



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**O EFEITO DA SALINIDADE EM *POECILIA VIVIPARA* BLOCH & SCHNEIDER 1801
(POECILIIDAE): EXPLORANDO AS VARIAÇÕES NO PROVISIONAMENTO MATERNO
E OUTRAS TÁTICAS REPRODUTIVAS**

LAIS VENTURA CORREIA

Rio de Janeiro

MARÇO DE 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO/UFRJ
INSTITUTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA-PPGE
CX.POSTAL 68.020 – ILHA DO FUNDÃO

CEP: 21941-590 – RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL

TEL./FAX: (21) 290-3308 TEL.: (21) 562-6320

O EFEITO DA SALINIDADE EM *POECILIA VIVIPARA* BLOCH & SCHNEIDER 1801
(POECILIIDAE): EXPLORANDO AS VARIAÇÕES NO PROVISIONAMENTO MATERNO E
OUTRAS TÁTICAS REPRODUTIVAS

LAIS VENTURA CORREIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas (Ecologia).

defendida em 31 de Março de 2015

APROVADA POR:

Prof^a. Ana Cristina Petry, Dr^a.

Prof^a. Rosana Mazzoni Buchas, Dr^a.

Profa. Erica Maria Pellegrini Caramaschi, Dr^a.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

O efeito da salinidade em *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider 1801 (Poeciliidae): explorando as variações no provisionamento materno e outras táticas reprodutivas

LAIS VENTURA CORREIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ecologia.

ORIENTADORA: ANA CRISTINA PETRY

Rio de Janeiro
Março de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Correia, Lais Ventura.

O efeito da salinidade em *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider 1801 (Poeciliidae): explorando as variações no provisionamento materno e outras táticas reprodutivas / Lais Ventura Correia.- Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

Orientadora: Ana Cristina Petry

Dissertação (mestrado) – UFRJ/Rio de Janeiro/ Programa de Pós-graduação em Ecologia, 2015.

Referências Bibliográficas:

I. Petry, Ana Cristina. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus – Macaé Prof. Aloísio Texeira, Macaé, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação. III. O efeito da salinidade em *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider 1801 (Poeciliidae): explorando as variações no provisionamento materno e outras táticas reprodutivas

Dedico esta dissertação aos meus pais, Eduardo e Rosimeri, que por muitas vezes se sacrificaram para que eu tivesse a melhor educação que eles pudessem me proporcionar

Agradecimentos

A Deus, o Autor e Consumador da minha fé, que sempre esteve comigo conforme Ele prometeu, tanto nos momentos bons quanto nos piores momentos da minha vida, e por ter colocados pessoas maravilhosas na minha vida.

Aos meus pais que me apoiaram ao longo de toda essa jornada, me acolhendo sempre com amor, e brigando comigo todas as vezes que foram necessárias.

À minha mãe científica, Ana Cristina Petry, que assim como meus pais, me acolheu, me ensinou e teve paciência comigo apesar dos meus défices de atenção (que foram muitos!). Foi uma das melhores amigas que eu e minha família pudemos ter no momento em que nós ficamos sem chão. Agradeço a Deus por ter te colocado no meu caminho.

Aos meus irmãos, Matheus e Renan, e ao agregado Jonathas, que suportaram meus momentos de fúria nos finais de semana, me fizeram rir, e que fizeram minhas vontades mesmo reclamando (às vezes).

As minhas irmãs, que não teria melhor palavra para definir vocês, minha prima Fernanda Calazans, a Helena Souza que me abrigou quando meus pais voltaram para Macega's City (São Pedro da Aldeia), Letícia Brito e Nathália López que ficaram ao meu lado no pior momento da minha vida, me deram suporte, me escutaram, acalmaram, me consolaram.

Nathália López pelas tabelas, capas, arquivos, todos os conselhos, por ter cuidados das minhas filhas no experimento e ter ido em todas as coletas, nos momentos em que eu tive que ficar no hospital.

Às professoras Lísia Gestinari e Tatiana Kono por cederam, entre outros materiais, a estufa tá importante para a realização desse trabalho.

Aos irmãos mais velhos de orientação Bruno, Rhennã, Rayane, Bruna, Paula que ensinaram muito ao longo de seus mestrados ou iniciação científica. E as mais novas, Júlia e Andressa que me ajudaram no período do experimento.

Ao Vagner que sempre me pergunta como vão as coisas e me ajuda quando preciso, e me iniciou no mundo da fisiologia de peixes.

Mara que me ajudou enormemente na reta final do mestrado e trouxe a Rayssa e a Carol, que procuraram me ajudar como podiam, e que foram fundamentais até por me fazerem rir.

A todos os que foram nas coletas, com ou sem medo de peixes, sabendo ou não nadar..., que não citarei os nomes porque pode ser que eu esqueça alguém (memória de peixe).

Aos frequentadores do templo da sabedoria (Laboratório Integrado de Zoologia) tanto os professores quanto alunos, que ouviram minhas diversas prévias e me deram várias sugestões.

Ao meu namorado Renato Cabral, que apareceu no momento mais improvável (final de mestrado), mas se apresentou de grande valia, desde escutar meus surtos, me aconselhar, me distrair, me fazer rir, cuidar de mim, vir me buscar na faculdade quando eu tive que sair bem tarde, ou então pedir para o tio dele (dá-lhe Zezito) fazer isso. Muito obrigado também Zezito!

À professora Érica Caramaschi, minha co-orientadora não oficial, que sempre (SEMPRE!) estive disponível e acompanhou todas as etapas do meu mestrado, com grandes contribuições.

Aos professores que me acompanharam desde o ensino fundamental até os que estão agora me avaliando (Banca) pela disponibilidade, ensino, zelo. De fato cada um de vocês foram essenciais na minha formação.

Ao PPGE e ao CNPq pela bolsa que nunca atrasou me manteve ao longo do meu mestrado.

Sumário

Resumo.....	ix
Abstract.....	x
Apresentação.....	1
Referências.....	6
Capítulo I -Respostas de <i>Poecilia vivipara</i> à salinidade: explorando um amplo gradiente numa curta escala geográfica.....	8
Introdução.....	8
Materiais e Métodos.....	11
Área de Estudo.....	11
Amostragens e procedimentos laboratoriais.....	14
Análise de dados.....	15
Resultados.....	16
Discussão.....	27
Considerações Finais do Capítulo I.....	32
Referências.....	32
Capítulo II -Dinâmica reprodutiva intraanual de <i>Poecilia vivipara</i> sob diferentes regimes de variação da salinidade da água.....	36
Introdução.....	36
Materiais e Métodos.....	37
Área de Estudo.....	37
Amostragens e procedimentos laboratoriais.....	40
Análise de Dados.....	42
Resultados.....	43
Discussão.....	54
Considerações finais do Capítulo II.....	57
Referências.....	57
Capítulo III -Do ambiente natural ao laboratório: respostas de <i>Poecilia vivipara</i> a regimes de variação da salinidade da água.....	60
Introdução.....	60
Material e Métodos.....	60
Obtenção das matrizes em campo.....	62
Procedimentos laboratoriais.....	62
Experimento de cultivo da prole em diferentes regimes de salinidade.....	64
Análise de dados.....	67
Resultados.....	68
Discussão.....	74
Considerações Finais do Capítulo III.....	80
Referências.....	80
Considerações Finais.....	81

“O fim das coisas é melhor do que o seu início”

Eclesiastes 7:8a

Resumo

Organismos aquáticos estão sujeitos a condições ambientais que podem variar de forma brusca ou gradual, e sua sobrevivência depende em grande parte da sua capacidade em responder por meio de ajustes fisiológicos. A osmorregulação é o processo que regula a troca de íons e partículas de água, uma adaptação que permite a peixes eurihalinos transitar ou despendar parte de sua vida em ambientes que variam na salinidade da água às expensas de gasto energético. O presente estudo utilizou o barrigudinho *Poecilia vivipara* como modelo e teve por objetivos investigar por meio de abordagem observacional a variação na estrutura de tamanho dos indivíduos, no grau de investimento materno em fecundidade e provisionamento embrionário em escala espacial e temporal em ambientes que diferem marcadamente na salinidade da água. Ao submeter experimentalmente por 40 dias recém-nascidos a diferentes regimes de mudança na salinidade, foram avaliadas suas respostas em tamanho do corpo, sobrevivência e retenção hídrica. O estudo contemplou um amplo gradiente de salinidade que ocorre naturalmente em ambientes aquáticos do norte fluminense, sendo que as amostragens foram realizadas uma única vez em 19 ambientes aquáticos e mensalmente por um ano em quatro deles, com o registro de sete variáveis físicas e químicas. A salinidade foi a variável com maior importância na segregação das amostras e um fator determinante na estrutura de tamanho dos adultos e do peso dos embriões. Fêmeas e machos de lagoas com salinidade intermediária (entre 0,2 e 39,9) foram significativamente maiores que aqueles encontrados em ambientes hipossalinos e hipersalinos (<0,2 e >40) ($F=12,42$; g.l.=1;16 ; $p<0,01$). A fecundidade apresentou relação estreita com o tamanho da mãe. Embriões com maior peso, depois de controlado o efeito da fase de desenvolvimento, ocorreram em lagoas com salinidade intermediária ($F=46,77$; $R^2=0,75$; g.l.=8;119; $p<0,01$). De 2.270 fêmeas cujo comprimento total variou entre 11,48-65,48mm foram obtidos 22.144 ovócitos ou embriões durante o ano investigado. Os picos reprodutivos não foram coincidentes entre os quatro ambientes e uma ausência de fêmeas grávidas foi detectada na Lagoa Catingosa e no Canal Pitanga em agosto de 2013 e janeiro de 2014, respectivamente. A ANOVA não detectou efeito da estação do ano ou do ambiente ou ainda da interação entre esses na frequência de fêmeas grávidas. No experimento de manipulação, a transferência brusca a uma salinidade oposta à da origem das matrizes determinou menor sobrevivência. A ANOVA bifatorial aplicada ao comprimento total ao final do experimento detectou um efeito significativo da interação entre a lagoa de origem da mãe e o tratamento ($F=3,44$; g.l.=6;210; $P<0,01$), enquanto que para o peso somático apenas um efeito da lagoa de origem das matrizes foi significativo ($F=43,92$; g.l.=3;210; $P<0,01$), sendo que filhotes de fêmeas da Lagoa Cabiúnas pesaram significativamente mais que os filhotes da Lagoa Catingosa. Independentemente do nível do tratamento, juvenis com origem na Lagoa Catingosa retiveram significativamente menos água do que aqueles das Lagoas Cabiúnas e Preta ($F=81,52$; g.l.=3;210; $P<0,01$). Dessa forma, a distribuição ampla de *P. vivipara* no gradiente de salinidade não se explica somente por uma possível elevada capacidade de dispersão, mas por mecanismos de ajuste fisiológico.

Palavras chave: Cyprinodontiformes, experimento manipulativo e observacional, fecundidade, osmorregulação.

Abstract

Aquatic organisms are subjected to environmental conditions which may vary suddenly or gradually. Their survivorship depends mostly on their ability in respond throughout physiological adjustments. The osmoregulation is a process which controls the change of ions and water particles; an adaptation which allows to euryhaline fish to move or spend part of their live in environments which may vary on the water salinity due to energetic expenses. The present study used *Poecilia vivipara* as a model with the aims of investigate throughout an observational study the variation in the size structure of the individuals, on the degree of maternal investment in fecundity and embrionary provision spatially and temporally in environments which differ markedly on water salinity. By submitting experimentally for 40 days newborns to different regimes of salinity changes, responses in bodysize, survivorship and hydric retention were evaluated. The study covered a wide salinity gradient which occur naturally in aquatic environments of the northern Rio de Janeiro State, being the samplings carried out once in 19 aquatic environments and monthly for a year in four of them, with the record of seven physical and chemical variables. Salinity was the variable of main importance on the segregation of the samples and a determinant factor of the structure of body size of the adults and of the embryo's weight. Females and males of lagoons of intermediate salinity (between 0.2 and 39.9) were significantly larger than those of the hipo and hipersaline environments (<0.2 and >40) ($F=12.42$; g.l.=1;16 ; $p<0.01$). The fecundity presented a narrow relationship with the mother body size. Embryos of greater weight, after controlling the effect of the phase of development, occurred in lagoons of intermediate salinity ($F=46.77$; $R^2=0.75$; g.l.=8;119; $p<0.01$). Of the 2,270 females whose total length varied between 11.48-65.48mm, 22.144 ovocytes or embryos were obtained during the studied year. The reproductive peaks were not the same within the four environments and an absence of pregnant females was detected in Catingosa lagoon and in Pitanga channel in August 2013 e January 2014, respectively. The ANOVA did not detect an effect of season and of environment even interaction among them on the frequency of pregnant females. On the manipulative experiment, the sudden transference to the opposite salinity determined a lower survivorship. The two-way ANOVA applied to the total length on the end of the experiment detected a significant effect of the interaction term between the lagoon and the treatment ($F=3.44$; g.l.=6;210; $P<0.01$), while for the somatic weight only an effect of the lagoon was significant ($F=43.92$; g.l.=3;210; $P<0.01$), being that newborns of females from the Cabiúnas lagoon weighted significantly more than newborns of the Catingosa lagoon. Independently of the level of the treatment, juveniles from Catingosa lagoon attained less water than those of Cabiúnas and Preta lagoons ($F=81,52$; g.l.=3;210; $P<0.01$). Therefore, the wide distribution of *P. vivipara* on the gradient of salinity is not explained exclusively by a solely by a high dispersal capacity, but by mechanisms of physiological adjustments.

Palavras chave: Cyprinodontiformes, fecundity, manipulative and observacional experiment, osmoregulation.

Apresentação

A concentração de sais minerais dissolvidos na água é expressa pela salinidade, que corresponde à quantidade total da massa de sólidos dissolvidos na massa de água, sendo esta quantidade de solutos e solvente geralmente expressa em g (Esteves, 2011). A salinidade da água se constitui num dos parâmetros mais importantes para os organismos que habitam de forma exclusiva os ambientes aquáticos, ou deles dependem pelo menos em uma fase de seu ciclo de vida, como peixes, anfíbios e alguns invertebrados (Boeuf & Payan, 2001; Gomez-Mestre & Tejedo, 2003; Herbst, 2013). A sobrevivência desses organismos depende de uma mediação de trocas de íons e água entre seus corpos e o meio no qual se encontram.

A osmorregulação é definida como o processo de regulação das trocas iônicas e de água entre um dado organismo e o meio, de maneira a manter a homeostase osmótica e iônica (Baldisseroto, 2009; McCormick et al., 2013). Evolutivamente, a eficiência da osmorregulação nos peixes é resultante das modificações adaptativas em órgãos e tecidos ao longo dos últimos 500 milhões de anos (Pough et al., 2008). Adaptações morfofisiológicas como por exemplo aquelas encontradas nas brânquias dos peixes desempenham diferentes funções relacionadas à osmorregulação. Em peixes que habitam a água doce, as brânquias representam a maior área de entrada de íons, enquanto em lampreias e nos Teleostei marinhos, representam a maior área de excreção de sal (Evans et al., 2005).

