno porte									
Baixa pressão de pesca	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Aumento	Não significativo		Diminuição
Carnívoros	Não significativo		Diminuição	Não significativo		Diminuição			-----

Os indivíduos adultos de médio a grande porte (comprimento padrão > 15 cm) que sofrem com maior pressão de pesca (*L. friderici*, *P. lineatus*, *S. hildarii* e *P. maculatus*)

apresentaram conjuntamente aumentos corporais ao longo do tempo (Figura 15). Exceto o peso de ambientes grandes, que exibiu tendências de diminuição.

Já os indivíduos adultos de médio a grande porte que sofrem com baixa pressão de pesca (*Acestrorhynchus lacustris*, *Astyanax lacustris*, *H. malabaricus*, *C. callichthys*, *R. quelen* e *R. latirostris*) apresentaram conjuntamente aumentos menores tamanhos corpóreos ao longo do tempo (Figura 16). O comprimento padrão em ambientes grandes, foi a única tendência de aumento para esses modelos.

Os indivíduos adultos das espécies carnívoras (*Acestrorhynchus lacustris*, *H. malabaricus*, *R. quelen*, *S. hilarii* e *P. maculatus*) que possuíam médio a grande porte apresentaram conjuntamente diminuições de peso ao longo do tempo (Figura 17). Já para o comprimento padrão as tendências foram de aumentos, exceto para os ambientes pequenos, no qual a tendência foi de diminuição.

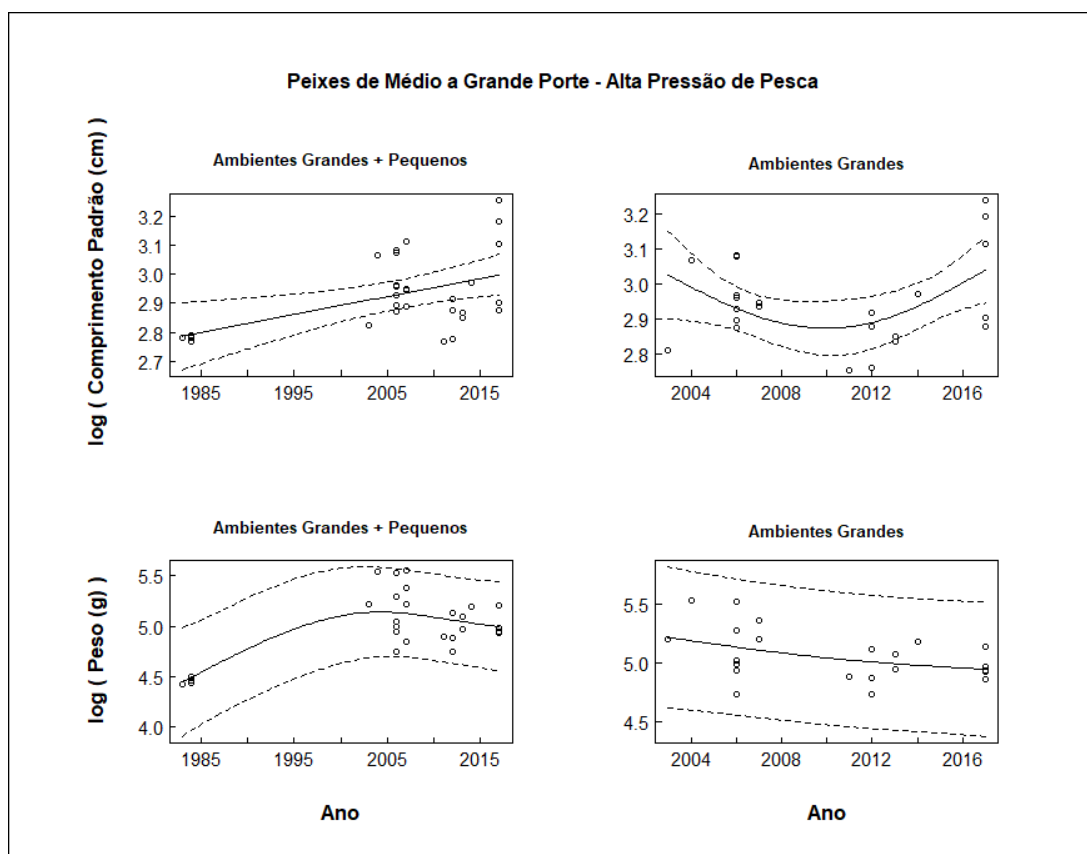


Figura 15. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de médio a grande porte que sofrem com alta pressão de pesca.

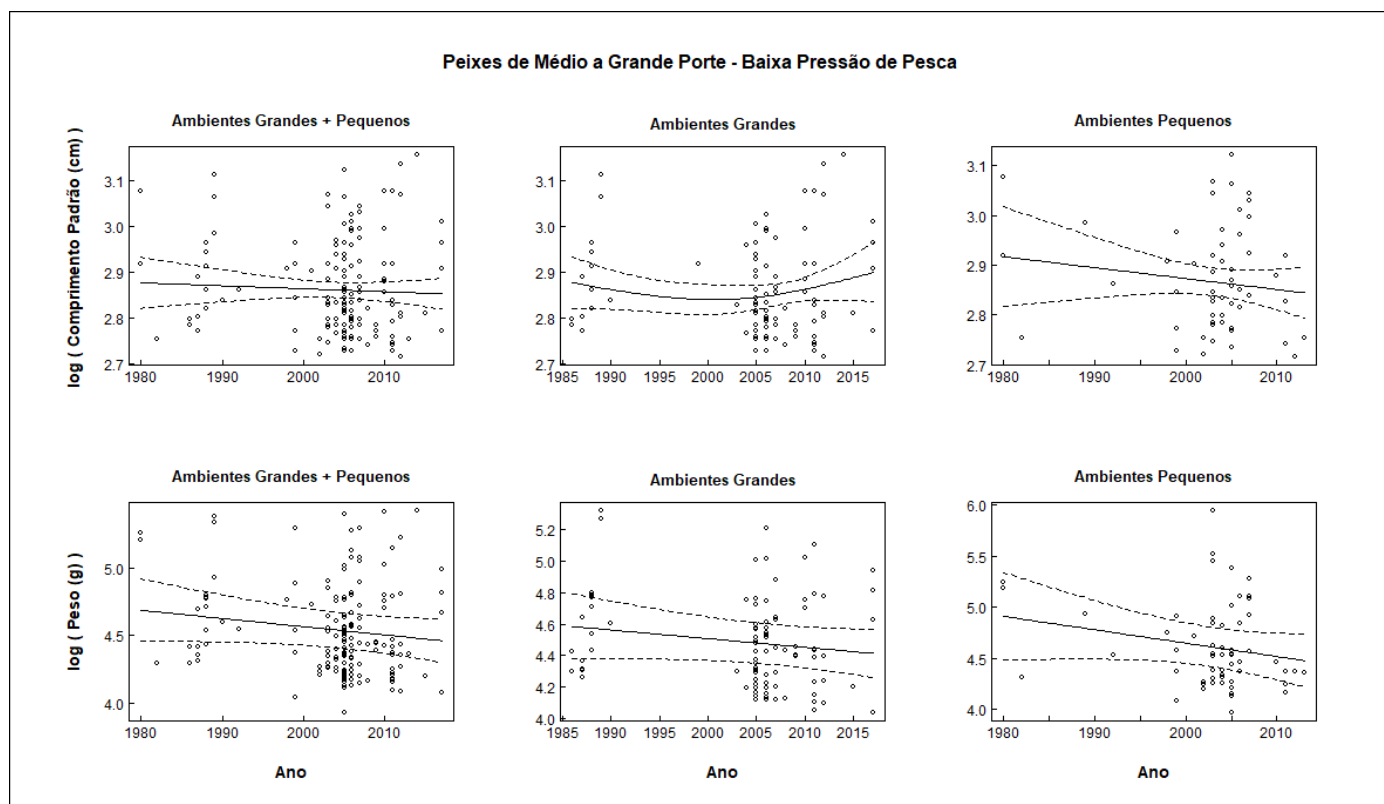


Figura 16. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de médio a grande porte que sofrem com baixa pressão de pesca.

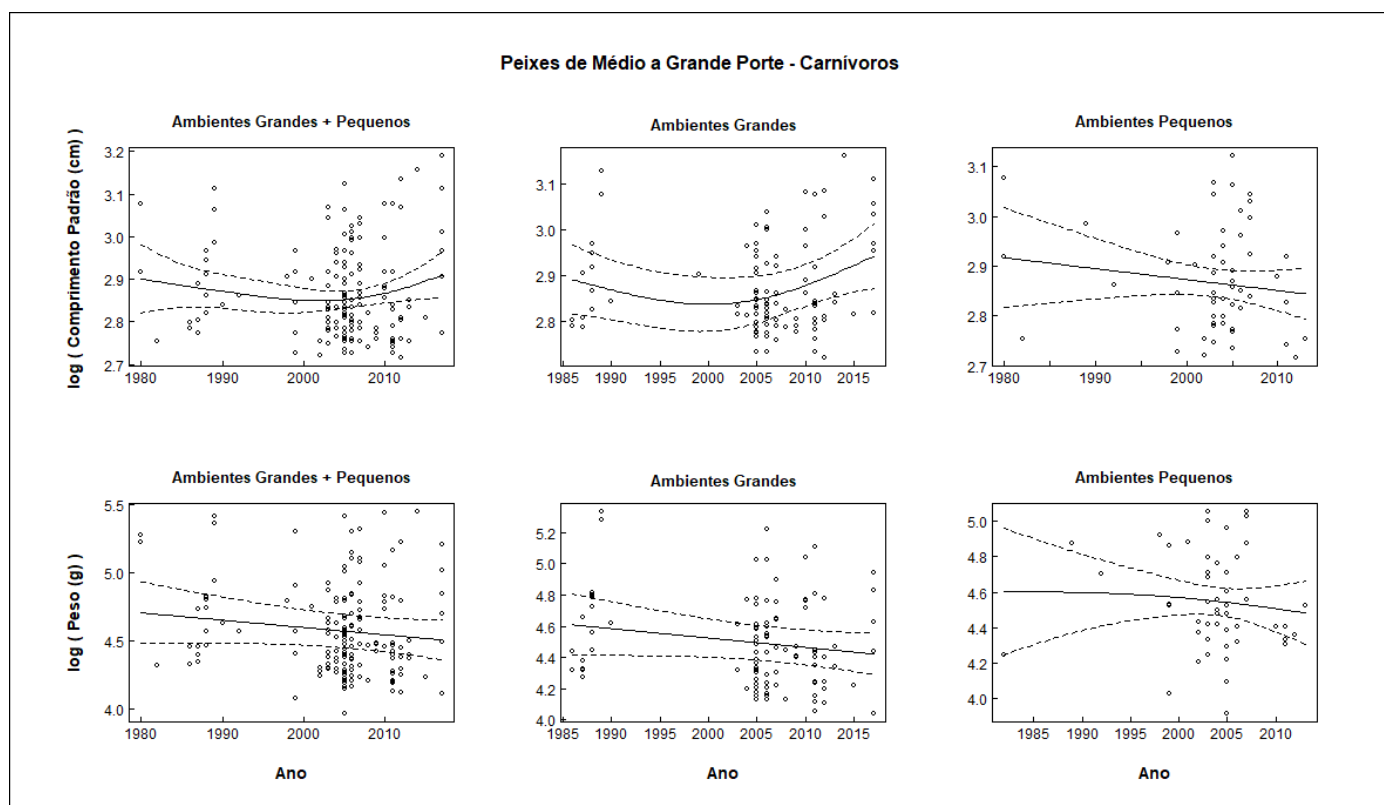


Figura 17. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos carnívoros adultos de médio a grande porte.

Por sua vez, os indivíduos adultos de pequeno porte (comprimento padrão < 15 cm) que sofrem com baixa pressão de pesca (*Acestrorhynchus lacustris*, *Astyanax lacustris*, *H. malabaricus*, *C. callichthys*, *R. quelen* e *R. latirostris*) apresentaram conjuntamente tendências de diminuição do comprimento padrão e peso ao longo do tempo (Figura 18). As únicas tendências de aumento foram registradas para os ambientes grandes. Não havia indivíduos adultos de pequeno porte que sofriam com alta pressão de pesca suficientes para a realização de modelos GAMMs.

Os indivíduos das espécies carnívoras (*Acestrorhynchus lacustris*, *H. malabaricus*, *R. quelen*, *S. hilarii* e *P. maculatus*) que possuíam pequeno porte apresentaram conjuntamente diminuições de peso ao longo do tempo (Figura 19), mas nenhuma mudança de comprimentos.

