



**SARAH DE OLIVEIRA SARAIVA**

**EFEITO DO ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL  
SOBRE A MORFOLOGIA DE PEIXES  
CULTIVADOS**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**SARAH DE OLIVEIRA SARAIVA**

**EFEITO DO ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE A  
MORFOLOGIA DE PEIXES CULTIVADOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

**LAVRAS – MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Saraiva, Sarah de Oliveira.

Efeito do enriquecimento ambiental sobre a morfologia de peixes  
cultivados / Sarah de Oliveira Saraiva. – Lavras : UFLA, 2013.

142 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Paulo dos Santos Pompeu.

Bibliografia.

1. Piscicultura. 2. Atributos ecomorfológicos. 3. Variabilidade  
morfológica. 4. Enriquecimento estrutural. 5. Enriquecimento social.

I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.526322

**SARAH DE OLIVEIRA SARAIVA**

**EFEITO DO ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL SOBRE A  
MORFOLOGIA DE PEIXES CULTIVADOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 1 de março de 2013.

Dr. Edson Fontes de Oliveira UTFPR

Dr. Marcelo de Castro Leal UFLA

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

*A meus pais, Ernani e Regina, retribuindo um pouco do exemplo, dedicação,  
apoio, incentivo e ensinamento que sempre me deram.  
Seguir em frente sempre, desistir nunca.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, por ter sido a minha casa durante os anos de Graduação e de Pós-Graduação. Lugar onde cresci como pessoa, tornei-me uma profissional qualificada e onde passei os melhores anos da minha vida. Agradeço à UFLA por toda estrutura, condição e apoio fornecidos aos estudantes;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada e a CAPES pelo curso de mestrado e pela respectiva bolsa;

À CEMIG, à Usina Hidrelétrica de Volta Grande e em especial ao João de Magalhães Lopes, por terem possibilitado a realização do experimento, fornecendo toda estrutura, mão de obra e apoio técnico necessários;

Ao pessoal da Estação de Piscicultura de Volta Grande, que não hesitaram em me ajudar em tudo o que foi necessário;

À Alessandra Bedore, por ter garantido a execução do meu experimento mesmo em meio a todo o trabalho e a todos os outros projetos da Estação. Por ter feito as reproduções, por ter cedido sua mão de obra, por ter me ensinado o manejo e pela boa vontade em fazê-lo;

Agradeço novamente ao João, por ter ajudado na reprodução e por ter buscado soluções quando tudo dava errado.

Ao Caissor, pela boa vontade e persistência em achar matrizes para a reprodução e ao João Daniel, pelas ideias e auxílio que foram essenciais na estruturação dos tanques;

Aos meninos da Leserpa, em especial ao Sr. Darci, ao Rogério e ao Juninho que foram a mão de obra do projeto, que alimentaram os peixes, deram manutenção nos tanques, ajudaram na coleta, e sempre buscaram, de boa vontade, fazer tudo exatamente como eu precisava.

À Valda, que ajudou no possível e que providenciou meus almoços e me deu pousada quando precisei;

À Sônia, a quem não tenho palavras para agradecer, pois me ajudou em todos os aspectos possíveis e imagináveis. Fez de tudo e mais um pouco para que o experimento corresse bem e para que eu ficasse bem. Cuidou dos aspectos burocráticos, do meu transporte, da minha estadia, da minha alimentação, me ajudou no experimento, com os peixes, com as artêmias, com o zooplâncton, com as coletas e com os benditos troncos e plantas plásticas! Foi minha guia, minha motorista, minha ajudante, minha anfitriã, enfim, realmente foi uma mãe para mim, pois fez coisas que só uma mãe faria. A ela só posso ser eternamente grata!

Ao laboratório de Ecologia de Peixes, em especial ao Fábio, à Míriam e ao Marcelo, que foram de grande ajuda na fase final do experimento. Agradeço pela distância percorrida, pelas horas no sol e calor, pelo campeonato de carregamento de peso, pelo trabalho sincronizado no experimento de predação, pelos minutos intermináveis em frente ao aquário no experimento de comportamento e pela disponibilidade em ajudar;

Agradeço também ao Marcelo e à Carol, pela ajuda essencial nos infundáveis desenhos de peixes;

À minha mãe, pela ajuda no experimento, pois foi a responsável pela fabricação de cada uma das plantas plásticas quando eu não tinha tempo para fazê-las! Agradeço também a ela e ao meu pai, minha irmã Stella e meu namorado Cristiano, pelo apoio e compreensão constantes;

Aos colegas de sala, de laboratório e de república pelos momentos de descontração e auxílio;

Aos colegas de sala agradeço, em especial pelo curso de campo, onde pudemos estreitar os laços de amizade, aprender análises estatísticas no R, queimar alguns neurônios além é claro de curtir Ibitipoca;

Aos membros da banca, que com toda a certeza contribuíram para a melhoria deste trabalho;

Agradeço ao Prof. Edson, pela disponibilidade em se deslocar de Londrina até Lavras a despeito das horas de viagem e pelas ótimas sugestões fornecidas, as quais certamente serão acatadas;

Agradeço ao Dr. Marcelo por aceitar participar da banca de um trabalho voltado para ecologia, para a qual seu ponto de vista certamente só teve a acrescentar;

Agradeço ao João por ter participado, mesmo que informalmente, e por suas colocações mais que pertinentes.

Enfim, ao meu orientador, Paulo Pompeu, primeiramente agradeço por ter continuado a ser meu orientador na Pós-Graduação. Agradeço por ter idealizado este projeto comigo, mesmo se tratando de um tipo de trabalho inédito no laboratório, bem diferente de todos os outros e sem financiamento algum. Agradeço por ter tornado viável a realização do mesmo, buscando o apoio e os recursos necessários. Agradeço por me acalmar nos momentos de desespero, por sempre achar uma solução para tudo e por ser uma pessoa super otimista. Agradeço por sua imensa dedicação ao trabalho, pela paixão contagiante pela biologia, pela ecologia, pelos ambientes aquáticos e pelos peixes. Agradeço pela vontade de fazer ecologia realmente aplicada e passar o conhecimento gerado para fora da universidade. Agradeço pelo apoio e incentivo em relação a todas as atividades que eu sempre exerci fora do laboratório, já que eu nunca me dediquei exclusivamente a ele. E por fim, agradeço simplesmente por ser o orientador que é, com sua amizade, disponibilidade e bom humor constante e por sempre ter me dado total liberdade, que foi a melhor forma de me ensinar a fazer pesquisa!



*"A mente que se abre a uma  
nova ideia jamais volta ao seu  
tamanho original."*

Albert Einstein

## RESUMO

A estocagem de peixes consiste na reprodução e cultivo de peixes em cativeiro para posterior soltura em corpos d'água. Esta medida de manejo geralmente é aplicada no país para mitigar os impactos causados à ictiofauna pelos reservatórios e barragens de usinas hidrelétricas. Todavia existem muitas controvérsias em relação aos efeitos da estocagem de peixes e sua eficácia nunca foi comprovada. Grande parte da ineficiência pode ser explicada pelas pequenas taxas de sobrevivência pós-soltura, pois os peixes soltos não são adaptados ao ambiente natural e sim ao ambiente de cativeiro. Tanques de cultivo apresentam condições totalmente diferentes das naturais, com alto grau de homogeneidade ambiental, o que resulta em populações menos variadas. O enriquecimento ambiental de tanques pode ser proposto, como forma de minimizar os efeitos da homogeneidade ambiental, pois incorpora designs naturais ao ambiente de cultivo tornando-o mais parecido com o natural. A partir disto, o presente trabalho avaliou o efeito do enriquecimento ambiental de tanques de piscicultura sobre a morfologia de peixes cultivados. Dois tipos de enriquecimento foram utilizados: o enriquecimento estrutural, que foi proporcionado pela adição de troncos submersos e plantas aquáticas artificiais, visando o aumento da complexidade ambiental; e o enriquecimento social, incorporado pela adição de uma segunda espécie visando o aumento do grau de interações ecológicas. Duas espécies de peixe nativas e migradoras foram analisadas, *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyanus*. O objetivo geral com esta pesquisa foi tornar as condições de cultivo mais próximas daquelas encontradas na natureza, a fim de induzir nos indivíduos cultivados de ambas as espécies uma morfologia mais semelhante a dos peixes nativos. Os resultados demonstraram que o enriquecimento ambiental tem forte efeito sobre a morfologia das espécies. Mas cada espécie foi influenciada de uma maneira, tanto em relação aos atributos ecomorfológicos quanto em relação à variabilidade morfológica. O grau de influência do enriquecimento mudou conforme a idade dos peixes e ao longo do tempo e também conforme o tipo de enriquecimento, sendo que o enriquecimento social teve maior efeito que o enriquecimento estrutural. De maneira geral, os resultados sugerem que o enriquecimento ambiental é uma ferramenta eficiente para o manejo em piscicultura. Em relação à morfologia pode ser aplicado a fim de gerar peixes com padrões morfológicos diferentes do convencional. Entretanto, mais estudos devem ser realizados a fim de aperfeiçoar as técnicas de enriquecimento e entender melhor como tal mecanismo atua sobre a morfologia e desenvolvimento dos peixes e sobre as interações entre as espécies.

Palavras-chave: Piscicultura. Atributos ecomorfológicos. Variabilidade morfológica. Enriquecimento estrutural. Enriquecimento social.

## ABSTRACT

Hatchery programs reproduce and cultivate native fishes in captivity for post release into water bodies. This management action is usually applied in Brazil to mitigate impacts caused by dams and reservoirs of hydroelectric plants on fish populations. However there are many controversies regarding the effects of release of hatchery fishes and its effectiveness has never been proven. Much of this inefficiency can be explained by low rates of post-release survival, because fish released are not adapted to the natural environment, but are adapted to captive environment. Tanks have totally different conditions from natural, with a high degree of homogeneity, which results in fish with less variability. Environmental enrichment in hatchery can be proposed as a way to minimize the effects of homogeneity, since incorporates natural designs on captive environment making it more like the natural. From this, the present study evaluated the effect of hatchery enrichment on the morphology of fish. Two types of enrichment were used: structural enrichment, which was provided by the addition of trunks submerged and artificial aquatic plants aimed at increasing environmental complexity, and social enrichment, which was incorporated by addition of a second species in order to increase the degree of ecological interactions. Two species of native and migratory fish were analyzed, *Prochilodus lineatus* and *Brycon orbignyanus*. The general aim was to make hatchery conditions closer to those found in nature in order to induce in individuals of both species a morphology more similar to the wild fishes. The results demonstrated that environmental enrichment has a strong effect on the morphology of both species. But each species was differently influenced by enrichment both in relation to morphological traits as in morphological variability. The degree of influence changed depending on the fish age and over time and also depending on the type of enrichment, so the social enrichment had a greater effect than the structural. Overall, the results suggest that environmental enrichment is an effective tool for management in hatchery fish. Regarding morphology can be applied to generate fish with different morphological patterns than conventional. However, more studies should be done to improve the enrichment techniques and better understand how this mechanism works on morphology and development of fish and on the interactions between species.

Keywords: Pisciculture. Ecomorphological attributes. Morphological variability. Structural enrichment. Social enrichment.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 2

Figura 1	Progenitores de origem selvagem utilizados na reprodução. a) <i>Prochilodus lineatus</i> . b) <i>Brycon orbignyanus</i> .....	39
Figura 2	Larvas vistas na lupa ainda com saco vitelínico. a) curimba. b) piracanjuba.....	39
Figura 3	Desenho experimental. Em a os quatro tratamentos demonstrados para cada espécie. As dimensões de cada tanque estão indicadas. Em b estão demonstrados os números de pós-larvas introduzidas em cada tanque e o número de peixes coletados.....	41
Figura 4	Tratamento C: Tanque controle sem estruturação.....	42
Figura 5	Tratamento M: Tanques estruturado com macrófitas confeccionadas com sacos plásticos.....	42
Figura 6	Tratamento T: Tanques estruturado com troncos de eucalipto submersos.....	42
Figura 7	Tratamento T+M: Tanques estruturados c/ troncos e macrófitas artificiais.....	43
Figura 8	a) Incubadoras e b) Tanques utilizados no experimento.....	43
Figura 9	a) Coleta de dos indivíduos. b) Peixes anestesiados.....	44
Figura 10	Indivíduos coletados aos dois meses de idade de <i>Prochilodus lineatus</i> (a) e <i>Brycon orbignyanus</i> (b).....	44
Figura 11	Projeção dos quatro tratamentos [C=controle; T=troncos; M=macrófitas; A= ambos (troncos+macrófitas)] de <i>Prochilodus lineatus</i> e <i>Brycon orbignyanus</i> nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. Cada tratamento se encontra destacado em uma cor.....	49
Figura 12	Gráficos do log da distância do centroide mais um [log(DC+1)] em a para <i>P.lineatus</i> e em b para <i>B. orbignyanus</i> . A ANOVA foi significativa para ambas as espécies ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificando DCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.....	52
Figura 13	Histogramas mostrando para cada tratamento o número de indivíduos por classe de comprimento padrão.....	53

Figura 14	Gráficos do fator de condição (FC) para <i>P.lineatus</i> e <i>B. orbignyianus</i> respectivamente. A ANOVA foi significativa para ambas as espécies ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificando quais FCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.....	54
CAPITULO 3		
Figura 1	Desenho experimental. São demonstrados os quatro tanques utilizados, suas dimensões e as respectivas amostras de peixes coletados em cada um. Em vermelho as amostras utilizadas para responder à primeira hipótese e em azul as amostras utilizadas para responder à segunda hipótese. Em cada tanque foram coletados 50 peixes por coleta, o que corresponde a um total de 500 peixes coletados.....	73
Figura 2	Distribuição dos indivíduos das três coletas dos tanques C e E no espaço morfológico de acordo com a PCA. Cada amostragem encontra-se em uma cor. Observa-se que os peixes da primeira coleta estão separados dos demais no lado direito do gráfico e que também diferenciam-se entre si em controle (amarelo) e estruturado (roxo).....	78
Figura 3	Distribuição dos indivíduos das três coletas no espaço morfológico de acordo com a PCA. Em a as amostras do tanque C e em b as amostras do tanque E.....	78
Figura 4	Gráfico do log da distância do centroide mais um $[\log(DC+1)]$ para cada amostra. A ANOVA foi significativa ( $p < 0,0002$ ) demonstrando haver diferenças entre as amostras. O resultado do Teste de Tukey especificando quais DCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre as amostras.....	80
Figura 5	Histogramas mostrando para cada amostra o número de indivíduos por classe de comprimento padrão.....	82

Figura 6	Box plot mostrando os comprimentos padrão dos peixes de cada amostra para os tanques controle e estruturado. A linha unindo os pontos médios representa o crescimento. A ANOVA demonstrou que existe diferença significativa entre o CP das amostras. O resultado do Teste de Tukey, representado pelas letras, comprovou que os peixes do tanque estruturado foram maiores que os peixes do tanque controle no primeiro e no terceiro mês de experimento. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os amostras.....	83
Figura 7	Distribuição dos indivíduos no espaço morfológico. Em a os 88 indivíduos da primeira coleta realizada nos tanques C, E, K e H. Em b os indivíduos da segunda coleta realizada nos mesmos tanques.....	85
Figura 8	Gráficos do log da distância do centroide mais um [log(DC+1)] pelas amostras. Em a para as amostras 1, a ANOVA foi significativa ( $p < 0,001$ ) e o Teste de Tukey demonstrou quais amostras foram diferentes entre si. O resultado do Teste de Tukey é apresentado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos. Em b não houve diferença significativa entre a variabilidade morfológica das amostras (ANOVA: $p = 0,2956$ ).....	88
Figura 9	Histogramas mostrando para cada amostra o número de indivíduos por classe de comprimento padrão.....	89
Figura 10	Box plot mostrando os comprimentos padrão dos peixes nas amostras 1 e 2. A ANOVA demonstrou que existe diferença significativa entre o CP das amostras. O resultado do Teste de Tukey, representado pelas letras, demonstra que os peixes dos tanques estruturados (E e H) foram sempre maiores que os peixes dos tanques controles (C e K). Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os amostras.....	89
CAPITULO 4		
Figura 1	Desenho experimental mostrando os tratamentos para os dois conjuntos de tanques. As dimensões de cada tanque estão indicadas. A densidade de pós-larvas introduzidas por tanque também. A estruturação foi adicionada um mês após as pós-larvas.....	107
Figura 2	Indivíduos coletados: em a de <i>Prochilodus lineatus</i> e em b de <i>Leporinus elongatus</i> .....	108

Figura 3	Projeção dos oito tratamentos simultaneamente nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. Cada círculo indica o espaço ocupado por cada conjunto de tanques.....	112
Figura 4	Projeção de cada um dos conjuntos de tanques nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. a) os quatro tratamentos sem piapara [C=controle; T=troncos; M=macrófitas; A= ambos (troncos+macrófitas)]. b) os quatro tratamentos com piapara [PC=controle piapara; PT=troncos e piapara; PM=macrófitas e piapara; PA=troncos].....	112
Figura 5	Gráficos do log da distância do centroide mais um [log(DC+1)] para as populações de <i>P.lineatus</i> correspondentes a cada tratamento. A ANOVA foi significativa ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificando quais DCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B, C, D e E. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.....	117
Figura 6	Histogramas mostrando para cada tratamento o número de indivíduos por classe de comprimento padrão.....	118
Figura 7	Gráficos do fator de condição (FC) para as oito populações de <i>P.lineatus</i> . A ANOVA foi significativa para ( $p < 0,01$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificou quais FCs foram diferentes entre si e é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.....	119

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO 2

Tabela 1	Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de <i>P. lineatus</i> .....	49
Tabela 2	Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de <i>B. orbignyana</i> .....	50
Tabela 3	Análise Discriminante entre indivíduos de curimba e piracanjuba (Wilks' Lambda: 0,14596; F (63,526)=7.5625 p<0.0000 e Wilks' Lambda: 0,04004; F (63,523)=16,102 p<0.0000) respectivamente. Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.....	51

### CAPITULO 3

Tabela 1	Amostras realizadas em cada tanque.....	72
Tabela 2	Análise Discriminante entre amostras (Wilks' Lambda: 0,01378; F (105,1408)=18.801 p<0.001). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.....	79
Tabela 3	Análise Discriminante entre amostras 1 (Wilks' Lambda: 0,02728; F (63,565)=21,004 p<0.001) e 2 (Wilks' Lambda: 0,05062; F (63,523)=14,259, p<0.001). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.....	86

### CAPITULO 4

Tabela 1	Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos do conjunto de tanques sem piapara.....	113
Tabela 2	Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos do conjunto de tanques com piapara.....	113
Tabela 3	Análise Discriminante para os dois conjuntos de tanques com e sem piapara respectivamente (Wilks' Lambda: 0.07040; F (63,394)=8.9793 p<0.01 e Wilks' Lambda: 0.20333; F (63,335)=3.7513 p< 0.01). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação entre os tratamentos.....	114
Tabela 4	Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de <i>P. lineatus</i> .....	115
Tabela 5	Análise Discriminante entre oito tratamentos (Wilks' Lambda: 0.00864; F (147,177) =12,518). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.....	115



## SUMÁRIO

	<b>CAPITULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>19</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>
	<b>CAPÍTULO 2 EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL DE TANQUES DE CULTIVO SOBRE A PLASTICIDADE MORFOLÓGICA DE DUAS ESPÉCIES DE PEIXES MIGRADORES.....</b>	<b>32</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1</b>	<b>Espécies estudadas.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2</b>	<b>Reprodução.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3</b>	<b>Tratamentos.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Coletas.....</b>	<b>43</b>
<b>2.5</b>	<b>Morfometria.....</b>	<b>44</b>
<b>2.6</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>45</b>
<b>2.7</b>	<b>Comportamento dos indivíduos.....</b>	<b>47</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>CAPÍTULO 3 EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL DE TANQUES DE PISCICULTURA SOBRE A MORFOLOGIA DE BRYCON ORBIGNYANUS AO LONGO DO TEMPO E EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>66</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>68</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>70</b>
<b>2.1</b>	<b>Espécie estudada.....</b>	<b>70</b>
<b>2.2</b>	<b>Reprodução.....</b>	<b>70</b>
<b>2.3</b>	<b>Experimento.....</b>	<b>70</b>
<b>2.4</b>	<b>Morfometria.....</b>	<b>73</b>
<b>2.5</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>74</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1</b>	<b>Primeira hipótese: efeito do tempo.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2</b>	<b>Segunda hipótese: efeito da idade.....</b>	<b>83</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>90</b>
<b>4.1</b>	<b>Primeira hipótese: efeito do tempo.....</b>	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>Segunda hipótese: efeito da idade.....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>

	<b>CAPÍTULO 4: EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL E SOCIAL SOBRE A MORFOLOGIA DE PROCHILODUS LINEATUS.....</b>	99
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	101
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	103
<b>2.1</b>	<b>Espécie estudada.....</b>	103
<b>2.2</b>	<b>Reprodução.....</b>	104
<b>2.3</b>	<b>Tratamentos.....</b>	104
<b>2.4</b>	<b>Coletas.....</b>	107
<b>2.5</b>	<b>Morfometria.....</b>	108
<b>2.6</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	109
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	111
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	120
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	124
	<b>ANEXOS.....</b>	127

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

Os rios brasileiros possuem uma enorme diversidade de espécies de peixes de água doce. Somente na Bacia do Rio Paraná, a segunda maior do país e da América Latina, existem mais de 600 espécies (FERNANDES et al., 2009). Atualmente estas espécies são ameaçadas por diversos tipos de impactos, dentre os quais se destaca a construção de usinas hidrelétricas. Este tipo de empreendimento constitui uma das principais ameaças às espécies de peixes neotropicais de água doce, e em especial às espécies migradoras (AGOSTINHO, 1994).

A estocagem de peixes consiste na reprodução e cultivo de peixes em cativeiro para posterior soltura em corpos d'água. Esta medida de manejo tem sido larga e amplamente implantada em todo país visando mitigar os impactos causados a ictiofauna nativa em decorrência da construção de usinas hidrelétricas (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Existem diferentes tipos de estocagem segundo Agostinho, Gomes e Pelicice (2007): (i) introdução, quando se utiliza espécies não-nativas e se tem como objetivo o estabelecimento de populações auto-sustentáveis; (ii) manutenção, quando são repetidas anualmente com a finalidade de manter uma população de peixes que não se reproduz no corpo d'água receptor; e (iii) suplementação, quando o que se visa é aumentar a população de uma determinada espécie de peixe ou sua variabilidade genética. Os dois primeiros tipos servem somente a interesses na exploração pesqueira. Já a suplementação pode ter objetivos conservacionistas e é recomendada quando as áreas de desova e/ou criadouros naturais são insuficientes, ou quando um dado estoque apresenta sinais de sobrepesca, ou ainda quando a capacidade de suporte do ambiente foi ampliada por uma determinada ação antrópica (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007).

Todavia, a utilização das estocagens de forma indiscriminada pode trazer prejuízos, principalmente quando o objetivo é a suplementação das populações nativas. Existem muitas controvérsias em relação à estocagem de peixes, diversos exemplos de resultados infrutíferos e fortes indícios da existência de problemas para as populações suplementadas (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Estes problemas geralmente estão ligados à diminuição da variabilidade genética nessas populações (VUORINEN, 1982) e aos efeitos decorrentes da domesticação (ARAKI et al., 2008). Devido a esses fatores, Philippart (1995) sugere que esta medida só seja utilizada quando já tiver se esgotado qualquer outra forma de manejo das espécies no ambiente natural.

Entretanto, em muitos reservatórios brasileiros, a estocagem é realizada como medida paliativa, pois as populações nativas existentes no rio antes do barramento não são capazes de habitar o ambiente de reservatório (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Mediante isto, atualmente em muitas hidrelétricas brasileiras os peixes são estocados não no reservatório, mas acima e abaixo dele, bem como nos seus tributários. Entretanto, após anos de estocagens ainda não se comprovou a eficácia de tal medida.

A ineficiência pode estar ligada às pequenas taxas de sobrevivência pós-soltura dos peixes estocados, pois estes não são adaptados ao ambiente natural e sim ao ambiente de cultivo (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994). O ambiente de cultivo apresenta condições completamente discrepantes da natureza, sendo um ambiente bastante homogêneo (PAKKASMAA; RANTA; PIIRONEN, 1998) caracterizado por elevada densidade populacional, grande e constante disponibilidade de alimento, constância de temperatura, ausência de predadores, ausência de abrigo, ausência de substrato orgânico, ciclagem de nutrientes simplificada etc. Os peixes cultivados são diferentes dos selvagens em

relação ao genótipo e ao fenótipo, por isto muitos estudos vêm sendo realizados em todo o mundo desde o início do século XX.

Em relação à variabilidade genética dos peixes estocados, atualmente, já é possível ampliá-la, a partir da utilização de um elevado número de indivíduos reprodutores de origem selvagem. Alguns estudos recentes evidenciam a existência de pequenas divergências genéticas quando se compara espécimes selvagens com espécimes cultivados (CHITTENDEN et al., 2010; GOMES et al., 2008).

Com relação às variações fenotípicas, estas estão ligadas ao fenômeno da domesticação (ARAKI et al., 2008). A domesticação seleciona os fenótipos adaptados ao ambiente de cultivo (ARAKI et al., 2008), o qual é completamente diferente do ambiente natural. Comportamento e morfologia gerados em cativeiro reduzem a sobrevivência pós-soltura (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994) principalmente em decorrência de dificuldades no forrageamento e captura de presas vivas (BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003), de menores taxas de sucesso reprodutivo (ARAKI et al., 2007) e de maior vulnerabilidade a predadores (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994). Uma gama de estudos tem sido realizada abordando a influência do ambiente de cultivo sobre o comportamento (BATZINA; KARAKATSOULI, 2012; RAND et al., 2012; ROBERTS; TAYLOR; GARCIA de LEANIZ, 2011; LEE; BEREJIKIAN, 2008; SALVANES; BRAITHWAITE, 2006; BRAITHWAITE; SALVANES, 2005; BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003; BROWN; LALAND, 2001; BEREJIKIAN et al., 2001; MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994) e sobre a morfologia dos peixes (SARAIVA; POMPEU, 2010; BELK et al., 2008; SOLEM; BERG; KJØSNES, 2006; BEREJIKIAN, BARRY, 2005; CRAMON-TAUBADEL et al., 2005; OJANGUREN; BRANA, 2003; HARD et al., 2000; PAKKASMAA; RANTA; PIIRONEN, 1998; SWAIN, L. B.; RIDDELL; MURRAY, 1991; TAYLOR, 1986), e evidenciaram

grandes diferenças comportamentais e morfológicas entre peixes cultivados e selvagens.

Na tentativa de mitigar os efeitos sobre o comportamento dos peixes e aumentar a taxa de sobrevivência pós-soltura, o enriquecimento ambiental de tanques de piscicultura vem sendo proposto por diversos pesquisadores. Brown, Davidson e Laland (2003) demonstraram que tanto a exposição dos peixes cultivados a presas vivas, quanto o fato de serem criados em um ambiente estruturado (com gravetos de madeira, pedras, plantas artificiais ou naturais, etc.) aumentaram a eficiência de forrageamento dos indivíduos. Braithwaite e Salvanes (2005) demonstraram que espécimes cultivados em ambiente com algum grau de variabilidade ambiental e alimentados com presas vivas são mais eficientes na exploração de um novo habitat, na busca e captura de presas e possivelmente na fuga de predadores. Berejikian et al. (2001) encontraram semelhanças na dominância social e na sobreposição de território entre peixes habitantes de ambiente natural e de tanques enriquecidos. Os resultados destes estudos sugerem que o enriquecimento pode reduzir divergências comportamentais ambientalmente induzidas, e que os peixes cultivados podem ser treinados durante o período de incubação para desenvolverem habilidades exploratórias que permitam uma maior taxa de sobrevivência pós-soltura.

Em relação às divergências morfológicas, sabe-se que estas podem ser geneticamente e/ou ambientalmente induzidas (FLEMMING, JONSSON, GROSS, 1994; MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1995). Taylor (1986) encontrou que salmões cultivados apresentam menor variabilidade morfológica do que seus homólogos selvagens. Este fato pode ser resultante tanto da menor variabilidade genética dos peixes cultivados quanto da menor variabilidade ambiental da piscicultura. Em seu estudo, Taylor (1986) concluiu que as divergências morfológicas eram induzidas principalmente pelo ambiente cultivado, que tem forte efeito sobre a forma do corpo em peixes (FLEMMING,

JONSSON, GROSS, 1994). Outros estudos também encontraram resultados semelhantes (SARAIVA; POMPEU, 2010; CRAMON-TAUBADEL, 2005; HARD et al., 2000; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991).

Diferenças morfológicas geradas pelo ambiente de cultivo podem afetar e até mesmo prejudicar o desempenho e a sobrevivência no ambiente natural dos espécimes cultivados (CRAMON-TAUBADEL, 2005; MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1995). Isso porque o fitness do organismo está ligado ao desempenho físico (BILLERBECK; LANKFORD; CONOVER, 2001; LANKFORD; BILLERBECK; CONOVER, 2001) que por sua vez está ligado a morfologia (HUCKINS, 1997; OJANGUREN; BRANA, 2003). A eficiência alimentar, por exemplo, pode ser comprometida por diferenças morfométricas, uma vez que proporções da cabeça e da boca estão intimamente ligadas à alimentação (WAINWRIGHT, 1996). A eficiência na natação e o escape de predadores podem ser igualmente afetados (MESA et al., 1994; MCPEEK et al., 1996; DOWNES, SHINE, 2001).

Solem et al. (2006) encontraram menores proporções de cabeça nos peixes cultivados. Segundo eles tal característica pode estar relacionada ao fato de que cabeças menores facilitam ao peixe olhar para cima, em direção ao alimento que chega ao tanque. Assim, a domesticação seleciona cabeças menores, pois estas são vantajosas no ambiente de cultivo. Mas na maioria das vezes uma característica morfológica que é vantajosa no ambiente de cultivo, não o será no ambiente natural. A coloração é outro exemplo de característica morfológica que depende extremamente do ambiente, pois é afetada pela cor de fundo (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994). Os tanques de cultivos são monocromáticos e induzem uma coloração também monocromática nos peixes, e isto é o oposto do que seria induzido no ambiente natural. Visando contornar este efeito, Maynard, Flagg e Mahnken (1994) cultivaram peixes em tanques enriquecidos (cobertos e com fundo de terra dentro dos quais havia plantas



aquáticas e raízes) e conseguiram obter colorações crípticas mais adequadas para a camuflagem em ambiente natural nos peixes desses tanques, do que em peixes cultivados em tanques padrão (totalmente de concreto sem nenhuma cobertura ou planta). Neste experimento, após a soltura a sobrevivência dos peixes cultivados nos tanques enriquecidos foi 50% mais elevada do que a dos peixes dos tanques padrão. Também testando o efeito do enriquecimento ambiental, Garduño-Paz; Couderc; Adams (2010) compararam as morfologias de peixes criados em um ambiente complexo (aquário com cascalhos, pedras com espaço intersticial e macrófitas artificiais) e em um ambiente simples (somente cascalho ao fundo) e encontraram diferenças significativas em relação à morfologia. Os peixes do ambiente complexo tiveram o corpo mais alongado e a cabeça menor, o que provavelmente favoreceu na exploração e forrageamento dos espaços intersticiais.