É relativamente pequeno o número de espécies conhecidas de peixes que transitam entre ambientes aquáticos com salinidades diferentes, como entre o mar e trechos médios ou superiores de rios, ou em ambientes que variam marcadamente na salinidade, por exemplo em um estuário ou marismas (Martin et al., 2009; McCormick et al., 2013). São muito raras as espécies para as quais as taxas de crescimento do corpo e o investimento reprodutivo não sejam influenciadas por alterações ambientais (Stearns, 1992; Boeuf & Payan, 2001). Em relação à salinidade, existe um custo energético associado ao mecanismo de osmorregulação, que pode variar, dependendo da diferença entre a salinidade dos meios externo e interno (Boeuf & Payan, 2001). Considerando a demanda conflitante na intensidade na qual os recursos energéticos adquiridos via alimentação são despendidos em movimentação, manutenção do corpo, crescimento, reprodução e também osmorregulação, é de se esperar que indivíduos

ocupando ambientes com uma concentração de sais dissolvidos na água muito diferente da concentração iônica corporal demandem maior proporção de energia neste último processo.

Dentre os peixes da ordem Cyprinodontiformes, diversas espécies ocupam gradientes ambientais amplos e são reconhecidos pela sua grande capacidade de aclimatação via plasticidade fenotípica (Sabóia-Moraes et al., 2011). Dessa forma, esses peixes que em sua maioria apresentam pequeno porte e curto ciclo de vida vem sendo considerados excelentes modelos para estudos biológicos (Boeuf & Payan, 2001). *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider, 1801 ocorre naturalmente na América do Sul e se distribui pela costa desde a Venezuela até o rio La Plata, na Argentina. Em território brasileiro é conhecida popularmente como barrigudinho ou guaru (Lucinda, 2003). Esta espécie apresenta dimorfismo sexual marcado, sendo que os machos apresentam comprimento total menor em relação às fêmeas e uma modificação em três raios da nadadeira anal, que forma uma estrutura inseminadora, denominada gonopódio (Figura 1). Dessa forma, o desenvolvimento embrionário de *P. vivipara* é interno, sendo que os filhotes nascem completamente formados (exceto pelo gonopódio) e aptos a nadar (Rocha et al., 2010).



Figura 1. Exemplar macho e fêmea de *Poecilia vivipara*, medindo 29,7mm e 47,5mm em seu comprimento padrão, respectivamente. Foto: Arquivos da Coleção de Peixes do Nupem-UFRJ.

Em relação ao desenvolvimento embrionário de Poeciliidae, Jody Haynes em 1995 publicou uma caracterização intitulada “*Poeciliid developmental classification*”, a partir de suas observações em 46 espécies. Este autor propôs 11 estágios de desenvolvimento e utilizou as espécies *Heterandria formosa* como espécie modelo de superfecundação e matrotrofica e *Gambusia affinis* como espécie modelo sem superfecundação

e lecitotrófica (Figura 2). Nos estágios iniciais, o autor se fundamentou no tamanho do ovócito e na sua coloração. Nos estágios IV e V, o ovócito já foi fecundado e se passa a observar o crescimento dos embriões em relação à sua forma do blastodisco embrionário. A partir do estágio VI a principal característica observada é a formação dos olhos, mas leva-se em conta também a pigmentação, o tamanho do corpo e o desenvolvimento das nadadeiras (Figura 2).

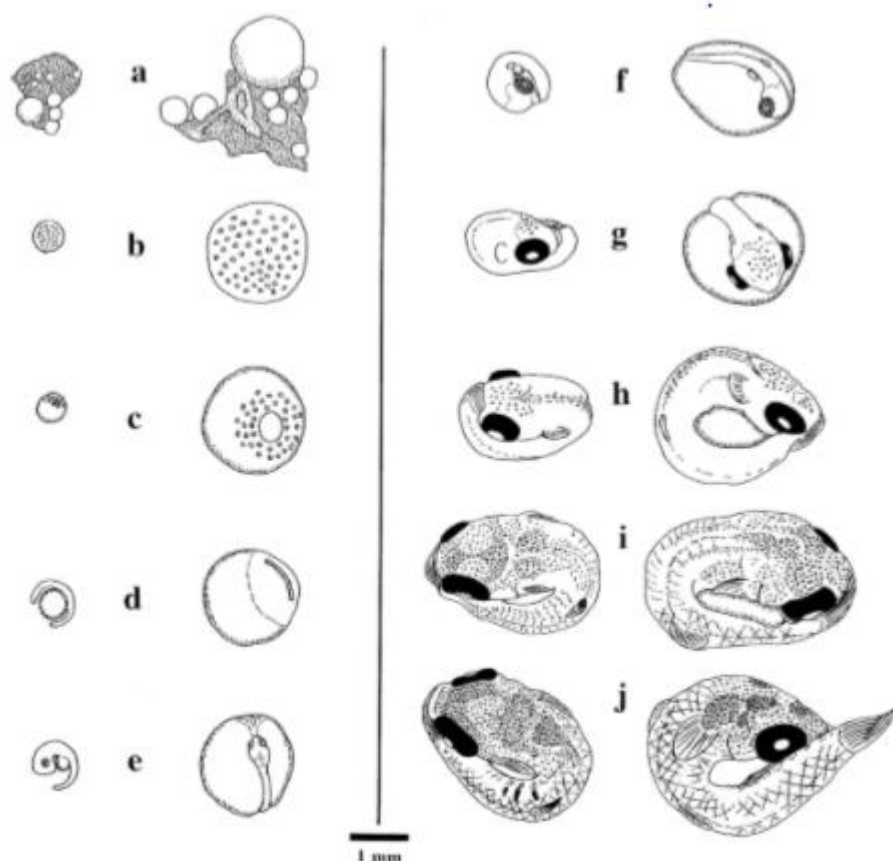


Figura 2. Classificação dos estágios de desenvolvimento embrionário de Poeciliidae, utilizando como modelos *Heterandria formosa* na coluna à esquerda e *Gambusia affinis* na coluna à direita. (a) Ovócitos pequenos são imaturos (estágio I); Ovócitos maiores com vitelo em formação (estágio II); (b) Ovócitos maduros (estágio III); (c) Embriões com blastodisco (estágio IV); (d) Escudo embrionário (estágio V); (e) Cúpula otica embrionária (estágio VI); (f) Olho primitivo/broto das nadadeiras (estágio VII); (g) Olho intermediário embrionário (estágio VIII); (h) Olho tardio embrionário (estágio IX); (i) Olho mais tardio embrionário (estágio X); (j) Embrião maduro (estágio XI). Modificado de Haynes (1995).

No norte fluminense, *P. vivipara* se destaca por sua distribuição ampla, sendo alvo de estudos que avaliaram a morfometria, crescimento, variação do comprimento do corpo, fecundidade e sobrevivência em resposta a diferentes regimes de predação e

níveis de salinidade da água (Gomes & Monteiro, 2007; Araújo & Monteiro, 2013; Araújo et al., 2014; Felice, 2014). Uma das principais características dos ambientes aquáticos dessa região está na variabilidade das características físicas e químicas da água, entre elas, a concentração de sais dissolvidos. Na distância de poucos metros, podem ser encontradas desde poças temporárias de água doce até outras com uma salinidade similar ao Mar Morto (Felice, 2014). Em anos de baixa precipitação, a amplitude do gradiente de salinidade aumenta nas lagoas costeiras dessa região, de forma que enquanto algumas alimentadas pelo afloramento do lençol freático e por cursos d'água permanecem com baixos teores de sais, outras que sofrem maiores taxas de evaporação e aporte de água marinha sofrem aumentos pronunciados de seus níveis de salinidade. Em estudo recente, Felice (2014) identificou as espécies de Cyprinodontiformes *Jenynsia multidentata*, *Phalloptychus januarius* e *P. vivipara* como dominantes nas comunidades de peixes de lagoas que sofreram alterações marcantes na concentração de sais dissolvidos. Dessas três espécies, *P. vivipara* é aquela com distribuição mais ampla, sendo encontrada em lagoas predominantemente doces e também naquelas hipersalinas (Di Dario et al., 2013; Felice, 2014), o que a identifica como uma potencial espécie para estudos avaliando suas respostas frente às alterações na salinidade da água, similares aqueles desenvolvidos para outras espécies da mesma ordem ou para invertebrados simpátricos (Mai et al., 2005; Martin et al., 2009; Suhett et al., 2010).

Em um levantamento realizado em artigos científicos publicados entre 1992 a 2012, utilizando como critério de seleção os tópicos *fish ecology and osmotic regulation* ou *osmoregulation and salt*, no portal Web of Science, do Thompson Institute for Scientific Information (<http://apps.webofknowledge.com>), 91 foram detectados. Desses, 83 estavam disponíveis como artigos completos e estes foram avaliados com o objetivo de identificar se resultavam de estudos manipulativos ou observacionais (*sensu* Scheiner, 1993). Estudos observacionais são aqueles que utilizam a variação natural da variável preditora, e estudos manipulativos aqueles que envolvem a alteração dos níveis dessa variável e a avaliação da resposta das variáveis de interesse (variáveis-reposta). Dentre os artigos selecionados, 61 se caracterizaram como estudos manipulativos, 12 foram revisões bibliográficas, oito foram estudos observacionais e apenas dois foram estudos manipulativos e observacionais (Figura 3).

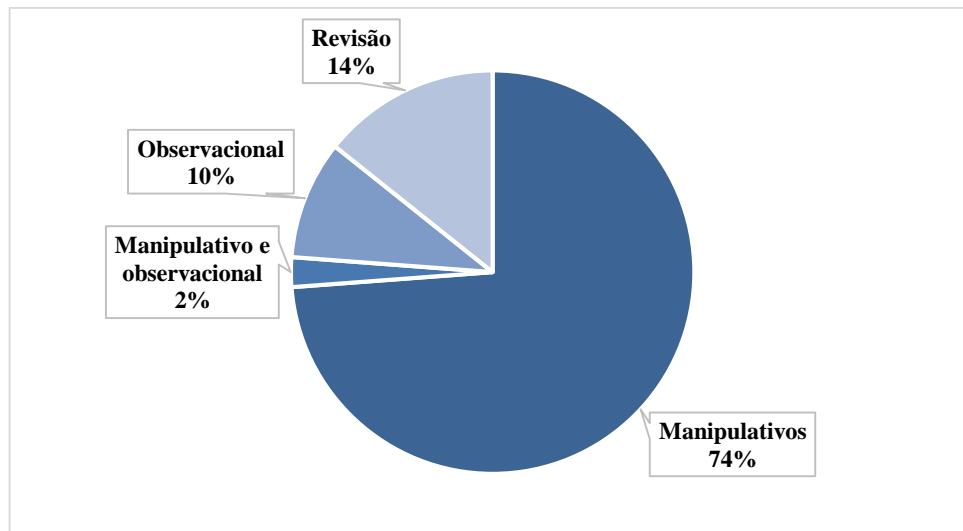


Figura 3. Abordagens dos estudos conduzidos nos 83 artigos selecionados na base de dados Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com>), entre 1992 e 2012, considerando os tópicos *fish ecology and osmotic regulation* ou *osmoregulation and salt*.

Apesar do realismo dos estudos observacionais, influências que fogem ao controle do experimentador em campo, tratados muitas vezes como “ruídos”, podem ser controladas ou, pelo menos, minimizadas em estudos manipulativos. Nem sempre, porém, as condições experimentais controladas são capazes de refletir as condições do ambiente natural (Araújo & Monteiro, 2013). É nítida a quantidade baixíssima de estudos que realizam concomitantemente estudos observacionais e manipulativos, e isto se deve provavelmente às dificuldades em cultivar os organismos em condições externas ao seu ambiente natural ou no fato de que os resultados obtidos nem sempre refletem os padrões observados em campo. A potencialidade de conjugar estudos observacionais e manipulativos está na possibilidade de isolar em um experimento manipulativo variáveis candidatas a exercerem as maiores influências sobre a variável-resposta selecionadas partir de estudos prévios, a partir da descrição das variações sob condições naturais e não controladas.

Esta Dissertação procura conjugar a abordagem observacional e a experimental, que representa apenas 2% das publicações envolvendo peixes e salinidade num intervalo recente de 20 anos. Num relativamente curto e simultâneo período de tempo envolvendo os anos de 2013 e 2014, foi realizada uma investigação contemplando a variação espacial e temporal da dinâmica reprodutiva de *P. vivipara* nos ambientes aquáticos do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, o que é inédito para a espécie,

apesar dos relevantes estudos já realizados na mesma região e adjacências (Gomes & Monteiro, 2007; Araújo & Monteiro, 2013; Araújo et al., 2014). Dessa forma, esta Dissertação está organizada em três Capítulos. O primeiro avalia a variação em atributos das populações de *P. vivipara* num curto intervalo de tempo, contemplando 19 ambientes aquáticos que variam pronunciadamente na salinidade da água, situados numa faixa de 40km de extensão. O segundo caracteriza a variação intraanual da dinâmica reprodutiva de fêmeas em quatro desses ambientes, enquanto o terceiro avalia por meio de um experimento de cultivo as respostas de recém-nascidos expostos a diferentes regimes de mudanças na salinidade da água. As coletas dos indivíduos foram autorizadas pelo Ministério de Meio Ambiente para atividades com finalidade de pesquisa, sob registro SISBIO nº 33278-3.

Referências

- Araújo, L. G., & Monteiro, L. R. 2013. "Growth pattern and survival in populations of *Poecilia vivipara* (Teleostei; Poeciliidae) inhabiting an environmental gradient: a common garden study." *Environmental biology of fishes*, 96(8), 941-951.
- Araújo, M. S., Perez, S. I., Magazoni, M. J., Petry, A. C. 2014. "Body size and allometric shape variation in the molly *Poecilia vivipara* along a gradient of salinity and predation." *BMC evolutionary biology*, 14(1), 251.
- Baldisseroto, B. 2009. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 2ª Ed. Editora da UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- Boeuf, G. & Payan, P. 2001. "How should salinity influence fish growth?" *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130:411-423.
- Di Dario, F., Petry, A. C., Maia, M. S. P., Mincarone, M. M., Soares, L. A., Camara, E. M., Caramaschi, E.P., de Britto, M. R. 2013. "An update on the fish composition (Teleostei) of the coastal lagoons of the Restinga de Jurubatiba National Park and the Imboassica Lagoon, northern Rio de Janeiro State." *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(3), 257-278.
- Esteves, F. A. 2011. *Fundamentos de limnologia*. 3ª Ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Evans D. H., Piermarini, P. M., Choe, P. K. 2005. "The multifunctional fish gill: dominant site of gas Exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste". *Physiological Reviews*, 85:97-177. DOI: 10.1152/physrev.00050.2003
- Felice, B. C. *Dinâmica de metacomunidades de peixes em ecossistemas costeiros: uma abordagem com lagoas e poças do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba*. 2014. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, RJ. Brazil
- Gomes-Jr, J. L. & Monteiro, R. L. 2007. "Size and fecundity variation in populations of *Poecilia vivipara* Block & Schneider (Teleostei; Poeciliidae) inhabiting an environmental gradient." *Journal of Fish Biology*, 71: 1799-1809.