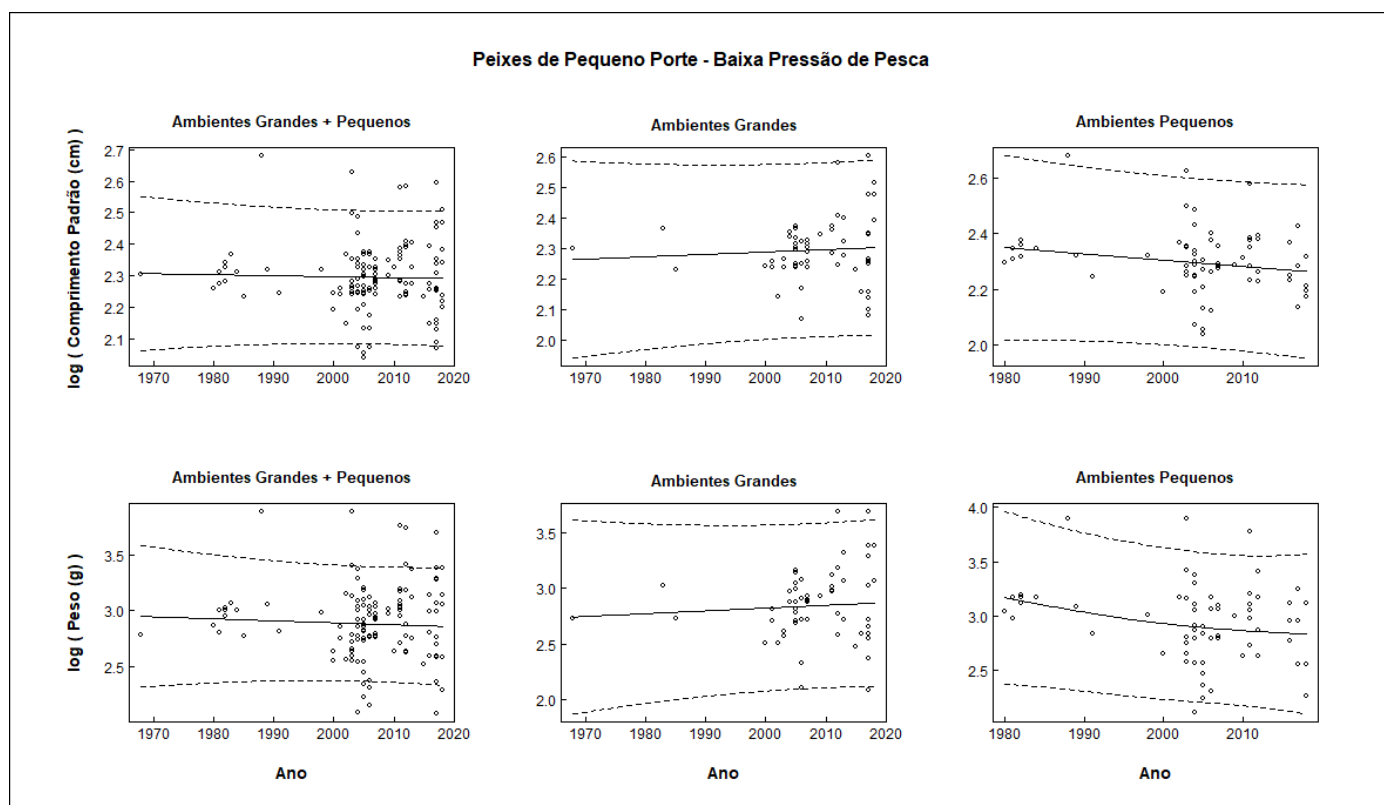


Figura 18. Modelos GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de pequeno porte que sofrem com baixa pressão de pesca.

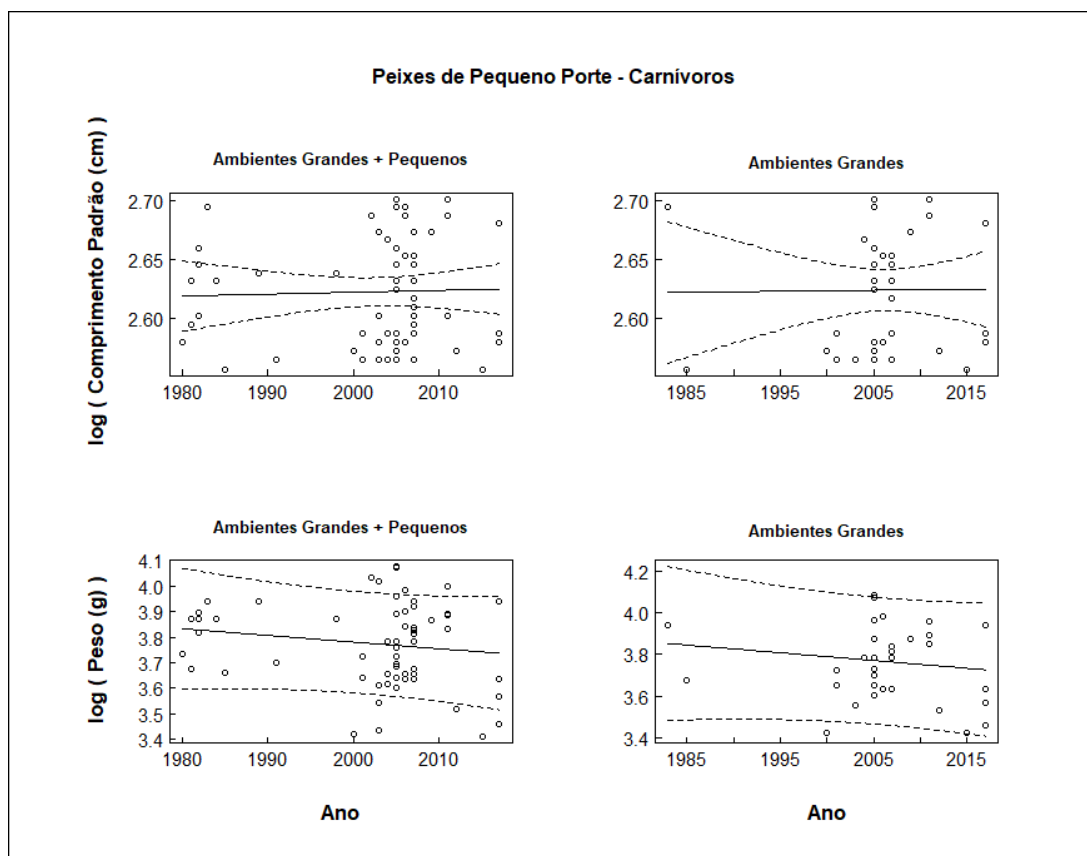


Figura 19. Modelo GAMMs do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos carnívoros adultos de pequeno porte.

5. DISCUSSÃO

O tamanho do corpo é uma das características mais importante para os peixes, uma vez que é um dos determinantes da aptidão reprodutiva, fisiológica e demográfica, além de influenciar dinâmicas ambientais e o valor social que o peixe terá ⁷⁰. No entanto, diversas pesquisas apontam que as bases de referências para essa característica física estão sendo alteradas ao longo do tempo devido as intensas atividades antrópicas ⁷¹. A tendência mais comum é relatar uma diminuição no tamanho médio do corpo dos peixes (e outros animais ⁷²) que, por sua vez, pode levar a impactos nas interações ecológicas e nas contribuições da natureza para as pessoas ¹². Nesse sentido, nossos resultados corroboram esses estudos para os exemplares de algumas espécies nativas da bacia do Alto Rio Paraná depositados na coleção DZSJRP. Foram encontradas evidências estatísticas de diminuições do comprimento padrão ou peso para indivíduos adultos de *Acestrorhynchus lacustris*, *L. friderici* e *C. callichthys*, e para indivíduos juvenis de *Acestrorhynchus lacustris*, *L. friderici*, *P. lineatus*, *S. hilarii* e *C. callichthys*.

Entender as causas dos declínios nos tamanhos corporais não é uma tarefa fácil, considerando a influência de vários fatores humanos potencialmente seletivos agindo ao mesmo tempo nos ambientes naturais ⁷³. Essa redução no tamanho do organismo pode ser uma resposta a muitas ameaças enfrentadas pelas espécies de peixes de água doce, como mudanças climáticas, alterações de habitats e sobrepesca. Uma análise no tamanho do corpo de mais de 300 espécies de peixes costeiros da Austrália indicou que altas temperaturas levaram a uma diminuição no tamanho da maioria dos peixes analisados, com as alterações temporais dez vezes mais rápidas do que as espaciais ⁷⁴. O mesmo padrão foi observado para quatro espécies de salmão do Alasca, que tiveram suas dimensões corpóreas diminuídas nos últimos 60 anos, com taxas aumentadas desde o início do século 21 ⁷³. Apesar de os autores, neste último caso, não terem identificado um motivo único, as mudanças se deram muito provavelmente devido ao clima e mudanças na disponibilidade ou qualidade dos recursos alimentares que resultaram em competições acentuadas ⁷³. Outras pesquisas explicam também como a sobrepesca pode causar uma seleção direcional nas assembleias de peixes e ainda aumentar a sensibilidade da diversidade resultante às mudanças ambientais advindas do aquecimento global e desenvolvimento hidroelétrico ⁷⁵. Esses exemplos demonstram não só as consequências das atividades humanas sobre o tamanho dos peixes, como também indicam a necessidade de mais estudos para peixes de água doce ^{9, 26}, uma vez que a maioria das pesquisas estão focadas em ambientes marinhos. Pode-se deduzir que muito provavelmente as mesmas situações se repetem nos ecossistemas de água doce, onde a crise da biodiversidade é mais aguda do que em qualquer outro lugar ³², mas esses fatores necessitam de mais estudos.

Apesar de não identificarmos uma causa para as tendências aqui observadas, nossos resultados são consistentes com a teoria da pesca indiscriminada para algumas espécies. O *Salminus hilarii*, *L. friderici* e *P. lineatus*, por exemplo, apresentaram tendências de diminuições e são peixes que possuem um importante papel ecológico e econômico na bacia do Alto Rio Paraná, além de realizarem migrações no período reprodutivo. No entanto, essas espécies são intensamente submetidas as práticas pesqueiras há décadas (Figura 20) e também vivenciam as fortes alterações de habitats devido a construção de barragens que impedem as espécies migradoras de concluírem seus ciclos reprodutivos adequadamente ^{38, 58}. Mas, enquanto *L. friderici* e *P. lineatus* ainda são abundantes em alguns locais e favoritos

na pesca artesanal, comercial ou esportiva ^{48, 76} na bacia do Alto Rio Paraná, o *S. hilarii* já é considerado ameaçado de extinção por alguns autores ⁵⁵.



Figura 20. Pescaria de pintado, dourado e curimba no Rio Piracicaba com vara de bambu em 1960. (Foto de Edson Rontani Júnior).

Acestrorhynchus lacustris foi a espécie que mais exibiu modelos com evidências estatística de diminuições do comprimento padrão e peso para indivíduos adultos e juvenis. É uma espécie de pouco valor comercial, mas fundamental na cadeia alimentar, pois, além de ser alimento para os grandes predadores, também controla as populações de peixes de pequeno porte ⁷⁷. Sua reprodução pode ocorrer durante o ano todo, mesmo em condições adversas, e por isso, é considerada uma espécie resistente ⁷⁸. No entanto, Gomes et al. ⁷⁹ observaram uma diminuição na aptidão reprodutiva de *A. lacustris* devido a alterações nos parâmetros hídricos da água após a construção de uma grande barragem. Como resultado, folículos menores do que o usual foram registrados nas fêmeas, fato que pode diminuir o *fitness* da prole, comprometendo a manutenção e conservação desses peixes ⁷⁹. Além disso, as populações de *A. lacustris* vem diminuindo substancialmente em algumas regiões, mesmo não sendo um alvo da pesca, provavelmente, devido a intensas competições com espécies não nativas, que resulta em alterações ao longo de sua cadeia trófica ⁷⁷. Tanto folículos menores em fêmeas, quanto competições intensas, podem resultar em menores tamanho do corpo em peixes ^{40, 73}.

Callichthys callichthys também exibiu em geral diminuições no comprimento padrão e peso. Esse cascudo de pequeno porte comumente encontrado em rios e riachos, sofre baixa pressão de pesca, sendo mais utilizado como isca, e possui tolerância a baixas concentrações de oxigênio ⁸⁰. Embora seja uma espécie resistente, diversos estudos sobre os habitats onde vivem, demonstram como alterações na qualidade desses ambientes podem impactar intensamente a ictiofauna (e.g. ^{81, 82, 83}) e a inclinação de *C. callichthys* em direção ao menor tamanho pode ser resultado dessas interferências humanas. A tendência dessa espécie também chama atenção porque, embora a maior parte da literatura esteja focada nas espécies de grande porte, algumas espécies de pequeno porte podem apresentar reduções no tamanho do corpo ^{26, 46} e não recebendo a devida atenção. Mas, embora os modelos de *C. callichthys* tenham apresentado evidência estatística, é necessário reconhecer que poucos peixes dessa espécie foram analisados (máximo 35 indivíduos adultos) e haviam apenas dois exemplares antes dos anos 2000 na amostra, situações que podem ser consideradas uma limitação dos nossos resultados para a espécie.

Os relatos sobre a diminuição no tamanho do corpo não se constituem uma regra na natureza. Embora nenhuma referência tenha sido encontrada para peixes, pesquisas já relataram o contrário para algumas espécies das ordens Carnivora (endotérmicos) ^{84, 85}, Squamata (ectodérmicos) ^{86, 87} e entre outras ⁷¹. As causas sugeridas para esses aumentos foram principalmente a maior disponibilidade de alimentos e/ou mudanças na dieta dos endotérmicos, provocadas pelo aquecimento global, alterações no uso da terra e práticas agrícolas. Essas atividades humanas são, muitas vezes, responsáveis pela reestruturação trófica e por um maior fornecimento de alimentos para os predadores ^{84, 85}. Já para as espécies ectodérmicas, os aumentos do corpo estavam mais correlacionados com o aquecimento global, que, por sua vez, alterou as temperaturas dos primeiros anos de vida e afetou o desempenho de forrageamento ^{86, 87}. Apesar de teorizarem que uma tendência em direção ao menor tamanho ocorreria com um aumento anual médio da temperatura, Gardner et al. ⁷¹ observaram que aumentos diários na frequência e duração de temperaturas extremas poderia selecionar a um tamanho corporal maior. Portanto, ainda há muito o que se conhecer sobre esse tópico.