Assim sendo, o enriquecimento ambiental de tanques de piscicultura pode ser proposto, como uma forma de contornar os efeitos da domesticação sobre a morfologia. O enriquecimento ambiental pode ser definido como a incorporação de designs naturais para a obtenção de um ambiente de cultivo adequado, que tenta recriar as principais características ambientais naturais dominantes, tais como velocidade da água, temperatura, complexidade estrutural e características do substrato, com o objetivo de evitar os efeitos da homogeneidade do ambiente de cultivo sobre o fenótipo dos peixes (BELK et al., 2008).

A partir disto, com o presente trabalho avaliou-se o efeito do enriquecimento ambiental de tanques de cultivo sobre a morfologia de peixes cultivados a partir da realização de experimentos em piscicultura. Dois tipos de enriquecimento foram utilizados: a estruturação física por adição de troncos submersos e plantas aquáticas artificiais, que visou o aumento da complexidade estrutural dos tanques; e o enriquecimento social, pela adição de uma segunda

espécie no tanque visando aumentar o grau das interações ecológicas. O objetivo geral do enriquecimento foi tornar as condições de cultivo mais próximas daquelas encontradas em ambientes naturais como, por exemplo, em lagoas marginais, as quais são ambientes complexos e onde os indivíduos são obrigados a conviver e a competir com as demais espécies.

No primeiro capítulo foi analisado o efeito do enriquecimento estrutural sobre a morfologia de duas espécies nativas diferentes, *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyana*. No segundo capítulo o enriquecimento estrutural foi testado para *B. orbignyana* ao longo do tempo e de acordo com a idade em que o indivíduo é submetido a ele. E finalmente no terceiro capítulo foram testados os enriquecimentos; estrutural e social, conjunta e separadamente para *P. lineatus*.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A. Pesquisas, monitoramento e manejo da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos. In: **Seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro**, 1., 1994. Rio de Janeiro: COMASE, 1994. caderno 1, p. 38-57.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: UEM. 2007. 501 p.

AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JUNIOR, H. F. Peixes das bacia do alto Paraná. In: LOWE-McCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: USP. 1999. p. 374-400.

ARAKI, H.; COOPER, B.; BLOUIN, M. S. Reproductive success of captive-bred steelhead trout in the wild: evaluation of three hatchery programs in the Hood river. **Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 181-190, Feb. 2007.

ARAKI, H.; BEREJIKIAN, B. A.; FORD, M. J.; BLOUIN, M. S. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. **Evolutionary Applications**, Oxford, v. 1, n. 2, p. 342–355, May 2008.

BATZINA, A.; KARAKATSOULI, N. The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: Growth and behavioral effects. **Aquaculture**, Amsterdam v. 370-371, p. 54-60, Dec. 2012.

BELK, M. C.; BENSON, L. J.; RASMUSSEN, J.; PECK, S. L. Hatchery-induced morphological variation in an endangered fish: a challenge for hatchery-based recovery efforts. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 65, n. 3, p. 401-408, March 2008.

BEREJIKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; RILEY, S. C.; LARAE, A. L. Competitive ability and social behavior of juvenile steelhead reared in enriched and conventional hatchery tanks and a stream environment. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 59, n. 6, p. 1600–1613, Dec. 2001.

BEREJIKIAN, BARRY. Rearing in Enriched Hatchery Tanks Improves Dorsal Fin Quality of Juvenile Steelhead. **North American Journal of Aquaculture**, New York, v. 67, n. 4, p. 289-293, Oct./Dez. 2005.

BILLERBECK, J. M.; LANKFORD JUNIOR, T. E.; CONOVER, D. O. Evolution of intrinsic growth and energy acquisition rates. I. Trade-offs with swimming performance in *Menidia menidia*. **Evolution**, Bethesda, v. 55, n. 9, p. 1863–1872, Sept. 2001.

BRAITHWAITE, V. A.; SALVANES, A. G. V. Environmental variability in the early rearing environment generates behaviourally flexible cod: implications for rehabilitating wild populations. **Proceedings of the Royal Society Biology**, Bethesda, v. 272, n. 1568, p. 1107–1113, July 2005.

BROWN, C.; DAVIDSON, T.; LALAND, K. Environmental enrichment and prior experience of live prey improve foraging behaviour in hatchery-reared Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 63, n. 1, p. 187-196, Dec. 2003. Supplement.

BROWN, C.; LALAND, K. Social learning and life skills training for hatchery reared fish. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 59, n. 3, p. 471-493, Sept. 2001.

CHITTENDEN, C. M.; BIAGI, C. A.; DAVIDSEN, J. G.; DAVIDSEN, A. G.; KONDO, H.; MCKNIGHT, A.; PEDERSEN, O. P.; RAVEN, P. A.; RIKARSEN, A. H.; SHRIMPTON, J. M.; ZUEHLKE, B.; MCKINLEY, R. S.; DEVLIN, R. H. Genetic versus Rearing-Environment Effects on Phenotype: Hatchery and Natural Rearing Effects on Hatchery- and Wild-Born Coho Salmon. **Plos One**, v. 5, n. 8, p. 1, Aug. 2010.

CRAMON-TAUBADEL, N.; LING, E. N.; COTTER, D.; WILKINS, N. P. Determination of body shape variation in Irish hatchery-reared and wild Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 66, n. 5, p. 1471–1482, May, 2005.

DOWNES, S.; SHINE, R. Why does tail loss increase a lizard's later vulnerability to snake predators? **Ecology**, Washington, DC, v. 82, n. 5, p. 1293-1303, May 2001.

FERNANDES, R.; AGOSTINHO, A. A.; FERREIRA, E. A.; PAVANELLI, C. S.; SUZUKI, H. I.; LIMA, D. P.; GOMES, L. C. Effects of the hydrological regime on the ichthyofauna of riverine environments of the Upper Paraná River flood plain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 2, p. 669-680, Jun. 2009.

FLEMING, I. A.; JONSSON, B.; GROSS, M. R. Phenotypic divergence of sea-ranched, farmed, and wild salmon. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 51, n. 12, p. 2808-2824, Dec. 1994.

GARDUÑO-PAZ, M. V.; COUDERC, S.; ADAMS, C. E. Habitat complexity modulates phenotype expression through developmental plasticity in the threespine stickleback. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 100, n. 2, p. 407-413, maio 2010.

GATZ JUNIOR, A. J. Ecological morphology of freshwater stream fishes. **Tulane Studies in Zoology Botany**, Nova Orleans, v. 21, p. 91–124, 1979.

GOMES, P. C.; RIBEIRO, R. P.; BARERO, N. L.; POVH, J. A.; VARGAS, L.; SIROL, R. N. Diversidade genética de três estoques de piapara (*Leporinus elongatus*), utilizando RAPD. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 241-247, 2008.

HARD, J. J.; BEREJIKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; SCHRODER, S. L.; KNUDSEN, C. M.; PARKER, L. T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captive reared adult coho salmon: a geometric analysis. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v. 58, p. 61–73, 2000.

HUCKINS, C. J. F. Functional linkages among morphology, feeding performance, diet, and competitive ability in *Molluscivorous sunfish*. **Ecology**, Washington, DC, v.78, n.8, p. 2401-2414, 1997.

LANKFORD JUNIOR, T. E.; BILLERBECK, J. M.; CONOVER, D. O. Evolution of intrinsic growth and energy acquisition rates. II. Trade-offs with vulnerability to predation in *Menidia menidia*. **Evolution**, Bethesda, v. 55, n. 9, p. 1873–1881, Sept. 2001.

LEE, J. S. F.; BEREJIKIAN, B. A. Effects of the rearing environment on average behaviour and behavioural variation in steelhead. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 72, n. 7, p. 1736-1749, May 2008.

MAYNARD, D. J.; FLAGG, T. A.; MAHNKEN, C. V. W. **A Review of Seminatural Culture Strategies for Enhancing the Postrelease Survival of Anadromous Salmonids**. Seattle: National Marine Fisheries Service, 1995. 34 p.

MCPEEK, M.A.; SCHROT, A. K.; BROWN, J. M. Adaptation to predators in a new community: swimming performance and predator avoidance in damselflies. **Ecology**, Washington, DC, v. 77, n. 2, p. 617-629, Mar. 1996.

MESA, M. G.; POE, T. P.; GADOSMKI, D. N.; PETTERSEN, J. H. Are all prey created equal? A review and synthesis of differential predation on prey in substandard condition. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 45, p. 81-96, Dec. 1994. Supplement.

OJANGUREN, A. F.; BRANA, F. Effects of size and morphology on swimming performance in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). **Ecology of Freshwater Fish**, Hoboken, v.12, n. 4, p. 241-246, Dec. 2003.

PAKKASMAA, S.; RANTA, E.; PIIRONEN, J. A morphometric study on four land-locked salmonid species. **Annales Zoologici Fennici**, Bologna, v.35, n. 3, p. 131-140, 1998.

PHILIPPART, J. C. Is captive breeding an effective solution for the preservation of endemic species? **Biological Conservation**, Boston, v. 72, n. 2, p. 281-295, jan. 1995.

RAND, P. S.; BEREJIKIAN, B.; PEARSONS, T. N.; NOAKES, D. L. G. Ecological interactions between wild and hatchery salmonids: an introduction to the special issue. **Environmental Biology of Fishes**, v. 94, n. 1, p. 1-6, May 2012.

ROBERTS, L. J.; TAYLOR, J.; GARCIA DE LEANIZ, C. Environmental enrichment reduces maladaptive risk-taking behavior in salmon reared for conservation. **Biological Conservation**, Boston, v. 144, n. 7, p. 1972-1979, July 2011.

SALVANES, A.; BRAITHWAITE, V. The need to understand the behaviour of fish reared for mariculture or restocking. **ICES Journal of Marine Science**, Oxford, v. 63, n. 2, p. 346-354, 2006.

SARAIVA, S. O.; POMPEU, P. S. **Uso de atributos ecomorfológicos para caracterizar diferenças entre populações de duas espécies de peixes da bacia do Rio Grande – MG**. 2010. 67p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOLEM, Ø.; BERG, O. K.; KJØSNES, A. J. Inter- and intra-population morphological differences between wild and farmed Atlantic salmon juveniles. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 69, n. 5, p. 1466-1481, Nov. 2006.

SWAIN, D. P.; HOLTBY, L. B. Differences in Morphology and Behavior Between Juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutchi*) Rearing in a Lake and Its Tributary Stream. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.46, n. 8, p. 1406-1414, Aug. 1989.

SWAIN, D. P.; RIDDELL, B. E.; MURRAY, C. B. Morphological differences between hatchery and wild populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutchi*): environmental versus genetic origin. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.48, n. 9, p. 1783-1791, Sept. 1991.

TAYLOR, E. B. Differences in morphology between wild and hatchery populations of juvenile Coho Salmon. **The Progressive Fish-Culturist**, New York, v.48, n. 3, p. 171-176, 1986.

VUORINEN, J. Little genetic variation in the Finnish Lake salmon, *Sulmo salar sebago* (Girard). **Hereditas**, Hoboken, v. 97, n. 2, p. 189-192, Dec. 1982.

## **CAPÍTULO 2**

### **EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL DE TANQUES DE CULTIVO SOBRE A MORFOLOGIA DE DUAS ESPÉCIES DE PEIXES MIGRADORES**



## RESUMO

Neste capítulo, aplicou-se estruturação física em tanques de piscicultura a fim de verificar o efeito sobre a morfologia de duas espécies de peixes migradores: *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyannus*. Cada espécie foi submetida a quatro tratamentos diferentes. No primeiro foram adicionados troncos submersos, no segundo, plantas aquáticas artificiais e em um terceiro, ambas as estruturas. O último não recebeu estruturação, constituindo o controle. Pós-larvas de *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyannus* foram adicionadas aos quatro tanques na mesma data e densidade, onde foram mantidas por dois meses. Ao fim destes, coletou-se 50 indivíduos de cada tanque e, de cada indivíduo, tomou-se 27 medidas morfológicas para o cálculo de 21 atributos ecomorfológicos. Para verificar a existência de diferenças entre os tratamentos realizou-se Análise dos Componentes Principais (PCA) e Análise Discriminante (DA). Para avaliar a variabilidade morfológica foram calculadas as distâncias do centroide para cada tratamento e a partir delas fez-se uma Análise de Variância (ANOVA). Os resultados encontrados demonstraram que o enriquecimento estrutural tem forte efeito sobre a morfologia de peixes cultivados e que cada espécie responde de maneira diferente ao aumento de complexidade estrutural. Para *P. lineatus* o enriquecimento por troncos e plantas aquáticas pode ser proposto como forma de aumentar a variabilidade morfológica dos peixes cultivados. Para *B. orbignyannus* o enriquecimento pode ser proposto como forma de aumentar o grau de atividade e natação dos peixes, sendo que a variabilidade morfológica desta espécie poderia ser gerada por meio da manutenção simultânea de diferentes formas de cultivo (tanques com diferentes formas de estruturação).

Palavras-chave: Curimba. Piracanjuba. Atributos ecomorfológicos. Estruturação. Tanques de cultivo.

## 1 INTRODUÇÃO

A estocagem de peixes é uma forma de mitigação de impactos causados por barramentos que vêm sendo historicamente aplicada. Entretanto, a eficiência das estocagens como medida de manejo nunca foi comprovada no Brasil e acredita-se que a introdução de populações cultivadas nos rios possa acarretar diversos tipos de problemas para as populações selvagens suplementadas (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Além disso, os peixes cultivados divergem dos selvagens em relação a aspectos como comportamento (BEREJKIAN et al., 2001; BRAITHWAITE; SALVANES, 2005; BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003) e morfologia (BELK et al., 2008; FLEMMING; JONSSON; GROSS, 1994; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991; TAYLOR, 1986).

Muitos estudos já evidenciaram divergências morfológicas induzidas pelo ambiente entre peixes cultivados e selvagens (CRAMON-TAUBADEL et al., 2005; HARD et al., 2000; PAKKASMAA; PIIRONEN, 2001; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991). Os ambientes de cultivo são contrastantes com o natural em diversos aspectos (baixa turbidez, temperatura constante, ausência de predadores, tipo de comida e substrato, presença de paredes de concreto etc), podendo resultar em indivíduos que são bem adaptados às condições de cativeiro e que, entretanto, diferem dos indivíduos nativos (BELK et al., 2008), gerando baixas taxas de sobrevivência pós-soltura (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1995).

Com o objetivo de minimizar os efeitos do ambiente de cultivo sobre a morfologia de peixes cultivados pode-se propor a aplicação de enriquecimento ambiental. Dentre os tipos de enriquecimento possíveis, a adição de complexidade estrutural é particularmente importante, pois espécies nativas de peixes neotropicais migradores habitam lagoas marginais, nas fases iniciais de

desenvolvimento, que são ambientes ricos em alimento e abrigo proporcionado por plantas aquáticas, galhos secos e outras estruturas (AGOSTINHO; JÚLIO JUNIOR, 1999).

No presente estudo realizou-se o enriquecimento estrutural de tanques de piscicultura para testar seu efeito sobre a morfologia de peixes cultivados. Para isto cultivou-se as espécies *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyanus* em quatro tipos de tanques, sendo um convencional (sem estruturação ou controle) e três com diferentes tipos de estruturação (com troncos, com macrófitas artificiais e com ambas as estruturas). O objetivo foi avaliar se o enriquecimento estrutural afeta a morfologia dos peixes e se cada espécie responde de forma diferente aos tratamentos.

A partir do pressuposto de que um ambiente estruturado se torna mais parecido com o natural e, portanto, mais complexo e heterogêneo, a hipótese inicialmente levantada foi de que quanto mais intensa a estruturação física em tanques de cultivo, maior a variabilidade morfológica gerada na população de peixes.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Espécies estudadas

O experimento foi realizado na Estação de Piscicultura de Volta Grande localizada no município de Conceição das Alagoas em Minas Gerais. Os peixes produzidos nesta estação são destinados à estocagem nas áreas do entorno e no reservatório da Usina Hidrelétrica de Volta Grande, na calha principal do Rio Grande, componente da bacia hidrográfica do Rio Paraná. Foram utilizadas pós-larvas das espécies *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyanus* obtidas por desova induzida de peixes progenitores de origem selvagem (Figura 1).

*Prochilodus lineatus*, é espécie nativa da Bacia do Paraná conhecida popularmente como curimba, curimbatá, curimatã ou papa-terra. Por ser espécie migradora vem sofrendo fortes declínios populacionais decorrentes do barramento dos grandes rios. Os adultos desta espécie habitam o canal principal dos rios e os jovens desenvolvem-se em lagoas marginais da planície de inundação, onde permanecem durante os dois primeiros anos de vida (Agostinho e Júlio Júnior, 1999). Devido a sua importância na pesca da região, a curimba é uma das espécies nativas mais utilizadas nas estocagens e repovoamentos realizados nos reservatórios da bacia. Além disso, é a espécie nativa migradora de manejo mais fácil em piscicultura, pois apresenta desova espontânea após a aplicação de hormônio. Tal característica possibilita que esta espécie seja também utilizada como alimento para outras espécies nativas cultivadas, principalmente piscívoras, como dourado e jaú.

*Brycon orbignyanus*, conhecida popularmente como piracanjuba, também é espécie migradora e sofre os mesmos impactos derivados de usinas hidrelétricas que a curimba e encontra-se ameaçada de extinção (BRASIL, 2004). É utilizada em piscicultura, porém seu manejo é mais difícil, pois não

desova espontaneamente, necessitando de extrusão manual de ovócitos e esperma.

## **2.2 Reprodução**

Dentre as matrizes reprodutoras da Estação de Piscicultura de Volta Grande, foram selecionadas três fêmeas e seis machos de curimba e quatro fêmeas e oito machos de piracanjuba pré-dispostos à reprodução. A análise da predisposição à reprodução foi feita pela canulação das fêmeas para verificar a presença de ovócitos e pela massagem abdominal dos machos para verificar a ocorrência de liberação de sêmen. Depois de selecionados, machos e fêmeas foram transferidos para aquários do laboratório de reprodução, ficando em cada aquário sempre uma fêmea e dois machos. A desova foi induzida por meio da aplicação de três doses do extrato bruto de hipófise de cat-fish, calculadas de acordo com o peso de cada indivíduo.

A curimba apresenta desova espontânea, de forma que após a aplicação das doses machos e fêmeas desovaram espontânea e simultaneamente dentro dos aquários ocasionando a fertilização e formação dos ovos. Já as piracanjubas não desovam sozinhas, de forma que foi necessária a extrusão manual dos gametas. Esta foi feita a partir do manejo dos espécimes fora do aquário aplicando-se a massagem abdominal nas fêmeas para promover a liberação dos ovócitos em um recipiente seco. Em seguida procedeu-se à massagem abdominal dos machos, depositando-se o esperma no mesmo recipiente, para que houvesse contato dos espermatozoides com os ovócitos. Em cada recipiente foram juntados os ovócitos de uma fêmea e o sêmen de dois machos. A fecundação só ocorre em presença de água, por isto, os recipientes receberam água imediatamente para possibilitar a fertilização e a hidratação dos ovos. Os ovos recém-fecundados de todos os progenitores de cada espécie foram misturados e então transferidos para

incubadoras (Figura 8a). Após 3 dias da eclosão, as pós-larvas foram transferidas para os tanques (Figura 8b).

O controle da densidade de pós-larvas introduzidas por tanque foi feito durante a fase de ovo. Nos tanques de curimba foram introduzidas cerca de 300 pós-larvas por  $m^2$  e nos de piracanjuba 200 pós-larvas por  $m^2$ . Essa densidade foi previamente definida, para que ao longo do experimento fosse possível realizar um mínimo de três coletas de 50 peixes em cada tanque, considerando as prováveis taxas de mortalidade (de acordo com o banco de dados da Estação de Piscicultura de Volta Grande) desde a fase de transferência das incubadoras até o fim do experimento. Cada tanque tinha cerca de  $8m^2$  (3 metros de comprimento por 2,83 metros de largura) e, portanto, recebeu cerca de 2400 pós-larvas no caso das curimbas e 1600 pós-larvas no caso das piracanjubas. A densidade nos tanques de piracanjubas foi menor a fim de minimizar o canibalismo, comum nesta espécie.

Para que cada tanque recebesse o número de pós-larvas estabelecido, calculou-se a taxa de fertilização (ovos eclodidos por mililitro). A partir desta taxa foi possível saber quantos ovos viáveis tinha-se por mililitro, e qual era o volume de ovos necessários para gerar a densidade de pós-larvas estipulada para cada tanque. Assim, cada incubadora recebeu o mesmo volume de ovos viáveis.

Depois de eclodidas, as larvas (Figura 2) permaneceram nas incubadoras por três dias, quando então foram transferidas para os tanques, sendo que cada tanque recebeu as pós-larvas de uma incubadora. Ainda nas incubadoras as larvas de piracanjuba receberam alimentação (pós-larvas de outra espécie) para minimizar o canibalismo. Após a transferência para os tanques as curimbas receberam artêmias e zooplâncton por três dias, até atingirem tamanho suficiente para receber ração. Por outro lado, as piracanjubas passaram a ser alimentadas com ração em pó já no dia seguinte à transferência.



Figura 1 Progenitores de origem selvagem utilizados na reprodução.  
a) *Prochilodus lineatus*. b) *Brycon orbignyanus*.

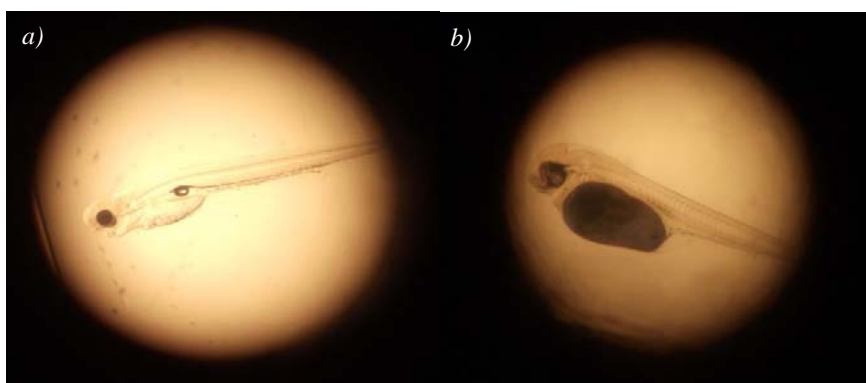


Figura 2 Larvas vistas na lupa ainda com saco vitelínico.  
a) curimba. b) piracanjuba.

### 2.3 Tratamentos

Para testar o efeito do enriquecimento estrutural sobre a morfologia dos peixes cultivados realizou-se o seguinte experimento:

Pós-larvas das duas espécies foram cultivadas em tanques de piscicultura idênticos feitos de concreto, com fundo de terra e com 8,49 m<sup>2</sup> de área e 0,75 metros de profundidade. Apresentavam água em constante renovação e eram cobertos com sombrite para evitar a predação por aves e reduzir a

incidência da radiação solar. Ao todo, foram utilizados oito tanques (Figura 8b), sendo que em quatro cultivou-se curimbas e em quatro piracanjubas (Figura 3).

O enriquecimento ambiental dos tanques consistiu na estruturação física destes, antes da introdução das pós-larvas, a partir da utilização de troncos de árvore e plantas aquáticas artificiais. Cada tanque constituiu um tratamento e, totalizando quatro tratamentos diferentes para cada espécie (Fig. 1). Os tratamentos foram os seguintes:

1. Controle (C):

O primeiro tanque constituiu o tratamento controle, não recebendo nenhum tipo de estruturação (Figura 4).

2. Troncos (T):

No segundo tratamento o tanque foi estruturado com troncos de madeira que foram fixados, no meio dos tanques para que ficassem submersos após o enchimento. Cada tanque recebeu seis troncos de eucalipto, dos quais três foram dispostos longitudinalmente ao tanque e três dispostos transversalmente (Figura 6). Os troncos de eucalipto foram mantidos submersos em água um mês antes da montagem do experimento, a fim de que possíveis resinas ou demais substâncias químicas pudessem ser eliminadas previamente.

3. Macrófitas artificiais (M):

No terceiro tratamento o tanque recebeu macrófitas artificiais (Figura 5). Estas plantas foram confeccionadas a partir de sacos plásticos com recortes em tiras formando uma estrutura enovelada que imitava o emaranhado de raízes e folhas de uma planta aquática flutuante. Cada planta plástica foi pendurada em varais de corda colocados acima do tanque de forma que os filamentos plásticos entrassem em contato com a água. Cada tanque recebeu vinte e



cinco destas macrófitas de plástico, dispostas em cinco fileiras paralelas com cinco pompons em cada.

4. Troncos e macrófitas artificiais (T+M):

No quarto tratamento o tanque recebeu tanto os troncos submersos quanto as macrófitas artificiais, na mesma quantidade e disposição dos tratamentos anteriores (Figura 7).

As pós-larvas foram introduzidas nos tanques num único dia e permaneceram submetidas aos tratamentos por dois meses. Durante este tempo, os peixes de todos os tanques receberam ração todos os dias e na mesma quantidade. Procurou-se ao máximo manter a água de todos os tanques no mesmo nível.

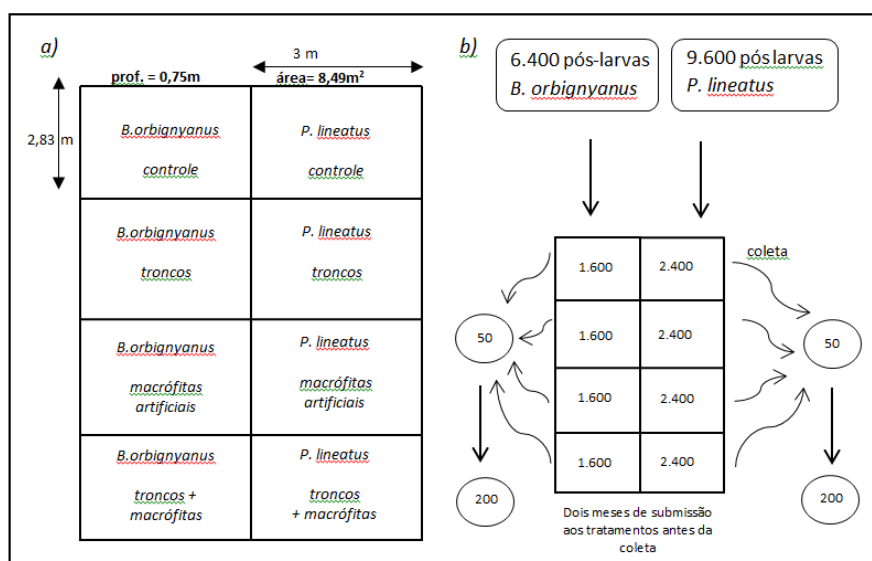


Figura 3 Desenho experimental. Em *a* os quatro tratamentos demonstrados para cada espécie. As dimensões de cada tanque estão indicadas. Em *b* estão demonstrados os números de pós-larvas introduzidas em cada tanque e o número de peixes coletados.

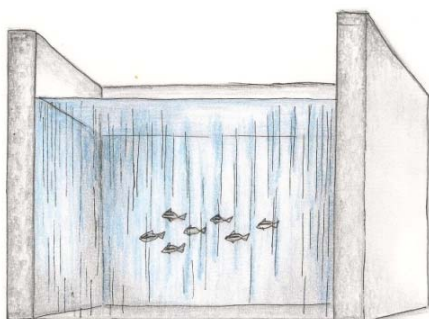


Figura 4 Tratamento C: Tanque controle sem estruturação.

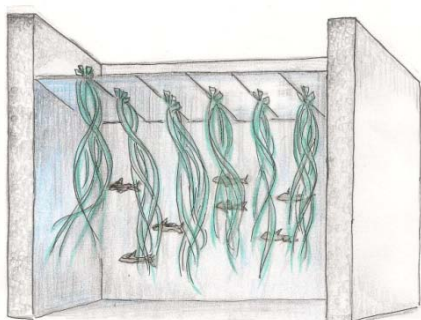


Figura 5 Tratamento M: Tanques estruturados com macrófitas confeccionadas com sacos plásticos.

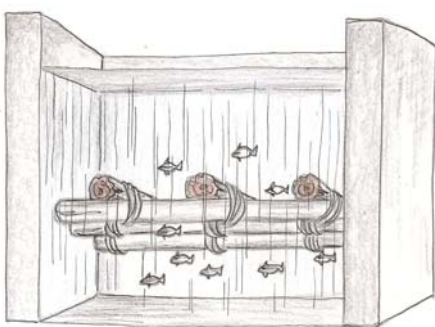


Figura 6 Tratamento T: Tanques estruturados com troncos de eucalipto submersos.

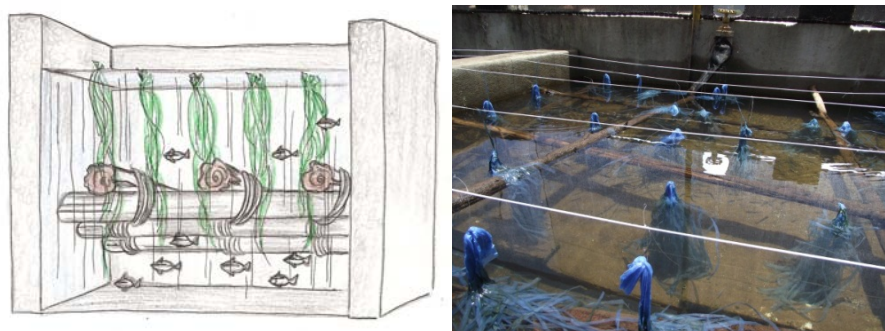


Figura 7 Tratamento T+M: Tanques estruturados com troncos e macrófitas artificiais.

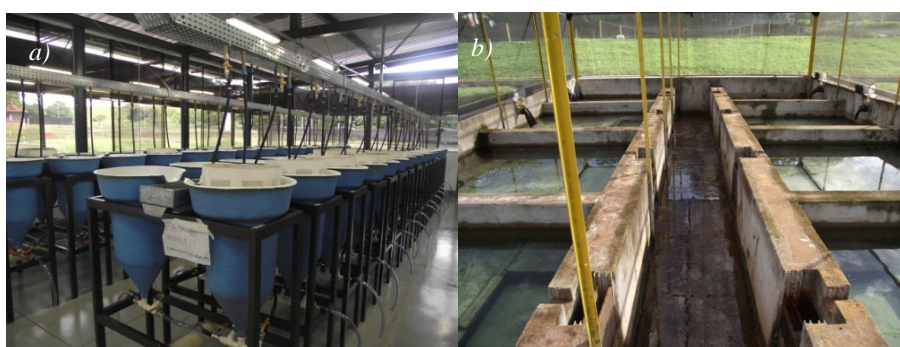


Figura 8 a) Incubadoras. b) Tanques utilizados no experimento.

## 2.4 Coletas

A estocagem foi realizada em janeiro e para o presente estudo realizou-se uma coleta de peixes, que ocorreu em março de 2012, exatamente dois meses após a submissão aos tratamentos. Para a coleta dos peixes diminuiu-se o nível da água dos tanques e capturou-se os peixes com puçás (Figura 9a). Foram coletados 50 peixes de cada tanque (Figura 10). Após a coleta os peixes foram anestesiados com óleo de cravo (Figura 9b), fixados em formol 10% e posteriormente conservados em álcool 70%.



Figura 9 a) Coleta de dos indivíduos. b) Peixes anestesiados.