- Gomez-Mestre, I. & Tejedo, M. 2003. "Local adaptation of an anuran amphibian to osmotically stressful environments." *Evolution*, 57(8), 1889-1899.
- Haynes, J. L. 1995. "Standardized classification of Poeciliid development for life-history studies." *Copeia*, 1:147-154.
- Herbst, D. B., Roberts, S. W., Medhurst, R. B. 2013. "Defining salinity limits on the survival and growth of the benthic insects for the conservation management of saline Walker lake, Nevada, USA." *Journal of Insect Conservation*, 17(5), 877-883. DOI 10.1007/s10841-013-9568-6
- Lucinda, P. H. F. 2003. "Family Poeciliidae." in R.E Reis, S.O Kullander, C.J. Ferraris, editores. *Check list of the freshwater fishes of South and central Central America*. Porto Alegre, Edipucrs.
- Mai, A. C. G., Garcia A. M., Vieira J. P. 2005. "Influência da salinidade no crescimento de juvenis de *Jenynsia multidentata* Jenyns (Pisces)". *Revista Brasileira de Zoologia*, 22 (3), 780–783
- Martin, S., A. T. Hitch, K. M. Purcell., Klerks P. L., Leberg, P. L. 2009. "Life history variation along a salinity gradient in coastal marshes." *Aquatic Biology*, 8:15-28.
- Mccormick, S. D., Farrel, A. P., Brauner, C. 2013. *J. Fish Physiology: Euryhaline Fishes*. 1^a Ed. Waltham, Academic Press.
- Pough, F. H., Janis, C. M., Heiser, J. B. 2008. *A Vida dos Vertebrados*. 4^a Ed. São Paulo, Atheneu.
- Rocha, T. L., Carvalho, R., Yamada, Á. T., Sabóia-Morais, S. M. 2010. "Morphologic analysis of developmental phases and gill ontogenesis in neotropical species *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) exposed to different salinities." *Zoologia (Curitiba)*, 27(4), 554-562.
- Sabóia-Moraes, S. M. T., Saldiva, P. H. N., da Silva, J. R. M. C., Yamada, Á. T., Aloia, T. P. A., Hernandez-Blazquez, F. J. 2011. "Adaptação do epitélio branquial de peixes eurialinos, guaru (*Poecilia vivipara*), para água doce." *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 48(1), 5-13.
- Scheiner, S. M. 1993. "Introduction: theories, hypotheses, and statistics." In: *Design and analysis of ecological experiments*. Scheiner, S.M. & Gurevitch, J. (Eds.). Pp. 1-13. New York: Chapman & Hall.
- Stearns, S. C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford, Oxford University Press.
- Suhett, A. L., Steinberg, C. E., Santangelo, J. M., Bozelli, R. L., Farjalla, V. F. 2010. "Natural dissolved humic substances increase the lifespan and promote transgenerational resistance to salt stress in the cladoceran *Moina macrocopa*." *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6), 1004-1014.

Capítulo I

Respostas de *Poecilia vivipara* à salinidade: explorando um amplo gradiente numa curta escala geográfica

Introdução

A salinidade se constitui num dos parâmetros ambientais mais importantes para os organismos aquáticos, desempenhando papel fundamental na distribuição e abundância destes (Boeuf & Payan, 2001; Gomez-Mestre & Tejedo, 2003; Herbst, 2013). Para organismos que dependem estritamente do meio aquático para viver e se dispersar, como os peixes, por exemplo, a salinidade da água representa uma das pressões ambientais seletivas mais fortes. A ocorrência dos indivíduos de uma espécie em um espectro do gradiente de salinidade reflete em algum grau as adaptações que estes possuem em seus órgãos e sistemas (Griffith, 1974; Yancey, 1982). Apesar da salinidade do meio externo, os peixes em geral possuem a capacidade de manter relativa constância dos níveis osmóticos nos fluidos corpóreos por meio de ajustes fisiológicos que são transmitidos aos seus descendentes (Shikano & Fujio, 1998; Helfman et al., 2009). Esses mecanismos da osmorregulação envolvem dois processos básicos: absorver ou excretar íons, o que resulta em uma maior ou menor concentração iônica em seus corpos em relação ao ambiente. Fundamentalmente, são esses processos internos que permitem a um grande número de espécies de peixes se distribuir no gradiente halino (Griffith, 1974; Yancey, 1982; Baldisseroto et al., 2007).

Um dos maiores desafios da atualidade tem sido identificar as prováveis pressões ambientais capazes de causar variação e seleção de características da história de vida de um indivíduo. Conhecidas na literatura como *life history traits* (*sensu* Stearns, 1992), essas características podem ser entendidas como aspectos mensuráveis de como um indivíduo media recursos entre suas demandas conflitantes, que são representadas pelo crescimento, manutenção, mortalidade, migração e reprodução (por exemplo, tamanho de primeira reprodução, tamanho da prole, provisionamento nutricional materno, entre outros) (Winemiller & Rose, 1992). Essas características

variam entre espécies, entre populações da mesma espécie, e inclusive entre indivíduos do mesmo sexo dentro dessas populações, o que sugere um potencial adaptativo (Helfman et al., 2009). No contexto de populações de uma mesma espécie que se distribuem por um amplo gradiente halino, é esperado que a pressão ambiental exercida pela salinidade promova variações interpopulacionais em algumas características relacionadas com a reprodução e que podem ser altamente correlacionadas, como o comprimento mínimo de maturação e a fecundidade, por exemplo (Trexler, 1992; Martin et al., 2009).

Além de se constituir no mecanismo pelo qual os indivíduos transmitem aos seus descendentes as mudanças ocorridas em seu genoma, a reprodução tem fortes implicações no seu crescimento somático (Vazzoler, 1996). Indivíduos podem antecipar sua maturação sexual via gatilhos hormonais (fatores endógenos) ou estímulos ambientais como variação na salinidade, fotoperíodo ou risco de predação (fatores exógenos), podendo considerar então o tamanho mínimo da primeira maturação como uma importante característica da história de vida, sendo uma das primeiras características que podem ser apontadas em caso de alterações ambientais (Begon et al., 1996; Zúñiga-Vega, & Reznick, 2007; Baldisseroto, 2009). Indivíduos que maturam precocemente geralmente crescem a taxas menores e atingem tamanhos inferiores em relação aqueles de maturação sexual tardia (Trexler et al., 1990). Além dos gastos energéticos na produção de gametas, a fêmea pode fornecer provisionamento nutricional pela transferência de nutrientes ao ovócito antes da fecundação ou ao longo de todo o desenvolvimento do embrião (Helfman et al., 2009).

Assim, existe um investimento que é exclusivo das fêmeas na produção do vitelo, que pode ainda ser complementado pela transferência nutricional durante a gestação (Marsh-Matthews & Deaton, 2006). É definido como *matrotrofia* o mecanismo adotado por um indivíduo ao suprir nutricionalmente seus embriões ao longo do desenvolvimento desses, sendo que seu peso pode aumentar exponencialmente durante essa fase. A matrotrofia é registrada em mamíferos e em praticamente um terço das espécies de elasmobrânquios (Wourms & Demski, 1993; Royle et al., 2012). A lecitotrofia, por outro lado, é caracterizada pelo investimento energético na produção de gametas que contêm recursos suficientes para o desenvolvimento inicial, na forma de vitelo. Em espécies lecitotróficas como aves e a grande maioria das espécies de peixes teleósteos, não há investimento nutricional materno após a fecundação e

comumente o peso do embrião decai com seu desenvolvimento, pelo consumo dos recursos vitelínicos e eliminação dos produtos metabólicos (Royle et al., 2012; Helfman et al., 2009). Em algumas espécies de peixes, no entanto, a distinção de matrotrofia e lecitotrofia nem sempre é fácil e simples. Uma relativa constância no peso durante o desenvolvimento embrionário, por exemplo, seria um indicativo de uma *matrotrofia incipiente*. Também conhecida na literatura como *estratégia de provisionamento dúbio* (*sensu* Marsh-Matthews & Deaton, 2006), este grau mínimo de matrotrofia refletiria a possibilidade de variação no grau de provisionamento materno de algumas espécies em função de alterações ambientais que determinam que essas possam variar entre matrotróficas ou lecitotróficas (Trexler & DeAngelis, 2003; Marsh-Matthews & Deaton, 2006).

Espécies da ordem Cyprinodontiformes têm servido de modelo para estudos que avaliam especialmente o efeito de fatores exógenos sobre variações nas características da história de vida em múltiplas escalas espaciais (Thibault & Schulz, 1978; Trexler, 1985; Gomes & Monteiro, 2007; Zúñiga-Vega et al., 2011). Esta ordem compreende cerca de 1.000 espécies, sendo que representantes das famílias Anablepidae e Poeciliidae são encontrados nas Américas e África (apenas Poeciliidae). Dentre os principais fatores apontados para explicar a ampla distribuição e abundância das espécies desse grupo nos ambientes costeiros Sulamericanos estão a flexibilidade na dieta, a elevada capacidade de tolerar baixas concentrações de oxigênio dissolvido e águas salobras, a estratégia reprodutiva de viviparidade (para a maioria das espécies), os múltiplos surtos reprodutivos ao ano e a rápida maturação sexual (Garcia et al., 2004; Goyenola et al., 2011).

Em lagoas costeiras do norte fluminense, espécies da ordem Cyprinodontiformes se destacam pela dominância numérica nas comunidades de peixes. Esses ambientes rasos e muito próximos ao oceano são mantidos essencialmente e em diferente grau pelo regime de chuvas, aporte hídrico da rede de drenagem continental, do lençol freático e percolação oceânica (Caliman et al., 2010). Monitorando mensalmente parte desses ambientes, Felice (2014) registrou que *Phalloceros harpagos* e *Atlantirrivulus jurubatibensis* são encontrados em ambientes estritamente dulcícolas (salinidade máxima 0,1), enquanto *Phalloptychus januarius* e *Jenynsia multidentata* são abundantes em lagoas salobras (salinidade entre 3,7 e 58,5). Considerando sua ampla distribuição no gradiente natural de salinidade de lagoas que variam na principal fonte de aporte hídrico, *Poecilia vivipara* se destaca dentre essas espécies por sua ocorrência e

abundância diferencial em ambientes que variam de hipo a hipersalinos (0,9 a 58,5) (Gomes & Monteiro 2007; Felice, 2014). *Poecilia vivipara* apresenta um marcado dimorfismo sexual, com os machos apresentando comprimento total menor que as fêmeas e uma fusão dos terceiro, quarto e quinto raios da nadadeira anal que formam o gonopódio (característico da sub-família Poeciliinae), uma estrutura inseminadora. Essa espécie que pertence a uma família de peixes considerados eurihalinos secundários de água doce, ocorre naturalmente na América do Sul, se estendendo desde a Venezuela até o rio La Plata na Argentina e representa um importante elo nas cadeias alimentares, pois apresenta hábito alimentar onívoro, sendo predada por peixes e aves (Lucinda, 2003; Betito, 2006).

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a distribuição espacial e investigar a ocorrência de variações em características da história de vida de *P. vivipara* no amplo gradiente de salinidade da água que ocorre em ambientes costeiros do norte fluminense. Utilizando o comprimento do corpo, o comprimento total mínimo da primeira fecundação, a fecundidade e a variação no peso da prole durante o desenvolvimento embrionário como características, testou-se a hipótese de trabalho de que *a salinidade da água desempenha um importante papel estruturador das populações de P. vivipara, ao afetar as características da história de vida dos indivíduos*. Caso a hipótese seja corroborada, a variação entre os indivíduos será maior entre ambientes que representam possíveis extremos e os níveis intermediários de sua tolerância à salinidade.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

O estudo foi realizado em ambientes aquáticos do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Restinga de Jurubatiba) (22°05'-22°20'S e 41°15'-41°45'W), que se estende pelos municípios de Macaé, Carapebus e Quissamã, e compreende 148,6km² ao longo da costa litorânea do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Nessa área localizam-se 18 lagoas que diferem em suas características limnológicas, físicas quanto à área e perímetro, e orientação em relação ao mar (Caliman et al., 2010).

São denominadas lagoas ortogonais aquelas formadas por rios de baixa ordem barrados pelo mar (predominantemente de água doce) e lagoas e paralelas aquelas formadas nos intercordões arenosos (predominantemente de água salobra) (Caliman et al., 2010). Conseqüentemente, esses dois tipos de lagoas diferem pronunciadamente na composição e riqueza da ictiofauna, sendo que um maior número de espécies é registrado nas lagoas ortogonais (Di Dario et al., 2013) (Tabela 1).

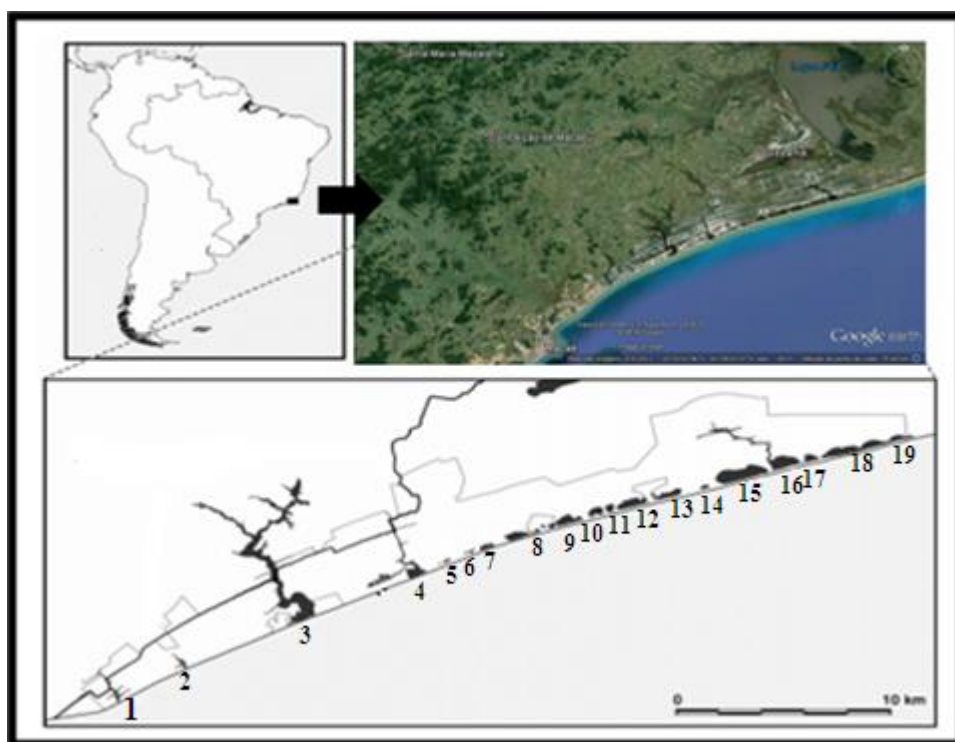


Figura 1. Representação esquemática dos ambientes aquáticos contemplados neste estudo, situados no PARNA Restinga de Jurubatiba, norte fluminense (Modificado de Di Dario et al., 2013). A nomeação dos ambientes é fornecida na Tabela 1.

Como mencionado anteriormente, esses ambientes recebem influência oceânica apenas indiretamente, via spray marinho ou percolação. Esporadicamente, no entanto, eventos de ressaca e a abertura artificial da barra arenosa provocam a entrada de massas de água marinha nessas lagoas. Dessa maneira, a salinidade da água nesses sistemas varia em geral entre 0,1 e 31,2 (Caliman et al., 2010) em função de sua origem, do balanço entre as taxas de precipitação e evaporação e de eventos naturais e artificiais de aporte de água marinha (Minello, 2004).

Desde o início da década de 2010, o norte fluminense experimenta um estendido período plurianual de estiagem, comparável àquele ocorrido no final de década de 1990.