Os exemplares juvenis de *Hoplias malabaricus*, por exemplo, exibiram tendências de aumentos no comprimento padrão e peso. A traíra possui alta capacidade de adaptação, conseguindo viver nas condições mais adversas, como ambientes com baixas concentrações

de oxigênio e longos períodos de jejum ⁸⁸. Além disso, altas temperaturas favorecem a reprodução e o desenvolvimento dessa espécie, fazendo as tendências em direção ao maior tamanho encontrados aqui uma possibilidade plausível ⁸⁸.

Algumas espécies apresentaram mudanças variáveis, aumentando ou diminuindo o tamanho do corpo dependendo do ambiente ou fase de desenvolvimento. *Leporinus friderici* exibiu, em geral, tendências de diminuições, mas, para indivíduos juvenis de ambientes grandes, exibiu tendências de aumentos. Mesmo que as diminuições sejam condizentes com a teoria da pesca indiscriminada e com os impactos advindos da construção de barragens, o piauí-três-pintas possui comportamento alimentar oportunista, sendo capaz de facilmente mudar a sua dieta para os itens que estejam em maior abundância no ambiente ⁸⁹. Regimes de cheias em reservatórios (ambientes grandes) tendem inclusive a favorecer essa espécie devido ao aumento na disponibilidade de alimentos ⁹⁰. Portanto, é possível que maior disponibilidade de recursos alimentares em reservatórios possa explicar os maiores tamanhos corporais para o *L. friderici*.

Prochilodus lineatus também apresentou situações variáveis para os indivíduos juvenis. A espécie demonstrou tendências de aumento para o comprimento padrão, mas essa ocorrência pode ser explicada pela origem dos exemplares. Após 2005, quando os tamanhos passaram a aumentar, a maioria dos indivíduos dessa espécie presentes na coleção eram provenientes de lagoas marginais. Esses locais são considerados grandes berçários naturais, contribuindo para o recrutamento e manutenção de peixes migradores ⁹¹, e isso pode ter influenciado as relações obtidas nas análises.

Nesse estudo, não foi possível isolar com clareza estatística os efeitos da pressão de pesca (alta ou baixa) e nível trófico (carnívoros). Entretanto, os modelos demonstraram algumas tendências biologicamente relevantes e, apesar da propensão de publicar apenas resultados “significativos” ⁹², a ausência de evidência estatística também é um resultado ^{93, 94}. A presença de significância para alguns modelos restritos a uma única espécie e ausência de significância nos modelos compartilhados, pode indicar que conjuntamente no ambiente, as populações das espécies selecionadas podem estar conseguindo persistir as pressões de pesca até o momento, provavelmente, devido a respostas diferenciais entre espécies, populações e regiões de acordo com a filtragem do tipo de ambiente e histórias evolutivas ⁷³. Entretanto, se esse for o caso, é difícil dizer até quando tal situação pode se manter, uma vez que mesmo sem evidência estatística, todos os modelos para os ambientes pequenos e a maioria dos

modelos para o peso, exibiram tendências de diminuição. Portanto, ações preventivas já podem ser consideradas de importância para a bacia do Alto Rio Paraná. A ausência de evidência estatística também pode ser um reflexo da qualidade dos dados. Nossas análises foram limitadas a apenas uma coleção científica, e isso pode ter influenciado os resultados encontrados. Algumas espécies tiveram poucos indivíduos analisados, dificultando preencher todas as lacunas temporais. Dessa forma, é possível também que uma maior clareza estatística seja alcançada expandindo a base de dados.

De qualquer maneira, não há dúvidas de que as atividades antrópicas desencadeiam respostas genéticas (evolução fenotípica) e/ou plásticas (plasticidade fenotípica), que são os dois principais mecanismos subjacentes as variações históricas de tamanhos ^{71, 95}. Já a rapidez com que as espécies respondem as mudanças advindas das ações antrópicas, é mais incerto ⁹⁶. Nesse trabalho, poucos anos foram o suficiente para sinalizar diminuições no tamanho de algumas espécies nativas da bacia do Alto Rio Paraná. E isso é importante porque: 1) as mudanças podem estar ocorrendo muito rapidamente, apesar da causa dessas mudanças serem difíceis de isolar, uma vez que vários estressores antropogênicos agem ao mesmo tempo sob os ecossistemas; e 2) as mudanças temporais no tamanho do corpo não serão facilmente revertidas ⁹⁵. Enquanto os fatores ambientais que afetam crescimento e a maturação podem demonstrar flutuações ao longo do tempo, aumentando ou diminuindo as pressões sobre as espécies, os fatores seletivos são mais contínuos e difíceis de serem revertidos ^{95, 96}.

Até o momento, existe uma compreensão limitada também sobre como essas mudanças no tamanho afetam as espécies e os ambientes naturais. Sabe-se que a forte pressão da pesca pode causar mudanças na história de vida, idades de maturação mais precoces e reduzir a heterogeneidade espacial tanto fenotípica, quanto genética das espécies. Isso porque os peixes economicamente valiosos normalmente são aqueles de maior porte, que ocupam os níveis tróficos superiores. À medida que eles são retirados do ambiente pela sobrepesca, impossibilita-se as suas reproduções e, conseqüentemente, diminui-se a frequência desses fenótipos no ambiente ⁹⁷. Além disso, os indivíduos menores que permanecem no ambiente não proveem filhotes na mesma quantidade ou aptidão, reduzindo a capacidade reprodutiva das espécies. Peixes menores também não possuem um alto valor comercial, o que direciona as capturas para outras espécies ou espécies de níveis tróficos inferiores que não eram atingidas pela pesca antes, onde muito provavelmente o ciclo se

repetirá ^{40, 98}. Os aumentos, bem como as diminuições nos tamanhos corporais, também podem afetar as cadeias tróficas, comprometendo os controles *bottom-up* e *top-down* ²⁸.

No âmbito social, essas tendências reduzem a capacidade dos ecossistemas de fornecer contribuições sustentáveis para as pessoas, como por exemplo, os rendimentos da pesca e segurança alimentar ^{99, 100}. Inúmeras famílias dependem da pesca para alimentação, subsistência e até mesmo para recreação ²³. A diminuição no tamanho dos peixes muitas vezes significa menos comida e/ou lucros para alguns segmentos sociais ²³. Além disso, estudos mostram que existe uma relação positiva da biodiversidade de água doce e a produção pesqueira ¹⁰¹, evidenciando que sem uma, dificilmente haverá a outra. Mesmo assim, 52% dos estoques de peixes do mundo foram totalmente explorados, 19% sobre-explorados, 20% moderadamente explorados ou sub-explorados, 8% esgotados e 1% em recuperação ^{23,40}.

A sobre-exploração dos recursos pesqueiros naturais acontecem porque eles são categorizados como um bem comum ¹⁰². Mesmo sendo um recurso biológico natural renovável, ele pode ser facilmente exaurido devido ao livre acesso, que muitas vezes resulta na extração intensiva desses recursos da natureza ¹⁰². No Brasil, o estado intervém regulamentando e controlando a pesca para evitar tais situações, impondo taxas e multas, exigência de licenças, estabelecendo cotas de captura, suspendendo ou limitando o número de pescadores em determinados locais e épocas do ano, proibindo determinados apetrechos de pesca e impondo tamanhos mínimos para os peixes capturados ⁴². A determinação dos tamanhos mínimos permitidos vem do pensamento de que capturar indivíduos imaturos compromete a manutenção das populações dessas espécies a longo prazo. No entanto, a retirada de indivíduos grandes e adultos também, uma vez que com isso perde-se aqueles com maior potencial de produzir ovos (*mega-spawners*).

Assim, a própria política de controle da pesca pode estar contribuindo em parte para a diminuição nos tamanhos dos peixes, ao compelir que apenas os indivíduos maiores sejam retirados do ambiente. E, de fato, *L. friderici* e *P. lineatus* possuem tamanhos mínimos de captura ⁴² e ainda assim demonstraram algumas tendências de diminuição. Rainer Froese ¹⁰³ argumenta que, para a conservação e persistência das espécies de peixes, não apenas os juvenis precisam crescer até comprimentos ideais e se reproduzirem, mas também todos os “*mega-spawners*” devem ser excluídos das capturas (Figura 21). Para uma pesca sustentável, apenas a captura dentro de uma faixa específica de comprimento (Lopt) deveria ser permitido,

a fim de garantir rendimentos elevados para a pesca, sem comprometer a manutenção das espécies.

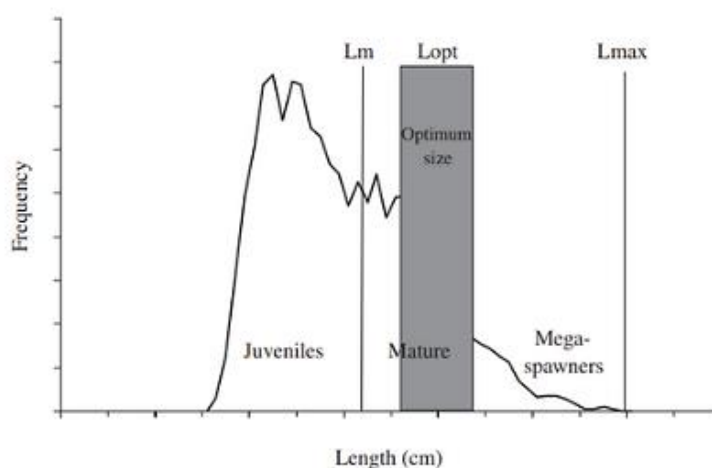


Figura 21. Modelo sustentável de pesca proposto por Rainer Froese ¹⁰³, onde L_m indica o comprimento da primeira maturação, L_{opt} indica a faixa de comprimento onde os peixes podem ser capturados e o rendimento máximo de pesca pode ser obtido, e L_{max} é o tamanho máximo alcançado durante a vida do peixe.

Mais dados são necessários para realizar análises mais robustas e explicativas. Verificar se os nossos resultados se repetem em diferentes escalas, suas causas e consequências são de extrema importância para a manutenção e sustentabilidade das assembleias de peixes. Apenas dados de riqueza e abundância sobre as populações exploradas já não se mostram mais suficientes para planejamentos de gestão ^{40, 104}. Informações sobre a estrutura das populações e comunidades serão cada vez mais necessários para prevenir efeitos deletérios e manter a sustentabilidade dos sistemas ^{40, 101}. Contudo, é preciso reconhecer a dificuldade de se obter estatísticas sobre as capturas continentais no Brasil. A grande maioria da pesca em ambientes de água doce inclui a pesca artesanal, recreativa e ilegal, que são subnotificadas ou não notificadas, dificultando a obtenção de informações sobre tais atividades ao longo do tempo ^{23, 24}. E ainda que tenham sido usados dados de coleções científicas para acessar mudanças temporais nessa pesquisa, esses espaços também possuem alguns vieses. Exemplos de grande porte, tendem a ocupar muito espaço e, por isso, muitas vezes não são incorporados nas coleções; quando o são, apenas a cabeça é retirada como testemunho. A quantidade de coletas científicas de peixes realizadas e depositadas na coleção DZISRP também aumentaram com o passar dos anos, explicando porque havia muito mais exemplares

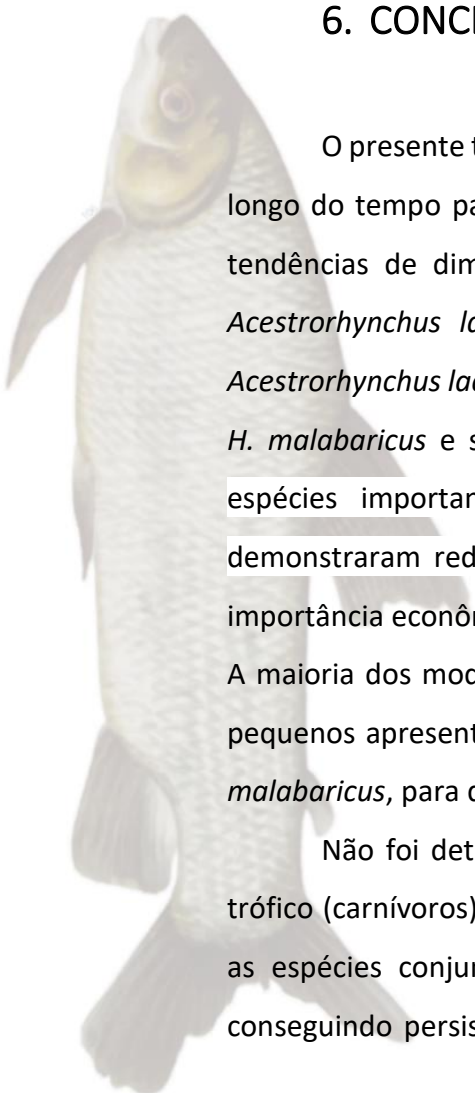
após os anos 2000 nos conjuntos de dados, do que antes disso (ver Apêndice I e II). Como resultado, os exemplares presentes na coleção DZJSRP capturam apenas parte do tempo histórico para registrar os declínios ou aumentos no tamanho do corpo.