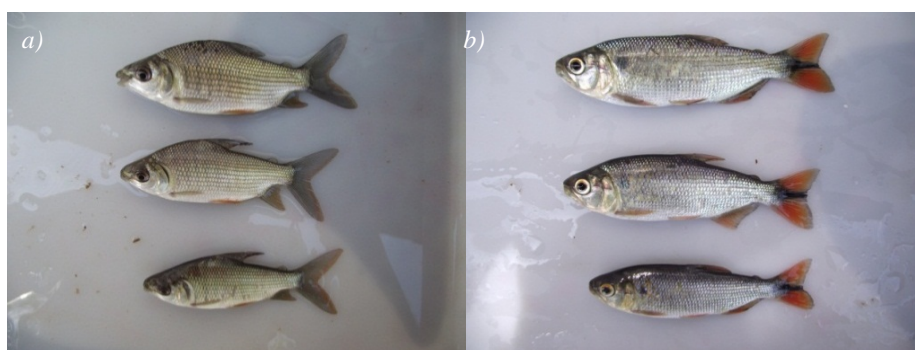


Figura 10 Indivíduos coletados aos dois meses de idade de *Prochilodus lineatus*(a) e *Brycon orbignyanus* (b).

## 2.5 Morfometria

De cada indivíduo coletado foram mensuradas 27 medidas morfométricas (Anexo 1). As medidas lineares foram obtidas diretamente do corpo dos peixes com paquímetro digital de precisão 0,01 mm e para a obtenção das áreas foram feitos os desenhos do contorno do corpo e das nadadeiras de cada peixe em papel. Os desenhos foram então digitalizados e as áreas foram calculadas a partir do software Image J.

A partir das medidas morfométricas foram calculados 21 atributos ecomorfológicos (Anexo 2), os quais foram escolhidos de acordo com os seus significados ecológicos definidos pela literatura (Anexo 2). Como o enriquecimento ambiental realizado incluiu apenas variáveis ambientais, os atributos considerados mais adequados para responder às perguntas foram principalmente àqueles relacionados ao tronco do corpo e às nadadeiras, pois estes refletem a influência da complexidade estrutural do ambiente sobre a morfologia do indivíduo, e estão relacionados principalmente à locomoção e natação dos peixes (WINEMILLER, 1991; GATZ, 1979). Caracteres relacionados a hábitos alimentares como tamanho e posição da boca (WINEMILLER, 1991; GATZ, 1979) foram, em sua maioria, descartados, porque o enriquecimento ambiental em questão não incluiu variação alimentar sendo aplicados sempre o mesmo tipo e frequência de comida. Os dois atributos relacionados ao olho foram escolhidos porque eles se relacionam com a capacidade do peixe em detectar alimentos (POUILLY et. al, 2003). A detecção de alimentos em tanques de piscicultura enriquecidos pode se tornar mais difícil, uma vez que existe uma série de obstáculos presentes, e isso pode ocasionar diferenças na área e posição dos olhos.

## **2.6 Análises estatísticas**

Análise de Variância (ANOVA) seguida do Teste de Tukey foi utilizada para verificar o efeito dos tratamentos sobre cada atributo ecomorfológico separadamente. Análise dos Componentes Principais (PCA) foi utilizada para avaliar, para cada espécie, a distribuição dos indivíduos de cada tratamento no espaço morfológico. Em seguida foi aplicada a Análise Discriminante (DA) para determinar eventuais diferenças nos padrões morfológicos entre tratamentos analisados.

A fim de verificar a variabilidade morfológica das amostras de cada tratamento foi construída ainda, uma matriz de distância Euclidiana normalizada entre os pares de indivíduos a partir dos atributos ecomorfológicos, de acordo com a seguinte fórmula:

$$D_{jk} = \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2 \right]^{1/2}$$

onde  $D_{jk}$  é a distância euclidiana entre os indivíduos  $j$  e  $k$ ,  $n$  é o número de atributos,  $x_{ij}$  e  $x_{ik}$  são os valores do atributo  $i$  para o par de indivíduos  $jk$ . No caso da distância normalizada, os dados são ajustados para a distribuição de Gauss, com média zero e desvio padrão um:

$$x'_{ik} = (x_{ik} - \bar{X}_k) / DP_k$$

sendo,  $x_{ik}$  a média do atributo  $k$  para a população  $i$ ,  $\bar{X}_k$  a média para todos  $x_{ik}$  e  $DP_k$ , o desvio padrão para o atributo  $k$ . A partir de cada matriz de distâncias, foi identificada a distância de cada indivíduo ao centroide de sua população (DC). A média de DC é uma estimativa do tamanho relativo do hipervolume morfológico ocupado pela população (WINEMILLER, 1991), a qual corresponde à variabilidade morfológica. Para avaliar possíveis diferenças entre a variabilidade morfológica das populações de cada tratamento, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA), com posterior Teste de Tukey para cada espécie. Os dados da distância do centroide foram normalizados por meio da logaritmização antes de proceder à ANOVA.

Observou-se ainda o comprimento padrão dos indivíduos a fim de avaliar se a estruturação afeta o crescimento dos peixes. Por último foi calculado o fator de condição, fazendo-se o balanço entre o peso e o comprimento dos peixes de cada tratamento por meio da fórmula:

$$FC = \frac{P}{CP^3}$$

onde,  $P$  é peso,  $CP$  é o comprimento padrão e  $b$  é coeficiente angular da reta de regressão entre peso e comprimento.

O Fator de Condição é um índice bastante utilizado no estudo da biologia de peixes, pois fornece importantes informações sobre o estado fisiológico desses animais, a partir do pressuposto de que indivíduos com maior massa em um dado comprimento estão em melhor condição (RICKER, 1975). Dessa forma, procurou-se verificar se as estruturas adicionadas aos tanques influenciaram de alguma forma a condição dos peixes

## **2.7 Comportamento dos indivíduos**

O ambiente de cultivo tem influência sobre o comportamento e a morfologia dos peixes (MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994). Neste estudo, assim como a morfologia, o comportamento dos peixes também foi afetado pelos tratamentos. Por isto, também foi observado espécies durante o experimento.

### 3 RESULTADO

Dos vinte e um atributos ecomorfológicos analisados, a ANOVA demonstrou diferenças em quatorze para os tratamentos de curimba e em dezessete para os tratamentos de piracanjuba. Os gráficos com as respectivas análises de variância e Teste de Tukey se encontram no Anexo 3.

A Análise dos Componentes Principais (PCA) demonstrou que as populações correspondentes a cada um dos tratamentos ocupam espaços morfológicos distintos (Figura 11). Para *P. lineatus* é possível observar que cada tratamento tende a ocupar uma região específica do espaço morfológico, apesar de haver alguma sobreposição entre eles. Para *B. orbignyanus* observa-se que os tratamentos controle (C) e troncos+macrófitas (T+M) estão totalmente separados dos tratamentos troncos (T) e macrófitas (M), apesar de não ocorrer separação destes últimos entre si.

Os dois primeiros eixos da PCA foram importantes para explicar a variância dos tratamentos de curimba e piracanjuba. O primeiro eixo foi responsável por 18,20% da variação total para a curimba e o atributo que mais contribuiu para isto foi ICPCd (índice de compressão do pedúnculo caudal). O segundo eixo contribuiu com 11,93%, sendo o atributo mais importante a ARNPI (área relativa da nadadeira pélvica). Assim os dois primeiros eixos sozinhos explicaram 30% da variância total para *P. lineatus*. Para a piracanjuba o primeiro eixo explicou 28,91% e o segundo eixo 10,21% sendo ARNPI e HRPCd (altura relativa do pedúnculo caudal) respectivamente os atributos que mais contribuíram para explicação de cada eixo. Juntos o primeiro e o segundo eixos da PCA explicaram 39% da variância total para a *B. orbignyanus*.



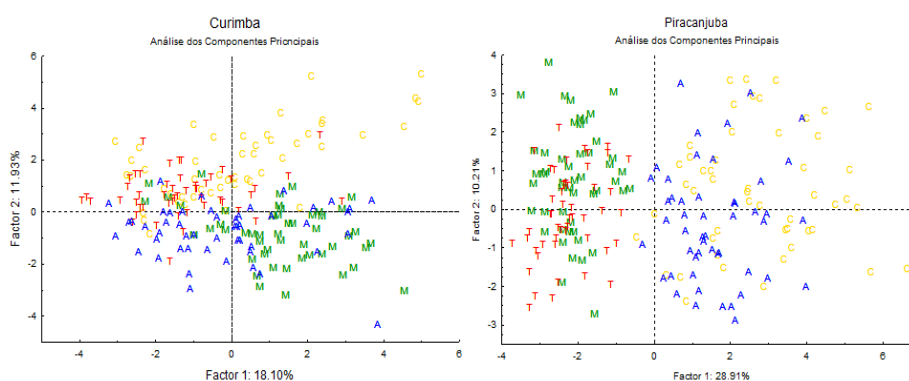


Figura 11 Projeção dos quatro tratamentos [C=controle; T=troncos; M=macrófitas; A= ambos (troncos+macrófitas)] de *Prochilodus lineatus* e *Brycon orbignyanus* nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. Cada tratamento se encontra destacado em uma cor.

A análise discriminante entre os indivíduos dos diferentes tratamentos foi significativa tanto para *P. lineatus* (Wilks' Lambda: 0.14596;  $F(63,526)=7.5625$ ;  $p<0.0000$ ) quanto para *B. orbignyanus* (Wilks' Lambda: 0.04004;  $F(63,523)=16.102$ ;  $p<0.0000$ ), sendo que os quatro tratamentos foram diferentes entre si (Tabelas 1 e 2). Os atributos que contribuíram significativamente para a diferenciação entre os tratamentos foram CRCb, ICPCd, ARNDs, ARNCd, RANAn, CRNPI, ARNPt para a curimba e HRC, PRO, ARO, CRCb, CRPCd, ARNDs, ARNAn, RANAn, CRNPI, ARNPt, ARNPt e RANPt para a piracanjuba (Tabela 3).

Tabela 1 Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de *P. lineatus*.

Treatments	Controle	Troncos	Macrófitas	T+M
<b>Controle</b>				
<b>Troncos</b>	0,000014			
<b>Macrófitas</b>	<0,001	<0,001		
<b>T+M</b>	<0,001	<0,001	<0,001	

Tabela 2 Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de *B. orbignyana*.

Tratamentos	Controle	Troncos	Macrófitas	T+M
<b>Controle</b>				
<b>Troncos</b>	<0,001			
<b>Macrófitas</b>	<0,001	<0,001		
<b>T+M</b>	<0,001	<0,001	<0,001	

Observa-se ainda que dos sete atributos influenciados pelos tratamentos para as curimbas cinco deles foram coincidentes com os das piracanjubas. Todas as nadadeiras foram influenciadas pelos tratamentos, entretanto *B. orbignyana* sofreu mais modificações do que *P. lineatus*, havendo sempre diferenciações em mais de uma dimensão. Por exemplo, em relação à nadadeira pélvica as piracanjubas tiveram modificada tanto a área quanto comprimento, enquanto que as curimbas tiveram somente o comprimento alterado. Entretanto, em relação à nadadeira caudal, somente a curimba foi influenciada, de modo que a área desta nadadeira tendeu a diminuir com o enriquecimento ambiental, sendo maior nos tanques controle e menor nos tanques com troncos e macrófitas artificiais. Nos gráficos do Anexo 3 é possível observar a influência dos tratamentos sobre os vinte e um atributos ecomorfológicos para cada espécie.

Tabela 3 Análise Discriminante entre indivíduos de curimba e piracanjuba (Wilks' Lambda: 0,14596; F (63,526)=7.5625 p<0.0000 e Wilks' Lambda: 0,04004; F (63,523)=16,102 p<0.0000) respectivamente. Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.

Atributos	Curimba		Piracanjuba	
	F (3,176)	Valor p	F (3,175)	Valor p
IC	2,31566	0,077428	0,62878	0,597345
IAV	0,87116	0,457208	0,04874	0,985715
HRC	1,79055	0,150697	<b>6,17207</b>	<b>0,000519</b>
PRO	2,20360	0,089348	<b>2,82302</b>	<b>0,040311</b>
ARO	2,06007	0,107250	<b>9,38258</b>	<b>0,000009</b>
CRCb	<b>3,99644</b>	<b>0,008759</b>	<b>3,21630</b>	<b>0,024210</b>
CRPCd	1,21436	0,306013	<b>5,53116</b>	<b>0,001190</b>
HRPCd	2,16114	0,094316	2,39211	0,070225
LRPCd	0,53640	0,657937	1,68502	0,171973
ICPCd	<b>5,00679</b>	<b>0,002348</b>	2,58571	0,054757
ARNDs	<b>17,66835</b>	<b>0,000000</b>	<b>13,97964</b>	<b>0,000000</b>
ARNCd	<b>3,58224</b>	<b>0,015029</b>	1,64210	0,181409
RANCd	0,89163	0,446676	0,74264	0,527989
ARNAn	1,06830	0,363966	<b>5,73337</b>	<b>0,000916</b>
RANAn	<b>3,55138</b>	<b>0,015645</b>	<b>2,86886</b>	<b>0,037990</b>
CRNPI	<b>2,89628</b>	<b>0,036648</b>	<b>6,88151</b>	<b>0,000208</b>
ARNPI	1,31061	0,272517	<b>6,49264</b>	<b>0,000343</b>
RANPI	0,87005	0,457786	2,39793	0,069703
CRNPt	0,68051	0,565068	2,40758	0,068846
ARNPt	<b>21,55333</b>	<b>0,000000</b>	<b>4,21498</b>	<b>0,006594</b>
RANPt	1,69305	0,170237	<b>9,64333</b>	<b>0,000006</b>

A influência dos tratamentos na variabilidade morfológica dos peixes foi analisada pelo gráfico da distância do centroide (Figura 12). Para *P. lineatus* observou-se o aumento significativo da variabilidade morfológica com a adição de estruturação física. Já para *B. orbignyanus* os tratamentos atuaram de forma diferente. Não houve uma tendência de aumento de variabilidade com o enriquecimento ambiental, pelo contrário, a maior variabilidade morfológica foi encontrada para o tratamento controle.

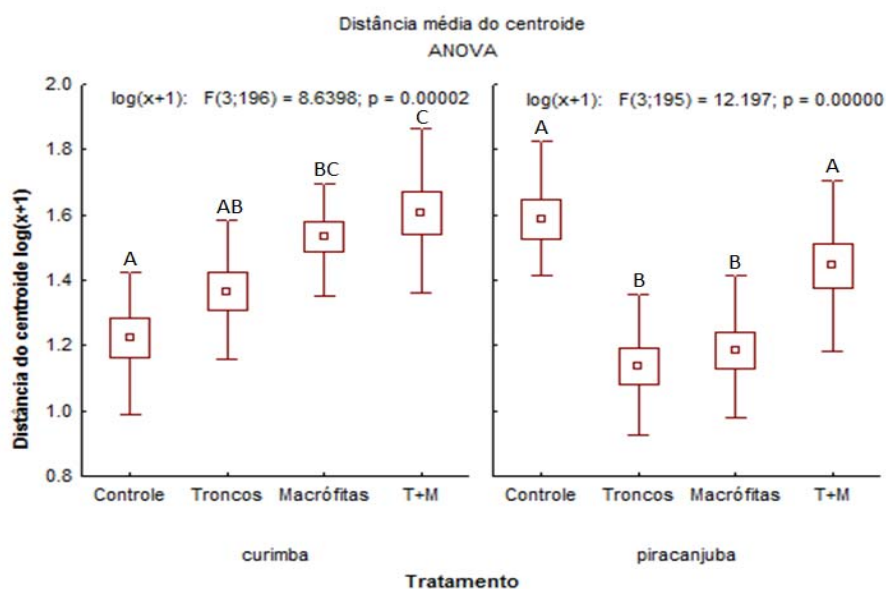


Figura 12 Gráficos do log da distância do centroide mais um [ $\log(DC+1)$ ] para *P. lineatus* e para *B. orbignyanus* respectivamente. A ANOVA foi significativa para ambas as espécies ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey, especificando quais DCs foram diferentes entre si, é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

O comprimento padrão dos indivíduos também foi influenciado pelos tratamentos (Figura 13). *B. orbignyanus* foi fortemente influenciada, tendo o comprimento aumentado principalmente nos tratamentos T e M. Já *P. lineatus*

sofreu influência observável somente no tratamento M, onde a maioria dos peixes concentrou-se numa mesma faixa de comprimento (de 30 a 40 mm). Percebe-se também que as piracanjubas apresentaram uma média de comprimento muito maior que as curimbas, apesar de ambas as espécies terem sido coletadas na mesma idade e cultivadas sob as mesmas condições. Isto é indicativo do metabolismo mais acelerado da *B. orbignyanus*.

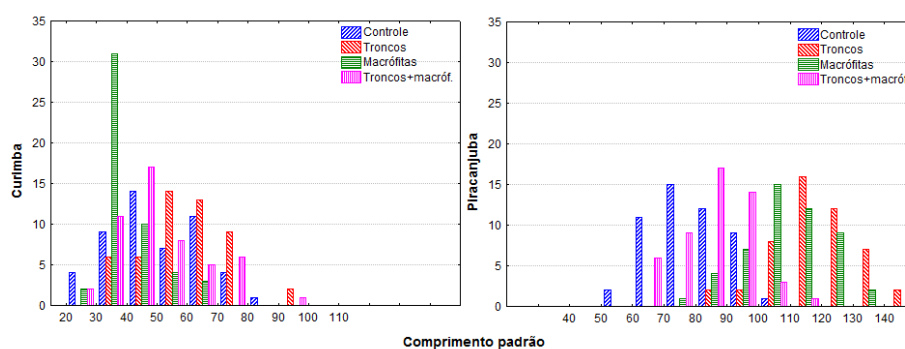


Figura 13 Histogramas mostrando para cada espécie o número de indivíduos por classe de comprimento padrão em cada tratamento.

Para comparar o estado fisiológico dos peixes calculou-se o fator de condição, que é um balanço entre o peso e o comprimento. Esta variável também foi diferente entre os tratamentos.

Para *P. lineatus* o menor fator de condição foi encontrado no tratamento M, o qual foi estatisticamente igual ao tratamento A, enquanto os tratamentos C e T apresentaram maiores valores de fator de condição. Pela análise dos gráficos do fator de condição (Figura 14) e do comprimento padrão Figura (13) percebe-se que as curimbas dos tanques que continham macrófitas eram menos desenvolvidas sendo mais magras e menores que as demais. Apesar de não ter havido diferença significativa entre C e T, as curimbas de T apresentaram em

média maiores valores de fator de condição e maior quantidade de indivíduos em classes maiores de comprimento.

Para *B. orbignyana* o maior fator de condição ocorreu para os peixes do tanque C, mas estes não diferiram significativamente dos peixes do tanque A. Os peixes do tanque T tiveram o menor fator de condição, seguidos dos peixes do tanque M.

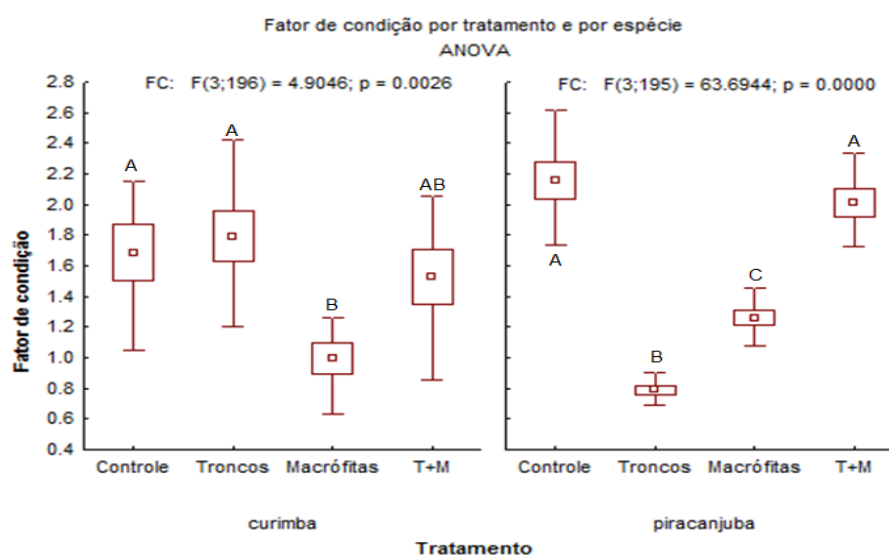


Figura 14 Gráficos do fator de condição (FC) para *P. lineatus* e *B. orbignyana* respectivamente. A ANOVA foi significativa para ambas as espécies ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificando quais FCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

No decorrer do estudo, observou-se que as duas espécies têm diferentes graus de atividade. Em condições normais de cultivo (controle) a piracanjuba é uma nadadora ativa que se mantém em constante movimento, explorando toda a área do tanque. Prefere águas mais transparentes, nada individualmente e não

forma grupos de indivíduos. Sob condições de enriquecimento as piracanjubas não utilizaram muito as estruturas adicionadas e não houve diferença entre o comportamento das piracanjubas dos tanques estruturados e do controle. Estas se deslocavam constantemente por todos os tanques, só que naqueles estruturados desviavam-se dos obstáculos. Por outro lado, as curimbas no tratamento controle mantinham-se a maior parte do tempo em cardume, raramente se desgarrando dele e preferindo as regiões mais sombreadas do tanque. Na presença de estruturas submersas, as curimbas ficavam por menos tempo em grupo, e os indivíduos exploravam mais o ambiente, forrageando e abrigando-se entre os troncos e macrófitas. Constatou-se que troncos e macrófitas foram utilizados pelas curimbas desde a fase de pós-larva até o fim do experimento. Tanto troncos quanto as macrófitas artificiais apresentavam perifiton aderidos as suas superfícies, o que possibilitou o forrageamento. O perifiton dos troncos era mais abundante de modo que estes eram mais utilizados para o forrageamento, enquanto que as plantas plásticas, devido a sua estrutura filamentosa foram predominantemente utilizadas como abrigo.

#### 4 DISCUSSÃO

O enriquecimento ambiental visa tornar as condições de cultivo mais próximas das naturais, gerando peixes fisiológico, morfológico e comportamentalmente mais parecidos com os selvagens. Estudos anteriores já avaliaram o efeito do enriquecimento sobre peixes cultivados, mas a maioria deles estudou o comportamento (BEREJIKIAN, et al., 2001; BRAITHWAITE; SALVANES, 2005; BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003; LEE; BEREJIKIAN, 2008). Em relação à morfologia Garduño-Paz; Couderc e Adams, (2010) comparam peixes submetidos a dois tipos de ambientes: um simples (com cascalho ao fundo) e outro complexo (com cascalho, pedras grandes com espaço intersticial e macrófitas artificiais) e encontraram diferenças significativas na forma do corpo e da cabeça dos peixes entre estes dois ambientes.

Assim como demonstrado por Garduño-Paz; Couderc e Adams (2010), nossos resultados apontaram que o enriquecimento estrutural tem forte efeito sobre a morfologia dos peixes cultivados. Mas para entender as divergências morfológicas encontradas foi necessário abordar também a fisiologia e o comportamento. A fisiologia foi abordada por meio do cálculo do fator de condição e o comportamento foi observado durante todo o experimento.

Cada espécie apresentou diferentes atributos influenciados pelos tratamentos. De acordo com o comportamento observado, *P. lineatus* utilizou mais as estruturas adicionadas aos tanques, forrageando nos troncos e abrigando-se nas macrófitas artificiais. Entretanto, *P. lineatus* teve menos atributos influenciados que *B. orbignyanus*. Dos vinte e um atributos analisados, quatorze foram significativamente alterados para a curimba e dezessete para a piracanjuba. Isto pode resultar do menor grau de atividade da primeira que apresentou comportamento mais arreado, nadando menos e abrigando-se na



maior parte do tempo entre as macrófitas. A piracanjuba apresentou-se como uma nadadora mais ativa, e por isso as estruturas atuaram como obstáculo à natação, resultando na maior quantidade de atributos influenciados.

Alguns dos atributos influenciados devem ser destacados. A forma do corpo, as dimensões das nadadeiras e a posição do olho sofreram modificações interessantes que demonstram a influência do enriquecimento ambiental.

A influência dos tratamentos sobre o corpo é evidenciada pelo IC. Percebe-se que as piracanjubas dos tanques T apresentaram corpo mais fusiforme, já que o IC diminuiu e a HRC permaneceu a mesma em relação ao controle. Peixes cultivados tendem a apresentar corpo menos fusiforme que peixes selvagens, provavelmente por serem mais sedentários (FLEMMING, JONSSON, 1994; HARD et al., 2000; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991; TAYLOR, 1986). O corpo mais fusiforme das piracanjubas em T sugere que os troncos tornaram-nas nadadoras mais ativas e com uma morfologia mais semelhante à encontrada no ambiente natural. As curimbas apresentaram maior IC nos tanques com macrófitas (M e T+M) e a HRC não sofreu alteração. Isto indica que as curimbas destes tanques apresentaram um corpo mais arredondado ou comprimido. Corpos arredondados proporcionam melhor manobrabilidade e capacidade de impulso (SWAIN; HOLTBY, 1989; TAYLOR; MCPHAIL, 1985; WEBB, 1984). Neves e Monteiro (2003) encontraram que indivíduos de *Poecilia vivipara* apresentam corpos mais redondos em ambientes com presença de macrófitas, justamente em decorrência da necessidade de transitar em meio às raízes submersas. Portanto, a presença de macrófitas artificiais nos tanques T e T+M, ocasionou uma maior necessidade de realizar manobras e explica o corpo mais comprimido e, portanto, mais arredondado, encontrado para estas curimbas.

Além da forma do corpo, atributos relacionados às nadadeiras foram modificados sob o enriquecimento. A nadadeira dorsal é importante no

equilíbrio dos peixes e a ARNDs é tanto maior quanto a capacidade de estabilização em desvios (GOSLINE, 1971). Observa-se que a ARNDs das curimbas foi fortemente aumentada no tratamento M e a ARNDs das piracanjubas aumentou em todos os tratamentos enriquecidos (T, M e T+M). Este resultado reflete a necessidade de equilíbrio em ambas as espécies para realizar desvios, e em especial a piracanjuba, que nadava rápida e ativamente entre as estruturas e por isso necessitava se equilibrar rapidamente ao desviar dos obstáculos. Nota-se ainda, que a ARNDs foi menor em T+M do que em T e M. Isto ocorreu porque, provavelmente, neste tanque as piracanjubas nadavam mais devagar devido a grande quantidade de obstáculos, de modo que a necessidade de recuperação de desvios era ligeiramente menor.

Alterações na nadadeira anal também refletem o efeito das estruturas sobre a natação. Nadadeiras anais relacionam-se com a capacidade de manobra e de realização de movimentos rápidos de progressão e regressão (BREDA et al., 2005 *apud* OLIVEIRA et al., 2010). Tanto curimba quanto piracanjuba tiveram a RANAn aumentada em T+M, refletindo novamente a influência de obstáculos, em especial das macrófitas, e da consequente necessidade de frenagens e desvios.

O efeito do enriquecimento sobre a alimentação e forrageamento também pode ser notado pela análise dos caracteres do olho, que é fortemente influenciado pelo modo de captura do alimento (POUILLY et al., 2003). A PRO foi menor, em relação ao controle, nos três tratamentos enriquecidos de *P. lineatus* tendo sido significativa em T e nos três tratamentos enriquecidos de *B. orbignyanus*. Uma PRO menor significa que o olho destes peixes posiciona-se mais abaixo em relação à altura da cabeça (POUILLY et. al, 2003). Estruturas artificiais acabam por esconder os fragmentos de ração de modo que os peixes criados em tanques enriquecidos necessitam procurar pelo alimento entre as estruturas submersas (BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003), podendo

explicar valores altos de PRO encontrados no tanque C e os menores valores dos demais tratamentos.

Além dos tratamentos terem modificado os atributos ecomorfológicos gerando peixes morfológicamente distintos, também afetaram a variabilidade morfológica destes. Com o enriquecimento ambiental as curimbas apresentaram um nítido aumento de variabilidade, enquanto que as piracanjubas apresentaram um declínio.

Peixes cultivados apresentam menor variabilidade morfológica que selvagens da mesma espécie, provavelmente em resposta à homogeneidade do ambiente de cultivo (TAYLOR, 1986; SARAIVA; POMPEU, 2010). Tanques de piscicultura são ambientes de condições extremamente homogêneas, caracterizadas por elevada densidade populacional, grande e constante disponibilidade de alimento, constância de temperatura, ausência de predadores, ausência de abrigo e substratos etc. As pressões seletivas presentes em um tanque de piscicultura são completamente diferentes daquelas do ambiente natural, o que resulta em morfologias bastante distintas e pouco variadas, geradas por plasticidade fenotípica (BELK et al., 2008; FLEMMING; JONSSON, 1994; HARD et al., 2000; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991; TAYLOR, 1986).

Juvenis de peixes migradores neotropicais habitam ambientes heterogêneos, as lagoas marginais, que são ricas em plantas aquáticas, galhos secos e outros tipos de estruturas (AGOSTINHO; JÚLIO JUNIOR, 1999). A complexidade estrutural destas lagoas explica em grande parte a variabilidade morfológica de peixes selvagens (SARAIVA; POMPEU, 2010), pois em ambientes variáveis, submetidos à numerosas pressões e distúrbios, a existência de tipos morfológicos diversos deve ser vantajosa. O objetivo do enriquecimento dos tanques de cultivo é aumentar a complexidade estrutural destes, tornando-os

mais parecidos com o ambiente natural. Portanto, era esperado um aumento da variabilidade morfológica da população estudada.

A população de *P. lineatus* respondeu aos tratamentos exatamente conforme o esperado. A menor variabilidade morfológica foi encontrada no tanque controle e T, M e T+M apresentaram respectivamente maiores valores de variabilidade. Assim sendo, observa-se que o efeito das macrófitas artificiais sobre a população cultivada foi maior que o efeito dos troncos, bem como o efeito simultâneo dos troncos e das macrófitas foi maior que o das macrófitas isoladamente. Portanto, o enriquecimento atuou como indutor de variabilidade, aumentando a magnitude da variabilidade morfológica proporcionalmente à magnitude da estruturação ambiental, ou seja, para *P. lineatus*, quanto maior foi a estruturação dos tanques, maior foi a heterogeneidade e complexidade ambiental proporcionada, e maior foi a variabilidade morfológica gerada.

Já a população de *B. orbignyanus* não respondeu conforme o inicialmente esperado, tendo o tanque controle apresentado maior variabilidade morfológica de todos os tratamentos. Uma possível explicação para este resultado é a sugestão dada por Belk et al. (2008) de que o ambiente de cultivo possa representar para esta espécie, um ambiente brando que não induz qualquer padrão morfológico. Como neste ambiente existe abundância de alimento, ausência de predadores e ausência de variações ambientais acentuadas, as pressões seletivas são mais fracas permitindo que os peixes tenham certa flexibilidade de desenvolvimento e isto resulta em uma grande variedade morfológica. Nos tratamentos T e M a variabilidade morfológica sofreu forte redução. Seguindo esta linha de pensamento, concluiu-se que no caso da adição de um único tipo de estrutura (troncos ou macrófitas artificiais), a pressão seletiva do tanque aumenta e passa a favorecer padrões morfológicos adaptados especificamente àquela estrutura, o que reduz variabilidade morfológica. No tratamento T+M em que os dois tipos de estruturas estavam presentes, a

variabilidade morfológica voltou a subir. Neste caso, o ambiente passou a ser mais heterogêneo, permitindo a coexistência de morfologias adaptadas a uma e/ou a outra estrutura.