Tabela 1. Identificação dos ambientes contemplados no presente estudo, com indicação de sua área, orientação em relação ao mar e riqueza de espécies de peixes (S) (Fonte: Caliman et al., 2010; Di Dario et al., 2013; A. C. Petry, comunicação pessoal*).

	Lagoa	Área (km²)	Orientação	Salinidade	S
1	Cabiúnas	0,34	Ortogonal	1,01	36
2	Comprida	0,11	Ortogonal	0,13	13
3	Carapebus	4,11	Ortogonal	5,31	69
4	Encantada	0,05	Paralela	0,2	7*
5	Paulista	1,41	Ortogonal	2,27	18
6	Amarra-Boi	0,22	Paralela	0,27	4
7	Bezerra	0,02	Paralela	2,90*	5*
8	Garça	0,21	Paralela	31,22	13
9	Piripiri	1,17	Paralela	17	13
10	Maria Menina	0,60	Paralela	15,3	5
11	Robalo	1,25	Paralela	25,05	8
12	Visgueiro	1,21	Paralela	28,41	5
13	Catingosa	0,09	Paralela	25,31	9
14	Pires	1,59	Paralela	17,39	13
15	Preta	1,94	Ortogonal	7,51	8
16	Barrinha	0,28	Paralela	11,4	7
17	Casa Velha	0,53	Paralela	8,98	9
18	Ubatuba	0,34	Paralela	7,99	8
19	Pitanga	0,10*	Paralela	32,15	3

De acordo com pesquisas realizadas na área (Felice, 2014), pelo menos os 48 meses que antecederam a amostragem do presente estudo foram caracterizados como de baixa precipitação e determinaram o dessecamento cerca de 50% das lagoas do PARNA Restinga de Jurubatiba em janeiro de 2015. Um período curto, mas de precipitação intensa, ocorreu entre novembro e dezembro de 2013 e potencializou o aumento no volume de água da Lagoa Carapebus, a maior do PARNA Restinga de Jurubatiba. Em função do alagamento do balneário situado nas margens dessa lagoa de águas levemente salobras ($5,31 \pm 3,72$) (Caliman et al., 2010) resultou na abertura artificial da barra arenosa, depois de quatro anos do último evento registrado (Camara, 2010). O extravasamento da Lagoa Carapebus e o aporte de água marinha durante os 30 dias de conexão direta com o mar elevou a salinidade (>25), o que possivelmente possibilitou

sua colonização por organismos marinhos, a exemplo do que já foi reportado em outro estudo para este sistema (Camara, 2010).

Amostragens e procedimentos laboratoriais

Entre 19 e 21 de março de 2014 toda a extensão costeira do PARNA Restinga de Jurubatiba foi percorrida para a amostragem de *P. vivipara*. Exceto nas lagoas dessecadas (6, 13, 15, 16, 17, 18 Figura 1), em todas as demais e em dois corpos hídricos (Canal Pitanga, próximo da Lagoa Ubatuba, e Lagoa Encantada, próximo da Lagoa Paulista) arrastos marginais foram empregados com rede de 1,5m de altura, 5m de largura, e malha de 0,5cm com o objetivo de coletar um mínimo de 50 fêmeas. No caso da incidência de machos, esses não foram descartados. Em campo, todos os indivíduos coletados foram eutanasiados com overdose de benzocaína ($250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), fixados em formaldeído 10% por 14 dias e posteriormente conservados em álcool 70%.

Por ocasião das amostragens foram registradas a salinidade, temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) de cada ambiente, com a utilização de um termosalinômetro (YSI85). Amostras de 1L de água foram encaminhadas para o laboratório de Ecologia Aquática do NUPEM/UFRJ para a determinação de pH, concentração de nutrientes ($\text{N}_{\text{total}} \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $\text{P}_{\text{total}} \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), carbono orgânico dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Em laboratório, as amostras foram triadas para a separação de fêmeas e machos. Foi registrado o comprimento total de todos os indivíduos. As fêmeas foram ordenadas em função de seu comprimento. Quando coletado um contingente maior que 50 fêmeas em um dado ambiente, foram selecionadas 50 por amostra, que representavam o espectro de amplitude de variação no comprimento dos indivíduos. Além do registro do comprimento total com auxílio de um paquímetro digital (resolução 0,1mm), foi realizada a dissecação dessas fêmeas para a remoção das estruturas reprodutivas (ovócitos, embriões ou gônadas) e do terço anterior do intestino, este último para análises posteriores de dieta.

Depois de evisceradas, as fêmeas foram submetidas à estufa sob 60°C por 24h e pesadas em balança analítica, para a obtenção do peso somático seco em g. Os ovócitos e embriões de cada fêmea foram classificados em onze estágios de desenvolvimento (I a XI, seguindo a metodologia proposta por Haynes (1995). Nessa classificação, os estágios I a III se referem a ovócitos.

Lotes de embriões foram submetidos à estufa sob 60°C por 24h e pesados em balança analítica, para a obtenção do peso seco.

Análise de dados

Para resumir a matriz de variáveis limnológicas, verificar a ocorrência de um gradiente ambiental e detectar quais foram as variáveis responsáveis pelos padrões gerados, foi utilizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada sobre os valores brutos das variáveis apresentadas na Tabela 2.

Considerando que a salinidade é considerada uma característica com variação marcante entre as lagoas da área de estudo (Caliman et al., 2010; Di Dario et al., 2013), os ambientes amostrados foram separados em duas categorias: como *extremos*, foram considerados os ambientes cuja salinidade da água foi inferior a 0,5 e superior a 40, e como *intermediários* foram considerados os ambientes cuja salinidade da água esteve entre este intervalo.

Foi calculado o comprimento total médio dos indivíduos de cada ambiente, e esses valores foram comparados através de uma Anova bifatorial, considerando o sexo (fêmea e macho) e a categoria do ambiente em relação à salinidade (extremos e intermediários) como os fatores principais. A condição corpórea das fêmeas foi inspecionada visualmente a partir do desvio dos valores de peso somático seco (raiz quarta g, variável dependente) para um dado comprimento total (mm, variável preditora) entre fêmeas separadas por ambiente e categoria de ambiente. Foram elaborados histogramas para avaliar descritivamente a distribuição de comprimento total do corpo das fêmeas e determinar o comprimento total mínimo de primeira fecundação. O comprimento total mínimo de primeira fecundação foi comparado entre ambientes extremos e intermediários através do teste não-paramétrico de Mann-Whitney.

O efeito do comprimento total (mm, variável preditora contínua) na fecundidade (raiz quarta do número de embriões, variável dependente) foi avaliado através de uma regressão linear. Os resíduos dessa relação foram então inspecionados entre os ambientes. As relações entre a fecundidade (raiz quarta, variável dependente) e o comprimento total da mãe (variável preditora contínua) entre os ambientes (variável preditora categórica) foram comparadas através de uma ANCOVA. Uma ANCOVA também foi empregada na avaliação da variação do peso seco médio dos embriões (raiz quarta g, variável dependente) nos estágios de desenvolvimento (variável preditora contínua) entre os ambientes (variável preditora categórica). Para esta análise foram

considerados apenas os lotes de embriões entre os estágios IV e X, quatro observações foram eliminadas (fêmeas #136, 493, 495 e 498) por apresentarem lotes de embriões com valores de peso seco médio muito discrepantes em relação a outros lotes no mesmo estágio de desenvolvimento, um possível erro na pesagem.

O programa PC-Ord versão 4.1 (McCune, & Mefford, 1999) foi empregado para a realização da ACP. Para todas as demais análises, o programa Statistica (Statsoft, 2007) foi utilizado. Os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram alcançados em todas as comparações de médias, bem como nas análises dos resíduos das regressões e das ANCOVAs. Sempre que esses pressupostos não foram atendidos, mesmo após a transformação dos dados, análises não paramétricas foram empregadas. Para todos os testes foi adotado o nível de significância $p < 0,05$.

Resultados

Dentre os 19 ambientes aquáticos incluídos no delineamento deste estudo, quatro estavam completamente dessecados por ocasião da amostragem, sendo eles as lagoas Ubatuba, Casa Velha, Barrinha e Pires. Duas lagoas costeiras apresentavam apenas uma fina lâmina de água (Bezerra e Amarra-boi) e outras duas apresentaram valores de salinidade extremamente elevados, sendo elas as lagoas Robalo (231,2) e Visgueiro (104,8). Não foram detectados peixes nessas lagoas.

Dentre as variáveis limnológicas avaliadas, a salinidade da água e os teores de nutrientes, em especial N_{total} foram aquelas que apresentaram a maior amplitude de variação (Tabela 2) e dessa forma contribuíram desproporcionalmente mais para a formação do primeiro eixo da ACP.

O eixo 1 da ACP (ACP1) explicou 46,7% da variação das variáveis limnológicas avaliadas e capturou um gradiente de salinidade dessas lagoas. Ao longo desse eixo, as amostras foram ordenadas num gradiente crescente de salinidade e N_{total} , sendo que lagoas de água doce ou hipossalinas (como Cabiúnas e Comprida) apresentaram os escores mais negativos, lagoas de águas salobras como Pitanga, Catingosa e Preta apresentaram os escores intermediários (entre -1 e +1,) e lagoas com elevados teores e sal, ou hipersalinas como Robalo, Visgueiro e Maria Menina, apresentaram os escores mais positivos ao longo de ACP1 (Figura 2).

Tabela 2. Valores brutos das variáveis limnológicas registradas e submetidos à Análise de Componentes Principais, na coleta realizada entre os dias 19 à 21 de março, nos 19 ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba.

Ambiente	Clor. <i>a</i> (mg.L⁻¹)	COD (mg.L⁻¹)	Ptotal (mg.L⁻¹)	Ntotal(mg.L⁻¹)	OD (mg.L⁻¹)	Sal	Temp.	pH
Cabiúnas	0,97	13,9	9,27	0,55	6,93	0,2	26,9	6,81
Comprida	4,95	49,8	25,79	1,07	7,37	0,1	27,4	4,33
Carapebus	1,60	16,4	34,44	0,83	9,68	13,4	27,3	8,61
Encantada	5,28	25,4	32,95	1,04	6,84	0,4	26,7	7,48
Paulista	0,63	25,2	69,01	1,03	7,36	0,4	26,7	7,22
Amarra-Boi	4,06	172	68,14	3,35	7,55	0,2	29,1	6,46
Bezerra	0,00	68,2	43,40	1,98	7,23	1,8	28	7,18
Garça	1,61	55,8	46,13	2,43	4,61	20,5	28,7	7,87
PiriPiri	4,72	61,6	63,18	2,70	8,18	23,6	29,9	8,38
Maria Menina	39,72	103	620,68	6,94	7,63	74,3	29,1	8,37
Robalo	11,67	236	268,83	14,48	4,27	231,2	30	7,82
Visgueiro	6,39	120	338,30	9,79	5,76	104,8	29,8	8,38
Catingosa	25,53	17,3	553,38	4,78	8,47	36,4	29,7	9,44
Preta	13,17	63,5	39,18	6,66	8,44	14	28,2	8,44
Pitanga	40,83	38	673,13	6,66	10,23	39,6	25,8	8,64

O eixo 2 da ACP (ACP2) explicou outros 30,52% da variação das variáveis limnológicas e capturou um gradiente de produtividade primária dessas lagoas. Lagoas de águas escuras, húmicas e pouco oxigenadas, como Robalo e Garça foram ordenadas negativamente ao longo de ACP2, enquanto outras com as maiores concentrações de clorofila *a* e oxigenadas apresentaram os maiores escores ao longo deste eixo (Figura 2).

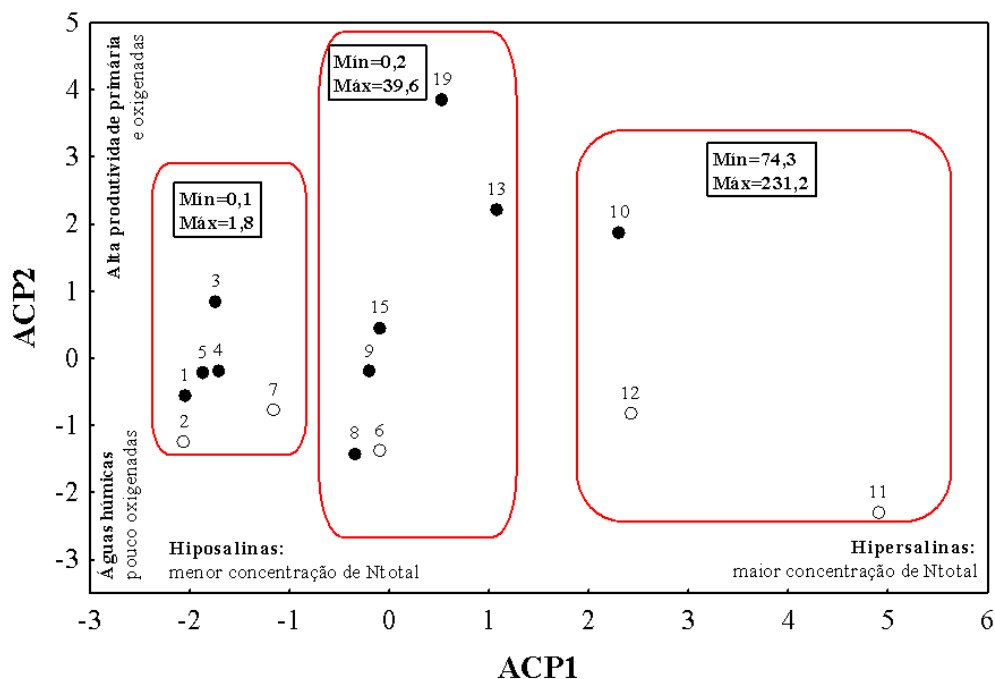


Figura 2. Ordenação das amostras ao longo dos dois primeiros eixos da ACP em função das variáveis limnológicas. Os ambientes formaram agrupamentos que refletem o gradiente de salinidade (valores mínimos e máximos de salinidade de cada faixa e gradiente é informada dentro do quadro e os nomes dos ambientes identificados pelos números são fornecidos na Tabela 1). Círculos preenchidos indicam os ambientes nos quais foi detectada a ocorrência de *Poecilia vivipara*.

Dentre os 15 ambientes aquáticos amostrados, em 11 foi detectada a ocorrência de peixes. *Poecilia vivipara* foi registrada em dez desses (nove lagoas e o canal Pitanga). Um total de 1.274 indivíduos foi coletado. Desses, apenas 320 eram machos (34%), demonstrando uma marcada desproporção na razão sexual (Tabela 3). Exemplares de *P. vivipara* foram coletados desde ambientes com baixíssima salinidade na água, como Cabiúnas, até outros hipersalinos e em pleno processo de dessecação, como a Lagoa Maria Menina (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo das capturas de *P. vivipara* efetuadas em março de 2014 em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba. O número de indivíduos coletados por sexo, a razão sexual, a proporção de fêmeas com ovócitos e embriões são apresentados, bem como a classificação de cada ambiente em relação à salinidade da água.