Em suma, este estudo deve ser visto como um sinal de alerta para maiores esforços de proteção, conservação e pesquisas na área. A partir do momento em que buscar por estados “intocados” das populações e ecossistemas não é mais uma opção, porque dados de condições pristinas antes da pesca ou de outras ações antrópicas são muitas vezes desconhecidas ⁹, aumentará a necessidade de manter-se bases de dados históricas sobre a biodiversidade. Considerando a importância dos peixes de água doce, será necessário recursos suficientes para monitorar e proteger essa biodiversidade, bem como o desenvolvimento de regulamentos que sustentem a reprodução, recrutamento e crescimento das espécies de peixes nativas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho investigou possíveis alterações no comprimento padrão e peso ao longo do tempo para 10 espécies nativas da bacia do Alto Rio Paraná. Foram encontradas tendências de diminuição do comprimento padrão ou peso para indivíduos adultos de *Acestrorhynchus lacustris*, *L. friderici* e *C. callichthys*, e para os indivíduos juvenis de *Acestrorhynchus lacustris*, *S. hilarii* e *C. callichthys*; tendências de aumentos para os juvenis de *H. malabaricus* e situações variadas para os juvenis de *L. friderici* e *P. lineatus*. Tanto as espécies importantes para pesca, quanto espécies normalmente pouco capturadas, demonstraram reduções das variáveis apuradas, evidenciando que não apenas peixes de importância econômica para a pesca podem estar sofrendo mudanças no tamanho do corpo. A maioria dos modelos por espécie com evidência estatística realizados para os ambientes pequenos apresentaram tendências de diminuição para as espécies. A única exceção foi *H. malabaricus*, para qual a tendência foi traíras maiores e mais pesadas ao longo do tempo.

Não foi detectado nenhum efeito geral da pressão de pesca (alta ou baixa) e nível trófico (carnívoros). A ausência de evidência estatística para esses modelos que abordavam as espécies conjuntamente, pode significar que as populações das espécies-alvo estão conseguindo persistir até o momento, possivelmente devido a respostas diferenciadas entre



espécies, populações e regiões de acordo com a filtragem do tipo de ambiente e histórias evolutivas. Entretanto, se esse for o caso, é difícil dizer até quando tal situação irá se manter, uma vez que todos os modelos para os ambientes pequenos e a maioria dos modelos para o peso, já exibiram tendências de diminuição. A ausência de evidência estatística também pode ser um reflexo da qualidade dos dados. Por isso, para trabalhos futuros, vale a pena explorar diferentes coleções científicas. Assim, será possível atingir uma maior quantidade de exemplares para as espécies e diminuir as lacunas temporais.

Em síntese, tais resultados são um sinal de alerta para ações mais adequadas de manejo e conservação da biodiversidade de peixes nativos da bacia do Alto Rio Paraná e também para a necessidade de bases de dados históricas que possam registrar não somente a biodiversidade, mas também aspectos intrínsecos a ela.

Disponibilidade do código

As análises estatísticas foram arquivadas e estão disponíveis em:
<https://github.com/April231997/Mestrado>

REFERÊNCIAS

- BUTLER, Octavia E. **A Parábola do Semeador**. São Paulo: Editora Morro Branco, 2018.
1. CRUTZEN, Paul J.; STOERMER, Eugene F. "The 'Anthropocene'" (2000). In: **The Future of Nature**. Yale University Press, 2013. p. 479-490.
 2. LEWIN, John; MACKLIN, Mark G. Marking time in geomorphology: should we try to formalise an Anthropocene definition?. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 1, p. 133-137, 2014.
 3. CORLETT, Richard T. The Anthropocene concept in ecology and conservation. **Trends in ecology & evolution**, v. 30, n. 1, p. 36-41, 2015.
 4. WILKINSON, Bruce H. Humans as geologic agents: A deep-time perspective. **Geology**, v. 33, n. 3, p. 161-164, 2005.

5. STEFFEN, Will; SMITH, Mark Stafford. Planetary boundaries, equity and global sustainability: Why wealthy countries could benefit from more equity. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 3-4, p. 403-408, 2013.
6. ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. **nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.
7. COWIE, Robert H.; BOUCHET, Philippe; FONTAINE, Benoît. The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation?. **Biological Reviews**, 2022.
8. SOGA, Masashi; GASTON, Kevin J. Shifting baseline syndrome: causes, consequences, and implications. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 16, n. 4, p. 222-230, 2018.
9. HUMPHRIES, Paul; WINEMILLER, Kirk O. Historical impacts on river fauna, shifting baselines, and challenges for restoration. **BioScience**, v. 59, n. 8, p. 673-684, 2009.
10. PAULY, Daniel. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. **Trends in ecology & evolution**, v. 10, n. 10, p. 430, 1995.
11. BONEBRAKE, Timothy C. et al. Population decline assessment, historical baselines, and conservation. **Conservation Letters**, v. 3, n. 6, p. 371-378, 2010.
12. PAPWORTH, Sarah K. et al. Evidence for shifting baseline syndrome in conservation. **Conservation letters**, v. 2, n. 2, p. 93-100, 2009.
13. PINNEGAR, John K.; ENGELHARD, Georg H. The 'shifting baseline' phenomenon: a global perspective. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 18, n. 1, p. 1-16, 2008.
14. BOWLER, Diana E. et al. Mapping human pressures on biodiversity across the planet uncovers anthropogenic threat complexes. **People and Nature**, v. 2, n. 2, p. 380-394, 2020.
15. VAN DER SLEEN, Peter; ALBERT, James S. Patterns in Freshwater Fish Diversity. 2021.
16. FRICKE, Ronald. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. **Electronic version accessed**, v. 4, 2020.
17. REIS, R. E. et al. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of fish biology**, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.
18. LANGEANI, Francisco et al. Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná: composição atual e perspectivas futuras. **Biota Neotropica**, v. 7, p. 181-197, 2007.
19. ALBERT, James S. et al. Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. **Ambio**, v. 50, n. 1, p. 85-94, 2021.
20. PIRES, A. P. F. et al. Relatório Temático Água: biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano no Brasil. **Editores Cubo, São Carlos**, p. 1-20, 2019.
21. IUCN, Internacional Union for Conservation of Nature. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1; <http://www.iucnredlist.org/>

22. DUDGEON, David et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological reviews**, v. 81, n. 2, p. 163-182, 2006.
23. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Sustainability in action. **State of World Fisheries and Aquaculture. Rome**, v. 200, 2020.
24. ALLAN, J. David et al. Overfishing of inland waters. **BioScience**, v. 55, n. 12, p. 1041-1051, 2005.
25. PIET, G. J.; JENNINGS, S. Response of potential fish community indicators to fishing. **ICES Journal of marine Science**, v. 62, n. 2, p. 214-225, 2005.
26. NGOR, Peng Bun et al. Evidence of indiscriminate fishing effects in one of the world's largest inland fisheries. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018.
27. AUDZIJONYTE, Asta et al. Ecological consequences of body size decline in harvested fish species: positive feedback loops in trophic interactions amplify human impact. **Biology letters**, v. 9, n. 2, p. 20121103, 2013.
28. PAULY, Daniel et al. Fishing down marine food webs. **Science**, v. 279, n. 5352, p. 860-863, 1998.
29. SÁENZ-ARROYO, Andrea et al. Rapidly shifting environmental baselines among fishers of the Gulf of California. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 272, n. 1575, p. 1957-1962, 2005.
30. BUNCE, Matthew et al. Shifting baselines in fishers' perceptions of island reef fishery degradation. **Ocean & Coastal Management**, v. 51, n. 4, p. 285-302, 2008.
31. KATIKIRO, Robert E. Perceptions on the shifting baseline among coastal fishers of Tanga, Northeast Tanzania. **Ocean & coastal management**, v. 91, p. 23-31, 2014.
32. TICKNER, David et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. **BioScience**, v. 70, n. 4, p. 330-342, 2020.
33. DUDGEON, David. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. **Current Biology**, v. 29, n. 19, p. R960-R967, 2019.
34. GASTON, Kevin J.; BLACKBURN, Tim M. **Pattern and process in macroecology**. Oxford: Blackwell Science, 2000.
35. NEE, Sean; LAWTON, John H. Body size and biodiversity. **Nature**, v. 380, n. 6576, p. 672-673, 1996.
36. FROESE, Rainer. 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.
37. FROESE, Rainer; TSIKLIRAS, Athanassios C.; STERGIOU, Konstantinos I. Editorial note on weight–length relations of fishes. **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, v. 41, n. 4, p. 261-263, 2011.
38. BLUEWEISS, L. et al. Relationships between body size and some life history parameters. **Oecologia**, v. 37, n. 2, p. 257-272, 1978.
39. BERKELEY, Steven A.; CHAPMAN, Colin; SOGARD, Susan M. Maternal age as a determinant of larval growth and survival in a marine fish, *Sebastes melanops*. **Ecology**, v. 85, n. 5, p. 1258-1264, 2004.

40. HSIEH, Chih-hao et al. Fishing effects on age and spatial structures undermine population stability of fishes. **Aquatic Sciences**, v. 72, n. 2, p. 165-178, 2010.
41. VAZZOLER, Anna Emília Amato de Moraes. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: Eduem, 1996.
42. IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Diário Oficial da União**, n. 169, 2009.
43. LOPES, Taise Miranda et al. Temporal changes in migratory fish body size in a neotropical floodplain. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 2, p. 489-504, 2020.
44. ALLENDORF, Fred W.; HARD, Jeffrey J. Human-induced evolution caused by unnatural selection through harvest of wild animals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. supplement_1, p. 9987-9994, 2009.
45. BROWN, James H. et al. Toward a metabolic theory of ecology. **Ecology**, v. 85, n. 7, p. 1771-1789, 2004.
46. CASTRO, Ricardo; POLAZ, Carla N. M. Peixes de pequeno porte: a porção maior e mais ameaçada da fauna megadiversa de peixes de água doce neotropicais. **Biota Neotropica**, v. 20, n. 1, 2020.
47. CASATTI, Lilian; LANGEANI, Francisco; CASTRO, Ricardo. Peixes de riacho do Parque Estadual Morro do Diabo, bacia do alto rio Paraná, SP. **Biota Neotropica**, v. 1, p. 1-15, 2001.
48. AGOSTINHO, A. A. et al. Fish diversity in the upper Paraná River basin: habitats, fisheries, management and conservation. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, n. 2, p. 174-186, 2007.
49. MMA. Caderno da Região Hidrográfica do Paraná. 2006.
50. VAZZOLER, A. E. A. de M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. Segatti. **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: Eduem, 1997.
51. AGOSTINHO, Angelo Antonio; PELICICE, Fernando Mayer; GOMES, Luiz Carlos. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. **Brazilian journal of biology**, v. 68, p. 1119-1132, 2008.
52. JIE. Jornal de Itaipu Eletrônico. Disponível em <http://jie.itaipu.gov.br/print_node.php?&secao=turbinadas&q=node/6&nid=24475>. Acesso em: 20/06/2022.
53. CRIA. Centro de Referência em Informação Ambiental - SpeciesLink. 2014.
54. GRAÇA, Weferson Júnio et al. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. 2007.
55. MIKICH, Sandra Bos; BÉRNILS, Renato Silveira. **Livro vermelho da fauna ameaçada no Estado do Paraná**. Instituto ambiental do Paraná, 2004.

56. FROESE, Reiner. FishBase. world wide web electronic publication. <http://www.fishbase.org>, 2009.
57. OLIVEIRA, Edson Fontes et al. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 3, p. 569-586, 2010.
58. CZORLICH, Yann et al. Rapid sex-specific evolution of age at maturity is shaped by genetic architecture in Atlantic salmon. **Nature ecology & evolution**, v. 2, n. 11, p. 1800-1807, 2018.
59. DAUFRESNE, Martin; LENGFELLNER, Kathrin; SOMMER, Ulrich. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 31, p. 12788-12793, 2009.
60. OLSEN, Esben M. et al. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. **Nature**, v. 428, n. 6986, p. 932-935, 2004.
61. CAMPANHA, Paula Maria Gênova de Castro et al. Length-weight relationships and biological aspects for 34 fish species from Três Irmãos reservoir, Lower Tietê River Basin, SP-Brazil. **B. Inst. Pesca**, p. e458-e458, 2019.
62. ORSI, Mário L.; SHIBATTA, Oscar A.; SILVA-SOUZA, A. T. Caracterização biológica de populações de peixes do rio Tibagi, localidade de Sertãoópolis. **A bacia do rio Tibagi. Londrina: UEL**, p. 425-432, 2002.
63. TAKAHASHI, Erico Luis Hoshiba. Ciclo reprodutivo da tabarana, *Salminus hilarii* (Valenciennes, 1849) (Characidae, Salmininae) na região do baixo rio Sorocaba, SP. 2006.
64. GOMES, Levy de Carvalho et al. Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (TELEOSTEI, PIMELODIDAE). **Ciência Rural**, v. 30, p. 179-185, 2000.
65. BARBIERI, Geraldo. Dinâmica da reprodução do cascudo, *Rineloricaria latirostris* Boulenger (Siluriformes, Loricariidae) do rio Passa Cinco, Ipeúna, São Paulo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 11, p. 605-615, 1994.
66. WOOD, Simon. mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation. 2012.
67. BATES, Douglas et al. Package 'lme4'. **Version**, v. 1, n. 17, p. 437, 2018.
68. MILLARD, Steven P.; KOWARIK, Alexander; KOWARIK, Maintainer Alexander. Package 'EnvStats'. **Packag. Environ. Stat. Version**, v. 2, p. 31-32, 2018.
69. TEAM, R. Core et al. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
70. PETERS, Robert H.; PETERS, Robert Henry. **The ecological implications of body size**. Cambridge university press, 1986.
71. GARDNER, Janet L. et al. Declining body size: a third universal response to warming?. **Trends in ecology & evolution**, v. 26, n. 6, p. 285-291, 2011.