Além de afetar os peixes morfológicamente os tratamentos também tiveram influência sobre aspectos fisiológicos. Para as curimbas, o tratamento M foi o único que diminuiu o fator de condição significativamente. Como todos os tanques receberam alimentos na mesma quantidade e frequência, a causa da diminuição do balanço entre peso e comprimento pode ser creditada à presença das macrófitas artificiais. Estas prejudicaram o desenvolvimento das curimbas tornando-as menos desenvolvidas. De fato, durante o experimento observou-se o acúmulo de ração entre as tiras plásticas das macrófitas, que se embaraçavam com o movimento da água e com a passagem dos peixes, englobando fragmentos alimentares e tornando-os inacessíveis aos peixes, o que pode ter gerado déficit alimentar.

Para as piracanjubas, o tratamento T foi o que mais reduziu o fator de condição, seguido do tratamento M e por fim do tratamento T+M, apesar deste último não ter diferido do controle. O fato de os tratamentos T e M terem reduzido o fator de condição das piracanjubas, não indica necessariamente que o enriquecimento prejudicou o desenvolvimento delas. Ao analisar os dados de comprimento padrão, percebe-se que os tratamentos T e M obtiveram os peixes de maior comprimento e, portanto, os peixes destes tratamentos não apresentaram déficit alimentar, pelo contrário, foram os que mais cresceram. Este resultado é diferente do encontrado para trutas por Berejikian et al. (2001), que não detectaram diferenças no comprimento de peixes criados em tanques convencionais e em tanques enriquecidos com estruturas submersa e concluíram que o tipo de habitat não tem efeito significativo no crescimento de trutas. No presente estudo caso, as piracanjubas de T e M foram maiores e o fator de condição indica que foram mais magras. Disto concluiu-se que as piracanjubas

dos tanques enriquecidos com um único tipo de estrutura eram mais ativas. O fator de condição voltou a subir em T+M. Isto demonstra que a conjugação de dois tipos de estrutura reduziu a atividade das piracanjubas, provavelmente porque a maior densidade de obstáculos torna o trânsito entre eles mais difícil. Este resultado juntamente com a constatação de que os peixes de T apresentam corpo mais fusiforme, indicam claramente que as piracanjubas foram mais ativas nos tanques com um único tipo de estrutura, do que no controle e em T+M.

Os resultados encontrados neste estudo demonstraram que o enriquecimento por troncos e plantas aquáticas pode ser proposto como forma de aumentar a variabilidade morfológica de populações cultivadas de *P. lineatus*. Por outro lado, para *B. orbignyanus* aparentemente uma maior variabilidade morfológica poderia ser gerada por meio da manutenção simultânea de diferentes formas de cultivo (tanques com diferentes formas de estruturação). Estudos complementares devem ser realizados a fim de aperfeiçoar as técnicas de enriquecimento, procurando pelas estruturas mais adequadas para cada espécie, que não tenham influência negativa sobre o desenvolvimento dos peixes e que os tornem tão variados morfológicamente quanto os selvagens, a fim de aumentar a probabilidade de sobrevivência destes após a introdução no ambiente natural.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: UEM. 2007. 501 p.

AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JUNIOR, H. F. Peixes das bacia do alto Paraná. In: LOWE-McCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: USP. 1999. p. 374-400.

BELK, M. C.; BENSON, L. J.; RASMUSSEN, J.; PECK, S. L. Hatchery-induced morphological variation in an endangered fish: a challenge for hatchery-based recovery efforts. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 65, n. 3, p. 401-408, March 2008.

BEREJIKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; RILEY, S. C.; LARAE, A. L. Competitive ability and social behavior of juvenile steelhead reared in enriched and conventional hatchery tanks and a stream environment. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 59, n. 6, p. 1600–1613, Dec. 2001.

BRAITHWAITE, V. A.; SALVANES, A. G. V. Environmental variability in the early rearing environment generates behaviourally flexible cod: implications for rehabilitating wild populations. **Proceedings of the Royal Society Biology**, Bethesda, v. 272, n. 1568, p. 1107–1113, July 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 5, de 21 maio de 2004**. Estabelece as espécies ameaçadas de extinção, sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração de invertebrados aquáticos e peixes. Brasília, 2004.

BROWN, C.; DAVIDSON, T.; LALAND, K. Environmental enrichment and prior experience of live prey improve foraging behaviour in hatchery-reared Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 63, n. 1, p. 187-196, Dec. 2003. Supplement.

CRAMON-TAUBADEL, N.; LING, E. N.; COTTER, D.; WILKINS, N. P. Determination of body shape variation in Irish hatchery-reared and wild Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 66, n. 5, p. 1471–1482, May, 2005.

FLEMING, I. A.; JONSSON, B.; GROSS, M. R. Phenotypic divergence of sea-ranched, farmed, and wild salmon. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 51, n. 12, p. 2808-2824, Dec. 1994.

GARDUÑO-PAZ, M. V.; COUDERC, S.; ADAMS, C. E. Habitat complexity modulates phenotype expression through developmental plasticity in the threespine stickleback. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 100, n. 2, p. 407-413, maio 2010.

GATZ JUNIOR, A. J. Ecological morphology of freshwater stream fishes. **Tulane Studies in Zoology Botany**, Nova Orleans, v. 21, p. 91-124, 1979.

GOSLINE, W. A. **Functional morphology and classification of teleostean fishes**. Honolulu: University of Hawaii, 1971. 208 p.

HARD, J. J.; BEREJIKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; SCHRODER, S. L.; KNUDSEN, C. M.; PARKER, L. T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captive reared adult coho salmon: a geometric analysis. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v. 58, p. 61-73, 2000.

LEE, J. S. F.; BEREJIKIAN, B. A. Effects of the rearing environment on average behaviour and behavioural variation in steelhead. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 72, n. 7, p. 1736-1749, May 2008.

MAYNARD, D. J.; FLAGG, T. A.; MAHNKEN, C. V. W. **A Review of Seminatural Culture Strategies for Enhancing the Postrelease Survival of Anadromous Salmonids**. Seattle: National Marine Fisheries Service, 1995. 34 p.

NEVES, F. M.; MONTEIRO, L. R. Body shape and size divergence among populations of *Poecilia vivipara* in coastal lagoons of south-eastern Brazil. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 63, n. 4, p. 928-941, Oct. 2003.

OLIVEIRA, E. F.; GOULART, E.; BREDA, L.; MINTE-VERA, C. V.; PAIVA, L. R. S.; VISMARA, M. R. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v.8, n. 3, p.569-586, 2010.

PAKKASMAA, S.; PIIRONEN, J. Water velocity shapes juvenile Salmonids. **Evolutionary Ecology**, Dodrecht, v.14, n. 8, p. 721-730, 2001.

SWAIN, D. P.; HOLTBY, L. B. Differences in Morphology and Behavior Between Juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutchi*) Rearing in a Lake and Its Tributary Stream. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.46, n. 8, p. 1406-1414, Aug. 1989.



SWAIN, D. P.; RIDDELL, B. E.; MURRAY, C. B. Morphological differences between hatchery and wild populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): environmental versus genetic origin. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.48, n. 9, p. 1783-1791, Sept. 1991.

POUILLY, M.; LINO, F.; BRETENOUX, J.-G.; ROSALES, C. Dietary-morphological relationships in a fish assemblage of the Bolivian Amazonian floodplain. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 62, n. 5, p. 1137-1158, May 2003.

RICKER, W.E. **Computation and interpretation of biological statistics of fish populations**. An Arbor: Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, 1975. 382 p. (Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, v.191).

SARAIVA, S. O.; POMPEU, P. S. **Uso de atributos ecomorfológicos para caracterizar diferenças entre populações de duas espécies de peixes da bacia do Rio Grande – MG**. 2010. 67p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TAYLOR, E. B. Differences in morphology between wild and hatchery populations of juvenile Coho Salmon. **The Progressive Fish-Culturist**, New York, v.48, n. 3, p. 171-176, 1986.

TAYLOR, E. B.; McPHAIL, J. D. Variation in body morphology among British Columbia Populations of Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.42, n. 12, p. 2020-2028, Dec. 1985.

WINEMILLER, K. O. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. **Ecological Monographs**, Washington, DC, v. 61, n. 4, p. 343-365, Dec. 1991.

WEBB, P. W. Body form, locomotion, and foraging in aquatic vertebrates. **American Zoologist**, Oxford, v. 24, n. 1, p.107–120, Jan. 1984.

### **CAPÍTULO 3**

**EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL DE TANQUES DE  
PISCICULTURA SOBRE A MORFOLOGIA DE *BRYCON*  
*ORBIGNYANUS* AO LONGO DO TEMPO E EM DIFERENTES FASES  
DE DESENVOLVIMENTO**

## RESUMO

Neste estudo, foi tratado o efeito do tempo e da idade de enriquecimento sobre a plasticidade morfológica dos peixes. Apenas a espécie *Brycon orbignyanus* foi analisada e o enriquecimento estrutural utilizado foi da adição de troncos e macrófitas artificiais aos tanques. Para avaliar o efeito do tempo, foram utilizados dois tanques, um com e outro sem estruturação. Em cada um destes tanques foram realizadas três coletas de peixes sendo a primeira após um mês, a segunda após dois meses e a terceira e última após três meses da introdução das pós-larvas nos tanques. Para verificar o efeito da idade em que os peixes foram submetidos ao enriquecimento ambiental, além dos dois tanques utilizados acima, mais dois tanques receberam pós-larvas, sendo que um destes tanques permaneceu como controle e o outro, a princípio, não recebeu nenhum tipo de estruturação, recebendo-a somente após um mês. Em cada tanque foram realizadas duas coletas, a primeira coleta ocorreu um mês após a introdução do enriquecimento e a segunda após dois meses. De cada indivíduo, tomou-se 27 medidas morfológicas para o cálculo de 21 atributos ecomorfológicos. Para verificar a existência de diferenças entre os tratamentos realizou-se Análise dos Componentes Principais (PCA) e Análise Discriminante (DA). Para avaliar a variabilidade morfológica foram calculadas as distâncias do centroide para cada tratamento e a partir delas fez-se uma Análise de Variância (ANOVA). Os resultados demonstraram que peixes cultivados com e sem enriquecimento se desenvolveram de maneira diferente, sendo que os primeiros se desenvolveram mais rápido e alcançaram maiores comprimentos que os últimos. O enriquecimento também teve efeito sobre a forma do corpo, que foi mais afetada quando a estruturação foi introduzida desde a fase de pós-larva, quando a plasticidade fenotípica é maior, de modo que o efeito do enriquecimento diminuiu com o avanço da idade. O tempo pelo qual os peixes permaneceram sob enriquecimento não teve influência direta sobre a morfologia, mas ao longo dele a alometria ontogenética foi alterada e isso resultou em uma morfologia diferenciada. Os resultados encontrados são importantes para entender de que maneira o enriquecimento atua sobre o desenvolvimento dos peixes. Entretanto, o presente estudo foi de curto prazo, o que impossibilitou que todas as fases de desenvolvimento fossem investigadas.

Palavras-chave: Enriquecimento ambiental. Morfologia. Tempo. Idade. Alometria ontogenética.

## 1 INTRODUÇÃO

Plasticidade fenotípica é a capacidade de um genótipo em se expressar de diferentes modos dependendo do ambiente (BEGON, TOWNSEND; HARPER, 2007). Dentre os tipos de plasticidade fenotípica existentes, destaca-se a morfológica, que é a capacidade de alterar a forma do corpo. A relação entre a forma do corpo e o ambiente já foi amplamente estudada em peixes (BAILEY; LACHAPELLE; KINNISON, 2010; LEAL; JUNQUEIRA; POMPEU, 2010; CASSATTI; CASTRO, 2006; SOLEM; BERG; KJØSNES, 2006; BRENDA; FONTES; GOULART, 2005; LANGERHANS et. al., 2003; NEVES; MONTEIRO, 2003; WAINWRIGHT, 2002; FREIRE e AGOSTINHO, 2001; WINEMILLER, 1991; WEBB, 1984; GATZ, 1979). A capacidade do ambiente em moldar a morfologia é particularmente acentuada em cativeiro, de modo que os peixes cultivados tendem a ser morfológicamente diferente dos selvagens (CRAMON-TAUBADEL, 2005; HARD et al., 2000; MAYNARD; FLAGG; MAHNKEN, 1994; SWAIN; RIDDELL; MURRAY, 1991; TAYLOR, 1986). No caso de peixes cultivados para estocagem (soltura em ambiente natural), estas diferenças morfológicas podem resultar em pequenas taxas de sobrevivência e em conseqüente ineficiência desta prática como medida de suplementação das populações naturais.

O enriquecimento ambiental de tanques de cultivo vem sendo proposto como forma de aproximar o ambiente de cultivo do natural, por meio da incorporação de características naturais como, velocidade da água, temperatura e complexidade estrutural (BELK et al., 2008). A existência de características naturais nos tanques de cultivo pode gerar peixes com maior capacidade de se adaptar ao ambiente natural.

A complexidade estrutural é particularmente importante para peixes, pois estruturas submersas podem servir de abrigo, substrato para a alimentação e

obstáculo à natação. GARDUÑO-PAZ; COUDERC; ADAMS, (2010) demonstraram que um ambiente complexo pode gerar peixes com corpo mais fusiforme e com cabeças menores, características favoráveis à exploração deste tipo de ambiente.

No capítulo anterior evidenciamos o forte efeito do enriquecimento estrutural sobre a morfologia de peixes cultivados. Entretanto, os peixes testados eram jovens e se encontravam em fase de desenvolvimento. A plasticidade fenotípica muda de acordo com idade e segundo Wimberger (1992) ela é menor para peixes mais velhos. Além disto, a forma do corpo é dependente do tamanho (PERES NETO, 1999), mudando à medida que os peixes crescem. Por isto, neste capítulo buscamos identificar se o efeito gerado pelo enriquecimento sobre a morfologia dos peixes muda, dependendo do tempo que os peixes permanecem sob ele ou dependendo da idade ou fase de desenvolvimento em que o enriquecimento é introduzido no ambiente. Foram elaboradas as seguintes hipóteses:

- Quanto maior o tempo em que os peixes permanecem sob enriquecimento estrutural, maior é a influência deste sobre a morfologia.
- A magnitude das divergências morfológicas geradas pelo enriquecimento depende da idade em que os peixes são submetidos a ele.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Espécie estudada**

A estocagem dos peixes foi realizada na Estação de Piscicultura de Volta Grande localizada no município de Conceição das Alagoas em Minas Gerais. Os peixes produzidos nesta estação são destinados à introdução nas áreas do entorno da Usina Hidrelétrica de Volta Grande, na calha principal do Rio Grande, componente da bacia hidrográfica do Rio Paraná. Para este experimento foram utilizadas pós-larvas da espécie *Brycon orbignyanus* obtidas por desova artificial de peixes progenitores de origem selvagem.

### **2.2 Reprodução**

Dentre as matrizes reprodutoras da Estação de Piscicultura de Volta Grande, foram selecionadas quatro fêmeas e oito machos de piracanjuba pré-dispostos à reprodução. A reprodução das piracanjubas foi a mesma realizada para o primeiro capítulo, ocorrendo em janeiro de 2012.

### **2.3 Experimento**

As pós-larvas de piracanjubas foram cultivadas em tanques de concreto com fundo de terra, submetidos às mesmas condições do primeiro capítulo e na mesma densidade (200 pós-larvas por m<sup>2</sup>). Todas as pós-larvas foram introduzidas nos tanques num único dia (em janeiro), sendo três dias após a eclosão dos ovos.

Durante todo o experimento, os peixes de todos os tanques foram alimentados com ração na mesma quantidade e frequência (uma vez ao dia). Procurou-se ao máximo manter a água dos tanques no mesmo nível.

Foram utilizados dois tratamentos (Figura 1) a fim de se testar as hipóteses levantadas:

(C) Controle: tanque em condições padrões de cultivo, em que nenhuma estruturação foi adicionada.

(E) Estruturado: tanque sob condições de enriquecimento, estruturado com troncos submersos e macrófitas aquáticas artificiais.

Para testar a hipótese do tempo, foram realizadas três coletas de peixes em cada tanque, após um, dois e três meses da introdução das pós-larvas, ou seja, em fevereiro, março e abril respectivamente. Portanto, os peixes capturados em cada coleta apresentavam idades diferentes. Justamente por isto foi utilizado o tanque controle, para que fosse possível detectar quais as diferenças morfológicas entre os peixes eram devidas a idade e quais eram devidas ao enriquecimento.

Para testar a hipótese de que a idade em que os peixes são submetidos ao enriquecimento ambiental tem efeito sobre a morfologia destes, além dos dois tanques utilizados acima, mais dois tanques receberam pós-larvas, na mesma densidade e no mesmo dia. Um destes tanques permaneceu como controle, enquanto o outro, a princípio, não recebeu nenhum tipo de estruturação. O enriquecimento estrutural só foi adicionado a este tanque após um mês (em fevereiro), quando as pós-larvas já tinham em média 6 cm de comprimento. Portanto, foram utilizados quatro tanques para responder à hipótese da idade, sendo dois sem estruturação, um estruturado desde o início do experimento e outro estruturado após um mês. Para diferenciar os dois tanques controles e os

dois estruturados, chamamos o tanque que foi estruturado antes da introdução dos peixes de E, e seu controle de C. O tanque que recebeu as estruturas após um mês foi chamado de H e seu controle de K.

Em cada tanque foram realizadas duas coletas. No primeiro par de tanques (C e E), a primeira coleta ocorreu um mês após a introdução dos peixes (em fevereiro) e a segunda dois meses após (em março). No segundo par (K e H), as coletas se deram um e dois meses após a introdução das estruturas, ou seja, a primeira em março e a segunda em abril. Os peixes correspondentes a cada coleta em cada tanque foram designados por letras e números, conforme a Tabela 1.

Para a coleta dos peixes diminuiu-se o nível de água dos tanques e capturou-se os peixes com puçás. De cada tanque 50 peixes foram capturados em cada coleta. Após a captura os peixes foram anestesiados com óleo de cravo e fixados em formol 10% e posteriormente conservados em álcool 70%.

Tabela 1 Amostras realizadas em cada tanque.

<b>Tanque</b>	<b>Introdução dos peixes</b>	<b>Introdução do enriquecimento</b>	<b>Coleta</b>	<b>Amostra de peixes</b>
C	Janeiro	Janeiro	1 <sup>a</sup> - fevereiro	C1
			2 <sup>a</sup> - março	C2
			3 <sup>a</sup> - abril	C3
E	Janeiro	Janeiro	1 <sup>a</sup> - fevereiro	E1
			2 <sup>a</sup> - março	E2
			3 <sup>a</sup> - abril	E3
K	Janeiro	Fevereiro	1 <sup>a</sup> - março	K1
			2 <sup>a</sup> - abril	K2
H	Janeiro	Fevereiro	1 <sup>a</sup> - março	H1
			2 <sup>a</sup> - abril	H2



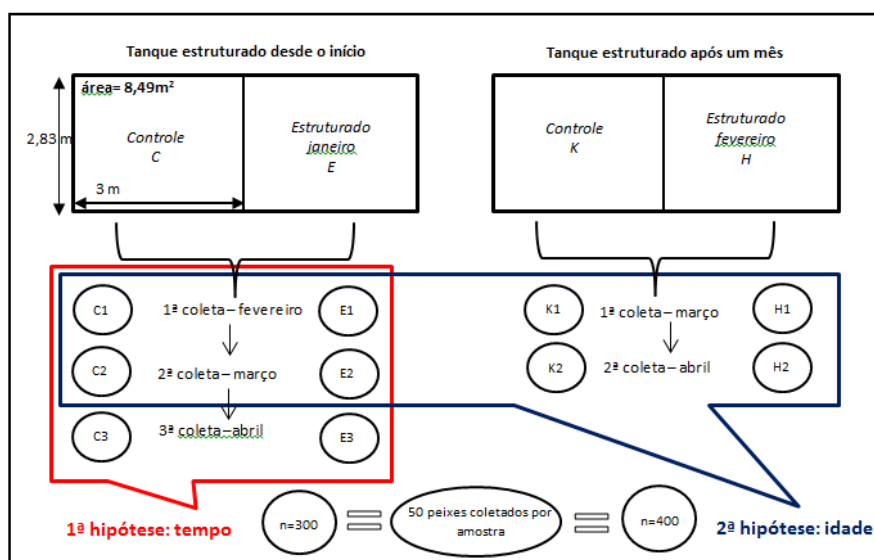


Figura 1 Desenho experimental. São demonstrados os quatro tanques utilizados, suas dimensões e as respectivas amostras de peixes coletados em cada um. Em vermelho as amostras utilizadas para responder à primeira hipótese e em azul as amostras utilizadas para responder à segunda hipótese. Em cada tanque foram coletados 50 peixes por coleta, o que corresponde a um total de 500 peixes coletados.

## 2.4 Morfometria

De cada indivíduo coletado foram mensuradas 27 medidas morfométricas (Anexo 1). As medidas lineares foram obtidas diretamente do corpo dos peixes com paquímetro digital de precisão 0,01 mm e para a obtenção das áreas foram feitos os desenhos do contorno do corpo e das nadadeiras de cada peixe em papel. Os desenhos foram digitalizados e as áreas foram calculadas a partir do software Image J.

A partir das medidas morfométricas foram calculados 21 atributos ecomorfológicos (Anexo 2), os quais foram escolhidos de acordo com os seus significados ecológicos definidos pela literatura (Anexo 2).

## **2.5 Análises estatísticas**

Para testar as hipóteses do tempo e da idade fizemos comparações entre piracanjubas em diferentes idades (1, 2 e 3 meses) e, conseqüentemente, de diferentes tamanhos. Entretanto, existe uma dependência entre forma e tamanho (PERES NETO, 1999), e durante o desenvolvimento e crescimento, os peixes têm suas proporções modificadas conforme o tamanho corporal. A este fenômeno chamamos alometria ontogenética, a qual já foi alvo de diversos estudos (KLINGENBERG; FROESE, 1991; RODRÍGUEZ-MENDOZA; MUÑOZ; SABORIDO-REY, 2011; WOODS, 2007; WIMBERGER, 1992). Para atingir o objetivo deste estudo (efeito do tempo e da idade de enriquecimento sobre a morfologia dos peixes) foi necessário considerar e isolar o efeito da alometria.

O simples emprego de medidas morfométricas não elimina o efeito do tamanho sobre a forma, enquanto que o emprego de atributos ecomorfológicos apenas minimiza este efeito. Atributos ecomorfológicos são proporções, resultantes da divisão de uma medida morfométrica por outra, (ex. comprimento relativo da cabeça = comprimento da cabeça dividido pelo comprimento padrão). São utilizados a partir do pressuposto de que as medidas são proporcionais entre si, ou seja, à medida que uma aumenta a outra também. Para confirmar a proporcionalidade das medidas morfométricas, foram realizadas regressões lineares entre elas, as quais foram positivas e significativas ( $p < 0,0001$ ) e permitiram o emprego dos atributos. Entretanto, há problemas estatísticos relacionados ao simples uso de atributos e regressões lineares,

porque estes não eliminam totalmente o efeito do tamanho sobre a forma (CRAMON-TAUBADEL et al., 2005; PERES NETO, 1999). Assim, quando comparamos grupos de diferentes tamanhos, como foi o caso aqui, as diferenças de forma detectadas podem ser fruto dos tamanhos diferentes. Entretanto, o desenho experimental utilizado neste estudo a partir do emprego de tanques controle permitiu contornar este problema, conforme o seguinte raciocínio. Se existem mudanças alométricas em *Brycon orbignyanus* ao longo de três meses, estas poderão ser observadas a partir das três amostragens realizadas no tanque controle. Caso não exista efeito alométrico, as amostras do tanque controle serão iguais entre si. Para verificar o efeito do tempo (hipótese 1) e da idade (hipótese 2) de enriquecimento sobre a morfologia, bastará comparar as amostras do tanque estruturado com as do tanque controle. Se não existir mudanças alométricas e existir mudanças devido ao tempo e/ou à idade de enriquecimento somente as amostras do tanque estruturado seriam diferentes entre si. E se existir ambos os efeitos, então a morfologia dos peixes do tanque estruturado sofrerá influência de ambos e, portanto, será mais diferenciada do que a do tanque estruturado.

Para tanto, procedeu-se a Análise dos Componentes Principais (PCA), a fim de observar a distribuição dos indivíduos no espaço ecomorfológico e a Análise Discriminante (DA), para verificar se as amostras foram ecomorfológicamente diferentes entre si.

Observou-se ainda a variabilidade morfológica das amostras a partir do cálculo da distância do centroide (DC). A média de DC é uma estimativa do tamanho relativo do hipervolume morfológico ocupado pela população (WINEMILLER, 1991), que corresponde à variabilidade morfológica da população.

Primeiramente, para responder à hipótese do tempo, foram realizadas três PCAs (uma para o tanque C, uma para o tanque E e uma para ambos) e uma

DA com os indivíduos das três coletas dos tanques E e C (amostras E1, E2, E3, C1, C2 e C3). Para verificar diferenças em relação à variabilidade morfológica, foi feita uma ANOVA entre as distâncias do centroide das seis amostras (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta de ambos os tanques), seguida do Teste de Tukey.

Para testar o efeito da idade, as comparações entre as amostras tiveram de ser feitas entre aquelas que permaneceram a mesma quantidade de tempo sob enriquecimento. Por isto comparou-se os peixes da primeira coleta de E com os peixes da primeira coleta de H e os da segunda coleta de E com os da segunda coleta de H. Isto porque os primeiros (E1 e H1) permaneceram um mês sob enriquecimento e os segundos (E2 e H2) permaneceram dois meses. Entretanto, estes peixes tinham idades diferentes (E1= 1 mês de idade e H1= 2 meses; E2= 2 meses e H2= 3 meses). Portanto, foram feitas duas PCAs e duas DAs com os indivíduos da primeira e da segunda coleta dos tanques C, E, K e H (amostras C1, E1, K1,H1 e C1, K2, E2, H2). Para avaliar diferenças entre a variabilidade morfológica das amostras, realizou-se ANOVA seguida do Teste de Tukey entre as amostras da primeira e da segunda coleta de peixes dos quatro tanques.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Primeira hipótese: efeito do tempo

Para testar a hipótese de que o efeito do enriquecimento estrutural varia com o tempo, primeiramente foi feita uma PCA para todas as amostras simultaneamente (Figura 2), e depois, para visualizar mais facilmente os grupos formados, foi feita uma PCA para as amostras de cada tanque (Figura 3). A partir da projeção gráfica das PCAs observa-se que as populações correspondentes às amostras ocupam espaços morfológicos distintos.

Na Figura 2 nota-se claramente que os peixes das amostras 1, ou seja, da primeira coleta, localizam-se separados dos demais, no lado direito do gráfico. Pelo menos entre os peixes da primeira coleta é possível observar que os peixes do tanque controle (C1) localizam-se na região inferior do gráfico e os peixes do tanque estruturado (E1), localizam-se na região mais superior. Isto indica o efeito do enriquecimento sobre os atributos ecomorfológicos. Os dois primeiros eixos da PCA foram importantes para explicar 37,34% da variância entre as amostras. O primeiro eixo foi responsável por 24,57% da variação total e o segundo eixo contribuiu com 12,77%.

Na Figura 3, observa-se que tanto as amostras do tanque controle, quanto as amostras do tanque estruturado se reúnem em três grupos distintos correspondentes a cada coleta. Como houve separação entre os três grupos também no tanque controle, isto indica que foi a idade dos peixes a responsável pela separação entre os grupos e não o tempo de enriquecimento. Para o tanque controle os dois primeiros eixos da PCA foram explicaram 25,04% da variância entre as amostras e para o tanque estruturado explicaram 31%.

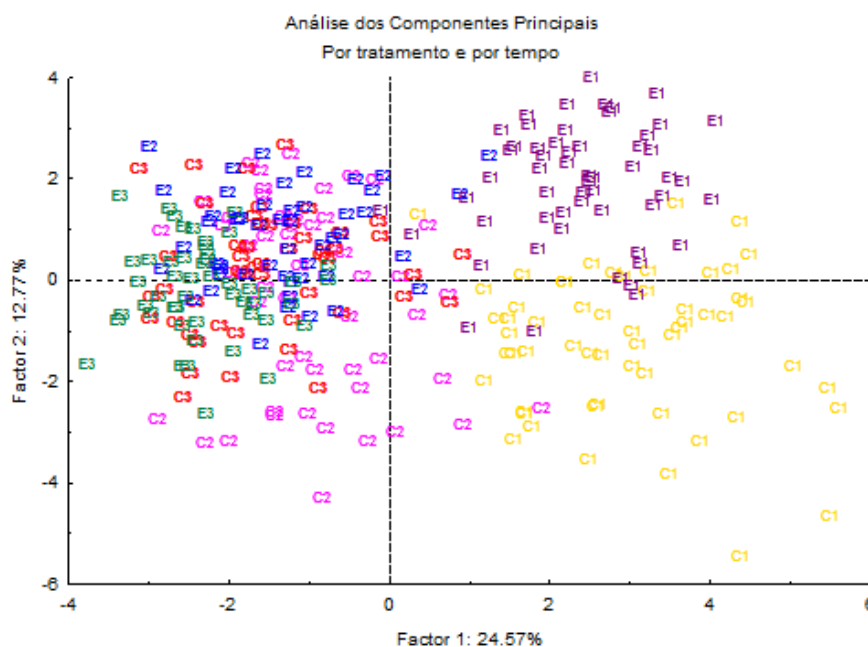


Figura 2 Distribuição dos indivíduos das três coletas dos tanques C e E no espaço morfológico de acordo com a PCA. Cada amostragem encontra-se em uma cor. Observa-se que os peixes da primeira coleta estão separados dos demais no lado direito da figura e que também se diferenciam entre si em controle (amarelo) e estruturado (roxo).

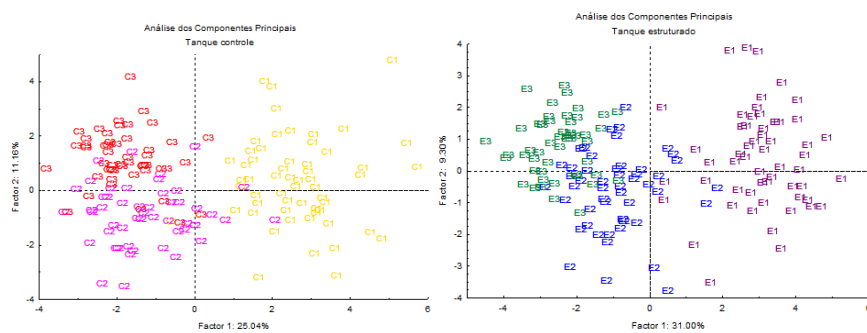


Figura 3 Distribuição dos indivíduos das três coletas no espaço morfológico de acordo com a PCA. Em *a* as amostras do tanque C e em *b* as amostras do tanque E.

A DA demonstrou que todas as amostras foram significativamente diferentes entre si (Wilks' Lambda: 0.01378;  $F(105,1408)=18.801$ ;  $p<0.001$ ). Isto indica que, além de existir o efeito observado na PCA da idade dos peixes, também existe o efeito do enriquecimento, já que todas as amostras dos tanques enriquecidos foram diferentes das amostras controle. Os atributos ecomorfológicos que contribuíram significativamente para a diferenciação entre as amostras foram IC, IAV, HRC, PRO, ARO, CRCb, CRPCd, ARNDs, ARNCd, RANcd, ARNAn, RANAn, CRNPI, ARNPI, CRNPt e RANPt (Tabela 2).

Tabela 2 Análise Discriminante entre amostras (Wilks' Lambda: 0,01378;  $F(105,1408)=18.801$   $p<0.001$ ). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.