Ambientes	Fêmeas	Machos	♀/♂	Ovócitos e embriões (%)	Embriões(%)	Salinidade da água	Categoria
Cabiúnas	110	46	2,4	52	32	0,2	Extrema
Carapebus	59	8	7,4	52	30	13,4	Intermediária
Encantada	72	28	2,6	66	38	0,4	Extrema
Paulista	28	8	3,5	46	25	0,4	Extrema
Garça	80	34	2,4	24	14	20,5	Intermediária
Maria Menina	61	48	1,3	36	16	74,3	Extrema
Preta	42	13	3,2	74	58	14	Intermediária
Catingosa	350	89	3,9	32	26	36,4	Intermediária
Piripiri	53	5	10,6	0	0	23,6	Intermediária
Pitanga	96	44	2,2	53	24	39,6	Intermediária
Total	951	320	2,6				

A menor fêmea registrada foi oriunda da Lagoa Preta (16,87mm) e a maior foi da Lagoa Garça (59,36mm). O comprimento total médio dos indivíduos foi de $32,42 \pm 9,05$ mm, porém variou de forma pronunciada entre as lagoas. As fêmeas apresentaram, em geral, comprimentos médios maiores que os machos, em especial nos ambientes intermediários (Figura 3A).

Apesar de uma tendência de maiores comprimentos médios de machos em lagoas de salinidade intermediária em relação às fêmeas das lagoas extremas, não houve um efeito significativo da interação entre os fatores sexo e a categoria de ambiente em relação à salinidade ($F=0,03$; g.l.=1;16; $p=0,85$). De acordo com a Anova bifatorial, apenas um efeito significativo da salinidade foi detectado, indicando que tanto machos quanto fêmeas apresentam comprimento de corpo significativamente menor em lagoas que representam extremos de salinidade ($F=12,42$; g.l.=1;16; $p<0,01$) (Figura 3B).

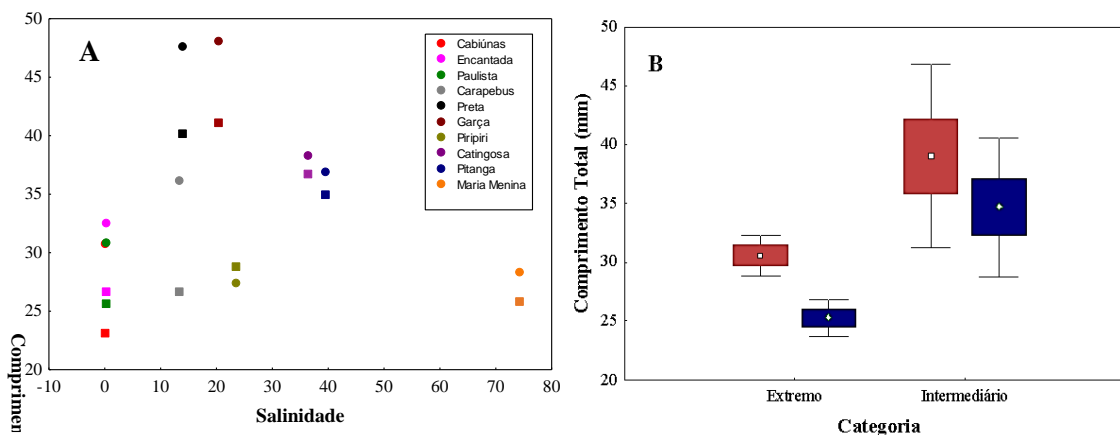


Figura 3. Variação no comprimento total médio de fêmeas (círculos) e machos (quadrados) (A) e valores médios (\pm erro e desvio-padrão) de fêmeas (vermelho) e machos (azul) (B) de *Poecilia vivipara* no gradiente de salinidade dos ambientes investigados em março de 2014 no PARNA Restinga de Jurubatiba.

O peso somático seco das fêmeas variou de 0,01501g na Lagoa Maria Menina (comprimento total 19,81mm) a 1,07902g na Lagoa Piripiri (comprimento total 58,37mm). O comprimento total foi um bom preditor do peso somático seco das fêmeas ($F=1319,42$; $r^2=0,91$; g.l.=1;127; $p<0,01$) (Figura 4A).

Ao inspecionar os pontos que representam cada observação (fêmea) na regressão linear entre o peso e o comprimento, é detectado um padrão de aumento na amplitude variação do peso de fêmeas de maiores comprimentos e que habitam os ambientes intermediários (Figura 4B; Tabela 1).

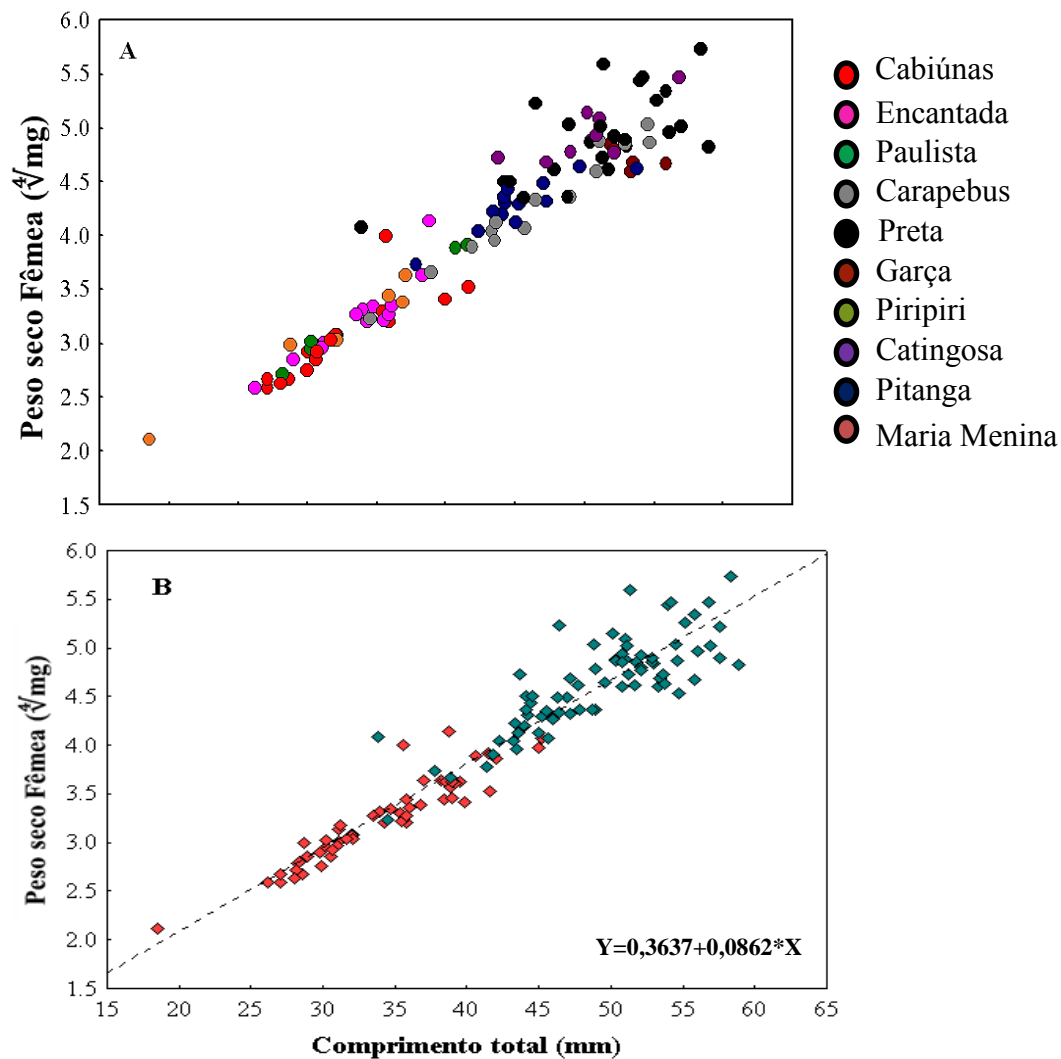


Figura 4. Relação entre o peso somático e o comprimento total de fêmeas de *Poecilia vivipara* em nove ambientes do PARNA Restinga de Jurubatiba (A), que variam quanto à salinidade da água (extremos, vermelho; intermediários, verde) (B). É fornecido o modelo que descreve a variação do peso somático em função do comprimento.

Nenhuma das 53 fêmeas amostradas na Lagoa Piripiri estava grávida, não sendo possível, portanto, determinar o menor comprimento total de uma fêmea grávida neste ambiente (Figura 5). Nas lagoas Preta, Garça e Catingosa, foi na sétima classe de comprimento total que embriões a partir do estágio IV foram registrados (43,3-47,6mm). Dentre essas lagoas, a menor fêmea que apresentou embriões foi oriunda da Lagoa Preta, com 44,12 mm de comprimento total (embriões no estágio V).

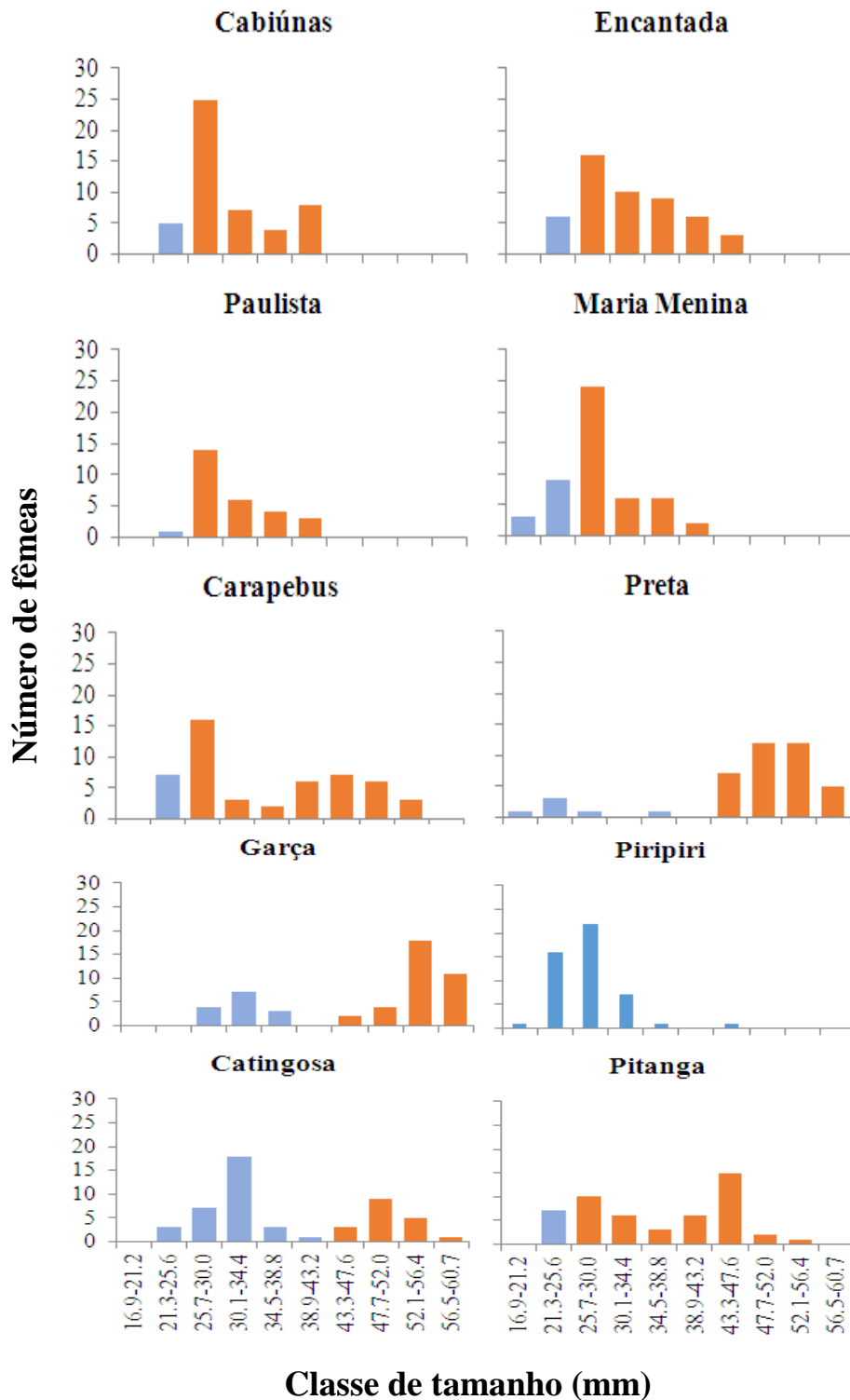


Figura 5. Distribuição das fêmeas de *Poecilia vivipara* amostradas em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba em março de 2014 em classes de comprimento. As barras azuis representam os indivíduos em classes de comprimento total para as quais não foram detectados embriões a partir do estágio IV (*sensu* Haynes, 1995).

Com exceção das lagoas Pitanga e Carapebus, todas as lagoas extremas (Maria Menina, Cabiúnas, Encantada e Paulista) apresentaram fêmeas grávidas já na terceira classe de comprimento total (25,7–30,0mm). Dentre essas fêmeas, a menor foi de Cabiúnas com 27,00mm (embriões no estágio XI). O estágio XI é considerado de acordo com a classificação de Haynes (1995) o mais avançado, quando os embriões já estão aptos a nascer (Figura 6).

O comprimento total da menor fêmea grávida foi altamente variável, sendo que as variações mais pronunciadas foram detectadas entre as lagoas intermediárias. Não foi detectado um efeito significativo da categoria de ambiente sobre esta variável ($U=4,00$; $N=5;4$; $P=0,14$) (Figura 6).

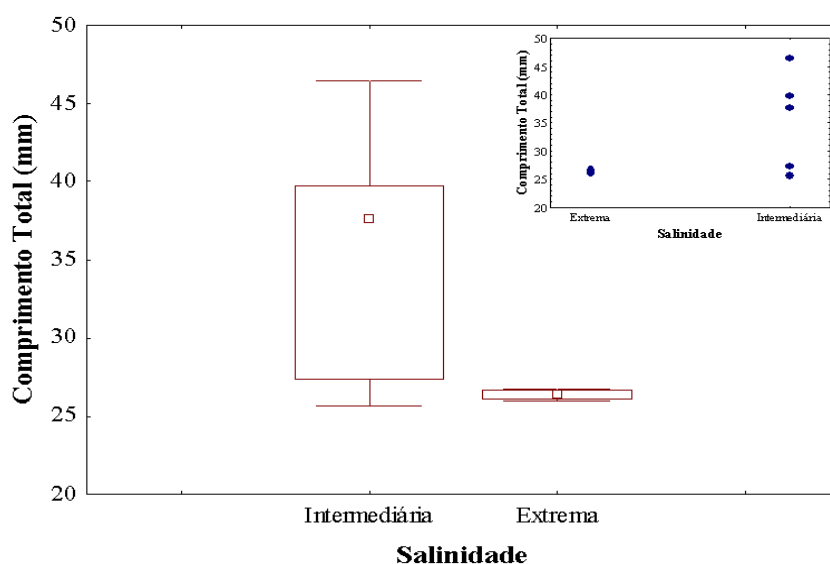


Figura 6. Comparação das medianas (\pm segundo e terceiro percentil, mínimo e máximo) do comprimento total na primeira fecundação das fêmeas de *Poecilia vivipara* amostradas em março de 2014 em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba, categorizados em ambientes extremos e intermediários em relação à salinidade (A) e a variação no espectro do comprimento total (B).