72. VAN BUSKIRK, Josh; MULVIHILL, Robert S.; LEBERMAN, Robert C. Declining body sizes in North American birds associated with climate change. **Oikos**, v. 119, n. 6, p. 1047-1055, 2010.
73. OKE, K. B. et al. Recent declines in salmon body size impact ecosystems and fisheries. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2020.
74. AUDZIJONYTE, Asta et al. Fish body sizes change with temperature but not all species shrink with warming. **Nature ecology & evolution**, v. 4, n. 6, p. 809-814, 2020.
75. MCCANN, Kevin S. et al. Food webs and the sustainability of indiscriminate fisheries. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 73, n. 4, p. 656-665, 2016.
76. LOPES, C. de A.; BENEDITO-CECILIO, E.; AGOSTINHO, A. A. The reproductive strategy of *Leporinus friderici* (Characiformes, Anostomidae) in the Paraná river basin: the effect of reservoirs. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p. 255-266, 2000.
77. HAHN, Norma Segatti; DELARIVA, Rosilene Luciana; LOUREIRO, Valdirene Esgarbosa. Feeding of *Acestrorhynchus lacustris* (Characidae): a post impoundment studies on Itaipu reservoir, upper Paraná River, PR. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, p. 207-213, 2000.
78. GODINHO, Alexandre Lima; LAMAS, Ivana Reis; GODINHO, Hugo Pereira. Reproductive ecology of Brazilian freshwater fishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 87, n. 2, p. 143-162, 2010.
79. GOMES, R. Z. et al. Impact of a large dam on reproduction of a non-migratory teleost species, *Acestrorhynchus lacustris* (Characiformes: Acestrorhynchidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2021.
80. MOL, Jan H. Effects of salinity on distribution, growth and survival of three neotropical armoured catfishes (Siluriformes—Callichthyidae). **Journal of Fish Biology**, v. 45, n. 5, p. 763-776, 1994.
81. CASATTI, L. et al. Stream fish, water and habitat quality in a pasture dominated basin, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 681-696, 2006.
82. CASATTI, Lilian et al. From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish?. **Neotropical Ichthyology**, v. 10, n. 1, p. 205-214, 2012.
83. DA ROCHA, F. C.; CASATTI, L.; PEREIRA, D. C. Structure and feeding of a stream fish assemblage in Southeastern Brazil: evidence of low seasonal influences. **Acta Limnologica Brasiliensia**, p. 123-134, 2009.
84. YOM-TOV, Yoram; YOM-TOV, Shlomith; JARRELL, Gordon. Recent increase in body size of the American marten *Martes americana* in Alaska. **Biological Journal of the Linnean society**, v. 93, n. 4, p. 701-707, 2008.
85. YOM-TOV, Yoram; YOM-TOV, Shlomith; BAAGØE, Hans. Increase of skull size in the red fox (*Vulpes vulpes*) and Eurasian badger (*Meles meles*) in Denmark during the twentieth century: an effect of improved diet?. **Evolutionary Ecology Research**, v. 5, n. 7, p. 1037-1048, 2003.

86. CHAMAILLÉ-JAMMES, SIMON et al. Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. **Global Change Biology**, v. 12, n. 2, p. 392-402, 2006.
87. WIKELSKI, Martin; ROMERO, L. Michael. Body size, performance and fitness in Galapagos marine iguanas. **Integrative and Comparative Biology**, v. 43, n. 3, p. 376-386, 2003.
88. BARBIERI, Geraldo. Dinâmica da reprodução e crescimento de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae) da represa do Monjolinho, São Carlos/SP. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 6, p. 225-233, 1989.
89. ALBRECHT, Míriam Pilz; CARAMASCHI, Érica Pellegrini. Feeding ecology of *Leporinus friderici* (Teleostei; Anostomidae) in the upper Tocantins River, Central Brazil, before and after installation of a hydroelectric plant. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 38, n. 1, p. 33-40, 2003.
90. RÊGO, Ana Carolina Lacerda et al. Relação peso-comprimento para *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) e *Leporinus friderici* (Bloch, 1794) (Characiformes) no reservatório de Nova Ponte–EPDA de Galheiro, rio Araguari, MG. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 10, n. 1, 2008.
91. ARAUJO, Renato Braz de. Ictiofauna de lagoas marginais sazonalmente isoladas, rio Turvo, bacia do rio Grande, Alto Paraná, SP. 2008.
92. MUFF, Stefanie et al. Rewriting results sections in the language of evidence. **Trends in ecology & evolution**, 2021.
93. ALTMAN, Douglas G.; BLAND, J. Martin. Statistics notes: Absence of evidence is not evidence of absence. **Bmj**, v. 311, n. 7003, p. 485, 1995.
94. LAW, Richard. Fishing, selection, and phenotypic evolution. **ICES Journal of Marine Science**, v. 57, n. 3, p. 659-668, 2000.
95. GARCIA, Izabel Correa Boock de. Influência da Pesca Seletiva sobre o Comprimento Médio de Maturação em Populações de Dourado (*Salminus brasiliensis*), Piraputanga (*Brycon hilarii*) e Curimatá (*Prochilodus lineatus*) no Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. 2006.
96. DUSHOFF, Jonathan; KAIN, Morgan P.; BOLKER, Benjamin M. I can see clearly now: reinterpreting statistical significance. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 6, p. 756-759, 2019.
97. CONOVER, David O.; MUNCH, Stephan B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. **Science**, v. 297, n. 5578, p. 94-96, 2002.
98. KINDSVATER, Holly K.; PALKOVACS, Eric P. Predicting eco-evolutionary impacts of fishing on body size and trophic role of Atlantic cod. **Copeia**, v. 105, n. 3, p. 475-482, 2017.
99. LYNCH, Abigail J. et al. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries. **Environmental Reviews**, v. 24, n. 2, p. 115-121, 2016.

100. WELCOMME, Robin L. et al. Inland capture fisheries. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2881-2896, 2010.
101. BROOKS, Emma Grace Elizabeth et al. Global evidence of positive impacts of freshwater biodiversity on fishery yields. **Global Ecology and Biogeography**, v. 25, n. 5, p. 553-562, 2016.
102. MCKELVEY, Robert. Common property and the conservation of natural resources. In: **Applied Mathematical Ecology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1989. p. 58-80.
103. FROESE, Rainer. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. **Fish and fisheries**, v. 5, n. 1, p. 86-91, 2004.
104. JENNINGS, Simon; DULVY, Nicholas K. Reference points and reference directions for size-based indicators of community structure. **ICES Journal of Marine Science**, v. 62, n. 3, p. 397-404, 2005.

ILUSTRAÇÕES DE FUNDO

105. SHIBATTA, Oscar Aiko. Introdução à ilustração de peixes 4: Colorindo com lápis de cor solúvel em água. **Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia**, n. 120, p. 17-21, 2016.
106. BRITSKI, Heraldo A.; SILIMON, KZ de S.; LOPES, Balzak S. Peixes do Pantanal-Manual de identificação. 1999.

APÊNDICE I – HISTOGRAMAS GERAIS

Histogramas gerais do comprimento padrão (cm) e peso (g) das espécies-alvo, incluem todos os indivíduos medidos.

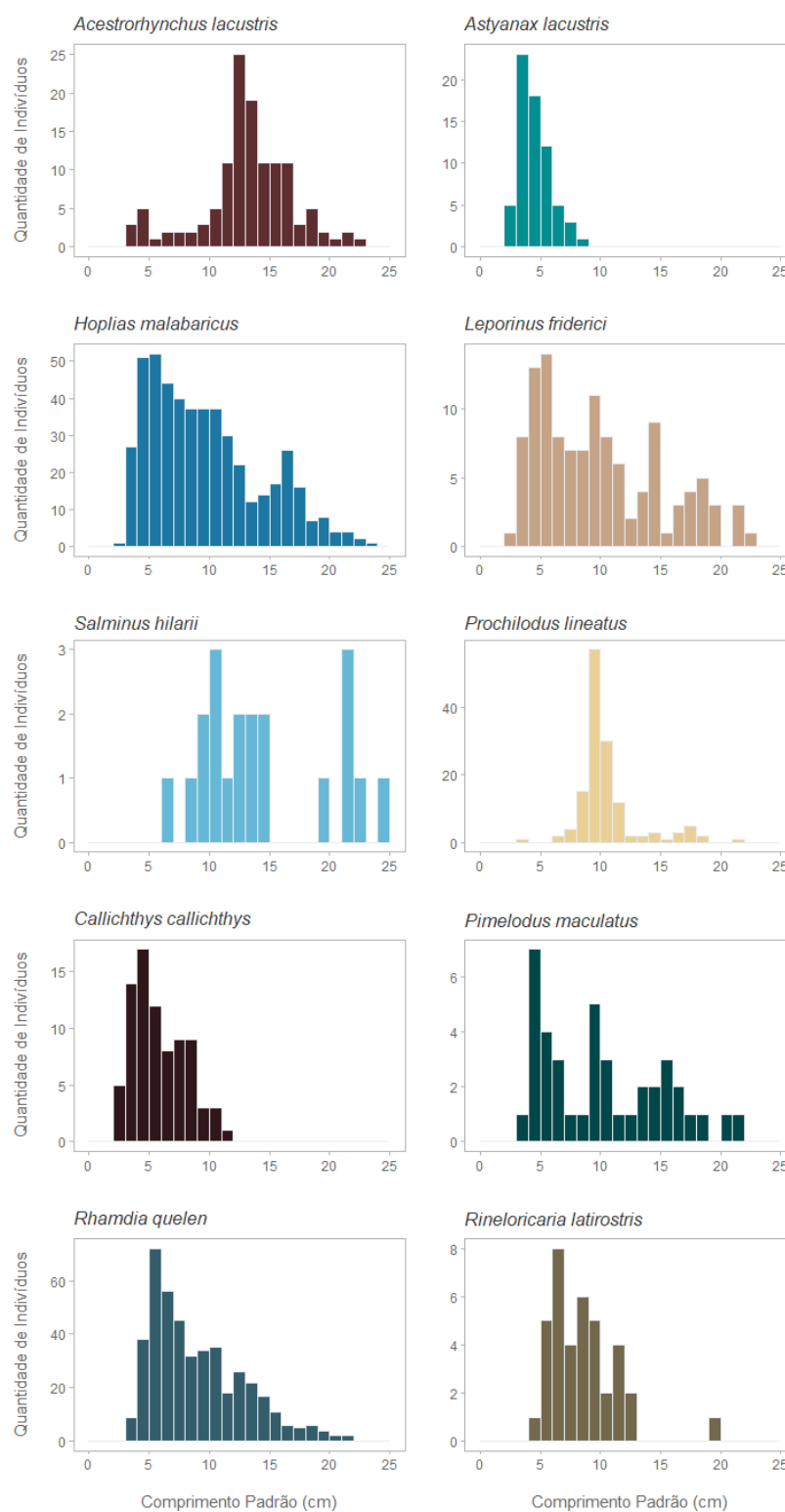


Figura 22. Histograma geral do comprimento padrão (cm), inclui todos os exemplares medidos de cada espécie.