Atributos	F (5,287)	Valor p
<b>IC</b>	<b>0,66073</b>	<b>0,653551</b>
<b>IAV</b>	<b>3,67095</b>	<b>0,003095</b>
<b>HRC</b>	<b>8,24540</b>	<b>0,000000</b>
<b>PRO</b>	<b>5,35036</b>	<b>0,000102</b>
<b>ARO</b>	<b>7,55455</b>	<b>0,000001</b>
<b>CRCb</b>	<b>14,99061</b>	<b>0,000000</b>
<b>CRPCd</b>	<b>10,19779</b>	<b>0,000000</b>
HRPCd	0,82120	0,535372
LRPCd	0,74474	0,590533
ICPCd	0,67119	0,645609
<b>ARNDs</b>	<b>21,66590</b>	<b>0,000000</b>
<b>ARNCd</b>	<b>5,61124</b>	<b>0,000059</b>
<b>RANcd</b>	<b>3,86770</b>	<b>0,002083</b>
<b>ARNAn</b>	<b>9,93680</b>	<b>0,000000</b>
<b>RANAn</b>	<b>3,29592</b>	<b>0,006545</b>
<b>CRNPI</b>	<b>7,53856</b>	<b>0,000001</b>
<b>ARNPI</b>	<b>3,35092</b>	<b>0,005868</b>
RANPI	1,69494	0,135746
<b>CRNPt</b>	<b>27,58315</b>	<b>0,000000</b>
ARNPt	0,96492	0,439580
<b>RANPt</b>	<b>8,91615</b>	<b>0,000000</b>

A influência do tempo de enriquecimento estrutural na variabilidade morfológica dos peixes foi analisada pelo gráfico da distância do centroide (Figura 4). A ANOVA demonstrou que houve diferença entre a variabilidade morfológica das amostras (Teste F(5,308),  $p=0.0002$ ). Pelo Teste de Tukey (MS = 0.15419; df = 308.00), observa-se que dentre as amostras do tanque controle não houve diferença significativa na variabilidade, no entanto apresentaram maior variabilidade morfológica do que as amostras do tanque enriquecido em um mês de enriquecimento. Entre as amostras do tanque estruturado houve um aumento de variabilidade do primeiro para o segundo mês, igualando à variabilidade do controle. No terceiro mês a variabilidade morfológica se manteve.

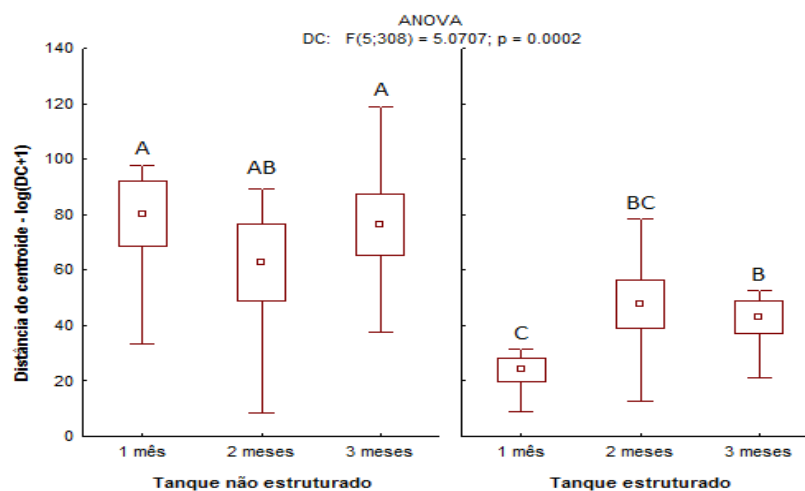


Figura 4 Log da distância do centroide mais um [ $\log(DC+1)$ ] para cada amostra. A ANOVA foi significativa ( $p < 0,0002$ ) demonstrando haver diferenças entre as amostras. O resultado do Teste de Tukey especificando quais DCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre as amostras.



Observou-se ainda o comprimento padrão para cada amostra ao longo do tempo. Em cada coleta, os peixes estavam em uma idade e, obviamente, apresentavam diferentes comprimentos. Ao observar o histograma do comprimento padrão (CP) dos peixes (Figura 5) em cada amostra nota-se que este foi influenciado pelo enriquecimento estrutural. A maior parte dos peixes do tanque estruturado apresentou valores altos de CP, enquanto a maior parte dos peixes do tanque sem estruturação apresentou valores baixos de CP, especialmente na primeira amostra (C1). A Figura 6 demonstra a média do comprimento padrão dos peixes ao longo dos três meses de experimento. Aparentemente a taxa de crescimento dos peixes também foi alterada pelo enriquecimento nas fases iniciais de desenvolvimento, pois o crescimento se mostrou constante para os peixes do tanque estruturado, enquanto que variou para os peixes do tanque controle, os quais cresceram mais do primeiro para o segundo mês, do que do segundo para o terceiro mês. O maior comprimento padrão atingido também ocorreu entre os peixes do tanque estruturado. O teste F e Tukey demonstraram que as médias do CP foram diferentes entre todas as amostras, sendo iguais somente entre C2 e E2.

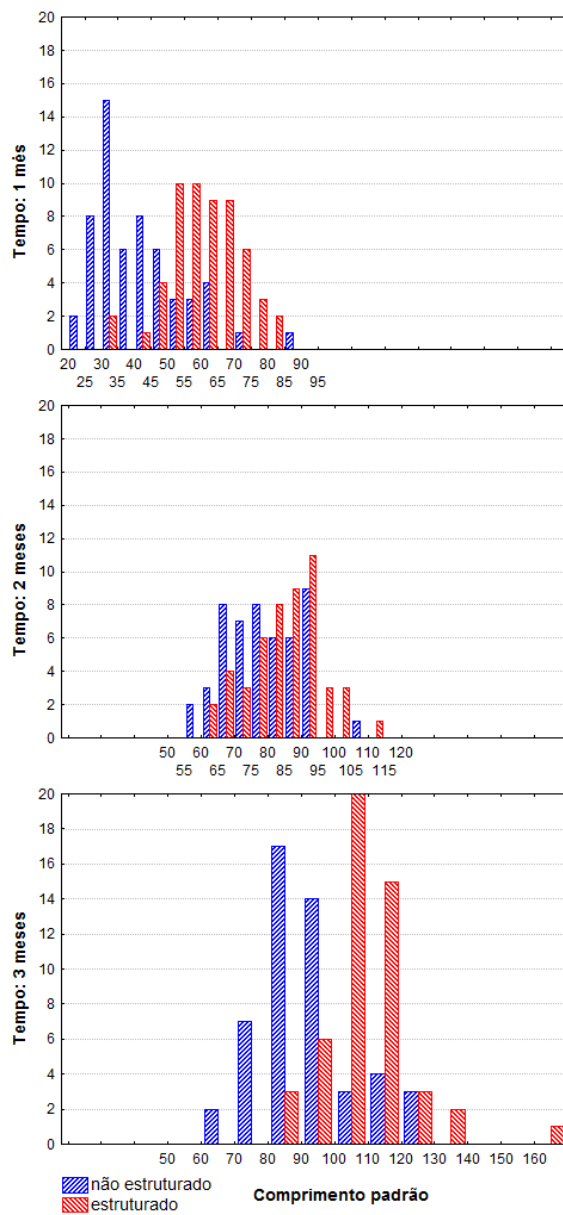


Figura 5 Histogramas mostrando em cada tempo o número de indivíduos por classe de comprimento padrão em cada tratamento.

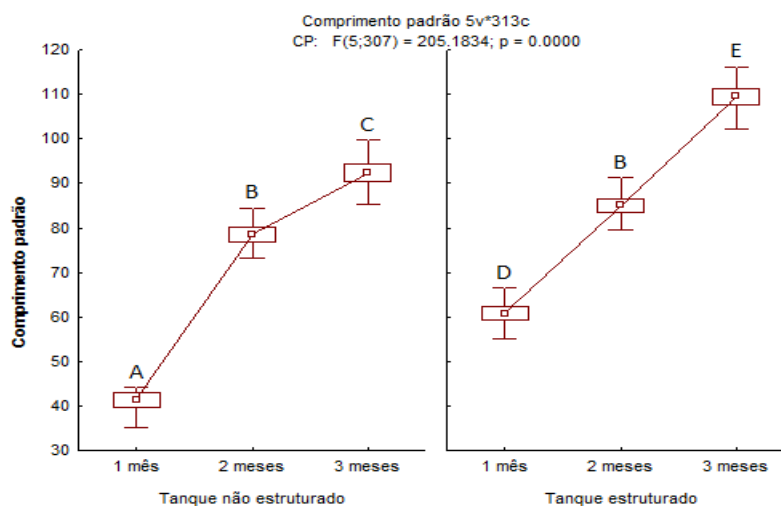


Figura 6 Box plot mostrando os comprimentos padrão dos peixes de cada amostra para os tanques controle e estruturado. A linha unindo os pontos médios representa o crescimento. A ANOVA demonstrou que existe diferença significativa entre o CP das amostras. O resultado do Teste de Tukey, representado pelas letras, comprovou que os peixes do tanque estruturado foram maiores que os peixes do tanque controle no primeiro e no terceiro mês de experimento. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre as amostras.

### 3.2 Segunda hipótese: efeito da idade

A partir da projeção gráfica da PCA para o conjunto 1 de amostras (C1, K1, E1 e H1) (Figura 7a) observa-se que C1 e E1 posicionaram-se do lado direito do gráfico e as amostras K1 e H1 posicionaram-se no lado esquerdo. Isto demonstra que peixes em diferentes idades ocupam diferentes espaços morfológicos. Entretanto, a idade em que os peixes foram submetidos ao enriquecimento também teve efeito sobre a morfologia dos peixes amostrados. Este efeito pode ser observado pela separação entre C1 (abaixo) e E1 (acima). Isto demonstra que os peixes cultivados sob enriquecimento desde zero mês de

idade (E1) diferenciaram-se do seu controle e ocuparam um espaço morfológico mais restrito e exclusivo. Já os peixes que foram cultivados sob enriquecimento a partir de um mês de idade (K1) não se diferenciaram do seu controle e sobrepueram-se no espaço morfológico.

Os peixes da segunda coleta (amostras 2) diferiram dos peixes da primeira coleta (amostras 1) no tempo em que ficaram submetidos ao enriquecimento. Pela projeção gráfica da PCA das amostras 2 (Figura 7b), é possível observar alguma diferença devida à ontogenia, já que as amostras K2 localizaram-se mais acima no gráfico e as C2 mais abaixo. Entretanto há sobreposição entre elas, demonstrando que esta diferença diminuiu à medida que os peixes se tornaram mais velhos. Observa-se ainda que as amostras K2 e H2 se diferenciaram mais no espaço morfológico, apesar de ainda haver alguma sobreposição, do que K1 e H1. As amostras E2 e H2 apresentaram-se mais sobrepostas, diferente do que ocorreu com E1 e H1. Isto indica que quando os peixes são cultivados mais tempo sob enriquecimento, a idade na qual são submetidos a ele faz menos diferença, pois as diferenças entre E2 e K2 dos seus controles foram de mais ou menos da mesma magnitude. Como também houve sobreposição entre E2 e C2, isto demonstra que com o tempo o efeito do enriquecimento diminui.

Os dois primeiros eixos das PCAs foram importantes para explicar a variância entre as amostras. O primeiro eixo da PCA1 foi responsável por 19,63% da variação total e o segundo eixo contribuiu com 13,30%, juntos explicando 32,93% da variação total das amostras 1. O primeiro eixo da PCA2 foi responsável por 17,53% da variação total e o segundo 13,65%, juntos explicando 31,18% da variância das amostras 2.

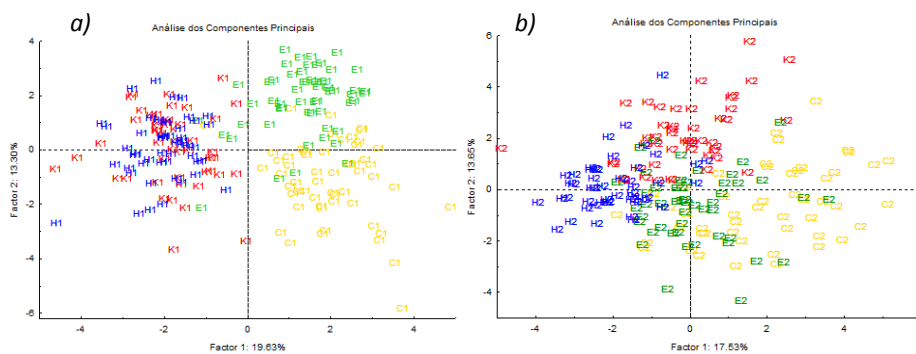


Figura 7 Distribuição dos indivíduos no espaço morfológico. Em *a* os indivíduos da primeira coleta realizada nos tanques C, E, K e H. Em *b* os indivíduos da segunda coleta realizada nos mesmos tanques.

A DA demonstrou que tanto as amostras 1 (primeira coleta) quanto as amostras 2 (segunda coleta) foram significativamente diferentes entre si (Wilks' Lambda: 0,02728;  $F(63,565)=21.004$   $p<0.001$  Wilks' Lambda: 0,05062;  $F(63,523)=14.259$   $p<0.001$ , respectivamente). Assim sendo, cada uma das amostras correspondeu a um grupo morfológicamente distinto do outro. Os atributos ecomorfológicos que contribuíram significativamente para a diferenciação entre as amostras 1 foram IC, IAV, HRC, ARO, CRCb, CRPCd, LRPCd, ICPCd, ARNDs, ARNCd, RANCd, ARNAn, CRNPI, ARNPI, RANPI, CRNPI e entre as amostras 2 foram HRC, PRO, ARO, CRCb, HRPCd, ARNDs, ARNCd, CRNPI, RANPI, RANPI (Tabela 3).

Tabela 3 Análise Discriminante entre amostras 1 (Wilks' Lambda: 0,02728; F (63,565)=21,004 p<0.001) e 2 (Wilks' Lambda: 0,05062; F (63,523)=14,259, p<0.001). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.

Atributos	Primeira coleta (amostras 1)		Segunda coleta (amostras 2)	
	F (3,189)	Valor p	F (3,175)	Valor p
IC	4,45504	0,040746	2,28511	0,080536
IAV	<b>3,56045</b>	<b>0,015329</b>	1,83145	0,143179
HRC	<b>3,13552</b>	<b>0,026697</b>	<b>5,12615</b>	<b>0,002013</b>
PRO	2,15315	0,095006	<b>15,33249</b>	<b>0,000000</b>
ARO	<b>11,78205</b>	<b>0,000000</b>	<b>17,38865</b>	<b>0,000000</b>
CRCb	<b>11,56613</b>	<b>0,000001</b>	<b>6,78412</b>	<b>0,000236</b>
CRPCd	<b>5,30931</b>	<b>0,001554</b>	2,29276	0,079753
HRPCd	1,56492	0,1993327	<b>4,02235</b>	<b>0,008476</b>
LRPCd	<b>4,29448</b>	<b>0,005863</b>	2,32833	0,076204
ICPCd	<b>3,83049</b>	<b>0,010767</b>	1,54644	0,204237
ARNDs	<b>6,19019</b>	<b>0,000493</b>	<b>13,74948</b>	<b>0,000000</b>
ARNCd	<b>8,10381</b>	<b>0,000042</b>	<b>3,18806</b>	<b>0,025114</b>
RANCd	<b>5,04807</b>	<b>0,002186</b>	1,76749	0,155137
ARNAn	<b>6,78083</b>	<b>0,000229</b>	2,30038	0,078978
RANAn	0,99288	0,397335	1,82054	0,145155
CRNPI	<b>5,53302</b>	<b>0,001160</b>	<b>10,69602</b>	<b>0,000002</b>
ARNPI	<b>8,55319</b>	<b>0,000024</b>	1,99575	0,116383
RANPI	<b>6,57842</b>	<b>0,000298</b>	<b>3,33357</b>	<b>0,020787</b>
CRNPt	<b>20,27325</b>	<b>0,000000</b>	0,29988	0,825455
ARNPt	0,93371	0,425494	0,97712	0,404862
RANPt	1,37164	0,252799	<b>15, 59398</b>	<b>0,000000</b>

A influência da idade em que os peixes foram submetidos ao enriquecimento ambiental na variabilidade morfológica dos peixes foi analisada pelo gráfico da distância do centroide (Figura 8).

Para as amostras 1 a ANOVA demonstrou que houve diferença entre a variabilidade morfológica das amostras [Teste F(20,2184),  $p < 0,001$ ]. O Teste de Tukey (MS = 0,13562, df = 210.00) especificou quais amostras foram diferentes entre si. Os controles (C e K) não diferiram significativamente entre si mostrando que a diferença de idade dos peixes não influenciou na variabilidade morfológica da amostra. Os tanques estruturados (E1 e H1) diferiram entre si e isto demonstra que a idade em que peixes são submetidos ao enriquecimento altera a variabilidade morfológica das amostras. A variabilidade morfológica foi menor para a amostra E1 e maior para H1, que não diferiu do controle (K1). Isto indica que o enriquecimento estrutural tem maior poder de redução da variabilidade morfológica dos peixes em relação ao controle, quando o é introduzido em fases mais precoces de desenvolvimento. Em H1, o enriquecimento foi incorporado quando os peixes já tinham um mês de idade, e isto não diminuiu a variabilidade morfológica da amostra o suficiente a ponto de diferenciá-la da amostra controle.

Para as amostras 2, a ANOVA demonstrou que não houve diferença significativa na variabilidade morfológica. Ou seja, nem a idade em que os peixes se encontravam na data da coleta (já que C2=K2) nem a idade em que o enriquecimento estrutural foi introduzido (já que E2=H2), fez diferença na variabilidade morfológica das amostras de peixes que foram mantidos por dois meses sob enriquecimento.

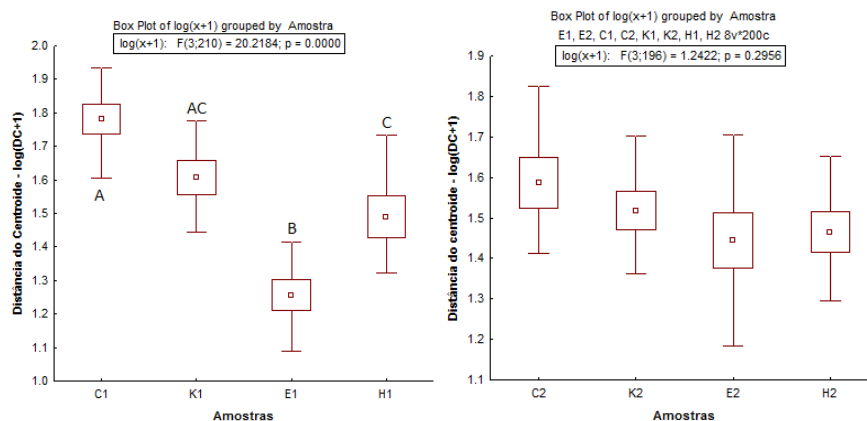


Figura 8 Gráficos do log da distância do centroide mais um [ $\log(DC+1)$ ] pelas amostras. Em a para as amostras 1, a ANOVA foi significativa ( $p < 0,001$ ) e o Teste de Tukey demonstrou quais amostras foram diferentes entre si. O resultado do Teste de Tukey é apresentado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos. Em b não houve diferença significativa entre a variabilidade morfológica das amostras (ANOVA:  $p = 0,2956$ ).

Observou-se ainda o comprimento padrão dos peixes amostrados. Pela análise dos histogramas (Figura 9) e do box-plot do CP (Figura 10) observa-se que os peixes dos tanques K e H foram maiores que os peixes dos tanques C e E. Isto era esperado, já que os primeiros eram um mês mais velhos do que os segundos. Ao comparar os peixes de C com E e de K com H observa-se que o comprimento dos peixes dos tanques estruturados foi sempre maior que dos peixes dos tanques controle. Pelo box-plot das amostras percebe-se até que os peixes cultivados no tanque E1, tiveram CP semelhante aos do tanque K1, e os peixes de E2 foram maiores que os peixes de K2, mesmo os peixes dos tanques E sendo um mês mais jovens que os peixes dos tanques K.



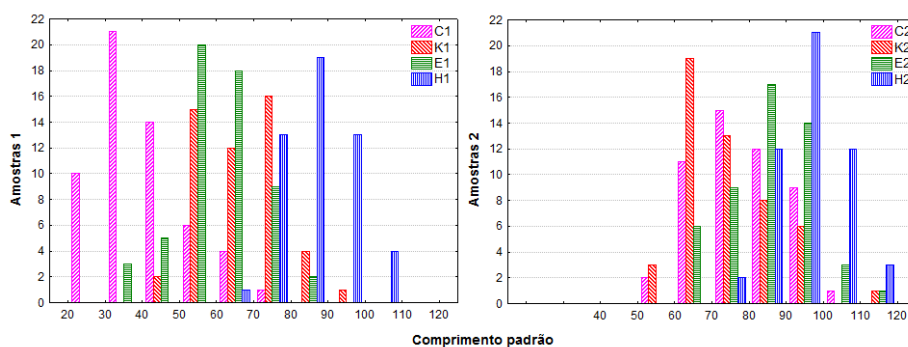


Figura 9 Histogramas mostrando para cada amostra o número de indivíduos por classe de comprimento padrão em cada tratamento.

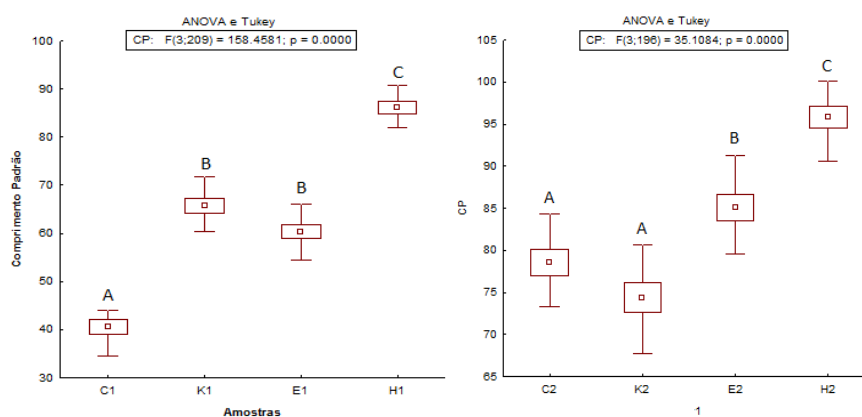


Figura 10 Box plot mostrando os comprimentos padrão dos peixes nas amostras 1 e 2. A ANOVA demonstrou que existe diferença significativa entre o CP das amostras. O resultado do Teste de Tukey, representado pelas letras, demonstra que os peixes dos tanques estruturados (E e H) foram sempre maiores que os peixes dos tanques controles (C e K). Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre as amostras.

## **4 DISCUSSÃO**

### **4.1 Primeira hipótese: efeito do tempo**

A partir da PCA do tanque controle, percebemos que mesmo em condições normais sem estruturação, ocorre uma divergência morfológica com tempo, ou seja, os peixes em diferentes idades/tamanhos ocupam espaços morfológicos diferentes. Assim sendo, existe alometria ontogenética e os atributos ecomorfológicos da piracanjuba mudam ao longo dos três primeiros meses de idade. Diferenças ontogenéticas são comuns em peixes e já foram detectadas em alguns estudos (RODRÍGUEZ-MENDOZA; MUÑOZ; SABORIDO-REY, 2011; WOODS, 2007; WIMBERGER, 1992; KLINGENBERG; FROESE, 1991) de forma que estes resultados não são surpreendentes.

Além das diferenças alométricas encontradas também houveram diferenças devidas ao enriquecimento. Pela PCA realizada para as amostras do tanque controle e do estruturado simultaneamente, observa-se que as amostras dentro de uma mesma idade (facilmente observável na idade 1) mas em tanques diferentes, também ocuparam espaços morfológicos distintos. Isto demonstra o efeito da estruturação sobre os atributos morfológicos dos peixes e está de acordo com o que foi demonstrado no capítulo anterior.

O fato de as amostras do tanque estruturado terem seguido o mesmo padrão do controle na PCA, nos leva a crer que o tempo de enriquecimento não influenciou diretamente nos atributos ecomorfológicos. Porém, todas as amostras foram diferentes entre si de acordo com a análise discriminante. Isto indica que o que gerou as diferenças entre todas as amostras foi a soma de dois fatores: a alometria ontogenética e o enriquecimento. Desta forma, todas as amostras foram morfológicamente diferentes entre si, primeiro porque elas

foram influenciadas pelo estágio ontogenético (idade/tamanho) e segundo pela existência ou não de enriquecimento no tanque. Portanto, ao contrário da hipótese inicial, o tempo de enriquecimento não teve influência direta observável sobre os atributos ecomorfológicos.

Apesar de não se ter identificado a influência direta e proporcional do tempo de enriquecimento sobre a variação morfológica, parece que o tempo atuou de forma indireta, agindo sobre a alometria ontogenética. A alometria é a variação da forma do corpo ao longo do tempo, que sofre efeito de fatores como o ambiente. Rodríguez-Mendonza et al. (2011) encontraram diferentes padrões alométricos em peixes de diferentes localidades e creditaram as variações nos padrões de crescimento encontrados às diferentes variáveis ambientais e aos diferentes usos do ambiente pelos peixes. Ou seja, em diferentes ambientes os peixes apresentam diferentes alometrias e a partir deste conceito pode-se interpretar os resultados. Tanque controle e estruturado são ambientes diferentes e os peixes cultivados ao longo de três meses em cada tanque foram morfológicamente diferentes entre si, demonstrando que um padrão ontogenético diferente pode ter sido gerado pelo enriquecimento. De fato, ao observar as figuras do comprimento padrão, nota-se que os peixes cultivados no tanque enriquecido tiveram comprimentos iniciais e finais maiores e crescimento mais constante do que peixes do tanque controle. Isto indica que o ambiente estruturado mudou a ontogenia dos peixes, tornando o crescimento mais rápido, pois as piracanjubas atingiram maiores comprimentos e mais cedo. Assim sendo, o tempo não agiu diretamente sobre a morfologia, o que ocorreu foi que ao longo dele a existência de enriquecimento alterou a ontogenia e isto resultou em diferentes morfologias.

Da mesma forma, pode-se interpretar os dados para variabilidade morfológica. Observa-se que entre as amostras do tanque controle não houve diferença entre as distâncias do centroide, demonstrando que a variabilidade

morfológica não mudou ao longo do desenvolvimento dos peixes. Entre as amostras do tanque estruturado a variabilidade morfológica foi significativamente menor para a primeira coleta (E1). Desta forma observa-se que efeito do enriquecimento sobre a variabilidade morfológica foi maior nos estágios iniciais de desenvolvimento. Woods (2007) encontrou um maior efeito do ambiente sobre alometria ontogenética de indivíduos mais jovens. Uma maior pressão do ambiente estruturado sobre a ontogenia dos peixes de um mês de idade pode ter sido responsável pela menor variabilidade morfológica encontrada (como concluído no capítulo anterior). Além disso, pode ser que a maneira como as piracanjubas usam o ambiente estruturado com um mês de idade, seja diferente da maneira como elas o usam aos dois ou três meses. Cabe salientar que nas primeiras semanas as piracanjubas foram alimentadas com ração em pó e depois passaram a receber ração granulada, o que por si só pode justificar diferenças no comportamento de procura por alimento.

#### **4.2 Segunda hipótese: efeito da idade**

Os resultados encontrados demonstraram que a idade em que as piracanjubas foram submetidas ao enriquecimento ambiental teve influência sobre a morfologia, confirmando a segunda hipótese deste estudo. Pela PCA das amostras 1 vimos que quando as piracanjubas são submetidas ao enriquecimento mais jovens (E), ocorre uma separação morfológica destas em relação ao controle (C). O mesmo não ocorre para os peixes submetidos com um mês de idade (H), que se sobrepõem ao controle (K) no espaço morfológico. Isto indica que a plasticidade de peixes mais jovens é maior (WINBERGER, 1992) e por isto quando o enriquecimento é introduzido em estágios mais precoces de desenvolvimento, ocorre maior diferenciação morfológica nas piracanjubas.

Woods (2007), já havia encontrado um resultado semelhante, detectando um maior efeito do ambiente sobre a alometria de peixes mais jovens.

A análise discriminante mostrou que todas as quatro amostras foram diferentes entre si. A existência de diferença entre H1 e K1 indica que mesmo que efeito tenha sido maior para os peixes submetidos ao enriquecimento mais cedo, (já que a diferença entre E1 e C1 foi mais marcante), a estruturação dos tanques após um mês também foi suficiente para causar diferenciações morfológicas nos peixes. Isto evidencia o grande poder do enriquecimento estrutural em modificar a morfologia dos peixes (como já foi constatado no Capítulo 1), mesmo em fases mais tardias da ontogenia. Este resultado é importante, porque nem sempre é possível introduzir o enriquecimento estrutural durante a fase de pós-larva, pois muitas espécies são sensíveis e podem ser prejudicadas pela introdução de substratos orgânicos. Muitas são mantidas até a fase de alevino em incubadoras ou aquários, sendo só mais tarde transferidas para tanques de cultivo. Nestes casos, a possibilidade de introduzir o enriquecimento em fases mais tardias do desenvolvimento e ainda assim obter diferenciação morfológica seria de grande valia.

A diferença encontrada entre os dois controles (C e K) demonstra mais uma vez a alometria ontogenética presente na piracanjuba. Da mesma forma que foi encontrado para a primeira hipótese, aqui também as divergências morfológicas são resultado da soma da alometria ontogenética e do enriquecimento.

A PCA das amostras 2, demonstrou que quando os peixes permaneceram submetidos ao enriquecimento por dois meses, houve maior sobreposição no espaço morfológico. Todas as quatro amostras continuaram a ser morfológicamente distintas entre si de acordo com a Análise Discriminante, mas o grau de diferença foi menor, mesmo para os peixes submetidos ao enriquecimento desde zero mês de idade (E2). Este resultado reafirma que a

plasticidade morfológica diminui com a idade do peixe, de modo que com o tempo o grau de diferenciação morfológica diminui. Ao analisar os dados da distância do centroide, observa-se novamente este mesmo padrão. Só houve diferença significativa para a variabilidade morfológica dos peixes em E1, que tiveram menores valores. Assim como fez-se anteriormente, supõe-se que mudanças no comportamento ao longo do desenvolvimento dos peixes podem explicar a menor variabilidade morfológica dos peixes E1.

O enriquecimento aumentou fortemente o comprimento padrão dos peixes, mas aparentemente ter acrescentado o enriquecimento aos tanques juntamente com os peixes ou após um mês não fez diferença. Os peixes de ambos os tanques enriquecidos cresceram muito mais que os dos tanques controle, tendo os peixes dos tanques E1 e E2 alcançado e ultrapassado os peixes dos tanques K1 e K2 respectivamente, mesmo sendo um mês mais jovem. Deste resultado concluiu-se que o enriquecimento modifica a alometria ontogenética, acelerando o desenvolvimento dos peixes. Segundo Wimberger (1992) peixes com crescimento mais acelerado crescem mais e, portanto, chegam à morfologia adulta com tamanhos maiores. A obtenção de peixes maiores é o objetivo de muitos piscicultores, pois peixes grandes são interessantes não somente do ponto de vista da produção, mas também do ponto de vista da conservação. Peixes maiores são menos vulneráveis a predadores, mais resistentes à fome, mais tolerantes a extremos fisiológicos (Sogard, 1997) e presumivelmente mais capazes de colonizar o ambiente, e estas características podem fazer a diferença entre a vida e a morte quando os peixes cultivados são introduzidos no ambiente natural.