Apesar de uma maior similaridade quanto à menor classe de comprimento total em que foi encontrada fêmea grávida nas lagoas extremas, a fecundidade das fêmeas desses sistemas foi altamente variável, porém muito próxima do valor predito pelo seu comprimento. Para as fêmeas de lagoas intermediárias, uma fecundidade elevada foi detectada especialmente para aquelas fêmeas com comprimento total superior à 35mm.

O número de embriões foi maior em fêmeas maiores, que por sua vez foram mais frequentes em ambientes intermediários (Figura 7).

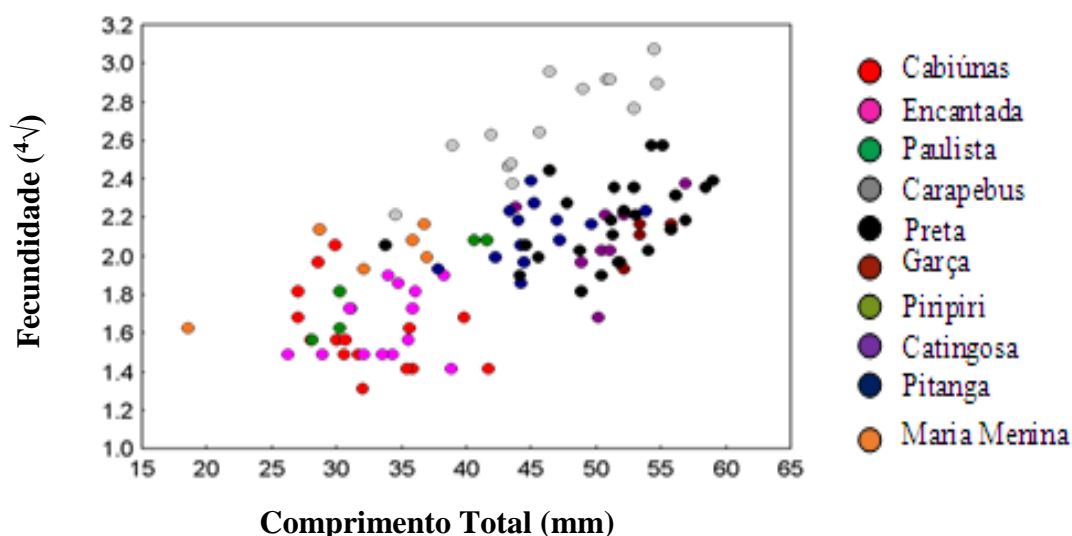


Figura 7. Relação entre a fecundidade e o comprimento total das mães de *Poecilia vivipara* amostradas em março de 2014 em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba.

A fecundidade de fêmeas foi positivamente predita pelo comprimento total da mãe, sendo que esta relação foi fortemente influenciada pelo ambiente (Tabela 4). As maiores diferenças foram observadas na fecundidade de fêmeas de uma lagoa extrema (Maria Menina) e uma intermediária (Carapebus), que foi superior ao valor predito pelos seus comprimentos (maiores valores de resíduos) (Figura 8).

Tabela 4. Resultado da ANCOVA que avaliou a relação entre o comprimento total e a fecundidade das fêmeas de *Poecilia vivipara* amostradas em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba em março de 2014.

	SQ	G.L.	QM	F	P
Intercepto	0,258197	1	0,258197	8,761307	0,003964
Lagoa	0,350027	8	0,043753	1,484666	0,174451
Lagoa*CT (mm)	1,420267	9	0,157807	5,354821	0,000008
Erro	2,563904	87	0,029470		

O fato curioso é que essas duas lagoas, uma intermediária e uma extrema, apresentarem respostas similares (valor superior ao predito para seu comprimento total), por suas fêmeas estarem em ambientes que em relação às suas classificação se

apresentaram opostos no espectro de comprimento do corpo. Fêmeas da lagoa extrema Paulista e da lagoa intermediária Pitanga apresentaram valores preditos de fecundidade muito próximos aos valores observados (menores valores de resíduos). As fêmeas das demais lagoas apresentaram uma fecundidade inferior àquela predita pelos seus comprimentos (Figura 8).

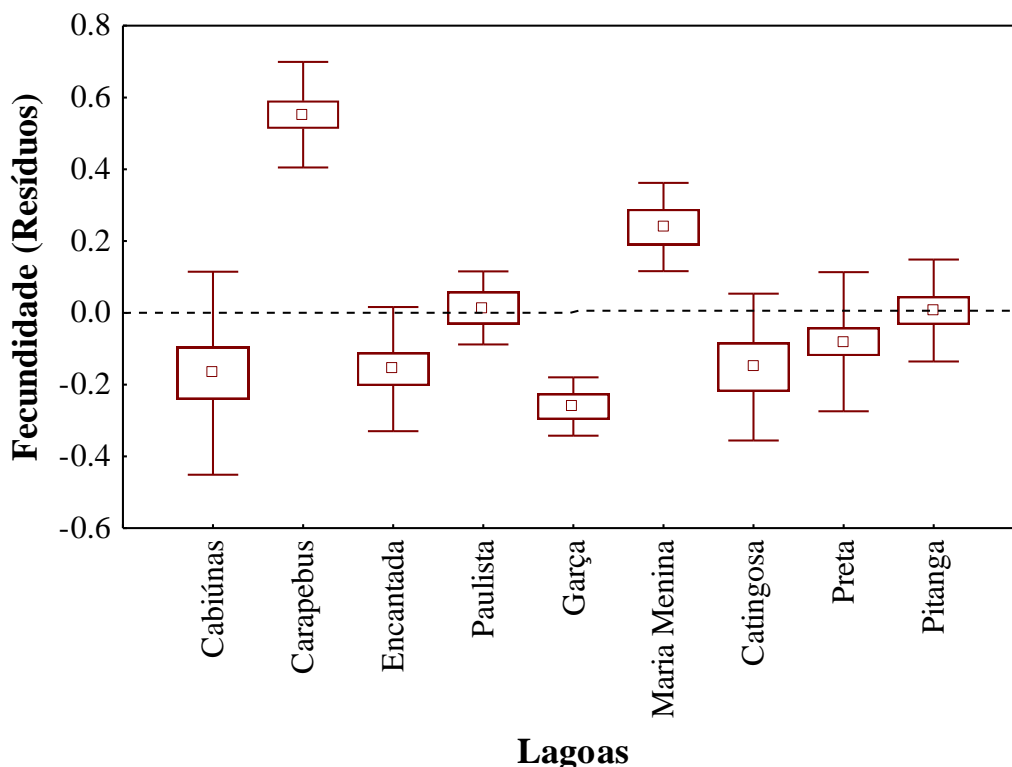


Figura 8. Variação da diferença entre os valores observados e os preditos para a fecundidade (resíduos) (média±desvio-padrão), controlando o comprimento das fêmeas de *Poecilia vivipara* amostradas em março de 2014 em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba. A linha tracejada indica quando os valores observados são iguais aos esperados na relação entre a fecundidade e o comprimento total da mãe.

Individualmente, a fecundidade variou de 1 embrião no estágio XI em uma fêmea da Lagoa Cabiúnas (31,66 mm) a 33 embriões no estágio XI na Lagoa Preta (51,34mm) (Figura 9A). Em geral as fêmeas apresentaram até vinte embriões, exceto Carapebus, lagoa na qual as fêmeas foram muito fecundas.

A relação entre peso seco médio dos embriões e os estágios de desenvolvimento foi significativa e não sofreu influência do ambiente (Termo de Interação $F=0,989$; g.l.=8;111; $p=0,449$). Descartada a interação significativa entre as variáveis predictoras,

uma ANCOVA de ângulos homogêneos foi aplicada para comparar o peso seco médio dos embriões entre os ambientes, após controlar o efeito do estágio de desenvolvimento.

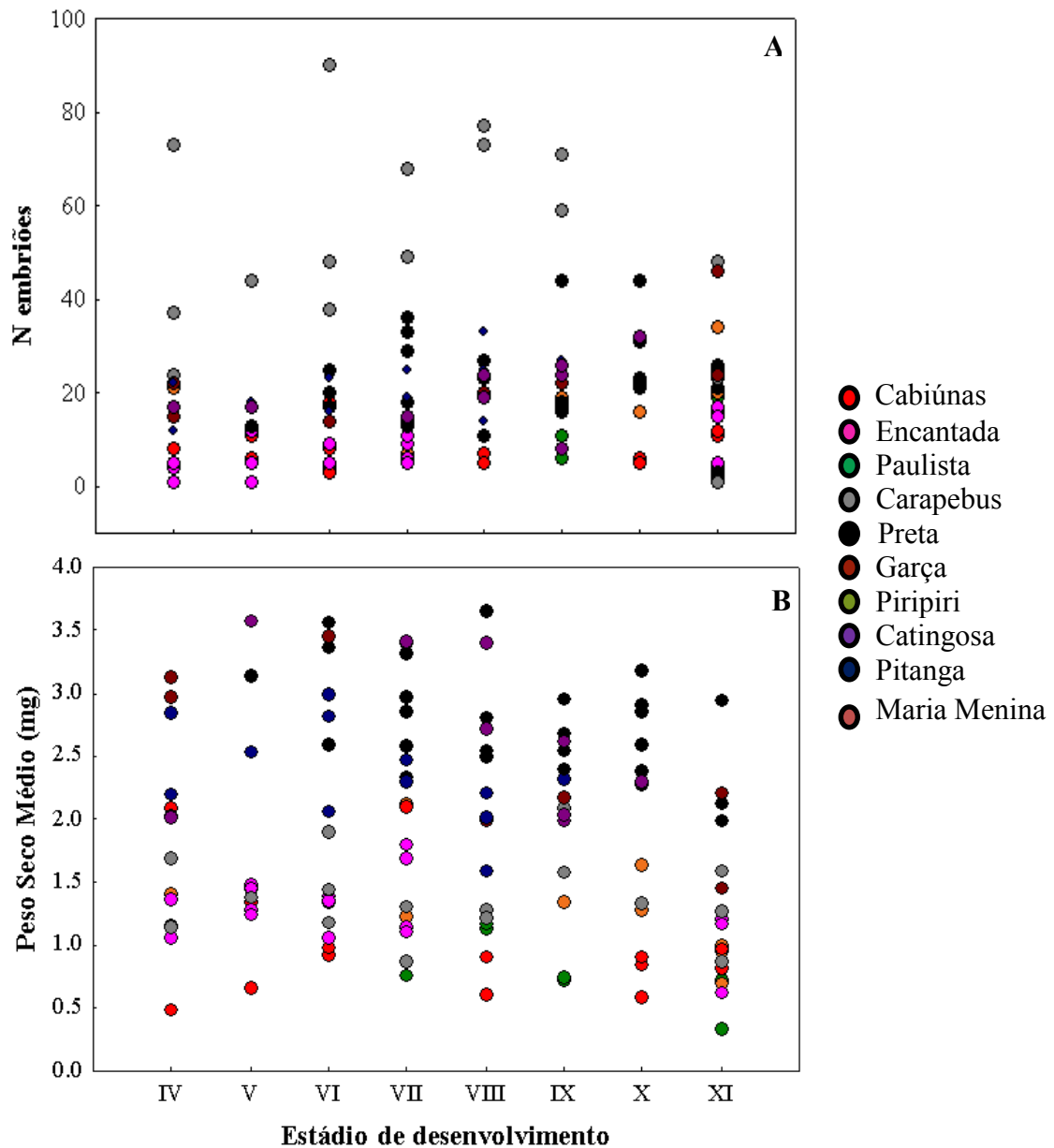


Figura 9. Relação entre a fecundidade (A) e o peso somático seco dos embriões (B) durante os estágios de desenvolvimento de *Poecilia vivipara* amostradas em março de 2014 em nove ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba.

De acordo com essa análise, o peso seco médio dos embriões diferiu significativamente entre os ambientes (Tabela 5; Figura 9B). O teste *pos hoc* indicou que essas diferenças ocorrem entre as lagoas extremas e as intermediárias, exceto Carapebus.

O peso médio dos embriões da Lagoa Carapebus foi significativamente menor que o peso médio dos embriões das demais lagoas intermediárias (Preta, Garça Pitanga e Catingosa) (Figura 10).

Tabela 5. Resultado da ANCOVA que avaliou a relação entre o peso seco médio e a estágio de desenvolvimento dos embriões de *Poecilia vivipara* entre ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba em março de 2014.

	SQ	G.L.	QM	F	P
Intercepto	0,000005	1	0,000005	27,54370	0,000001
Estágio	0,000003	1	0,000003	18,09159	0,000042
Ambiente	0,000067	8	0,000008	46,77055	0,000000
Erro	0,000021	119	0,000000		

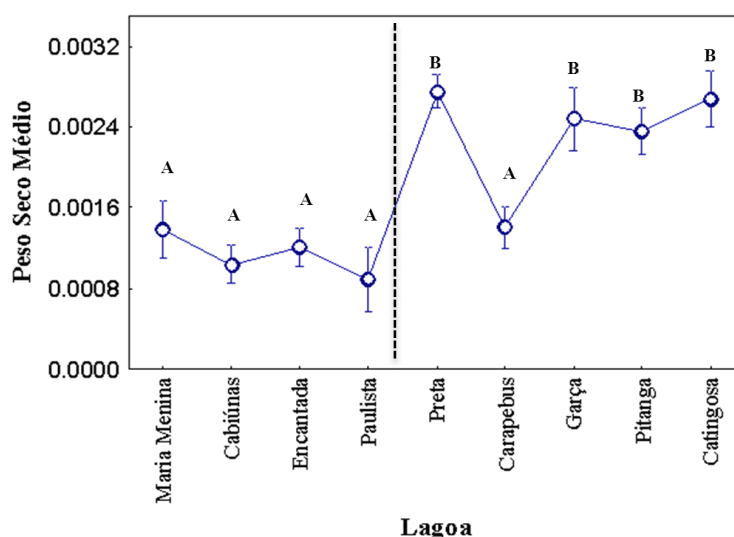


Figura 10. Variação do peso seco médio dos embriões de *Poecilia vivipara* entre os ambientes investigados em março de 2014 no PARNA Restinga de Jurubatiba, controlando o efeito do estágio de desenvolvimento ($\pm 95\%$ IC). Linha tracejada separa o conjunto de ambientes extremos e intermediários.

Discussão

Considerando sua abrangência espacial, este estudo representa um registro único de comparação interpopulacional de *P. vivipara* por ter contemplado amostragens em alguns ambientes que recentemente dessecaram em virtude da estiagem que se prolonga nos últimos cinco anos no sudeste brasileiro. Dentre os principais resultados está a determinação do amplo gradiente de salinidade (0,2-76,4) de ocorrência de *P. vivipara*,

sua fecundidade positivamente associada ao comprimento do corpo e maior peso de embriões sob condições intermediárias de salinidade da água, que poderiam refletir uma alocação nutricional maior de fêmeas em ambientes salobros na prole do que aquelas submetidas às condições hipo e hipersalinas. Um dos fatores que alteraram a leitura das categorias de lagoas extremas e intermediárias deve-se a chuva que ocorreu em dezembro de 2013, durante a estiagem. Se a barra da Lagoa Carapebus não fosse artificialmente aberta, esta lagoa seria categorizada como uma lagoa de salinidade próxima à extrema.