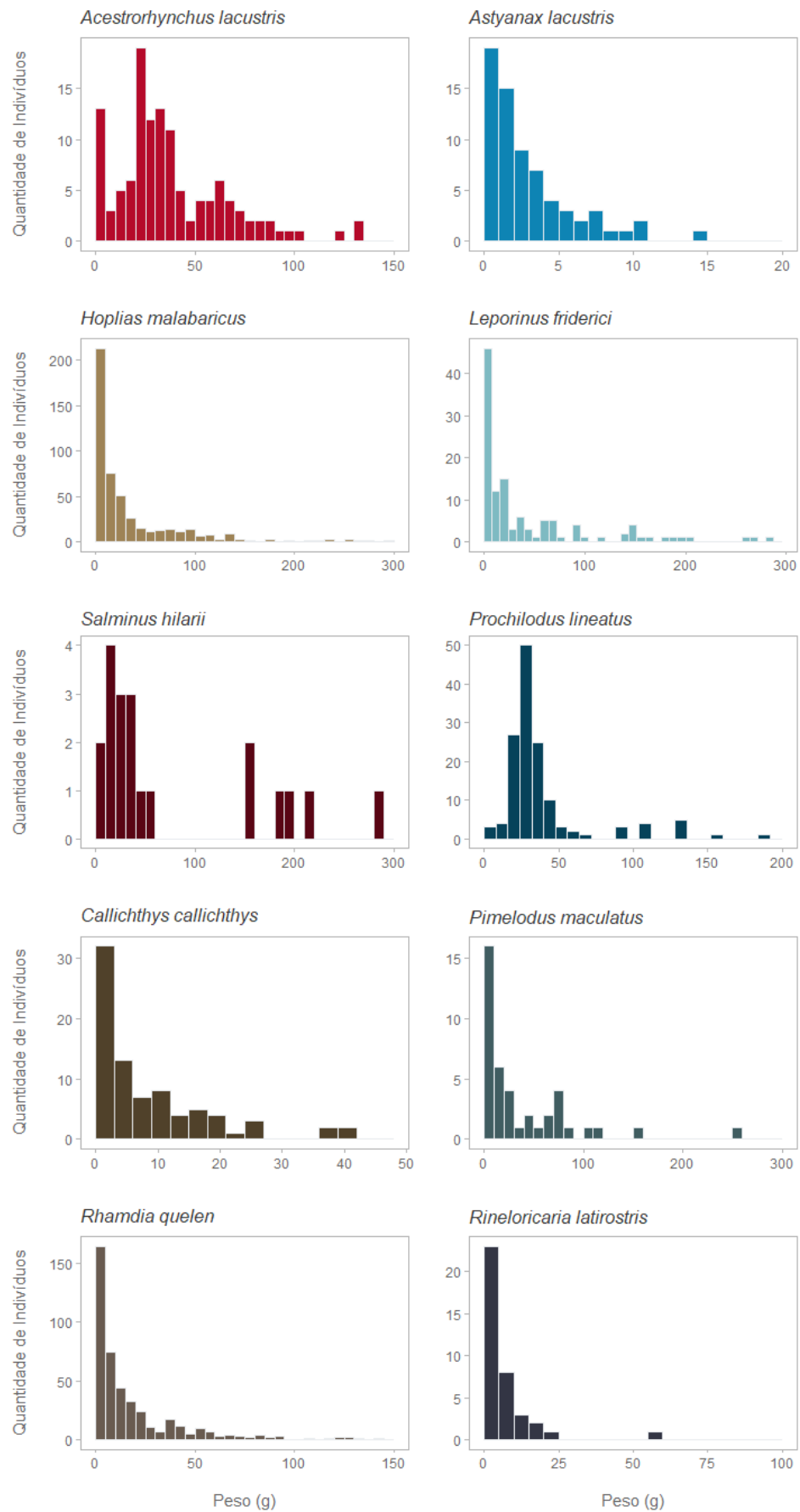


Figura 23. Histograma geral do peso(g), inclui todos os exemplares medidos de cada espécie.

APÊNDICE II – QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS POR ANO

Histograma geral da quantidade de indivíduos presentes por ano na coleção DZSJRP.

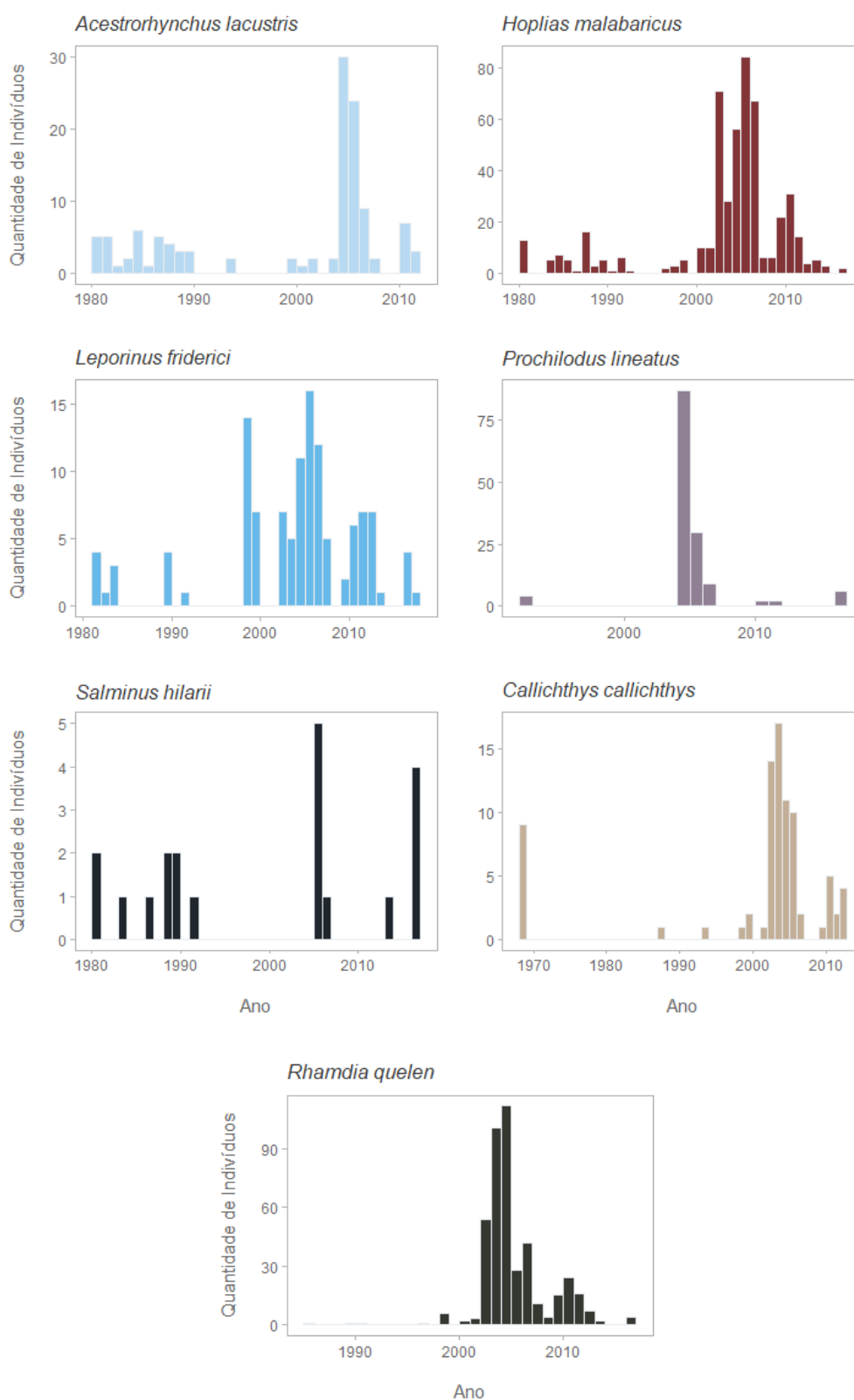


Figura 24. Quantidade de indivíduos presente por ano das espécies com evidência estatística na coleção DZSJRP

APÊNDICE III – MODELOS SEM EVIDÊNCIA ESTATÍSTICA

Modelos GAMMs e GAMs que não apresentaram evidência estatística (ou seja, $p < 0.05$ e $R^2 > 0.1$).

Acestrorhynchus lacustris (Lütken, 1875)

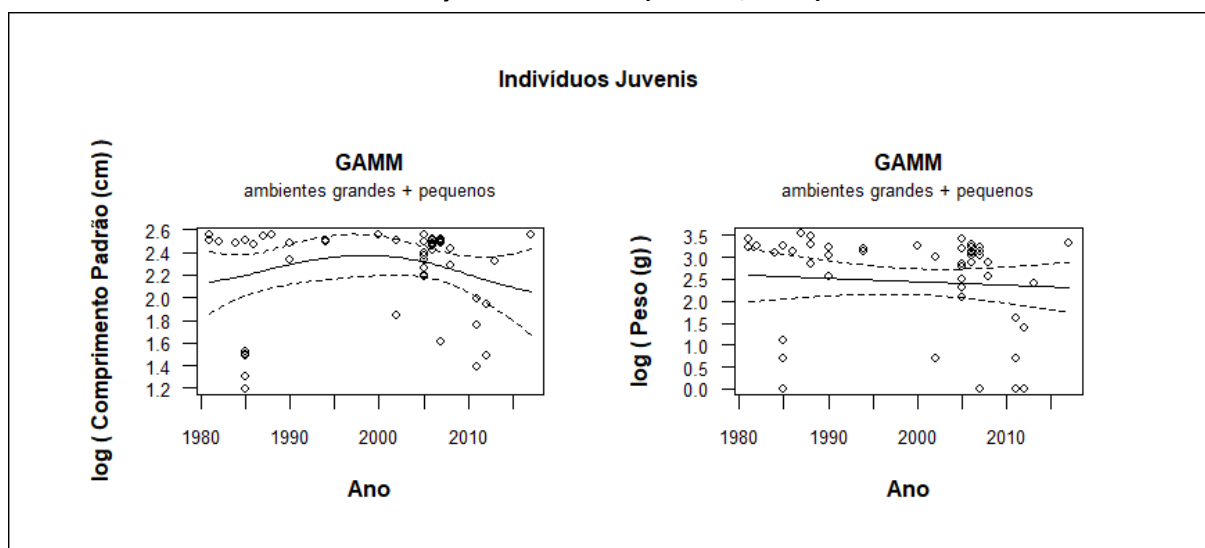


Figura 25. Modelos GAMMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875).

Leporinus friderici (Bloch, 1794)

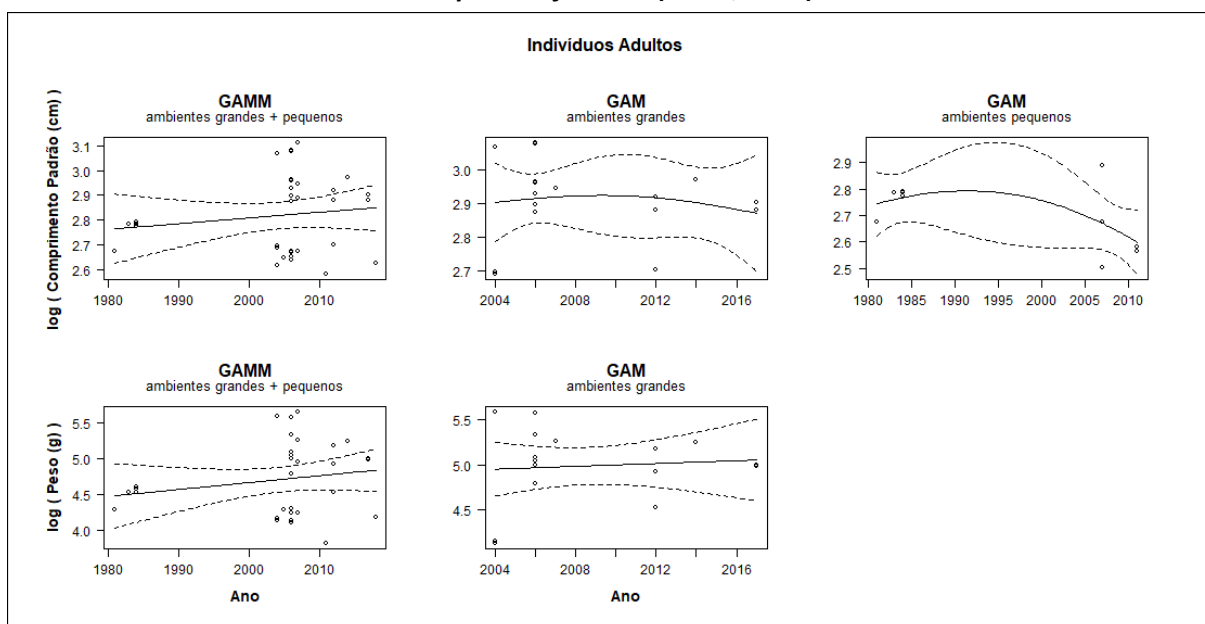


Figura 26. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos de *Leporinus friderici* (Bloch, 1794).