Confirmando a primeira hipótese do trabalho os resultados demonstraram que o enriquecimento tem maior efeito sobre a morfologia dos peixes quando é introduzido em idades mais precoces de desenvolvimento. Por outro lado, a segunda hipótese foi refutada, pois o tempo pelo qual os peixes

permanecem sob enriquecimento não tem influência direta sobre a morfologia. Estes resultados são importantes para entender de que maneira o enriquecimento atua sobre o desenvolvimento dos peixes e contribuem significativamente para o manejo em piscicultura ao demonstrar como o enriquecimento estrutural é capaz de gerar peixes maiores. Entretanto, o presente estudo foi de curto prazo, o que impossibilitou que todas as fases de desenvolvimento fossem investigadas. Estudos de longo prazo que abranjam também indivíduos na idade adulta seriam interessantes para compreender a influência do enriquecimento sobre ontogenia completa da espécie. E estudos que contemplem análises comportamentais poderiam esclarecer os efeitos sobre a variabilidade morfológica e demais aspectos da morfologia.

## REFERÊNCIAS

- BAILEY, M. M.; LACHAPELLE, K. A.; KINNISON, M. T. Ontogenetic selection on hatchery salmon in the wild: natural selection on artificial phenotypes. **Evolutionary Applications**, Bethesda, v. 3, n. 4, p. 340-351, July 2010.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de indivíduos e ecossistemas**. 4 ed. São Paulo: Artmed. 2007. 740p
- BELK, M. C.; BENSON, L. J.; RASMUSSEN, J.; PECK, S. L. Hatchery-induced morphological variation in an endangered fish: a challenge for hatchery-based recovery efforts. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 65, n. 3, p. 401-408, March 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 5, de 21 maio de 2004**. Estabelece as espécies ameaçadas de extinção, sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração de invertebrados aquáticos e peixes. Brasília, 2004.
- BREDA, L.; FONTES, E.; GOULART, E. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. **Acta Scientiarum Biological Science**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 371-381, out./dez. 2005.
- CASSATTI, L.; CASTRO, R. M. C. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 203-214, June 2006.
- CRAMON-TAUBADEL, N.; LING, E. N.; COTTER, D.; WILKINS, N. P. Determination of body shape variation in Irish hatchery-reared and wild Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 66, n. 5, p. 1471-1482, May, 2005.
- FREIRE, A. G.; AGOSTINHO, A. A. Ecomorfologia de oito espécies de dominantes na ictiofauna do reservatório de Itaipu (Paraná/Brasil). **Acta Limnológica Brasiliensia**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2001.
- GARDUÑO-PAZ, M. V.; COUDERC, S.; ADAMS, C. E. Habitat complexity modulates phenotype expression through developmental plasticity in the threespine stickleback. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 100, n. 2, p. 407-413, maio 2010.



- GATZ JUNIOR, A. J. Ecological morphology of freshwater stream fishes. **Tulane Studies in Zoology Botany**, Nova Orleans, v. 21, p. 91–124, 1979.
- HARD, J. J.; BEREJIKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; SCHRODER, S. L.; KNUDSEN, C. M.; PARKER, L. T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captively reared adult coho salmon: a geometric analysis. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v. 58, p. 61–73, 2000.
- KLINGENBERG, C. P.; FROESE, R. A Multivariate Comparison of allometric growth patterns. **Systematic Zoology**, Oxford, v.40, n.4, p.410-419, Dec. 1991.
- LANGERHANS, R. B.; LAYMAN, C. A.; LANGERHANS, A. K.; DEWITT, T. J. Habitat associated morphological divergence in two neotropical fish species. **Biological Journal of the Linnean Society** London, v. 80, p. 689-698, May 2003.
- LEAL, C. G.; JUNQUEIRA, N. T.; POMPEU, P. S. Morphology and habitat use by fishes of the Rio das Velhas basin in southeastern Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v. 90, n. 2, p. 143-157, Feb. 2010.
- MAYNARD, D. J.; FLAGG, T. A.; MAHNKEN, C. V. W. **A Review of seminatural culture strategies for enhancing the postrelease survival of anadromous salmonids**. Seattle: National Marine Fisheries Service. 1994. 34 p.
- NEVES, F. M.; MONTEIRO, L. R. Body shape and size divergence among populations of *Poecilia vivipara* in coastal lagoons of south-eastern Brazil. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 63, n. 4, p. 928-941, Oct. 2003.
- PERES NETO, P. R. Alguns métodos e estudos em Ecomorfologia de peixes de riacho. In: CARAMASCHI, E. P.; MAZZONI, R.; PERES-NETO, PR. **Ecologia de peixes de riachos**. Rio de Janeiro: PPGE/UFRJ, 1999. v. 4. p.209-236.
- RODRÍGUEZ-MENDOZA, R.; MUÑOZ, M.; SABORIDO-REY, F. Ontogenetic allometry of the bluemouth, *Helicolenus dactylopterus dactylopterus* (Teleostei: Scorpaenidae), in the Northeast Atlantic and Mediterranean based on geometric morphometrics. **Hydrobiologia**, v. 670, n. 1, p. 5-22, July 2011.
- SOGARD, S. M. Size-selective mortality in the juvenile stage of teleost fishes: a review. **Bulletin of Marine Science**, Maimi, v. 60, n. 3, p. 1129-1157, July 1997.

- SOLEM, Ø.; BERG, O. K.; KJØSNES, A. J. Inter- and intra-population morphological differences between wild and farmed Atlantic salmon juveniles. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 69, n. 5, p. 1466-1481, Nov. 2006.
- SWAIN, D. P.; RIDDELL, B. E.; MURRAY, C. B. Morphological differences between hatchery and wild populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): environmental versus genetic origin. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v.48, n. 9, p. 1783-1791, Sept. 1991.
- TAYLOR, E. B. Differences in morphology between wild and hatchery populations of juvenile Coho Salmon. **The Progressive Fish-Culturist**, New York, v.48, n. 3, p. 171-176, 1986.
- WAINWRIGHT, P. C.; BELLWOOD, B. R.; WESTNEAT, M. W. Ecomorphology of locomotion in labrid fishes. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v. 65, n. 1, p. 47-62, 2002.
- WIMBERGER, P. H. Plasticity of fish body shape. The effects of diet , development , family and age in two species of Geophagus (Pisces: Cichlidae ). **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v.45, n. 3, p. 197-218, Mar. 1992.
- WINEMILLER, K. O. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. **Ecological Monographs**, Washington, DC, v. 61, n. 4, p. 343-365, Dec. 1991.
- WEBB, P. W. Body form, locomotion, and foraging in aquatic vertebrates. **American Zoologist**, Oxford, v. 24, n. 1, p.107–120, Jan. 1984.
- WOODS, P. J. Habitat-dependent geographical variation in ontogenetic allometry of the shiner perch *Cymatogaster aggregata* Gibbons (Teleostei: Embiotocidae). **Journal of Evolutionary Biology**, Bethesda, v. 20, n. 5, p. 1783-98, Sept. 2007.

**CAPÍTULO 4**

**EFEITO DO ENRIQUECIMENTO ESTRUTURAL E SOCIAL SOBRE A  
MORFOLOGIA DE *PROCHILODUS LINEATUS***

## RESUMO

Neste capítulo o objetivo foi verificar se o enriquecimento social, por meio da presença de uma segunda espécie, bem como o enriquecimento estrutural de tanques de cultivo modificam a morfologia e a variabilidade morfológica de *Prochilodus lineatus* (curimba). Para isto, oito tanques idênticos de piscicultura receberam pós-larvas da espécie e quatro destes tanques também receberam pós-larvas de *Leporinus elongatus* (piapara). Cada tanque recebeu a mesma densidade de pós-larvas. Assim, os quatro últimos receberam uma pós-larva de piapara para cada três de curimba. Após um mês, cada par de tanques (com e sem piapara) recebeu estruturação diferente (troncos submersos, plantas artificiais, ambas as estruturas e nenhuma estrutura). Depois de dois meses os peixes foram coletados e, de cada indivíduo, tomou-se 27 medidas para cálculo de 21 atributos ecomorfológicos. Para verificar a existência de diferenças entre os tratamentos realizou-se Análise dos Componentes Principais (PCA) e Análise Discriminante (DA). Para avaliar diferenças na variabilidade morfológica dos peixes de cada tanque calculou-se as Distâncias do Centróide, e a partir delas, fez-se uma Análise de Variância (ANOVA) seguida do Teste de Tukey. De maneira geral, os resultados encontrados demonstraram que a competição interespecífica, gera plasticidade e aumenta a variabilidade morfológica e que o efeito do enriquecimento social é ainda maior que o efeito do enriquecimento estrutural. Por isto o simples cultivo de duas ou mais espécies pode ser proposto como forma de manejo em piscicultura, a fim de obter peixes mais parecidos com os selvagens e com maiores chances de sobrevivência pós-soltura no ambiente natural.

Palavras-chave: Estruturação. *Leporinus elongatus*. Competição interespecífica. Variabilidade morfológica.

## 1 INTRODUÇÃO

O enriquecimento ambiental pode ser definido como a aplicação de modificações no ambiente de cativeiro que resultam em uma melhora da função biológica dos animais (NEWBERRY, 1995). Estas modificações podem ser de vários tipos, tais como aplicação de estímulos sensoriais, aumento de complexidade estrutural e enriquecimento social (BATZINA; KARAKATSOULI, 2012b). Em geral todos os tipos de enriquecimento visam aproximar as condições de cativeiro das encontradas no ambiente natural, aumentando o bem estar animal, e, no caso de estocagem de peixes, aumentando as chances de sobrevivência pós-soltura no ambiente natural.

O enriquecimento estrutural foi pouco aplicado, mas alguns estudos já avaliaram seu efeito sobre variações comportamentais (BEREJIKIAN, et al., 2001; BROWN; DAVIDSON; LALAND, 2003), variações no crescimento (BATZINA; KARAKATSOULI, 2012b), variações no risco de predação (ROBERTS; TAYLOR; GARCIA DE LEANIZ, 2011) e variações morfológicas (GARDUÑO-PAZ; COUDERC; ADAMS, 2010). O enriquecimento social foi menos estudado ainda, principalmente em relação a peixes, já tendo sido avaliado para outros grupos animais como os primatas (LEONARDI et al., 2010).

Enriquecimento social se refere à oportunidade dos indivíduos cultivados conviverem com outros indivíduos da mesma ou de outras espécies. No caso de pisciculturas, o mais comum é que os tanques de cultivo contenham uma única espécie, e isto somado à ausência de complexidade estrutural configura um ambiente com condições totalmente opostas às naturais. Nos capítulos 1 e 2 já foi demonstrado como o enriquecimento estrutural é capaz de afetar a morfologia dos peixes cultivados. O enriquecimento social pode exercer um efeito semelhante.

A coexistência de duas ou mais espécies gera interações ecológicas entre elas e a competição interespecífica tem grande influência sobre os indivíduos, sendo capaz de reduzir a fecundidade, sobrevivência e crescimento dos mesmos (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007). No ambiente natural, espécies com hábitos parecidos e que dividem o mesmo hábitat precisam competir por alimento e abrigo. *Prochilodus lineatus* e *Leporinus elongatus* são duas espécies nativas que, em geral, dividem o mesmo ambiente nas fases iniciais de desenvolvimento, as lagoas marginais. Estas duas espécies apresentam hábitos alimentares diferentes, pois a primeira é detritívora e a segunda onívora. Porém, em piscicultura, estas espécies, bem como quaisquer outras que dividam o mesmo tanque, podem ser consideradas competidoras, pois se alimentam do mesmo recurso (ração). Em tanques estruturados podem competir também por abrigo.

Assim o cultivo concomitante de *P. lineatus* e *L. elongatus* poder ser proposto como um tipo de enriquecimento social por ocasionar a interação entre espécies e aproximar a condição de cultivo da natural. A fim de investigar se o enriquecimento social, bem como o estrutural, tem efeito sobre a morfologia de peixes cultivados, estas duas espécies foram cultivadas sob os dois tipos de enriquecimento. A hipótese levantada foi de que o enriquecimento social pela presença de *L. elongatus*, ocasionaria variações morfológicas em *P. lineatus*, as quais se somariam às variações causadas pelo enriquecimento estrutural.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Espécie estudada

A espécie alvo deste estudo é *Prochilodus lineatus*, espécie migradora de grande porte e nativa da Bacia do Paraná, conhecida popularmente como curimba e que tem hábitos detritívoros. Os adultos desta espécie habitam os grandes rios e os jovens desenvolvem-se em lagoas marginais da planície de inundação, onde permanecem durante os dois primeiros anos de vida (AGOSTINHO; JÚLIO JUNIOR, 1999). Devido a sua importância na pesca da região, a curimba é uma das espécies nativas mais utilizadas em estocagens e repovoamentos realizados nos reservatórios da bacia. Além disso, é a espécie nativa migradora de manejo mais fácil em piscicultura, pois apresenta desova espontânea após a aplicação de hormônio.

*Leporinus elongatus*, conhecida popularmente como piapara, também é espécie migradora e nativa da Bacia do Paraná, que habita lagoas marginais em estágios iniciais do seu desenvolvimento (AGOSTINHO; JÚLIO JUNIOR, 1999). Difere da curimba no hábito alimentar, já que naturalmente é onívora alimentando-se de vegetais e insetos (ANDRIAN et al., 1994). Difere também no manejo em piscicultura, pois não apresenta desova espontânea, necessitando sofrer extrusão manual dos ovócitos e do esperma. Neste estudo, *L. elongatus* foi utilizada como espécie secundária, tendo sido utilizada apenas como uma forma de enriquecimento ambiental, a fim de observar o efeito da sua presença nos tanques sobre a morfologia da espécie alvo (*P. lineatus*).

## 2.2 Reprodução

Em dezembro de 2011, dentre as matrizes reprodutoras da Estação de Piscicultura de Volta Grande, foram selecionadas três fêmeas e seis machos de curimba e quatro fêmeas e oito machos de piracanjuba pré-dispostos à reprodução. A desova foi induzida por meio da aplicação de três doses de extrato bruto de hipófise de cat-fish, calculadas de acordo com o peso de cada indivíduo. Os ovos recém-fecundados foram transferidos para incubadoras e após 3 dias da eclosão, para os tanques. Concomitante à reprodução de curimba também foi feita a reprodução da piapara.

Ao todo foram utilizados oito tanques de piscicultura de paredes de concreto e fundo de terra com profundidade de 0,75 metros e 3 metros de comprimento por 2,83 metros de largura. O controle da densidade de pós-larvas introduzidas por tanque foi feito durante a fase de ovo, da mesma forma que nos capítulos anteriores. A densidade de pós-larvas introduzidas por tanque foi de 150 pós-larvas por m<sup>2</sup>. Cada tanque, como explicado adiante, correspondeu a um tratamento do experimento realizado. Em quatro tanques cultivamos somente curimbas e em quatro cultivamos curimba juntamente com piapara. Neste caso, a fim de manter a densidade de 150 por m<sup>2</sup>, as pós-larvas foram introduzidas na proporção de 100 para *P. lineatus* e 50 de *L. elongatus* por metro quadrado.

## 2.3 Tratamentos

Para testar o efeito do enriquecimento estrutural e do enriquecimento social sobre a morfologia dos peixes cultivados realizou-se o seguinte experimento:

As pós-larvas foram introduzidas em oito tanques de piscicultura. Quatro tanques receberam somente *P. lineatus* e os outros quatro receberam



tanto *P. lineatus* quanto *L. elongatus*, ou seja, eram dois conjuntos de tanques, um com e outro sem piapara. Cada tanque constituiu um tratamento, totalizando quatro tratamentos diferentes para cada conjunto. Três tanques de cada conjunto receberam algum tipo de estruturação e um de cada permaneceu nas condições normais de cultivo sem adição de qualquer estrutura. A única diferença entre os tratamentos dos conjuntos era a presença ou não da piapara (Figura 1).

O primeiro conjunto de quatro tanques continha apenas *P. lineatus* e foram estruturados da seguinte maneira:

1. Controle (C):

O primeiro tanque, como já mencionado, constituiu o tratamento controle, não recebendo nenhum tipo de estruturação.

2. Troncos (T):

No segundo tratamento o tanque foi estruturado com troncos de madeira que foram fixados nos tanques para que ficassem submersos após o enchimento. Cada tanque recebeu seis troncos de eucalipto, dos quais três foram dispostos longitudinalmente ao tanque e três dispostos transversalmente. Os troncos de eucalipto foram mantidos submersos em água um mês antes da montagem do experimento, a fim de que qualquer resina ou substância química pudesse ser eliminada previamente.

3. Macrófitas artificiais (M):

No terceiro tratamento o tanque recebeu macrófitas artificiais. Estas plantas foram confeccionadas a partir de sacos plásticos com recortes em tiras formando uma estrutura enovelada que imita um emaranhado de raízes de planta aquática flutuante. Estas plantas plásticas foram penduradas em varais de corda colocados acima do tanque de forma que as tiras de plástico entrassem em contato com a

água. Cada tanque recebeu vinte e cinco destas macrófitas de plástico, dispostas em cinco fileiras paralelas com cinco pompons em cada.

4. Troncos e macrófitas artificiais (A):

No quarto tratamento o tanque recebeu tanto os troncos submersos quanto as macrófitas artificiais, na mesma quantidade e disposição dos tratamentos anteriores.

O segundo conjunto com os outros quatro tanques possuía as duas espécies: *P. lineatus* e *L. elongatus*, e cada tanque recebeu a mesma estruturação que os quatro primeiros:

5. Controle piapara (PC).

6. Troncos e piapara (PT).

7. Macrófitas artificiais e piapara (PM).

8. Troncos, macrófitas e piaparas (PA).

As pós-larvas foram introduzidas nos tanques num único dia (em dezembro de 2011), três dias após a eclosão. A estruturação só foi introduzida nos tanques um mês após a introdução dos peixes (em janeiro de 2012), quando estes tinham um mês de idade. Durante o experimento, os peixes de todos os tanques receberam ração uma vez por dia e na mesma quantidade. Procurou-se ao máximo manter o nível da água dos tanques igual e constante.

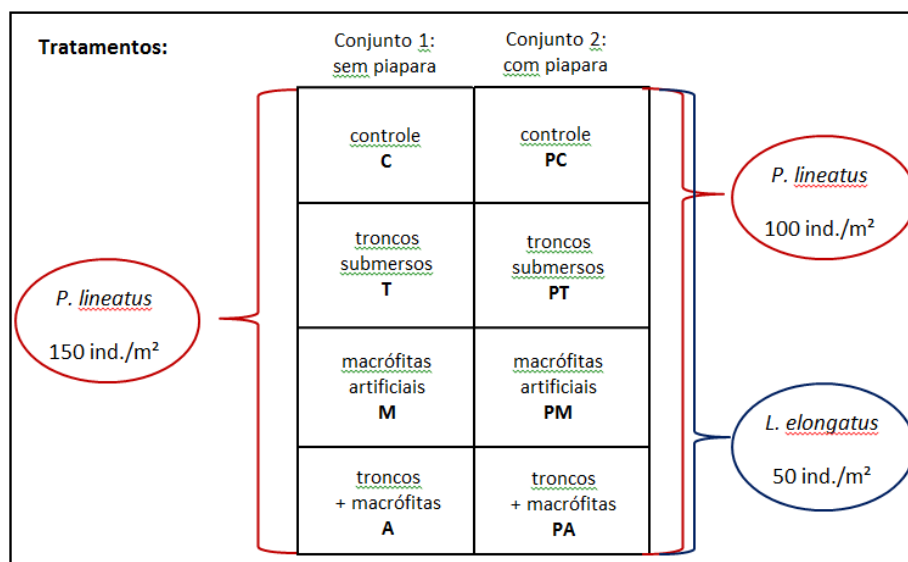


Figura 1 Desenho experimental mostrando os tratamentos para os dois conjuntos de tanques. As dimensões de cada tanque estão indicadas. A densidade de pós-larvas introduzidas por tanque também. A estruturação foi adicionada um mês após as pós-larvas.

## 2.4 Coletas

A coleta dos peixes ocorreu em março de 2012, quando os peixes tinham 3 meses de idade e dois meses de submissão aos tratamentos (Figura 2). Para a coleta dos peixes diminuiu-se o nível de água dos tanques e capturou-se os peixes com puçás. A intenção era que ao fim do experimento houvesse um mínimo de 50 curimbas em cada tanque, para que estas fossem capturadas. Entretanto, em alguns tanques a taxa de mortalidade foi maior, de forma que ao fim do experimento não havia os 50 indivíduos esperados. Por isto, todas as curimbas existentes em cada tanque foram capturadas.

Após a coleta as curimbas foram anestesiadas com óleo de cravo e fixadas em formol 10% e posteriormente conservadas em álcool 70%. As

piaparas foram mantidas nos tanques e disponibilizadas para o aproveitamento pela Estação de Piscicultura de Volta Grande.

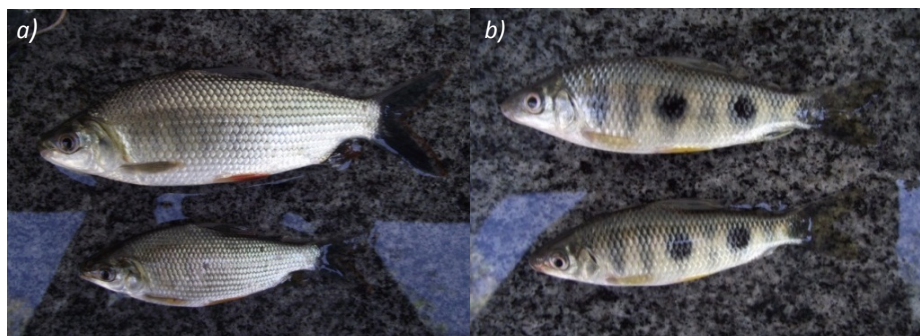


Figura 2 Indivíduos aos três meses de idade: em *a* de *Prochilodus lineatus* e em *b* de *Leporinus elongatus*.

## 2.5 Morfometria

De cada indivíduo coletado foram mensuradas 27 medidas morfométricas (Anexo 1). As medidas lineares foram obtidas diretamente do corpo dos peixes com paquímetro digital de precisão 0,01 mm e para a obtenção das áreas foram feitos os desenhos do contorno do corpo e das nadadeiras de cada peixe em papel. Os desenhos foram então digitalizados e as áreas foram calculadas a partir do software Image J.

A partir das medidas morfométricas foram calculados 21 atributos ecomorfológicos (Anexo 2), os quais foram escolhidos de acordo com os seus significados ecológicos definidos pela literatura (Anexo 2).

## 2.6 Análises estatísticas

Análise dos Componentes Principais (PCA) foi empregada para observar a distribuição dos indivíduos no espaço morfológico. A fim de observar melhor o efeito da estruturação e da presença de outra espécie no tanque, foram realizadas três PCAs, uma para os dois conjuntos de tanques simultaneamente (com e sem piapara) e outra para cada conjunto separadamente.

Em seguida foi aplicada a Análise Discriminante (DA) entre os tratamentos para identificar as diferenças nos padrões morfológicos dos indivíduos. Para verificar as diferenças devidas às piaparas e às devidas aos tratamentos também foram realizadas três DAs, uma para os tratamentos dos tanques com piapara, outro sem piapara e a última para todos os oito tratamentos simultaneamente.

Além das diferenças morfológicas geradas, procurou-se verificar se ocorre alguma modificação na variabilidade morfológica da população de cada tratamento. A partir de matrizes de distâncias, foi calculada a distância de cada indivíduo ao centroide de sua população (DC). A média de DC é uma estimativa do tamanho relativo do hipervolume morfológico ocupado pela população (WINEMILLER, 1991), que reflete a variabilidade morfológica da população.

Para avaliar possíveis diferenças entre a variabilidade morfológica das populações de cada tratamento foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) entre as distâncias do centroide calculadas, com posterior Teste de Tukey.

A fim de observar o efeito dos tratamentos sobre o crescimento dos indivíduos cultivados, foi comparada a distribuição dos indivíduos por classe de comprimento padrão para as oito populações.

Por último foi calculado o fator de condição médio para os peixes de cada tratamento. O fator de condição é um índice bastante utilizado no estudo da

biologia de peixes, pois fornece importantes informações sobre o estado fisiológico desses animais, a partir do pressuposto de que indivíduos com maior massa em um dado comprimento estão em melhor condição (RICKER, 1975). Desta forma, procurou-se verificar se as estruturas adicionadas, bem como a piapara, influenciaram de alguma forma a condição das curimbas.

### 3 RESULTADOS

A Análise dos Componentes Principais (PCA) demonstrou que as populações correspondentes a cada um dos tratamentos ocupam espaços morfológicos distintos. Pela Figura 3 percebemos que os dois conjuntos de tanques ocupam lados opostos do gráfico, com pouquíssima sobreposição entre eles. Este resultado indica claramente que presença da piapara nos tanques teve forte efeito sobre a morfologia da curimba. Percebe-se que a existência de outra espécie no tanque tem maior efeito que a estruturação, já que neste gráfico somente conseguimos observar separação provocada pela piapara. Os dois primeiros eixos da PCA foram importantes para explicar a variância dos tratamentos. O primeiro eixo foi responsável por 22,76% da variação total e o segundo eixo contribuiu com 16,83%. Assim os dois primeiros eixos sozinhos explicaram 39,59% da variância total para os dois conjuntos de tanques.

Analisando a Figura 4, consegue-se observar o efeito da estruturação isoladamente para cada conjunto de tanques. Para o conjunto 1, sem piapara (Figura 4a), é possível observar que as populações ocupam espaços morfológicos distintos, com a população C ocupando a menor área e a população T ocupando a maior. Existe bastante sobreposição entre as todas as populações, principalmente entre C e M. O primeiro eixo da PCA explicou 25,81% da variância total das populações e o segundo explicou 17,02%.

No conjunto 2, tanques com piapara (Figura 4b), cada população ocupa uma área maior no espaço morfológico e o grau de sobreposição entre elas é maior ainda que no conjunto 1. Isto é um indicativo de que esta população apresenta maior variabilidade morfológica. O primeiro eixo da PCA explicou 19,9% da variação e o segundo explicou 8,68%. A partir disto concluiu-se que quando a piapara está presente a influência dos tratamentos sobre a morfologia das curimbas é menor do que quando a curimba é cultivada sozinha.

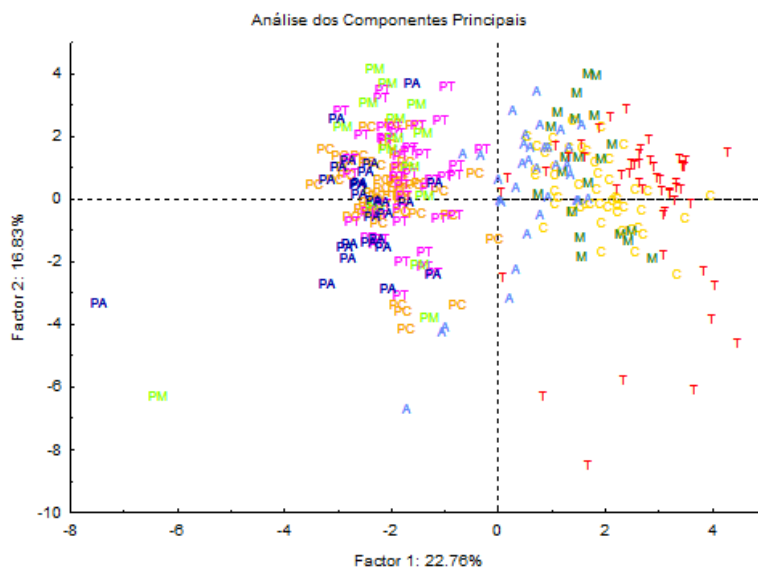


Figura 3 Projeção dos oito tratamentos simultaneamente nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. Cada círculo indica o espaço ocupado por cada conjunto de tanques.

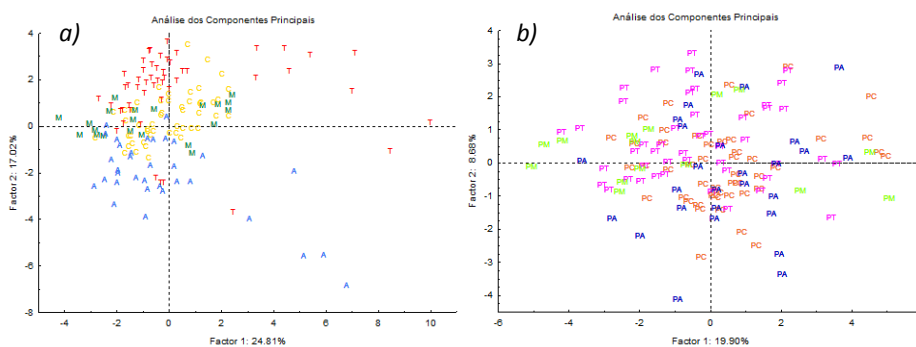


Figura 4 Projeção de cada um dos conjuntos de tanques nos dois primeiros eixos da Análise dos Componentes Principais. a) os quatro tratamentos sem piapara [C=controle; T=troncos; M=macrófitas; A= ambos (troncos+macrófitas)]. b) os quatro tratamentos com piapara [PC=controle piapara; PT=troncos e piapara; PM=macrófitas e piapara; PA=troncos].



A análise discriminante foi utilizada a fim de verificar se os tratamentos geraram populações significativa e morfologicamente diferentes entre si. A DA entre os tratamentos do conjunto 1 (sem piapara) (Tabela 1) foi significativa entre todos os tratamentos (Wilks' Lambda: 0.07040; F (63,394)=8.9793  $p < 0.01$ ). Para o conjunto 2 (com piapara) (Tabela 2) também foi significativa (Wilks' Lambda: 0.20333; F (63,335)=3.7513  $p < 0.01$ ), mas os tratamentos PT e PM não diferiram entre si. Este resultado reforça que a estruturação teve maior influência sobre as curimbas criadas sem piapara (sem enriquecimento social), do que sobre as criadas sob enriquecimento social. Por meio da análise da Tabela 3 pode-se observar que cada em cada conjunto os peixes responderam de forma diferente aos tratamentos, pois enquanto os tratamentos modificaram os peixes do conjunto 1 em dez atributos diferentes, os peixes do conjunto 2 foram influenciadas em oito atributos ecomorfológicos. Quando a piapara estava presente os atributos influenciados foram àqueles relacionados principalmente à velocidade de natação e quando ela estava ausente, atributos alterados foram os relacionados à capacidade de realizar manobras.

Tabela 1 Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos do conjunto de tanques sem piapara.

Tratamentos	C	T	M	A
C				
T	<0.01			
M	<0.01	<0.01		
A	<0.01	<0.01	<0.01	

Tabela 2 Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos do conjunto de tanques com piapara.

Tratamentos	PC	PT	PM	PA
PC				
PT	<0.01			
PM	<0.01	0.22		
PA	<0.01	<0.01	<0.01	

Tabela 3 Análise Discriminante para os dois conjuntos de tanques com e sem piapara respectivamente (Wilks' Lambda: 0.07040; F (63,394)=8.9793 p<0.01 e Wilks' Lambda: 0.20333; F (63,335)=3.7513 p< 0.01). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação entre os tratamentos.