Considerando que dos dez ambientes investigados onde a ocorrência de peixes foi detectada, *P. vivipara* foi registrada em nove, é possível concluir que esta espécie se distribui amplamente nas lagoas do PARNA Restinga de Jurubatiba. A Lagoa Comprida foi a exceção, resultado que corrobora o levantamento de Di Dario et al. (2013), que indicam esta como a única lagoa do PARNA Restinga de Jurubatiba a não registrar a ocorrência desta espécie. Este é um fato interessante, se considerado que 13 espécies são registradas para essa lagoa, sendo que algumas dessas como *Hyphessobrycon bifasciatus*, *Geophagus brasiliensis* (em elevada densidade) e *Phalloceros harpagos* (em baixa densidade) coexistem com *P. vivipara* em outros ambientes hipossalinos similares à Lagoa Comprida, como a Lagoa Cabiúnas (observação pessoal). Diferentemente das outras lagoas hipossalinas ortogonais que apresentam uma rede de afluentes ou das lagoas salobras paralelas que se conectam às ortogonais em períodos de intensa precipitação, a Lagoa Comprida representa uma dos corpos hídricos mais desconectados hidrologicamente do PARNA Restinga de Jurubatiba. A ausência de *P. vivipara* na Lagoa Comprida não implica necessariamente no fato desta espécie ter falhado em colonizá-lo ou não ter suportado às condições estáveis de baixa salinidade deste sistema. Estudos controlados e especialmente delineados poderiam testar a hipótese de que sob condições hipossalinas *P. vivipara* apresente baixa capacidade competitiva e as espécies de peixes da Lagoa Comprida seriam potenciais candidatas para estudos experimentais envolvendo possível competição interespecífica com *P. vivipara*.

Em ambientes extremos em relação à salinidade, independentemente do gênero, indivíduos de *P. vivipara* apresentaram um menor comprimento total de corpo. Este resultado sugere que a permanência nesses ambientes hidrologicamente desconectados e que se situam nos extremos no gradiente de salinidade deve ser custosa aos indivíduos. Um padrão similar foi detectado por Martin et al. (2009) ao investigarem os efeitos da

salinidade na espécie *Gambusia affinis*. Fêmeas e machos dessa espécie apresentaram comprimento total significativamente menor em ambientes classificados como de baixa salinidade (0 à 1) em relação aqueles de ambientes salobros (8 à 15). Considerando que *P. vivipara* é uma espécie secundária de água doce (*sensu* Myers, 1938), e dada sua ancestralidade marinha, o esperado seria uma afinidade por águas salobras e relativa tolerância à salinidade da água. É possível que os extremos de salinidade registrados no presente estudo tenham sido recentemente ampliados pela forte estiagem. A hipersalinidade da Lagoa Maria Menina poderia exemplificar este fenômeno de intensificação no gradiente halino pela sequência de anos com baixa pluviosidade, pois entre julho de 2011 e julho de 2012 sua salinidade média foi de $32,4 \pm 3,6$. A pequena amplitude de variação dos registros semestrais revelada pelo valor do desvio-padrão evidencia uma relativa constância nesses valores, num período que essa lagoa seria categorizada como intermediária. Entretanto, a salinidade na Lagoa Maria Menina alcançou 159 em janeiro de 2013 (A. C. Petry, observação pessoal), quando uma intensa mortalidade de *P. vivipara* e *P. januarius* foi registrada. Centenas de carcaças dessas espécies foram avistadas nas margens da lagoa. Apesar de Maria Menina ser considerada um local importante de forrageio de aves (Tavares et al., 2014), as carcaças de Poeciliidae não foram consumidas por essas, possivelmente em função dos teores de sal concentrado nos tecidos dos peixes mortos.

É possível que este estudo tenha sido capaz de capturar a pressão exercida pela salinidade próxima ao limite tolerável aos indivíduos, que na ausência de vias e meios de emigrar dos corpos d'água experimentaram variações pronunciadas na concentração de sais dissolvidos na água. Caso esta hipótese seja válida, o aumento na salinidade de lagoas em dessecação pode ter estimulado a antecipação da maturação sexual dos indivíduos a exemplo do que possivelmente já ocorria nos limnologicamente estáveis ambientes hipossalinos como nas lagoas Cabiúnas, Paulista e Encantada. Segundo Trexler et al (1992), um crescimento mínimo no comprimento total corpóreo dos machos e uma variação mínima no comprimento total das fêmeas é registrado em *Poecilia latippina* depois que estes atingem a maturação sexual. Entretanto, a antecipação da maturação sexual pode ser vantajosa aos indivíduos que habitam ambientes restritivos, como aqueles de baixa produtividade ou com intensas pressões ambientais, como o risco de predação e a salinidade (Trexler, 1990; Gomes & Monteiro, 2007). Vale ressaltar que apesar de fatores ambientais limitarem o tamanho dos indivíduos, fatores genéticos (como o tamanho máximo do organismo modulado via

plasticidade fenotípica) também influenciam diretamente nas características da história de vida destes (Trexler et al., 1992). Sendo assim, apesar dos limites impostos pela plasticidade fenotípica, os organismos respondem a alterações do ambiente modificando aspectos de sua história de vida (Begon et al., 1996).

A baixa amplitude de variação do comprimento do corpo de fêmeas e machos, no peso das fêmeas e no comprimento mínimo de fêmeas grávidas em ambientes extremos sugere uma maior similaridade na resposta de indivíduos sujeitos a pressão ambiental mais intensa. Ou seja, quando submetidos a um mesmo fator de pressão ambiental, características que exprimem o balanço de alocação de recursos entre crescimento, manutenção e reprodução convergem para respostas similares com valores menores e menos variáveis, mesmo que em extremos opostos do gradiente. Ambientes aquáticos hipersalinos são considerados os mais extremos para a manutenção dos organismos e contribuem para formar uma matriz ecológica por evolução de complexos de espécies pelas limitações impostas pela salinidade e que comprometem a eficiência da homeostase (Herbst, 2001; Gonzalez, 2012). Este mecanismo explicaria o fato de que ambientes extremos como as lagoas Maria Menina (elevada salinidade) ou Cabiúnas (hipossalinidade) são habitados por fêmeas de comprimento total menor, maturação sexual antecipada e carregando embriões em classes de comprimento muito inferiores às fêmeas de ambientes intermediários.

No norte fluminense, os primeiros estudos sobre os efeitos de fatores exógenos sobre o comprimento total e a fecundidade de *P. vivipara* foram realizados por Gomes & Monteiro (2007). De acordo com esses autores, a pressão de predação pela traíra *Hoplias malabaricus* influencia diferentemente a fecundidade, o tamanho dos embriões e dos adultos. No nordeste brasileiro, menores tamanhos de corpo de adultos, número e tamanho de embriões de *P. vivipara* foram associados a pressões de competição com espécies não-nativas na bacia do rio Sergipe (Pereira, 2013). De forma semelhante, os resultados deste trabalho sugerem que a salinidade exerce uma pressão sobre os indivíduos adultos de *P. vivipara*, de modo que em extremos de salinidade os indivíduos sejam generalizadamente menores e as fêmeas iniciem a reprodução antecipadamente.

Uma característica da viviparidade é o investimento energético e proteção à prole, que maximizam o desenvolvimento do embrião até seu nascimento. Esta estratégia reprodutiva, no entanto, demanda elevado gasto energético, que inclui até mesmo os custos com o deslocamento, fuga e suscetibilidade à predação (Winemiller,

1989; Vazzoler 1996; Royle et al., 2012). Ou seja, o investimento energético na manutenção da prole compromete a condição corpórea do adulto. No caso de pais que experimentam pressão seletiva, isto implicaria em um menor investimento energético na prole (Royle et al., 2012).

Caso isto se aplique para *P. vivipara* no gradiente de salinidade do PARNA da Restinga de Jurubatiba, as maiores diferenças nas características da história de vida deveriam ser detectadas ao se comparar os indivíduos sob salinidades extremas e intermediárias. Nesses ambientes extremos, especialmente naqueles com intensas variações na salinidade, a osmorregulação possivelmente demanda um alto custo energético (Sibly & Calow, 1989). Sendo assim, do ponto de vista ecológico, parece mais vantajoso para o indivíduo que está sujeito a uma intensa pressão seletiva investir numa prole numerosa, com menor provisionamento materno para o embrião, de forma a garantir o sucesso reprodutivo, mediando de maneira eficiente o gasto energético na manutenção de seu corpo e na reprodução. De acordo com as predições da Teoria da História de Vida, fêmeas de igual investimento reprodutivo maximizam seu tempo de vida melhorando sua condição corpórea, investindo menos energia na produção de uma prole maior em número mas de tamanho menor em ambientes estáveis, que apresentam alta mortalidade de juvenis ou altos níveis de competição por recursos (Martin et al., 2009).

Os resultados do presente estudo confirmam essas predições, pois as fêmeas da Lagoa Maria Menina apresentaram tanto uma fecundidade superior ao esperado para seu comprimento corpóreo quanto embriões de peso relativamente baixo, esta última resposta generalizada para as lagoas extremas. Um fato que a primeira vista pode parecer curioso foi que as fêmeas da lagoa intermediária Carapebus apresentaram um padrão similar às da Maria Menina (elevada fecundidade, peso relativamente baixo dos embriões). Por ocasião das amostragens, a Lagoa Carapebus respondia limnologicamente às condições impostas pela abertura de sua barra arenosa, quando organismos de origem marinha e aqueles das drenagens continentais estavam sujeitos a águas temporariamente salobras. Considerando as taxas de crescimento de juvenis de *P. vivipara* sob condições experimentais, nas quais são necessários pelo menos 40 dias para a maturidade sexual, o nascimento dos indivíduos amostrados em Carapebus foi anterior à abertura da barra arenosa. Isto ajuda a explicar o fato das respostas dos indivíduos da Lagoa Carapebus serem mais similares às daquelas das lagoas extremas, uma

vez que a salinidade da água dessa lagoa não ultrapassa $\approx 8,00$ nos extensos períodos de tempo que permanece desconectada diretamente do mar.

Tanto hipossalinidade quanto hipersalinidade parecem ter causado respostas equivalentes relacionadas à reprodução em *Poecilia vivipara*. A intensificação do gradiente de salinidade tanto por alterações nos padrões pluviométricos quanto pela intensidade da influência oceânica é uma característica não exclusiva dos ambientes aquáticos do PARNA de Jurubatiba. Replicar a abordagem deste estudo em outros sistemas costeiros independentes, formados por outras populações-fonte poderia auxiliar a compreender se a intensidade das respostas detectadas se mantem em escalas geográficas mais amplas e sob outros agentes de pressão.

Considerações finais do Capítulo I

- A estrutura em comprimento, fecundidade e investimento materno de *Poecilia vivipara* responderam ao gradiente natural de salinidade detectado.
- Lagoas com salinidade intermediária apresentaram os maiores indivíduos, as fêmeas mais fecundas e os embriões mais pesados.
- Entretanto, fêmeas menores de lagoas que passaram por mudanças bruscas e recentes na salinidade apresentaram uma fecundidade maior que aquela predita para seus comprimentos de corpo.

Referências

- Baldisseroto, B. 2009. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 2^a Ed. Santa Maria, Editora da UFSM.
- Baldisseroto, B., Mancera, J.M., Kapoor, B.G. 2007. *Fish osmoregulation*. 1.ed. New Hampshire, Science Publishers.
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3^a ed Massachusetts, Sinauer Associates Inc. Publishers,
- Betito, R. 2006. “Comparação da complexidade das adaptações bioecológicas de dois peixes (*Jenynsia multidentata* e *Poecilia vivipara*) (Cyprinodontiformes) no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)”. *Revista Didática Sistêmica*, 3:71-100.
- Boeuf, G. & Payan, P. 2001. “How should salinity influence fish growth?” *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130:411-423.
- Caliman, A., Carneiro, L. S., Santangelo, J. M., Guariento, R. D., Pires, A. F. P., Suhett, A.L., Quesado, L. B., Scofield, V., Fonte, E.S., Lopes, P.M., Sanches, L. F.

- Azevedo, F. D., Marinho, C. C., Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Farjalla, V. F. 2010. "Temporal coherence among tropical coastal lagoons: A search for patterns and mechanisms." *Brazilian Journal of Biology*, 70 (3), 803-814.
- Camara, E. M. 2010. *Gradientes ambientais e a ictiofauna litorânea de ecossistemas costeiros: os efeitos de aberturas da barra arenosa em duas lagoas do sudeste brasileiro, RJ*. Dissertação de Mestrado em Ecologia. UFRJ, RJ, Brasil.
- Di Dario, F., Petry, A. C., Maia, M. S. P., Mincarone, M. M., Soares, L. A., Camara, E. M., Caramaschi E. P., de Britto, M. R. 2013. "An update on the fish composition (Teleostei) of the coastal lagoons of the Restinga de Jurubatiba National Park and the Imboassica Lagoon, northern Rio de Janeiro State." *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(3), 257-278.
- Felice, B. C. *Dinâmica de metacomunidades de peixes em ecossistemas costeiros: uma abordagem com lagoas e poças do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba*. 2014. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, RJ. Brasil.
- Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K. O., Raseira, M. B. 2004. "Reproductive cycle and spatiotemporal variation in abundance of the one-sided livebearer *Jenynsia multidentata*, in Patos Lagoon, Brazil". *Hydrobiologia*, 515: 39-48.
- Gomes-Jr, J. L. & Monteiro, R. L. 2007. "Size and fecundity variation in populations of *Poecilia vivipara* Block & Schneider (Teleostei; Poeciliidae) inhabiting an environmental gradient." *Journal of Fish Biology*, 71: 1799-1809.
- Gomez-Mestre, I. & Tejedo, M. 2003. "Local adaptation of an anuran amphibian to osmotically stressful environments." *Evolution*, 57(8), 1889-1899.
- Gonzalez, R. J. 2012. "The physiology of hyper-salinity tolerance in teleost fishes: a review." *Journal of Comparative Physiology B*, 182: 321-329.
- Goyenola, G., Iglesias, C., Mazzeo, N., Jeppesen, E. 2011. "Analysis of the reproductive strategy of *Jenynsia multidentata* Cyprinodontiformes, Anablepidae) with focus on sexual differences in growth, size, and abundance." *Hydrobiologia*, 673:245-257.
- Griffith, R. W. 1974. "Environment and salinity tolerance in the genus *Fundulus*." *Copeia*, 2:319-331.
- Haynes, J. L. 1995. "Standardized classification of Poeciliid development for life-history studies." *Copeia*, 1:147-154.
- Helfman, G. S., Collette, B. B. D., Facey E., Bowen, B. W. 2009. "The diversity of fishes: Biology, Evolution, and Ecology." West Sussex, Wiley-Blackwell.
- Herbst, D. B. 2001. "Gradients of salinity stress, environmental stability and water chemistry as a templet for defining habitat types and physiological strategies in inland salt Waters." *Hydrobiologia*, 466:209-219.
- Herbst, D. B., Roberts, S. W., Medhurst, R.B. 2013. "Defining salinity limits on the survival and growth of the benthic insects for the conservation management of saline Walker lake, Nevada, USA." *Journal of Insect Conservation*, 17(5), 877-883. DOI 10.1007/s10841-013-9568-6
- Lucinda, P. H. F. 2003. "Family Poeciliidae". In R.E Reis, S.O Kullander, C.J. Ferraris, editores. *Check list of the freshwater fishes of South and central Central America*. Porto Alegre, Editora Edipucrs.
- Marsh-Mathews, E. & R. Deaton. 2006. "Resources and offspring provisioning: A test of the Trexler - De Angelis model for a matrotrophy evolution." *Ecology*, 87 (12), 3014-3020.
- Martin, S., A. T. Hitch, K. M. Purcell, Klerks P. L., Leberg, P. L. 2009. "Life history variation along a salinity gradient in coastal marshes." *Aquatic Biology*, 8:15-28.