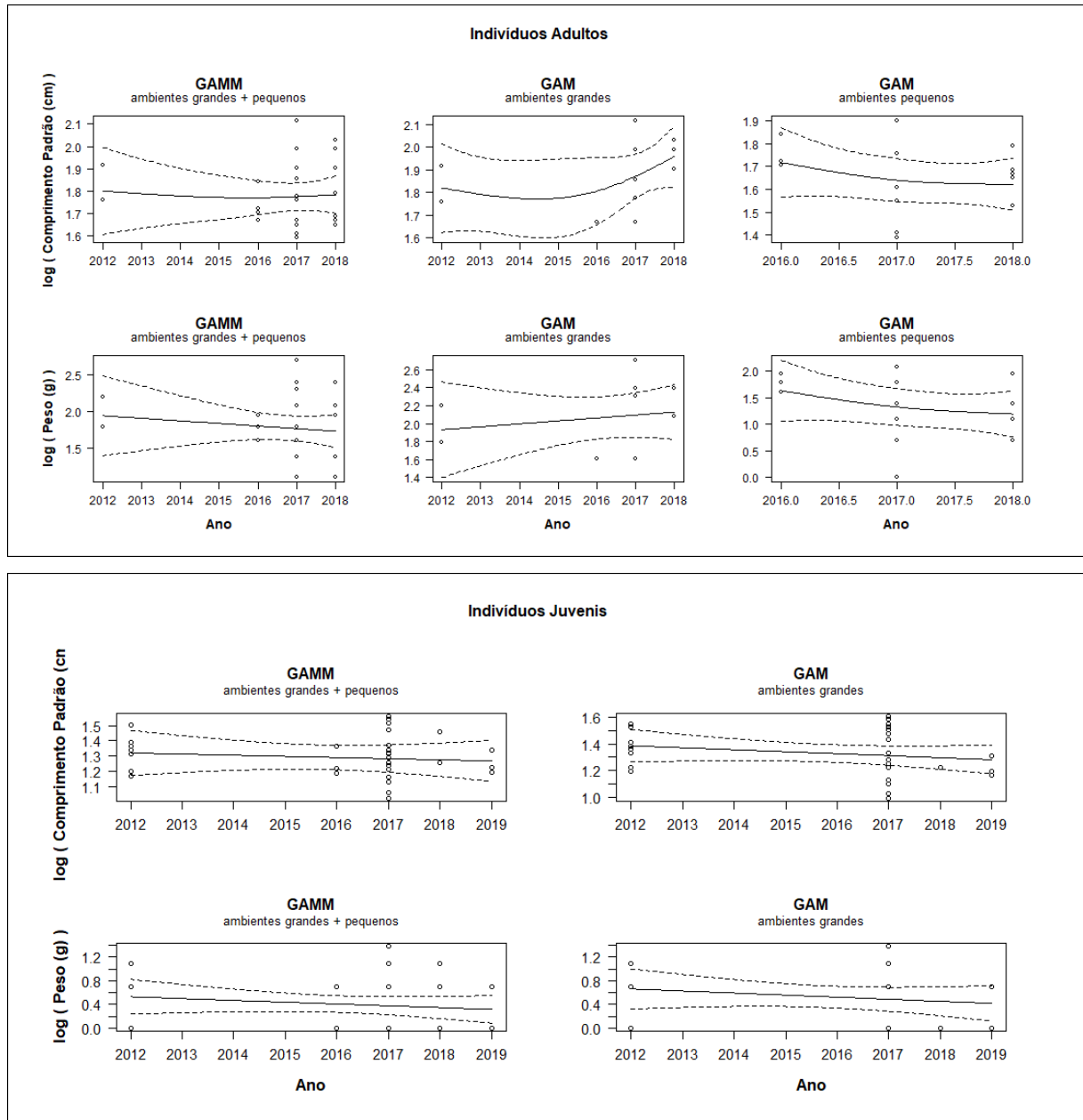
***Astyanax lacustris* (Lütken, 1875)**

Figura 27. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de *Astyanax lacustris* (Lütken, 1875).

***Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794)**

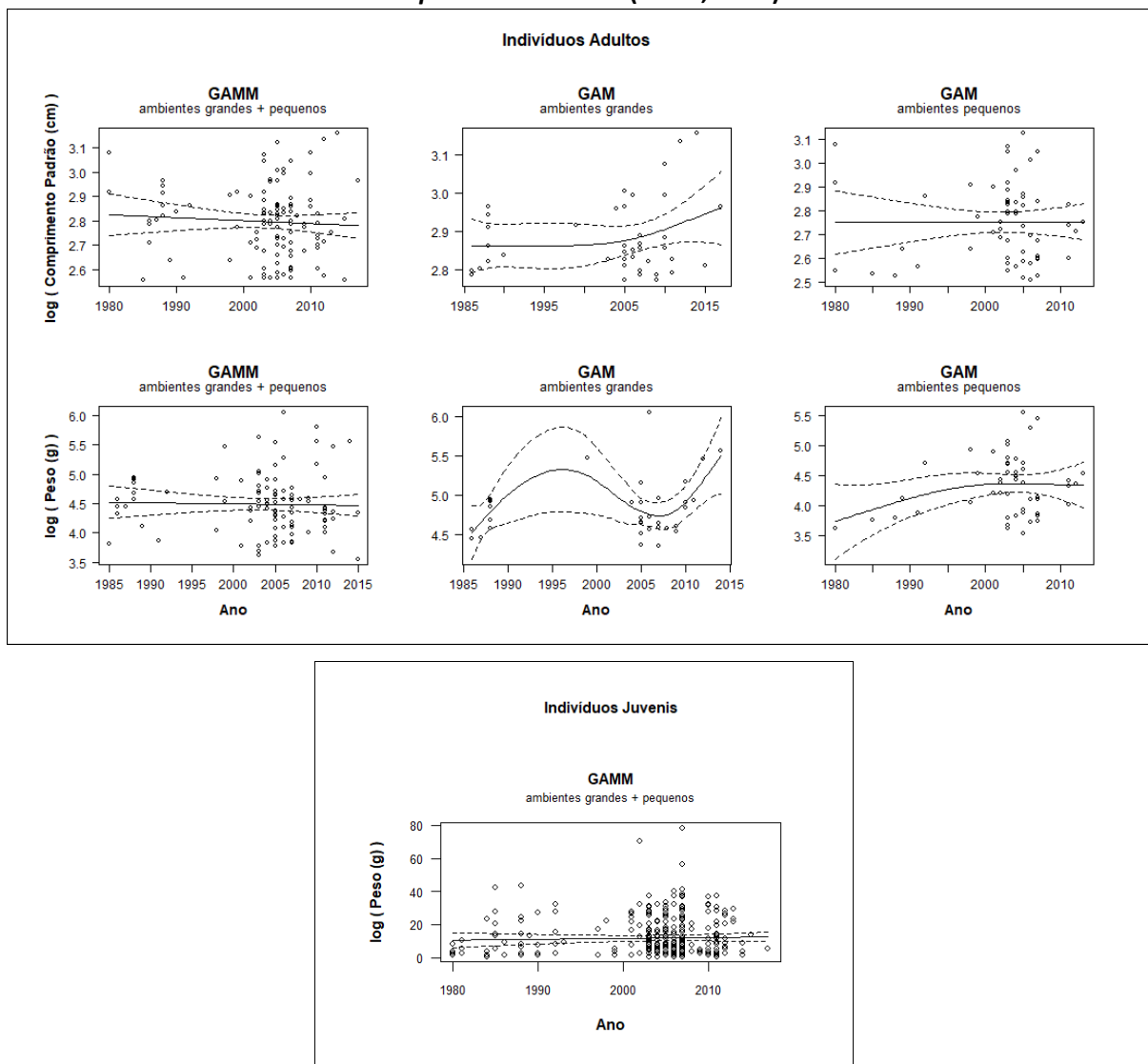


Figura 28. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794).

***Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836)**

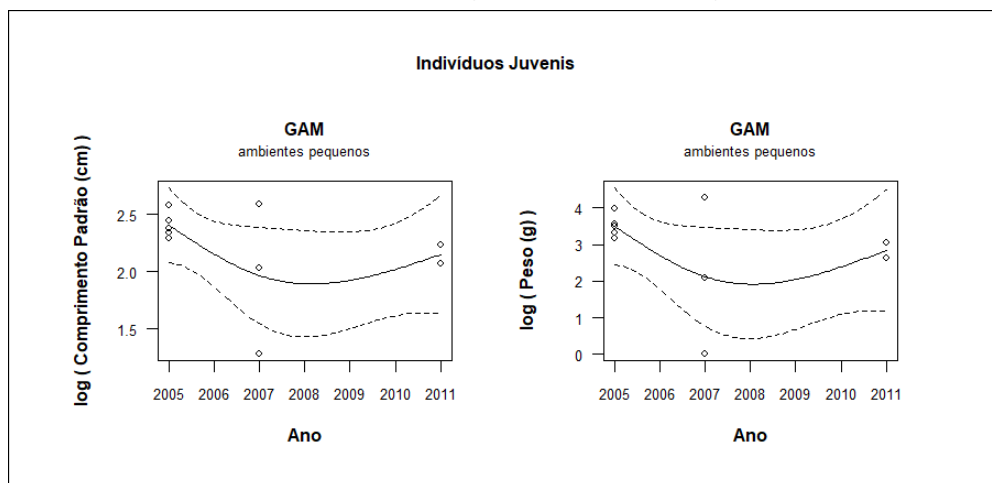


Figura 29. Modelos GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836).

***Salminus hilarii* Valenciennes, 1850**

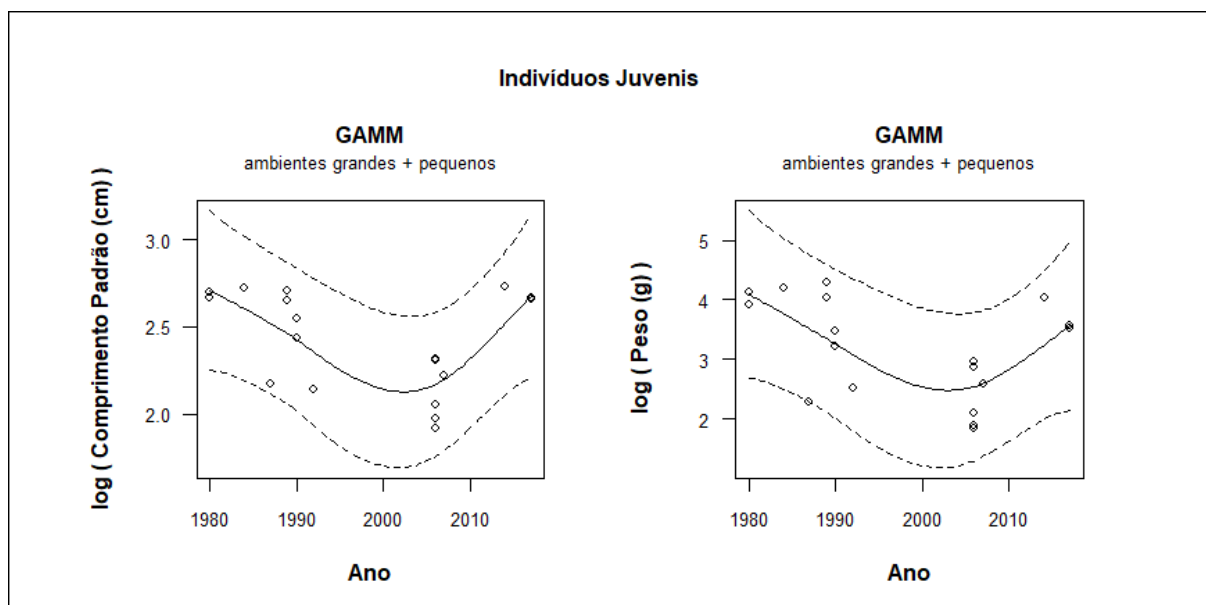


Figura 30. Modelo GAMMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850.

***Pimelodus maculatus* (Valenciennes, 1836)**

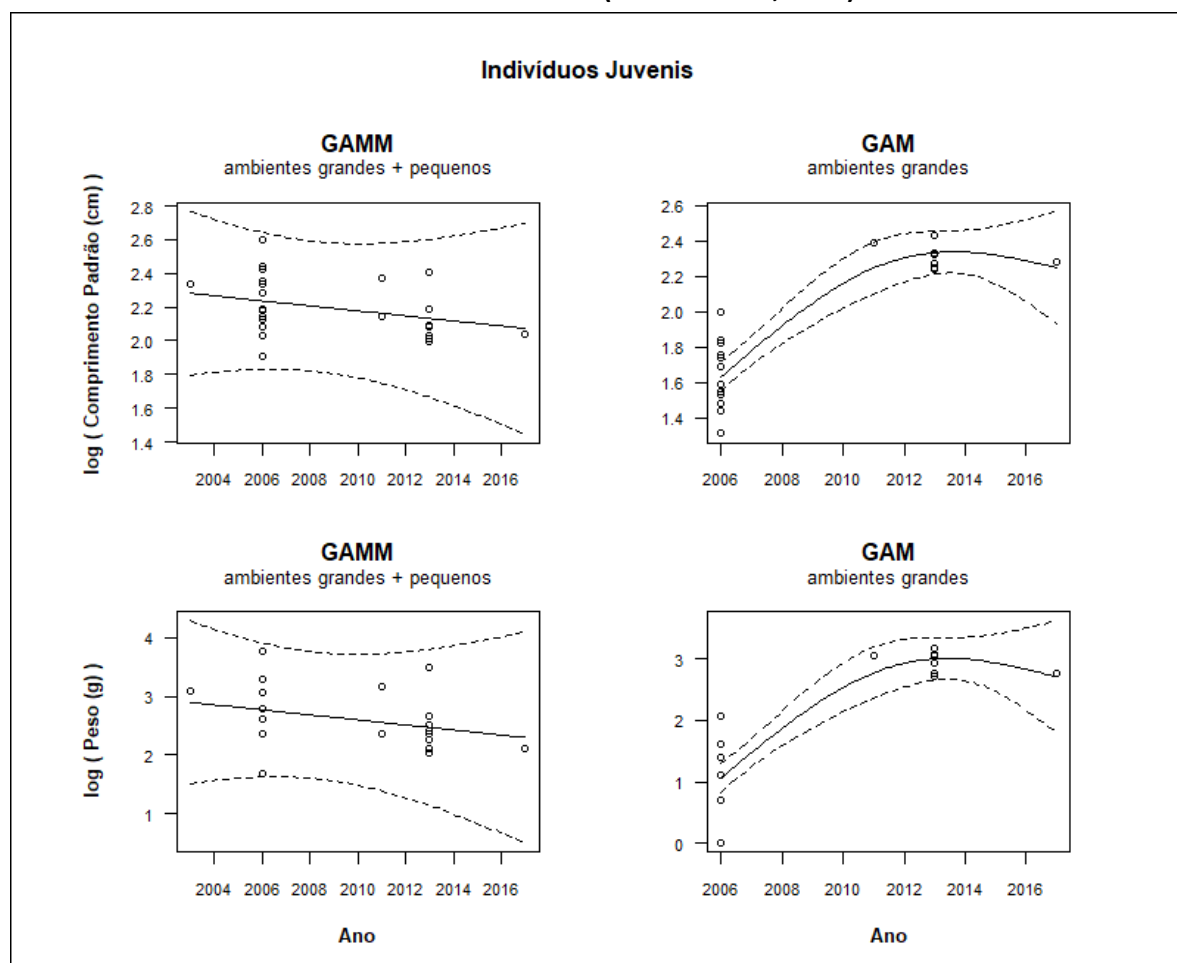


Figura 31. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos juvenis de *Pimelodus maculatus* (Valenciennes, 1836).