Atributos	Conjunto 1 Sem piapara		Conjunto 2 Com piapara	
	F (3,132)	Valor p	F (3,112)	Valor p
IC	0.56147	0.641376	<b>4.509244</b>	<b>0.005025</b>
IAV	1.08495	0.357866	0.221322	0.881416
HRC	<b>2.85823</b>	<b>0.039503</b>	<b>9.317058</b>	<b>0.000015</b>
PRO	0.45582	0.713624	0.893002	0.447202
ARO	1.18988	0.316187	1.691071	0.172998
CRCb	<b>3.00840</b>	<b>0.032617</b>	<b>6.279516</b>	<b>0.000561</b>
CRPCd	<b>3.66715</b>	<b>0.014055</b>	1.129327	0.340394
HRPCd	0.48526	0.693099	<b>3.779018</b>	<b>0.012583</b>
LRPCd	1.09736	0.352691	<b>3.218605</b>	<b>0.025522</b>
ICPCd	0.78022	0.507005	2.622597	0.054132
ARNDs	<b>3.03060</b>	<b>0.031705</b>	1.711437	0.168722
ARNCd	<b>13.58067</b>	<b>0.000000</b>	<b>3.932137</b>	<b>0.010375</b>
RANCd	<b>4.74532</b>	<b>0.003553</b>	<b>5.905863</b>	<b>0.000887</b>
ARNAn	2.29865	0.080410	0.237166	0.870283
RANAn	<b>3.28459</b>	<b>0.022920</b>	0.701614	0.553013
CRNPI	1.16033	0.327458	1.624861	0.187627
ARNPI	2.34158	0.076162	1.558402	0.203494
RANPI	<b>8.06223</b>	<b>0.000057</b>	<b>4.882965</b>	<b>0.003149</b>
CRNPt	1.03137	0.380968	2.618520	0.054411
ARNPt	<b>16.27473</b>	<b>0.000000</b>	1.946569	0.126179
RANPt	<b>3.08515</b>	<b>0.029572</b>	0.615030	0.606661

A análise discriminante entre os oito tratamentos também foi significativa (Wilks' Lambda: 0.00864; F (147,177)=12,518), e indicou que os peixes de todos os oito tratamentos foram diferentes entre si em relação aos

atributos ecomorfológicos (Tabelas 4). Os tratamentos PT e PM tiveram p quase não significativo, pois foi muito próximo de 0,05. Dezesesseis dos vinte e um atributos ecomorfológico contribuíram significativamente para a diferenciação entre os tratamentos, os quais se referem principalmente a variações no corpo e nadadeiras, ou seja, relacionados à natação. Os atributos influenciados podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 4 Valor de p da Análise Discriminante entre os tratamentos de *P. lineatus*.

Tratamentos	PC	PT	PM	PA	C	T	M	A
PC								
PT	<0.01							
PM	<0.01	0.047						
PA	<0.01	<0.01	<0.01					
C	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01				
T	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
M	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
A	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

Tabela 5 Análise Discriminante entre oito tratamentos (Wilks' Lambda: 0.00864; F (147,1772)=12,518). Os atributos em negrito foram os que melhor contribuíram para a discriminação.

Atributos	F (3,176)	Valor p
<b>IC</b>	<b>3.78385</b>	<b>0.000624</b>
<b>IAV</b>	<b>2.14583</b>	<b>0.039392</b>
<b>HRC</b>	<b>8.67448</b>	<b>0.000000</b>
PRO	1.62344	0.128857
ARO	1.13724	0.339979
<b>CRCb</b>	<b>6.62621</b>	<b>0.000000</b>
<b>CRPCd</b>	<b>2.44771</b>	<b>0.019033</b>
HRPCd	1.78006	0.091422
<b>LRPCd</b>	<b>4.82659</b>	<b>0.000039</b>
<b>ICPCd</b>	<b>3.12617</b>	<b>0.003457</b>
<b>ARNDs</b>	<b>15.19218</b>	<b>0.000000</b>
<b>ARNCd</b>	<b>15.62505</b>	<b>0.000000</b>

“Tabela 5, conclusão”

<b>RANCd</b>	<b>6.63039</b>	<b>0.000000</b>
<b>ARNAn</b>	<b>7.41968</b>	<b>0.000000</b>
<b>RANAn</b>	<b>2.62692</b>	<b>0.012229</b>
<b>CRNPI</b>	1.65945	0.119207
<b>ARNPI</b>	1.27293	0.263905
<b>RANPI</b>	<b>7.99068</b>	<b>0.000000</b>
<b>CRNPt</b>	<b>3.81347</b>	<b>0.000577</b>
<b>ARNPt</b>	<b>7.75550</b>	<b>0.000000</b>
<b>RANPt</b>	<b>9.89344</b>	<b>0.000000</b>

A influência dos tratamentos na variabilidade morfológica dos peixes pode ser analisada pela figura das distâncias do centroide. A ANOVA demonstrou que houve diferença significativa entre as DCs e, portanto, entre as variabilidades morfológicas das populações. O Teste de Tukey especificou quais populações foram diferentes de quais. Pela Figura 5 observa-se claramente que as populações de *P. lineatus* cultivadas conjuntamente com *L. elongatus* apresentaram maior variabilidade morfológica. Em relação ao controle C, todos os tratamentos com piapara geraram variabilidade morfológica significativamente maior. Dentro do mesmo conjunto de tanques a variabilidade morfológica não diferiu entre as populações indicando que a estruturação, gera peixes morfológicamente distintos (como visto pela PCA e DA), porém sem variabilidade significativa.

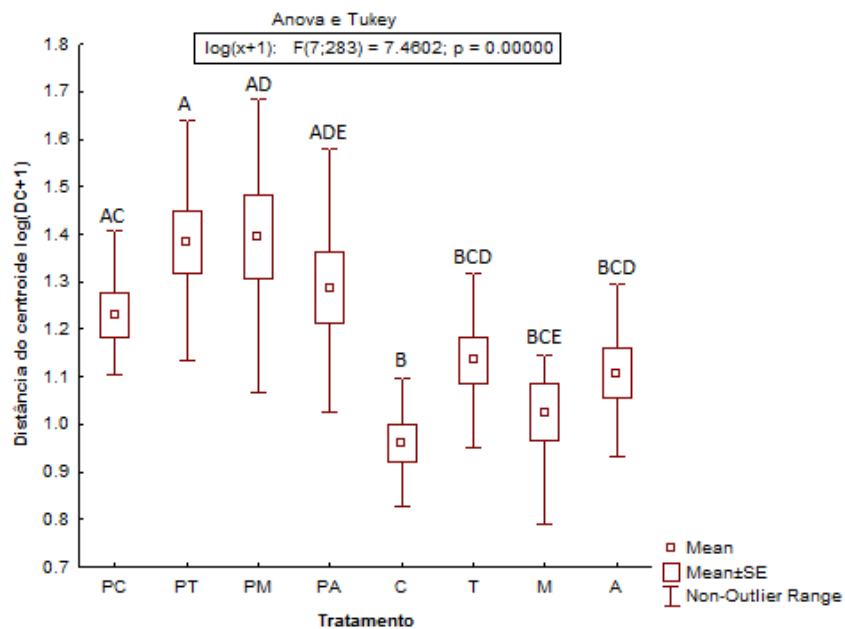


Figura 5 Gráficos do log da distância do centroide mais um  $[\log(DC+1)]$  para as populações de *P. lineatus* correspondentes a cada tratamento. A ANOVA foi significativa ( $p < 0,00$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificando quais DCs foram diferentes entre si é demonstrado pelas letras A, B, C, D e E. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Aparentemente o comprimento padrão dos indivíduos não se alterou dependendo da presença ou não de piapara no tanque. Mas observa-se que para nas populações cultivadas em tanques com troncos e macrófitas (A e PA) a maioria dos indivíduos apresentou maior comprimento, principalmente em A (Figura 6). Também é possível observar que a quantidade de indivíduos amostrados ( $n$ ) foi menor nos tanques com presença de macrófitas (M, PM, A e PA), sendo menor ainda nos que continham somente macrófitas (M e PM). Isto indica que nestes tanques houve maior taxa de mortalidade, já que a densidade pós-larvas introduzidas foi igual em todos os tanques.

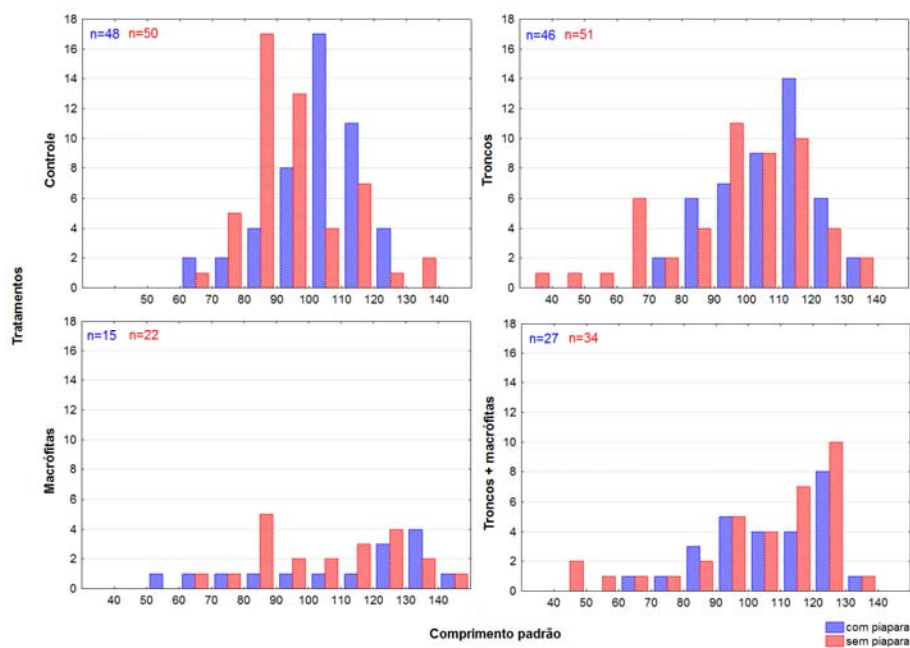


Figura 6 Histogramas mostrando para cada tratamento o número de indivíduos por classe de comprimento padrão.

O fator de condição também foi diferente entre os tratamentos, sendo que os peixes com melhor fator de condição foram os dos tanques T e A (Figura 7). Isto indica que a presença de troncos no tanque melhorou o estado fisiológico dos peixes, mas isto só ocorreu quando a curimba foi cultivada sozinha. Quando a piapara também estava presente o fator de condição foi menor, mas não diferiu do controle (C). Deste modo aparentemente a piapara não prejudica fisiologicamente a curimba, mas impede que esta tenha um melhor fator de condição na presença de troncos.

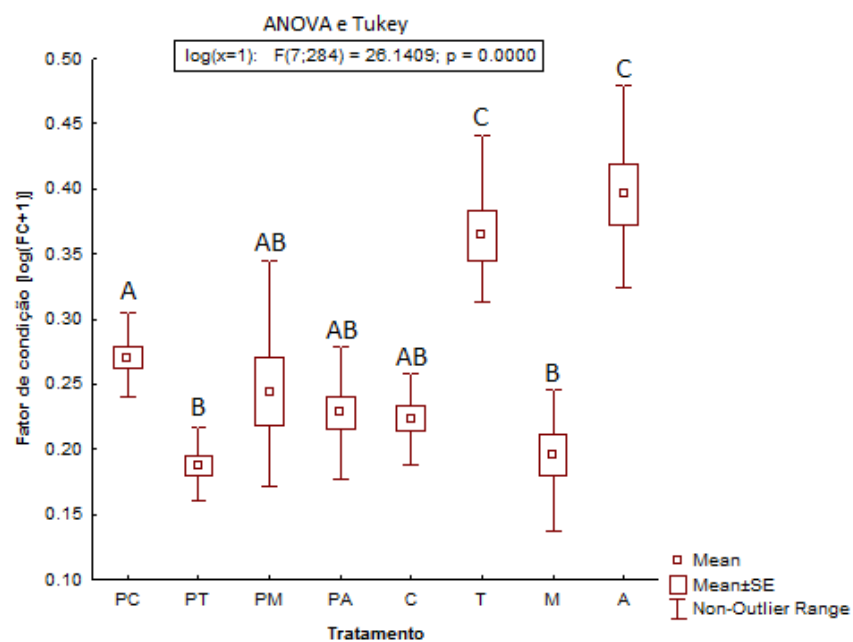


Figura 7 Gráficos do fator de condição (FC) para as oito populações de *P. lineatus*. A ANOVA foi significativa para ( $p < 0,01$ ) demonstrando haver diferenças entre os tratamentos. O resultado do Teste de Tukey especificou quais FCs foram diferentes entre si e é demonstrado pelas letras A, B e C. Letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

#### 4 DISCUSSÃO

Na competição interespecífica os indivíduos de uma espécie sofrem redução na fecundidade, crescimento ou sobrevivência como resultado da exploração de recursos ou interferência de outra espécie (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007). Do mesmo modo atua a competição intraespecífica, porém sobre indivíduos da mesma espécie. Divergências morfológicas ocasionadas pela existência de competição já foram evidenciadas em alguns estudos (CUSSAC et al., 1998; OLSSON; SVANBA; EKLO, 2006). Entretanto, nem sempre foi possível comprovar que a existência de competição era a fonte da variação morfológica detectada. Cussac et al. (1998), por exemplo, usaram dados de dois ambientes onde as duas espécies estudadas estavam presentes, por isso não puderam afirmar que na ausência de uma das espécies a outra deixaria de apresentar variações morfológicas.

Neste estudo, comparou-se tanques com e sem piapara e por isto foi possível detectar o efeito desta espécie sobre a morfologia da curimba. Os resultados demonstraram que o efeito da piapara sobre a curimba (enriquecimento social) é maior que o efeito da estruturação (enriquecimento estrutural). O grau da divergência morfológica gerada é muito maior e isto pode ser resultado da competição entre as espécies.

Em piscicultura, ambas as espécies competem pelos mesmos recursos (ração e espaço), mas obviamente que em tanques de piscicultura existe também competição intraespecífica. Pode ocorrer ainda a interação entre os dois tipos de competição, uma vez que a presença de outra espécie pode alterar as interações entre os indivíduos da mesma espécie. Sendo assim, as diferenças morfológicas encontradas são resultado da existência de competição interespecífica que pode ter influenciado diretamente e/ou indiretamente ao modificar os níveis da competição intraespecífica.



Olsson et al., 2006 encontraram que a competição intraespecífica, comum em tanques com alta densidade populacional, diminui a divergência morfológica em decorrência de uma menor taxa de crescimento. A hipótese aqui levantada foi diferente, pois esperava-se que a competição interespecífica atuaria como uma forma de enriquecimento ambiental (social) e geraria morfologias diferentes e mais variadas. Os resultados encontrados confirmaram esta hipótese e mostraram que uma espécie competidora é até mais eficiente que a estruturação na indução de variabilidade morfológica. A competição aqui detectada foi interespecífica, de modo que concluiu-se que este tipo de competição aumenta a plasticidade ao contrário do que ocorre para intraespecífica.

Ao mesmo tempo em que a piapara tornou as curimbas mais variadas, ela diminui a diferenciação entre as populações cultivadas sobre diferentes tipos de estruturação. O aumento de variabilidade pode ter sido o responsável por esta diminuição. Apesar de a estruturação também gerar variabilidade morfológica para a curimba (como visto no capítulo 1 e neste capítulo também apesar de aqui o aumento não ter sido significativo), provavelmente a variabilidade gerada pelo enriquecimento social é tão maior que a gerada pelo estrutural, que aumenta a sobreposição entre os diferentes tratamentos. Por isto, não foi possível detectar grupos na PCA dos tanques com piapara. No entanto, o fator gerador do aumento de variabilidade é desconhecido. Pode ser que seja a expressão de algum traço comportamental ou da interação entre as espécies, de modo que são necessárias mais investigações para concluir satisfatoriamente a respeito do fator gerador de variabilidade.

Ao analisar os atributos ecomorfológicos que mais contribuíram para a diferenciação entre as populações sob diferentes tipos de estruturação, percebeu-se que quando a piapara estava ausente, atributos das nadadeiras peitorais, anal e dorsal foram importantes. Estes atributos estão ligados à capacidade de

manobrabilidade (GOSLINE, 1971; WATSON e BALON, 1984; BREDA; FONTES; GOULART, 2005), e isto pode indicar que as curimbas utilizaram mais as estruturas na ausência das piaparas. Neste caso, pode-se supor que pode ter havido competição por espaço e as piaparas podem ter dominado mais as estruturas. Entretanto dados comportamentais não foram coletados de modo que não há como confirmar esta hipótese.

Fisiologicamente as curimbas não foram diretamente afetadas pelas piaparas. O comprimento padrão não foi diferente na ausência ou na presença do enriquecimento social, mas foi menor para as populações cultivadas em tanques com macrófitas artificiais. Este resultado é o oposto do encontrado por Berejikian et al., (2001), que encontraram uma dependência entre o crescimento de trutas e a presença de competidores e uma independência do crescimento em relação à existência ou não de enriquecimento estrutural nos tanques de cultivo.

Na ausência de piapara o menor fator de condição ocorreu para o tanque M, demonstrando pior nutrição dos peixes. No capítulo 1 já foi evidenciado este problema, que deve decorrer pelo fato das plantas plásticas englobarem os fragmentos de ração e prejudicarem o forrageamento dos peixes. Em contrapartida, os resultados evidenciaram que em T e A o fator de condição aumentou. Isto certamente decorre do grande acúmulo de perifíton sobre os troncos, que serviu de alimentação suplementar para as curimbas (como pôde ser observado durante o experimento). Na presença das piaparas, no entanto, o aumento do fator de condição não ocorreu, indicando que estas apesar de não prejudicar as curimbas fisiologicamente, não permitem que elas tenham um status nutricional melhor como teriam se estivessem sozinhas nos tanques com troncos. Esta pode ser uma evidência para a existência de competição por exploração. Este tipo de competição ocorre quando o nível de um recurso (neste caso o perifíton dos troncos) diminui devido à presença e atividade de outros indivíduos (neste caso as piaparas) (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007).

Os resultados encontrados demonstraram que a competição interespecífica, gera divergências morfológicas e aumenta a variabilidade morfológica, conforme a hipótese inicial. Populações selvagens apresentam grande variabilidade de formas (TAYLOR, 1986; SARAIVA; POMPEU, 2010). Por isto o simples cultivo de duas ou mais espécies pode ser proposto como forma de manejo em piscicultura, a fim de obter peixes mais parecidos com os selvagens e com maiores chances de sobrevivência pós-soltura.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JUNIOR, H. F. Peixes das bacia do alto Paraná. In: LOWE-McCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: USP. 1999. p. 374-400.
- ANDRIAN, I. F.; DÓRIA, C. R. C.; TORRENTI C.; FERRETI, C. M. L. Espectro alimentar e similaridade na composição da dieta de quatro espécies de Leporinus (Characiformes, Anostomidae) do Rio Paraná, Brasil. **Revista Unimar**, Maringá, v. 16, n. 3, p. 97-106, 1994.
- BATZINA, A.; KARAKATSOULI, N. The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: Growth and behavioral effects. **Aquaculture**, Amsterdam v. 370-371, p. 54-60, Dec. 2012.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de indivíduos e ecossistemas**. 4 ed. São Paulo: Artmed. 2007. 740p
- BEREJKIAN, B. A.; TEZAK, E. P.; RILEY, S. C.; LARAE, A. L. Competitive ability and social behavior of juvenile steelhead reared in enriched and conventional hatchery tanks and a stream environment. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 59, n. 6, p. 1600–1613, Dec. 2001.
- BREDA, L.; FONTES, E.; GOULART, E. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. **Acta Scientiarum Biological Science**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 371-381, out./dez. 2005.
- BROWN, C.; DAVIDSON, T.; LALAND, K. Environmental enrichment and prior experience of live prey improve foraging behaviour in hatchery-reared Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, New York, v. 63, n. 1, p. 187-196, Dec. 2003. Supplement.
- CUSSAC, V. E.; RUZZANTE, D.; WALDE, S.; MACCHI, P. J.; OJEDA, V.; ALONSO, M. F.; DENEGRI, M. A. Body shape variation of three species of Percichthys in relation to their coexistence in the Limay River basin, in northern Patagonia. **Environmental Biology of Fishes**, New York, v.53, n. 2, p. 143-153, Oct. 1998.

GARDUÑO-PAZ, M. V.; COUDERC, S.; ADAMS, C. E. Habitat complexity modulates phenotype expression through developmental plasticity in the threespine stickleback. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 100, n. 2, p. 407-413, maio 2010.

GOSLINE, W. A. **Functional morphology and classification of teleostean fishes**. Honolulu: University of Hawaii, 1971. 208 p.

LEONARDI, R.; BUCHANAN-SMITH, H. M.; DUFOUR, V.; MACDONALD; C.; WHITEN, A. Living together: behavior and welfare in single and mixed species groups of capuchin (*Cebus apella*) and squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*). **American Journal of Primatology**, Bethesda, v. 72, n. 1, p. 33-47, Jan. 2010.

NEWBERRY, R. C. Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments. **Applied Animal Behavior Science**, v. 44, n. 2-4, p. 229-243, Sept. 1995.

OLSSON, J.; SVANBA, R.; EKLO, P. Growth rate constrain morphological divergence when driven by competition. **Oikos**, Hoboken, v. 1, n. 115, p. 15-22, Oct. 2006.

RICKER, W.E. **Computation and interpretation of biological statistics of fish populations**. An Arbor: Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, 1975. 382 p. (Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, v.191).

ROBERTS, L. J.; TAYLOR, J.; GARCIA DE LEANIZ, C. Environmental enrichment reduces maladaptive risk-taking behavior in salmon reared for conservation. **Biological Conservation**, Boston, v. 144, n. 7, p. 1972-1979, July 2011.

SARAIVA, S. O.; POMPEU, P. S. **Uso de atributos ecomorfológicos para caracterizar diferenças entre populações de duas espécies de peixes da bacia do Rio Grande – MG**. 2010. 67p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TAYLOR, E. B. Differences in morphology between wild and hatchery populations of juvenile Coho Salmon. **The Progressive Fish-Culturist**, New York, v.48, n. 3, p. 171-176, 1986.

WATSON, D. J.; BALON, E. Ecomorphological analysis of taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. **Journal of Fish Biology**, London, v. 25, n. 3, p. 371-384, Sept. 1984.

WINEMILLER, K. O. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. **Ecological Monographs**, Washington, DC, v. 61, n. 4, p. 343-365, Dec. 1991.

**ANEXOS**

**Anexo 1 – Medidas Morfométricas e suas descrições**

<b>Medidas Morfométricas</b>			
	<b>Medida</b>	<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>
1.	Comprimento Padrão	CP	Distância da ponta do focinho ao final do pedúnculo caudal
2.	Altura do corpo	HC	Maior distância dorso-ventral perpendicular ao maior eixo corpóreo
3.	Largura do corpo	LC	Maior largura do corpo lado a lado
4.	Altura média do corpo	HM	Distância do ventre até a linha que corta o corpo entre a boca e a caudal
5.	Área do corpo	AC	Área do corpo mais a área da nadadeira caudal
6.	Comprimento da cabeça	CCb	Distância entre a ponta do focinho e o final do opérculo
7.	Altura da cabeça	HCb	Distância entre a parte ventral e o dorso da cabeça na região dos olhos
8.	Altura do olho	HO	Distância do centro do olho até o maxilar inferior
9.	Área do olho	AO	Diâmetro do olho vezes $\pi$ ( $\pi$ )
10.	Comprimento do pedúnculo caudal	CPCd	Distância entre o final da nadadeira anal até o início da caudal
11.	Altura do pedúnculo caudal	HPCd	Altura do pedúnculo medida no mesmo ponto da largura
12.	Largura do pedúnculo caudal	LPCd	Largura do pedúnculo medida no seu ponto médio
13.	Comprimento da nadadeira dorsal	CNDs	Linha de inserção da base da nadadeira paralela ao corpo.
14.	Altura da nadadeira dorsal	HNDs	Distância entre a base e o topo da nadadeira
15.	Área da nadadeira dorsal	ANDs	Área da nadadeira dorsal totalmente distendida
16.	Comprimento da nadadeira caudal	CNCd	Distância entre o final do pedúnculo caudal e a extremidade da nadadeira
17.	Altura da nadadeira caudal	HNCd	Distância máxima entre as duas extremidades da nadadeira totalmente distendida.
18.	Área da nadadeira caudal	ANCd	Área da nadadeira caudal totalmente distendida
19.	Comprimento da nadadeira anal	CNAn	Distância entre a base da nadadeira e sua extremidade
20.	Largura da nadadeira anal	LNAn	Distância máxima entre as duas extremidades da nadadeira totalmente distendida.
21.	Área da nadadeira anal	ANAn	Área da nadadeira anal totalmente distendida
22.	Comprimento da nadadeira pélvica	CNPI	Distância entre a base da nadadeira e sua extremidade
23.	Largura da nadadeira pélvica	LNPI	Distância máxima entre as duas extremidades da nadadeira totalmente distendida.
24.	Área da nadadeira pélvica	ANPI	Área da nadadeira pélvica totalmente distendida



---

25.	Comprimento da nadadeira peitoral	CNPt	Distância entre a base da nadadeira e sua extremidade
26.	Largura da nadadeira peitoral	LNPt	Maior largura da nadadeira em um eixo perpendicular ao eixo do comprimento da nadadeira totalmente aberta
27.	Área da nadadeira peitoral	ANPt	Área da nadadeira peitoral totalmente distendida

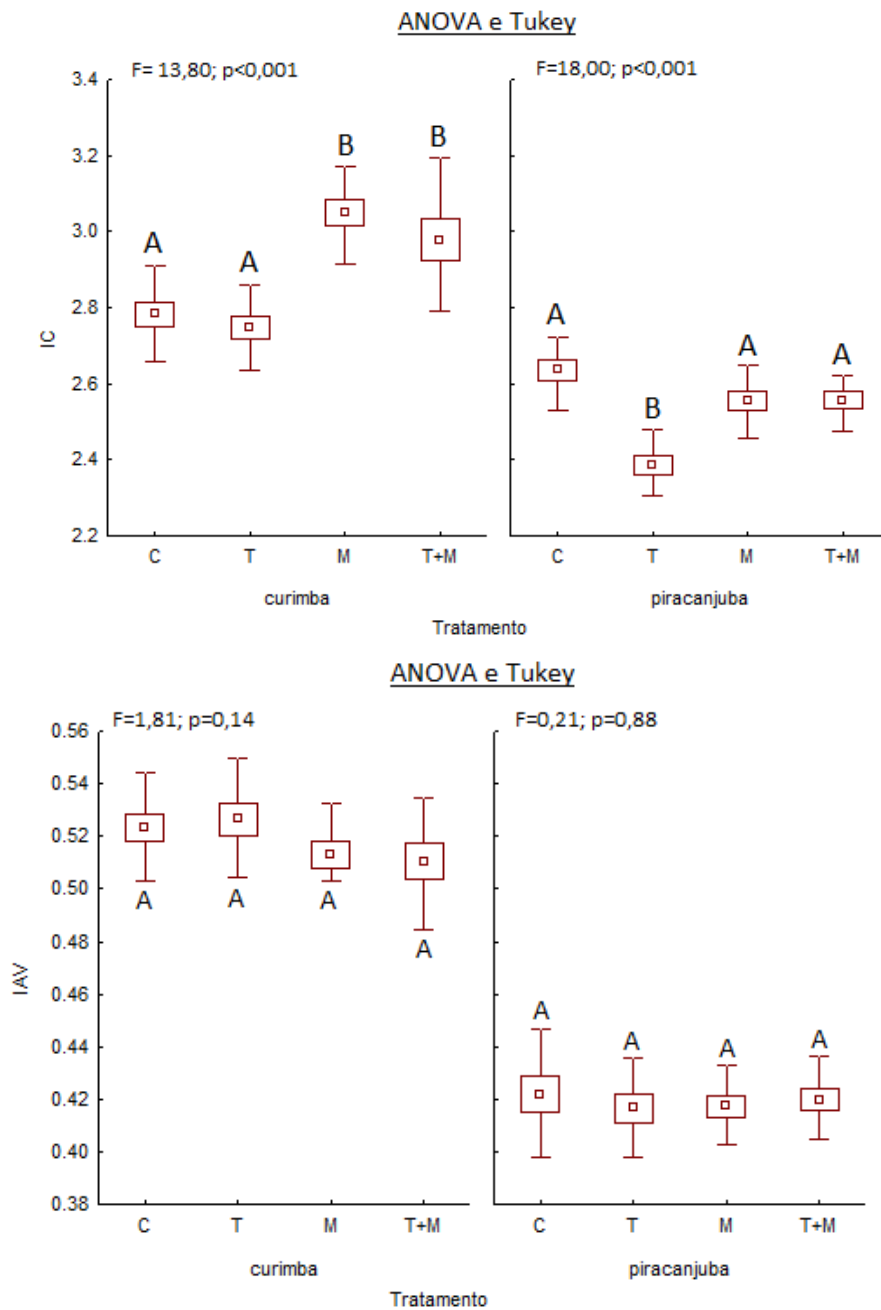
---

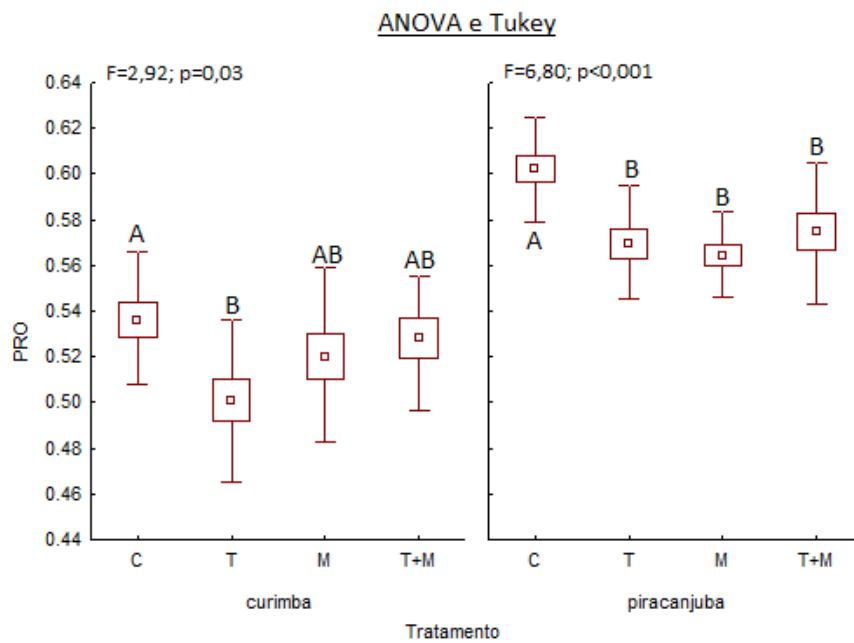
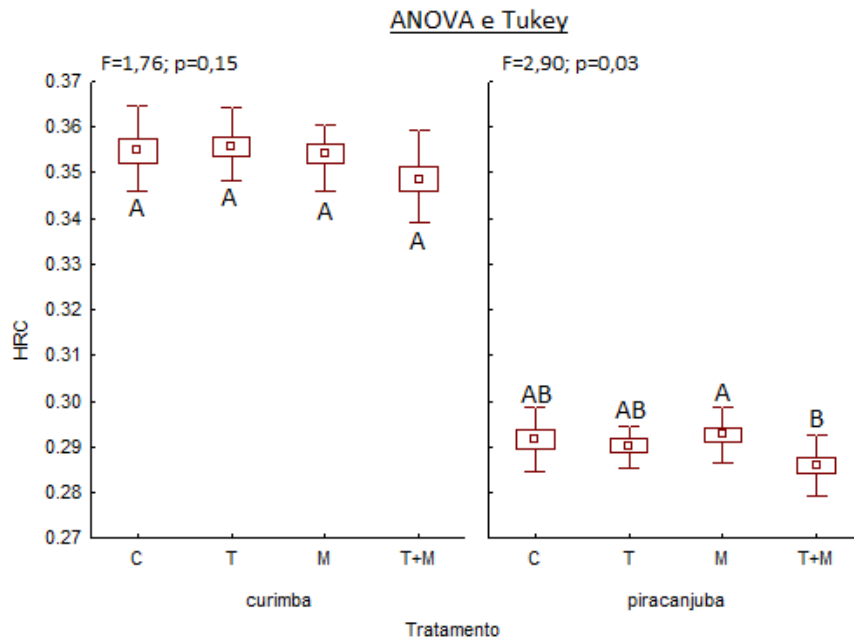
**Anexo 2** – Descrições dos atributos ecomorfológicos e seus significados ecológicos:

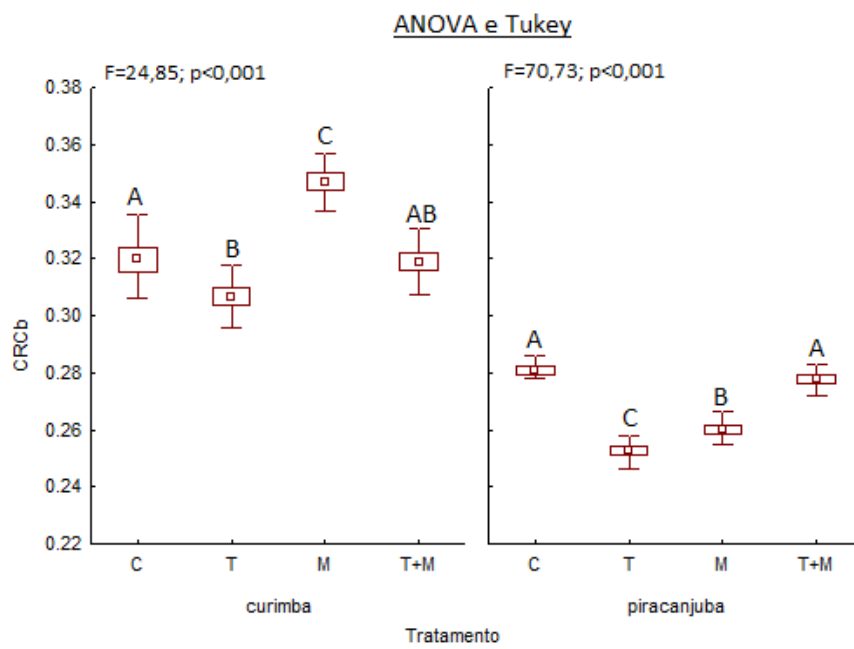
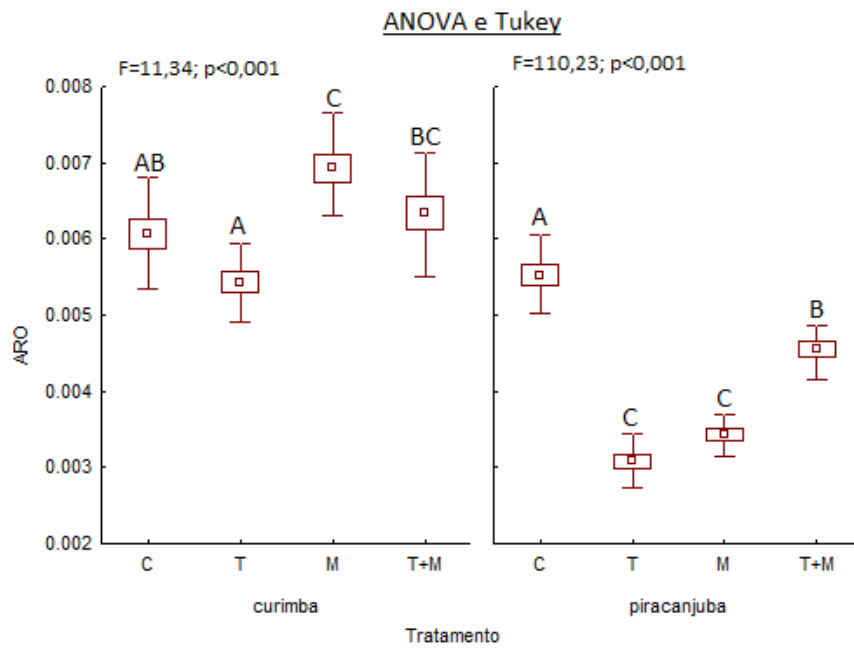
<b>Atributos ecomorfológicos</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Significado</b>	
1. Índice de compressão	$IC = HC/LC$	Altos valores indicam peixes lateralmente comprimidos, habitantes de locais com baixa velocidade da água (Watson e Balon, 1984);	
2. Índice de achatamento ventral	$IAV = HM/HC$	Baixos valores são típicos de peixes que vivem em águas com alta velocidade, possibilitando que mantenham sua posição sem realizar natação (Hora, 1930);	
3. Altura relativa do corpo	$HRC = HC/CP$	Inversamente relacionada à velocidade da água e diretamente relacionada à capacidade de desenvolver deslocamentos verticais (Gatz, 1979);	
4. Posição relativa do olho	$PRO = HO/HCb$	Este índice é relacionado com a detecção de comida e fornece informação do uso da visão em atividades de predação (Pankhurst, 1989; Pouilly et al., 2003). É indicativo da preferência de posição na coluna d'água (Gatz, 1979).	
5. Área relativa do olho	$ARO = AO/(CP)^2$	Este índice é relacionado com a detecção de comida e fornece informação do uso da visão em atividades de predação (Pankhurst, 1989; Pouilly et al., 2003).	
6. Comprimento relativo da cabeça	$CRCb = CCb/CP$	Diretamente relacionado ao tamanho da presa, valores altos sugerem espécies predadoras de presas relativamente grandes (Gatz, 1979);	
7. Comprimento relativo do pedúnculo caudal	$CRPCd = CPCd/CP$	Pedúnculos relativamente longos indicam peixes que habitam águas turbulentas e possuem boa habilidade para natação (Gatz, 1979; Watson & Balon, 1984);	
8. Altura relativa do pedúnculo caudal	$HRPCd = HPCd/HC$	Pequenos valores indicam maior capacidade de manobra (Winemiller, 1991).	
9. Largura relativa do pedúnculo caudal	$LRPCd = LPCd/LC$	Valores altos indicam melhores nadadores de longas distâncias (Winemiller, 1991).	
10. Índice de compressão do pedúnculo caudal	$ICPCd = HPCd/LPCd$	É inversamente relacionado à amplitude dos movimentos natatórios, altos valores indicam pedúnculos comprimidos, típico de nadadores menos ativos (Gatz, 1979);	
11. Área relativa da nadadeira dorsal	$ARNDs = ANDs/AC$	Nadadeiras dorsais com grande área têm melhor capacidade de estabilização em desvios (Gosline, 1971).	
12. Área relativa da nadadeira caudal	$ARNCd = ANCd/AC$	Valores elevados indicam nadadeiras capazes de produzir impulsos rápidos, típicos à natação de muitos peixes bentônicos (Watson e Balon, 1984);	

13.	Razão aspecto da nadadeira caudal	$RANCd = (HNCd)^2/ANCd$	Diretamente proporcional à quantidade de natação que o peixe realiza (Gatz, 1979);
14.	Área relativa da nadadeira anal	$ARNAn = ANAn/(CP)^2$	Grandes áreas relativas indicam alta capacidade de monobra e de movimentos de estabilização (Breda, 2005 <i>apud</i> Oliveira et al, 2010).
15.	Razão aspecto da nadadeira anal	$RANAn = (CNAn)^2/ANAn$	Nadadeiras anais com grande razão aspecto indicam alta capacidade de fazer movimentos rápidos de progressão e regressão (Breda, 2005 <i>apud</i> Oliveira et al, 2010).
16.	Comprimento relativo da nadadeira pélvica	$CRNPI = CNPI/CP$	Relaciona-se à preferência de habitat, sendo mais longa em habitats rochosos e mais curta em espécies nectônicas (Gatz, 1979);
17.	Área relativa da nadadeira pélvica	$ARNPI = ANPI/AC$	Peixes bentônicos apresentam áreas relativamente grandes (Gatz, 1979);
18.	Razão aspecto da nadadeira pélvica	$RANPI = CNPI/LNPI$	Valores baixos são observados em peixes que usam as nadadeiras pélvicas para realizar frenagens e nadar para frente e maiores valores, para aqueles que as usam para recuar e manter sua posição na coluna d'água (Gatz, 1979);
19.	Comprimento relativo da nadadeira peitoral	$CRNPt = CNPt/CP$	Altos valores indicam peixes habitantes de águas lentas e que realizam muitas manobras (Gatz, 1979);
20.	Área relativa da nadadeira peitoral	$ARNPt = ANPt/AC$	Valores elevados indicam nadadores lentos que usam estas nadadeiras para executar manobras. Porém, peixes habitantes de águas rápidas que as utilizam como superfícies de deflexão da água, mantendo seu corpo junto ao substrato, também possuem altos valores (Watson e Balon, 1984);
21.	Razão aspecto da nadadeira peitoral	$RANPt = CNPt/LNPt$	Valores elevados indicam nadadeiras longas e sugerem peixes com grande capacidade natatória (Watson e Balon, 1984);

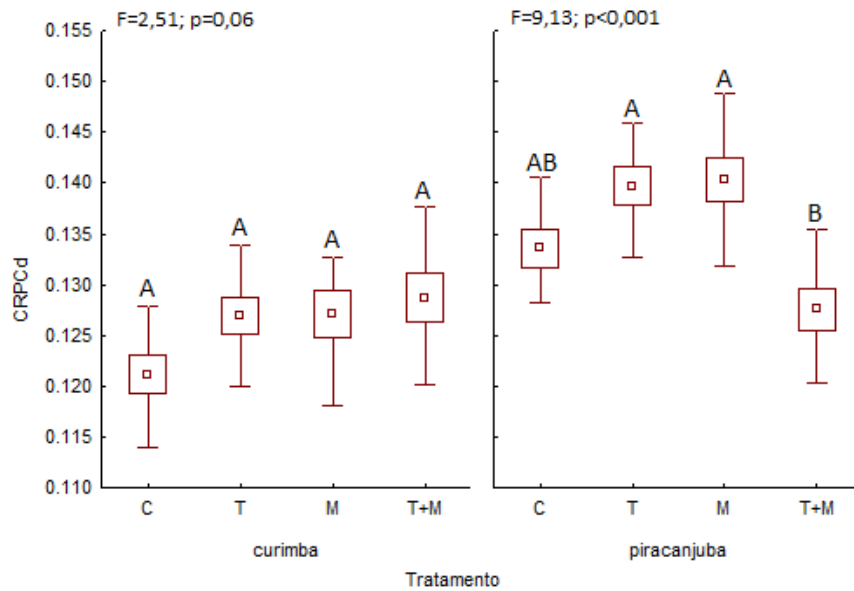
**Anexo 3 – Atributos ecomorfológicos nos tratamentos.**



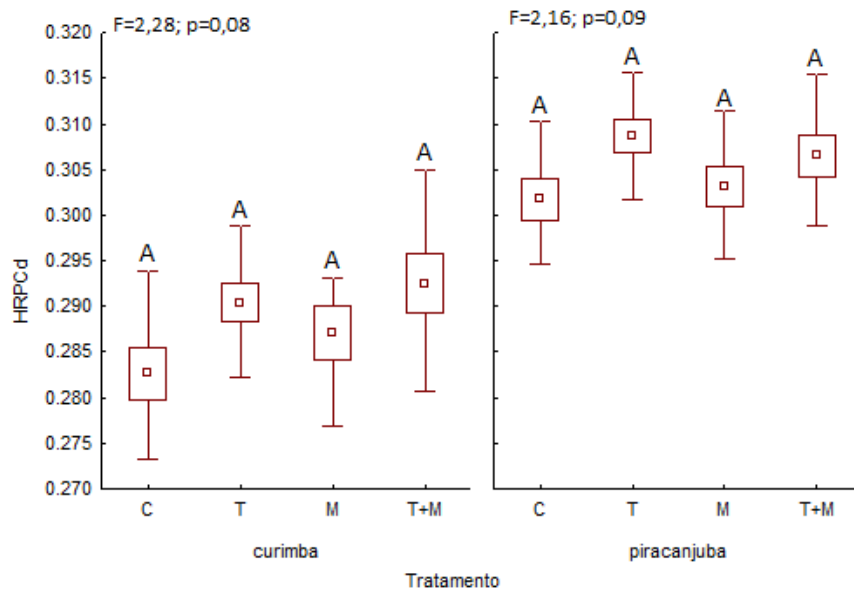




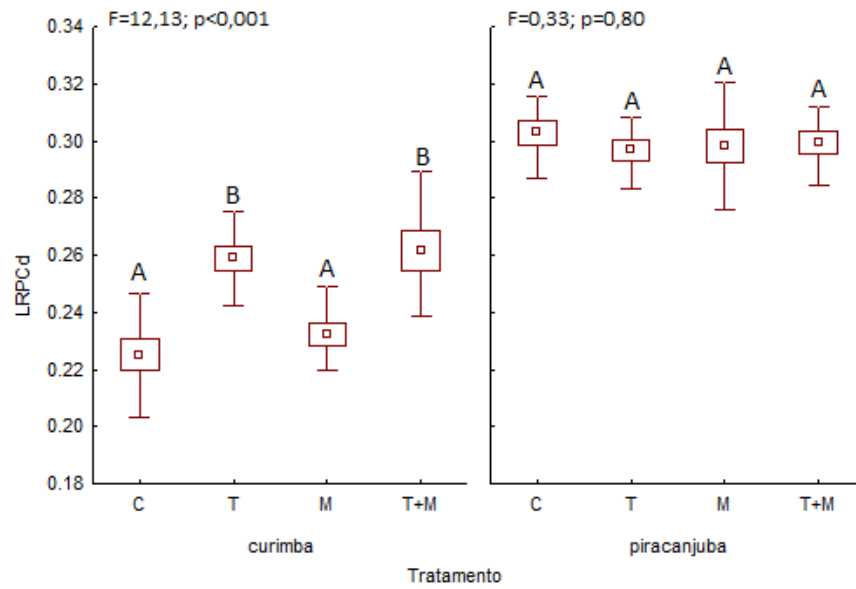
## ANOVA e Tukey



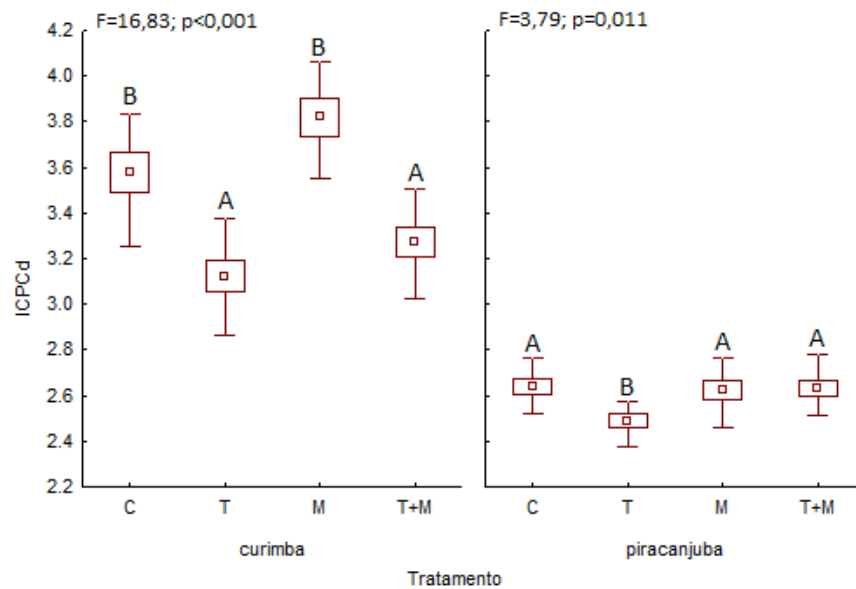
## ANOVA e Tukey



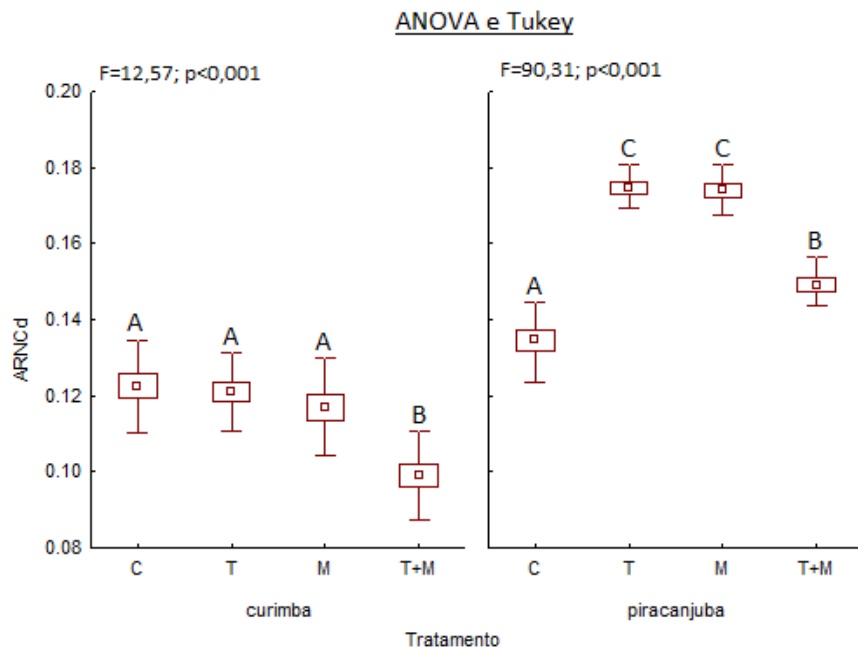
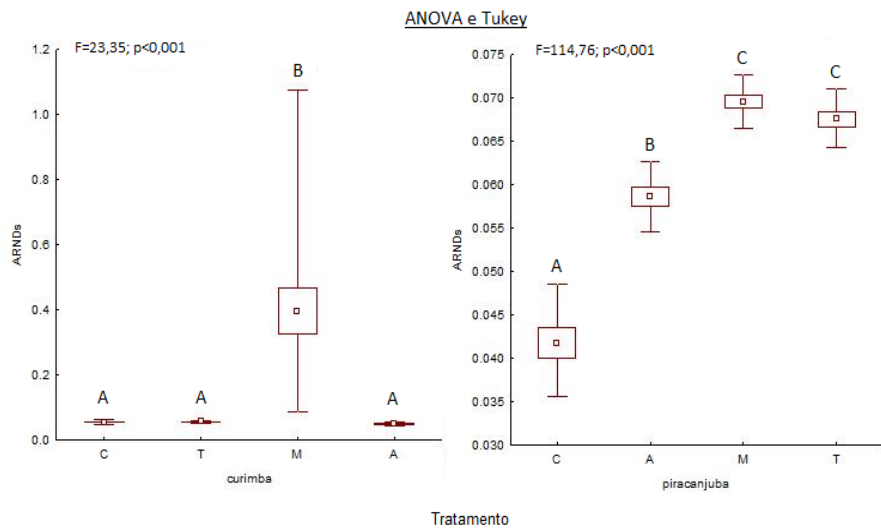
## ANOVA e Tukey



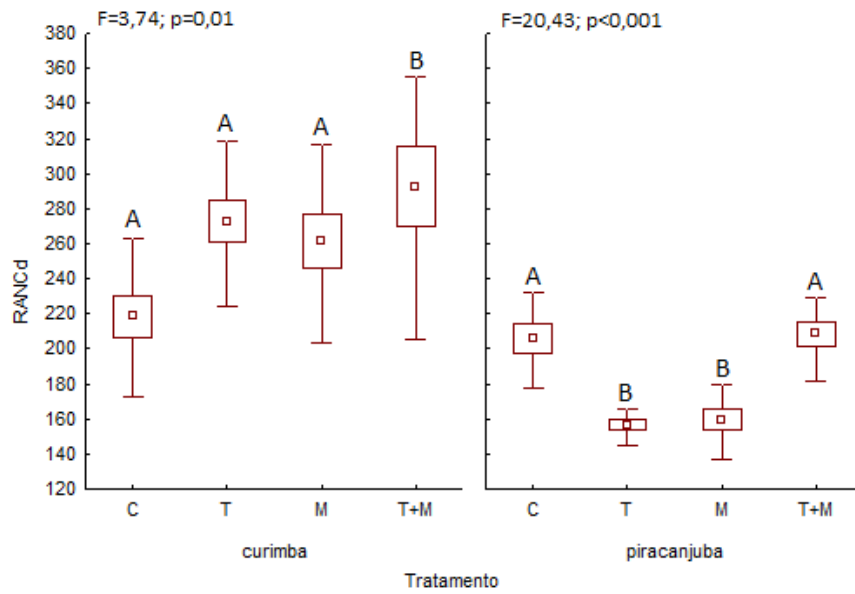
## ANOVA e Tukey



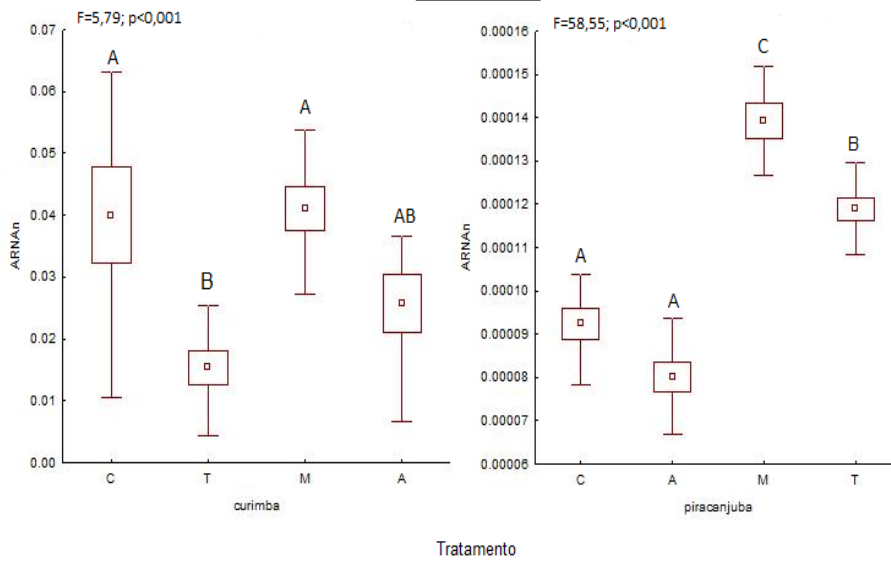




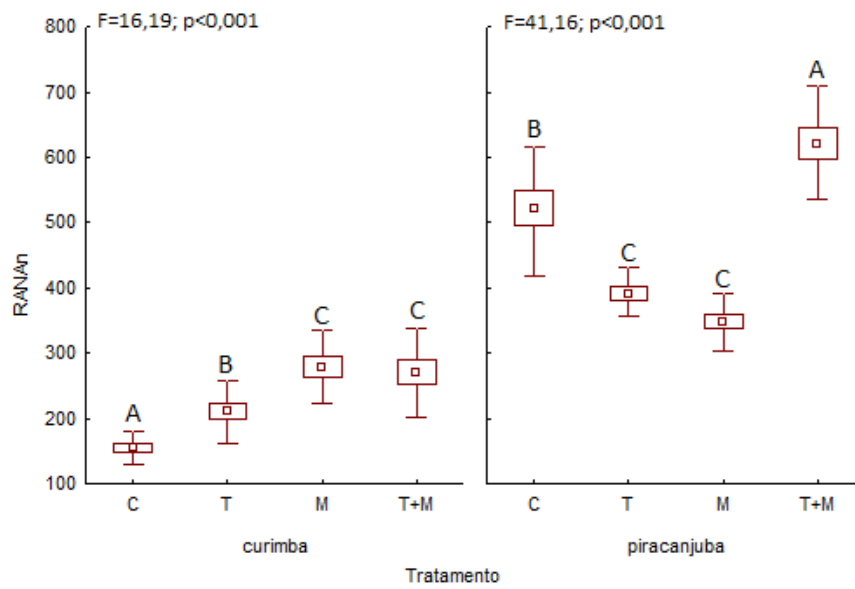
**ANOVA e Tukey**



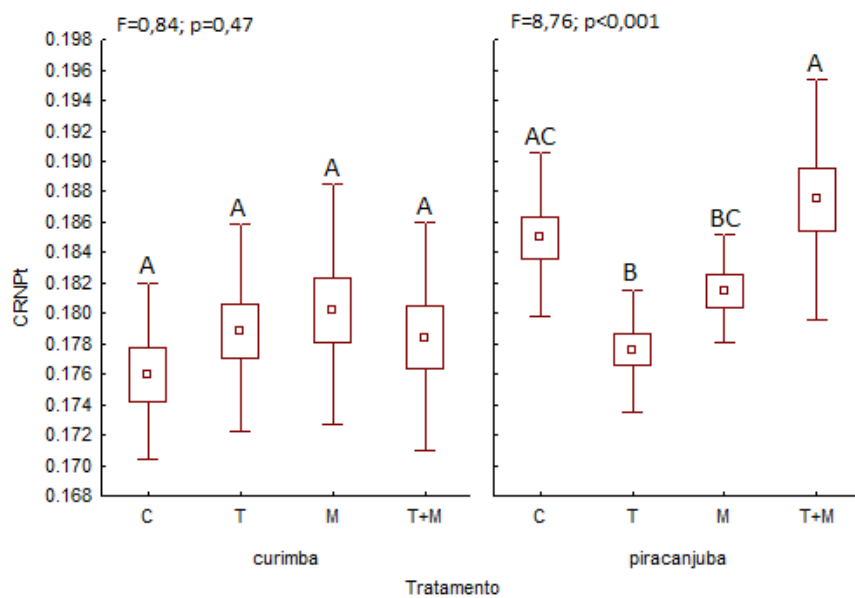
**ANOVA e Tukey**



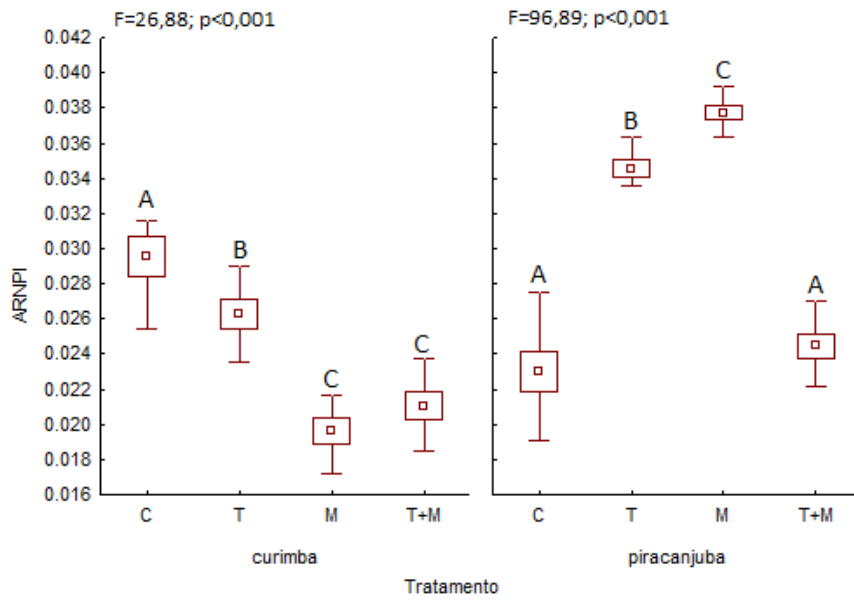
ANOVA e Tukey



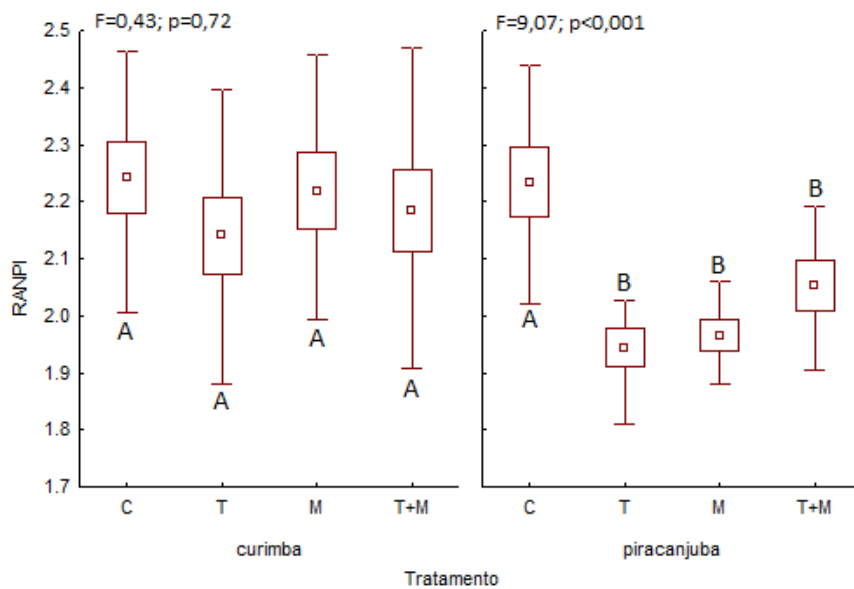
ANOVA e Tukey



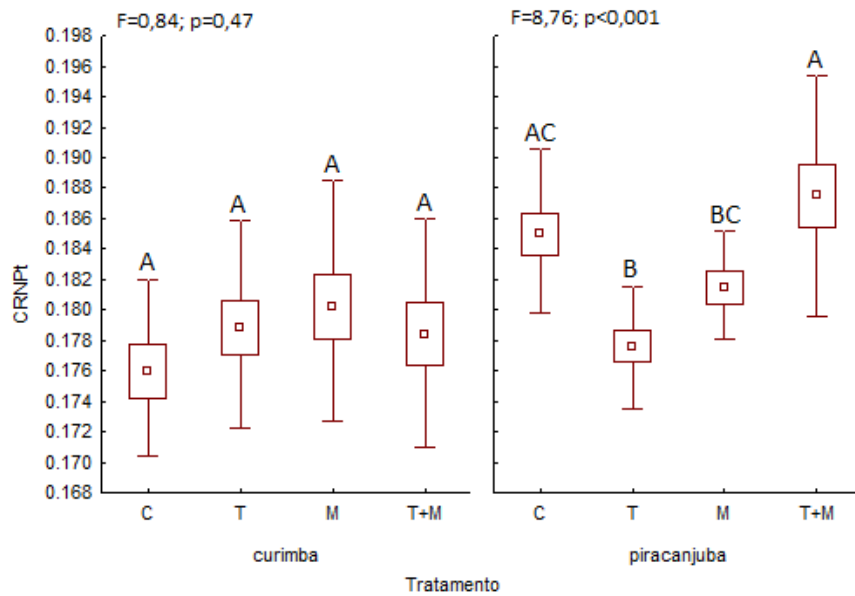
**ANOVA e Tukey**



**ANOVA e Tukey**



ANOVA e Tukey



ANOVA e Tukey