Callichthys callichthys (Linnaeus, 1758)

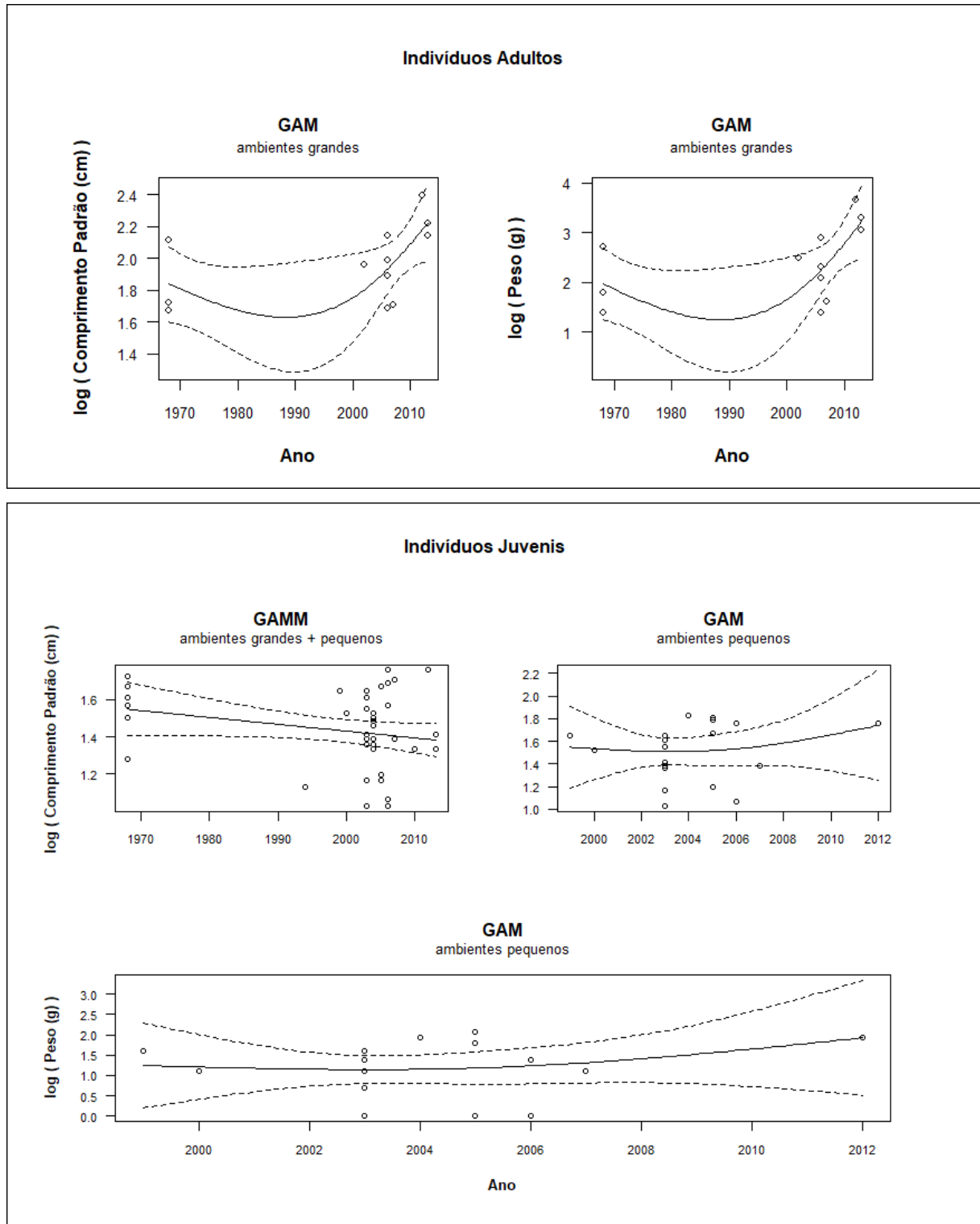


Figura 32. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de *Callichthys callichthys* (Linnaeus, 1758).

***Rineloricaria latirostris* (Boulenger 1900)**

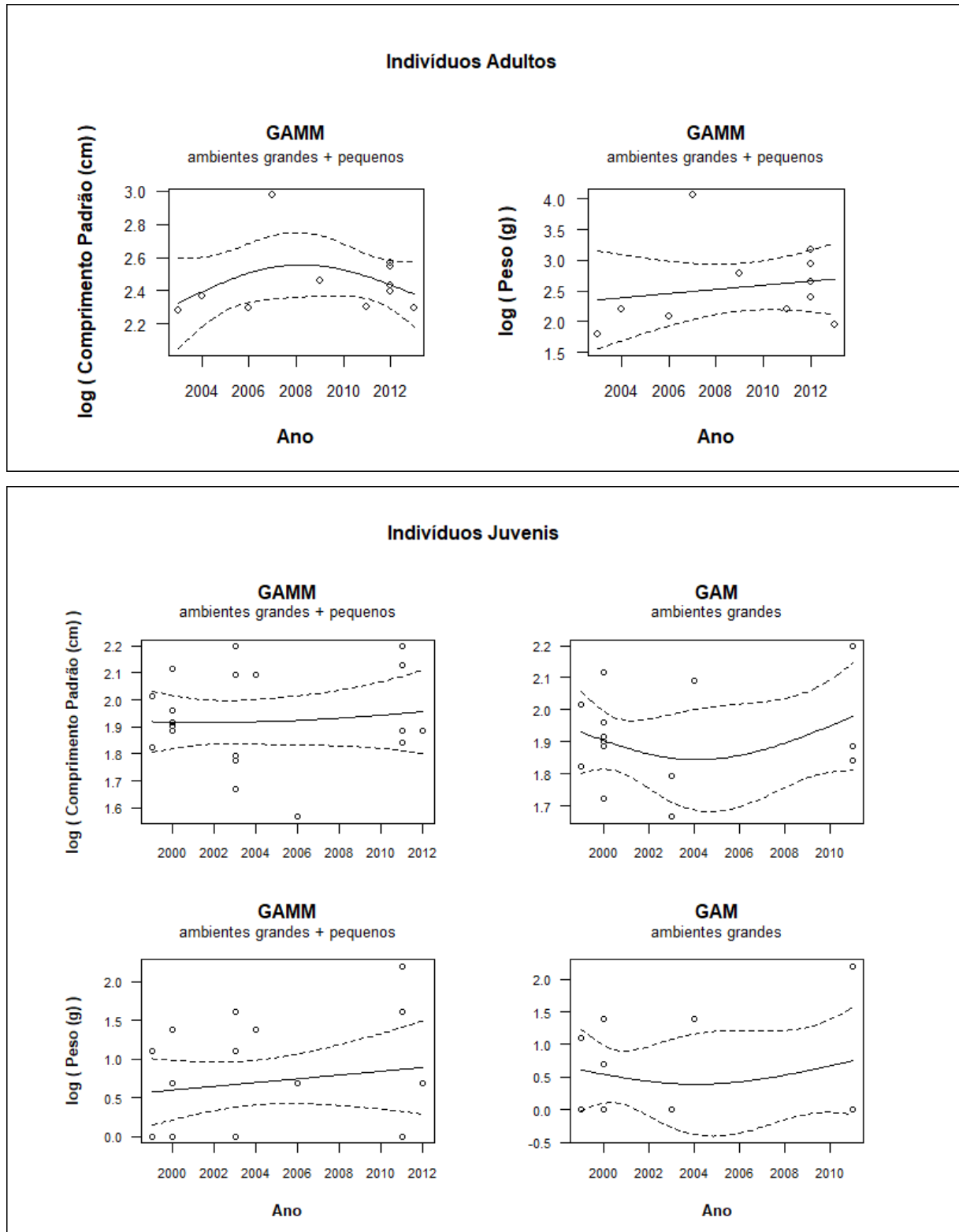


Figura 33. Modelos GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de *Rineloricaria latirostris* (Boulenger 1900).

***Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824)**

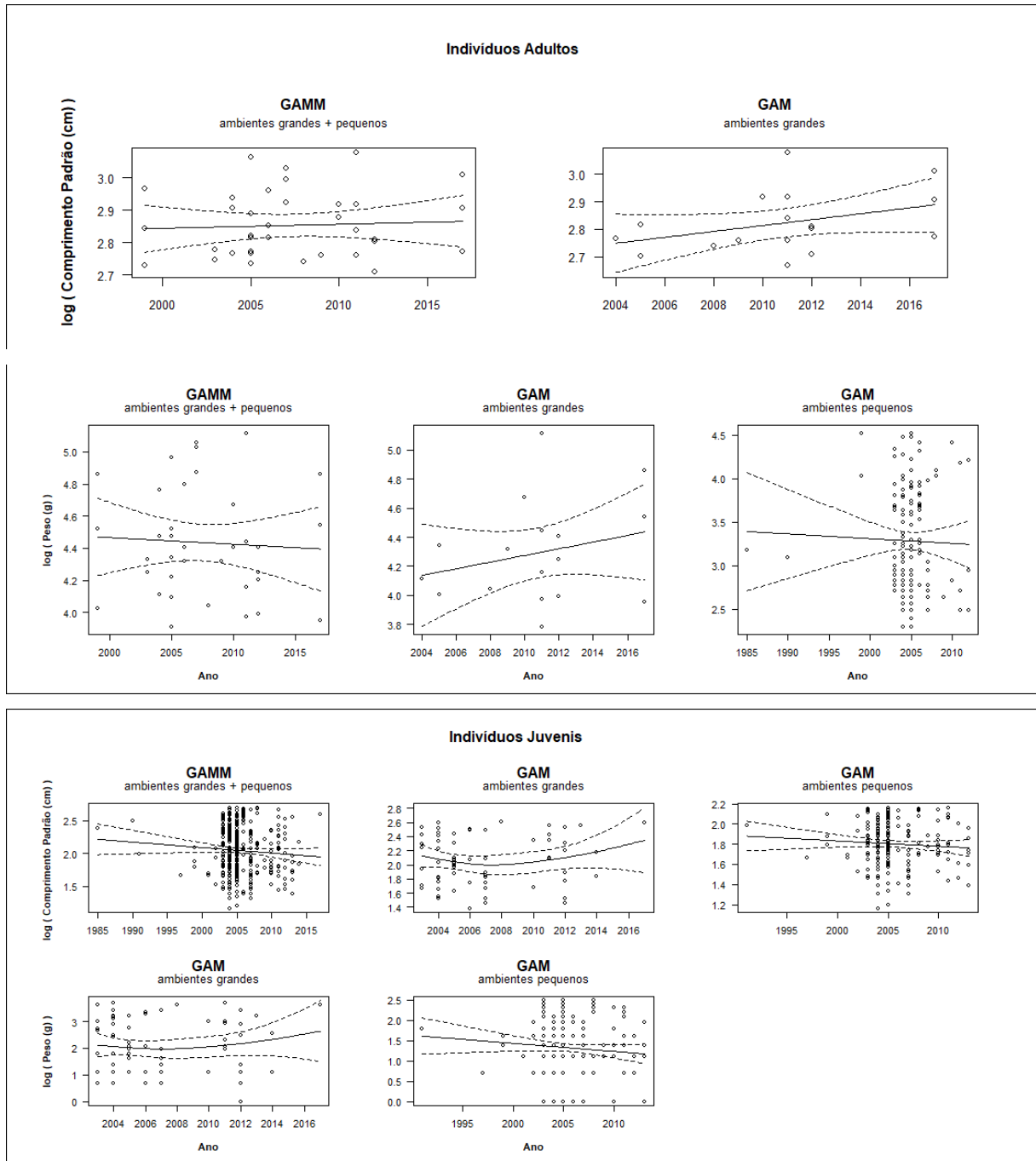


Figura 6. Modelo GAMMs e GAMs sem evidência estatística do comprimento padrão (cm) e peso (g) para o conjunto de indivíduos adultos e juvenis de *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824).

Não havia indivíduos suficientes na amostra para a realização de modelos para os indivíduos juvenis de ambientes pequenos de *Acestrorhynchus lacustris*, *Astyanax lacustris*, *S. hilarii* e *P. maculatus*; e para os indivíduos adultos de ambientes grandes e ambientes pequenos de *R. latirostris*.