- McCune, B. & Mefford, M. J. 1999. "Multivariate Analysis of Ecological Data." Version 4.10, MjMsoftware, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A
- Minello, M. 2004. *Metanogênese sob a variação de salinidade em lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro (Brasil): Implicações nas condições osmóticas e na competição por substratos*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- Myers, G. L. 1938. *Fresh-water fishes and West Indian zoogeography*. In Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, p. 339-364.
- Pereira, M. S. A. 2013. *Vivendo com estranhos: avaliação populacional e da tática reprodutiva do barrigudinho *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider, 1801 frente a outros poeciliidae não-nativos na bacia do rio Sergipe*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Sergipe, Sergipe, SE. Brasil.
- Royle, J. A., Chandler, R. B., Yackulic, C., Nichols, J. D. 2012. "Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions". *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 545-554.
- Shikano, T. & Fujio, Y. 1998. "Immunolocalization of Na⁺/K⁺-ATPase in branchial epithelium of chum salmon fry during seawater and freshwater acclimation." *Journal of Experimental Biology*, 201(22), 3031-3040.
- Sibly, R. M., & Calow, P. 1989. "A life-cycle theory of responses to stress." *Biological Journal of the Linnean Society*, 37(1-2), 101-116.
- StatSoft. 2007. "STATISTICA (data analysis software system)." version 8.0. Available from: <www.statsoft.com>
- Stearns, S. C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford, Oxford University Press.
- Tavares, D. C., Moura, J. F., Amorim, C. E., Siciliano, S. 2014. "Distribution and abundance of the Grey-headed Gull *Chroicocephalus cirrocephalus* (Vieillot, 1818) in Rio de Janeiro, Southeastern Brazilian coast." *Revista Brasileira de Ornitologia-Brazilian*, 21(53), 8.
- Thibault, R. E. & Schultz, R. J. 1978. "Reproductive adaptations among viviparous fishes (Cyprinodontiformes: Poeciliidae)." *Evolution*, 32 (2), 320-333.
- Trexler, J. C. 1985. "Variation in the degree of viviparity in the Sailfin Molly, *Poecilia latipinna*." *Copeia*, 4:999-1004.
- Trexler, J. C. & DeAngelis, D. L. 2003. "Resource allocation in offspring provisioning: an evaluation of the conditions favoring the evolution of matrotrophy." *The American Naturalist*, 162:574-585
- Trexler, J. C., & Travis, J. 1990. "Phenotypic plasticity in the sailfin molly, *Poecilia latipinna* (Pisces: Poeciliidae). I. Field experiments." *Evolution*, 143-156.
- Trexler, J. C., Travis, J., McManus, M. 1992. "Effects of habitat and body size on mortality rates of *Poecilia latipinna*." *Ecology*, 2224-2236.
- Vazzoler, A. E. A. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá, Eduem.
- Winemiller, K. O. & Rose, K. A. 1992. "Patterns of life-history diversification in North American fishes: implications for population regulation." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(10), 2196-2218.
- Winemiller, K. O. 1989. "Patterns of variation in life-history among South American fishes in seasonal environments." *Oecologia*, 81:225-241
- Wourms, J. P., & Demski, L. S. 1993. "The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes: introduction, history, overview, and future prospects." In *The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes*. Springer Netherlands.

- Yancey, P. H., Clarck, M. E., Hand, S. C., Bowwllus, D. R. e Somero, G. N. 1982. "Living with water stress: evolution of osmolyte systems." *Science*, 217:1214-1222.
- Zúñiga-Vega, J. J., Suárez-Rodríguez, M., Espinosa-Pérez, H., Johnson, J. B. 2011. "Morphological and reproductive variation among populations of the Pacific molly *Poecilia butleri*." *Journal of Fish Biology*, 79 (4), 1029-1046.
- Zúñiga-Vega, J. & Reznick, D. N., Johnson, J. B. 2007. "Habitat predicts reproductive superfetation and body shape in the livebearing fish *Poeciliopsis turrubarensis*." *Oikos*, 116 (6), 995-1005.

Capítulo II

Dinâmica reprodutiva intraanual de *Poecilia vivipara* sob diferentes regimes de variação da salinidade da água

Introdução

População é definida como um conjunto de organismos da mesma espécie, que ocupam um espaço particular e integram uma comunidade biológica (Odum & Barrett, 2007). A variação no tamanho de uma população é determinada pelas taxas per capita de imigração e emigração, natalidade e mortalidade (Ricklefs, 2010). Nesse sentido, a reprodução é um processo determinante do tamanho populacional, estreitamente relacionado à natalidade. Ao transmitir aos seus descendentes mudanças ocorridas em seu genoma, um indivíduo contribui para o ajuste da próxima geração às condições vigentes, de forma a promover a viabilidade da população, enquanto as taxas de natalidade se igualarem ou superarem as de mortalidade (Vazzoler, 1996; Townsend et al., 2005).

A taxa de natalidade dos animais está intimamente relacionada às variações ambientais que podem modificar características na história de vida dos organismos, de acordo com os limites da plasticidade fenotípica e do balanço energético de mediação dos recursos adquiridos entre a manutenção somática, o crescimento e a reprodução (Begon et al., 1996; Townsend et al., 2005). Dentre as características da história de vida de um indivíduo estão sua idade de primeira reprodução, a parição (número de episódios reprodutivos), a fecundidade (número de embriões/filhotes produzidos por evento reprodutivo) e o envelhecimento (Ricklefs, 2010). Em peixes, por exemplo, essas características respondem fortemente às variações sazonais de temperatura, duração do dia e da hidrologia (Tedesco et al., 2008).

Regiões áridas e semiáridas, nas quais a precipitação anual varia entre 25 e 500mm, ocupam 1/3 da superfície da Terra. Os ambientes aquáticos nessas áreas tendem a sofrer intensa evaporação e as concentrações de variáveis químicas podem se intensificar, como por exemplo, o incremento nos teores de sais dissolvidos (Williams, 1999). Em relação aos organismos aquáticos que habitam esses ambientes, espera-se que respondam por meio de uma certa flexibilidade em características de sua história de

vida, de forma a ajustarem suas demandas conflitantes como o investimento na manutenção e na prole, por exemplo, às condições que por vezes podem ser limitantes à manutenção da própria vida (Jørgensen, 1997; Nelson et al., 1998; Boeuf & Payan, 2001).

A espécie *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider, 1801, por exemplo, alcança populações numerosas em ambientes costeiros salobros, porém é também encontrada em águas doces ou suportando salinidades superiores à água do mar, quando confinada em corpos d'água sob forte regime de dessecação e aumento das concentrações de sais dissolvidos na água (Felice, 2014). Se distribui desde a Venezuela até o rio La Plata, na Argentina (Lucinda, 2003). No norte do Rio de Janeiro, *P. vivipara* é a espécie de peixe com a distribuição mais ampla no complexo formado por duas dezenas de lagoas costeiras que formam um gradiente natural de salinidade no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Restinga de Jurubatiba) (Di Dario et al., 2013). Dessa forma, a espécie poderia se constituir numa candidata adequada para a investigação de que, pela plasticidade fenotípica, *P. vivipara* seja capaz de responder diferencialmente a pressões ambientais tais como a variação da salinidade.

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a variação intraanual em características da história de vida de *P. vivipara* em corpos d'água que diferem na amplitude de variação da salinidade. Utilizando o comprimento total do corpo, o comprimento total mínimo da primeira fecundação, a fecundidade e a frequência de fêmeas grávidas como características, testou-se a hipótese de trabalho de que *a salinidade da água desempenha um importante papel modulador da dinâmica reprodutiva de P. vivipara, com reflexos na estrutura de suas populações*. Caso esta hipótese seja corroborada, a variação interindividual dentro de cada população seria positivamente correlacionada com a amplitude de variação da salinidade da água.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

As 18 lagoas situadas no PARNA Restinga de Jurubatiba diferem em suas características físicas (como área e perímetro), limnológicas, na orientação em relação

ao mar [ortogonais e paralelas, *sensu* Caliman et al. (2010)], e conseqüentemente, em sua ictiofauna (Di Dario et al., 2013). Essas lagoas não apresentam conexão direta com o mar e a dinâmica de suas variáveis limnológicas está estritamente relacionada com o regime pluviométrico local e os aportes esporádicos de água em eventos de intrusão marinha e constantes via percolação pela barra arenosa. Segundo Kjerfve (1994), os teores variáveis de sais dissolvidos determinam um gradiente de lagoas de água doce a hipersalina, dependendo do balanço hidrológico local.

Os quatro ambientes selecionados para este estudo contemplam toda a extensão de 40km do PARNA Restinga de Jurubatiba (Figura 1). A Lagoa Cabiúnas, também conhecida como Jurubatiba, que se situa no limite sul do parque, foi um dos primeiros alvos de investigação por pesquisadores na década de 1990 (Prast-Enrich et al., 2004). Esta lagoa ortogonal apresenta uma área de 0,34km² e recebe o aporte de alguns pequenos cursos d'água e do canal Campos-Macaé. Cabiúnas é considerada uma lagoa de água doce, cuja salinidade tende a ser baixa e constante (0,2) (Bove & Paz, 2009; Caliman et al., 2010).

A Lagoa Preta, também ortogonal em relação à costa, apresenta uma área de 1,94km² e uma maior variação na salinidade da água (7,51±9,6) (Caliman, 2010). Apesar de receber aporte do rio Preto, durante os primeiros anos da década de 2000, marcados por intensa estiagem, se caracterizava como uma lagoa hipersalina (53,4) (Prast-Enrich et al., 2004).

A Lagoa Catingosa está paralelamente orientada em relação à costa, apresenta uma área entre 0,20km² (A. C. Petry, comunicação pessoal) e relativamente elevada e variável salinidade (13,6±15) (Felice, 2014).

O Canal Pitanga, um corpo d'água situado no limite norte do parque, é um remanescente da Lagoa Ubatuba, uma lagoa paralela com uma área total de 0,34km², e também salinidade elevada e variável (30,66±30,18) (Caliman et al., 2010).

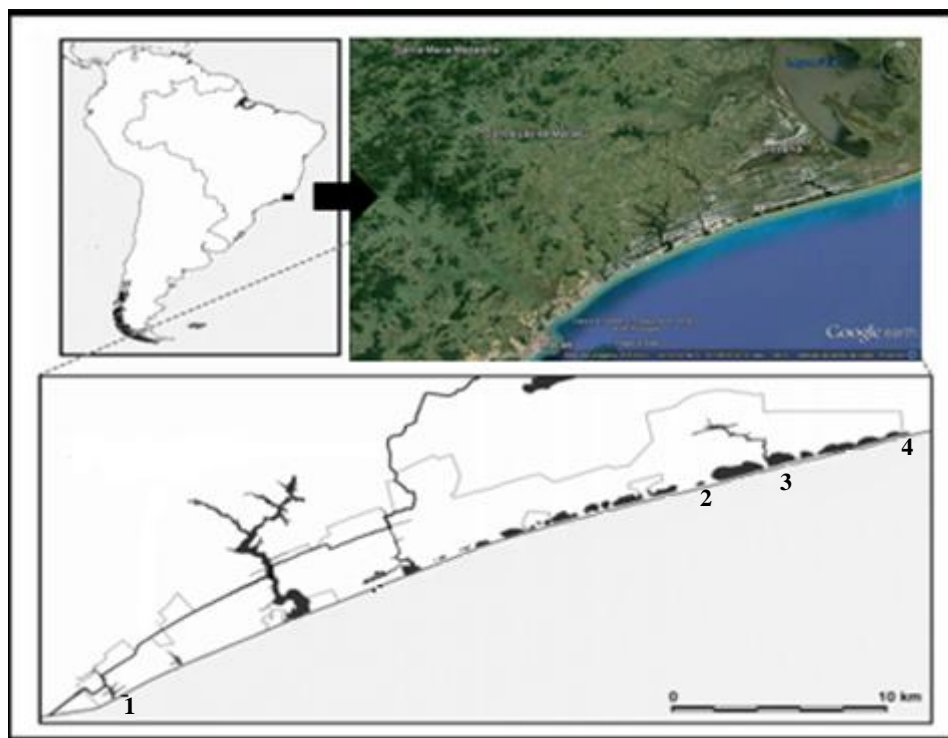


Figura 1. Representação esquemática das lagoas localizadas no PARNA Restinga de Jurubatiba, norte fluminense. Os ambientes aquáticos contemplados no presente estudo são as lagoas Cabiúnas (1), Catingosa (2), Preta (3) e o Canal Pitanga (4) (Modificado de Di Dario et al., 2013).

Desde o início da década de 2010, os verões no norte fluminense, historicamente considerados no período chuvoso, tem sido marcados por baixos índices de precipitação (Figura 2A). O presente estudo foi realizado entre maio de 2013 e abril de 2014. Apenas em cinco dos 12 meses nesse período foram registrados acumulados de precipitação superiores a 50mm (Figura 2). Considerando as médias históricas além dos registros da pluviosidade no período do presente estudo, os meses compreendidos entre maio e setembro de 2013 e o mês de abril de 2014 foram considerados de Estiagem e os meses compreendidos entre outubro de 2013 e março de 2014 foram considerados Chuvosos (Figura 2B).

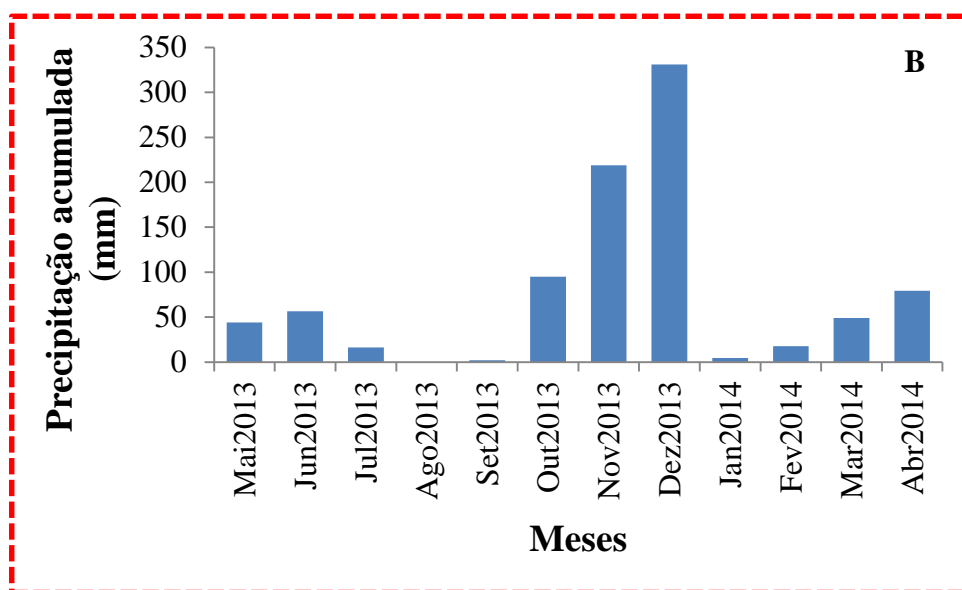
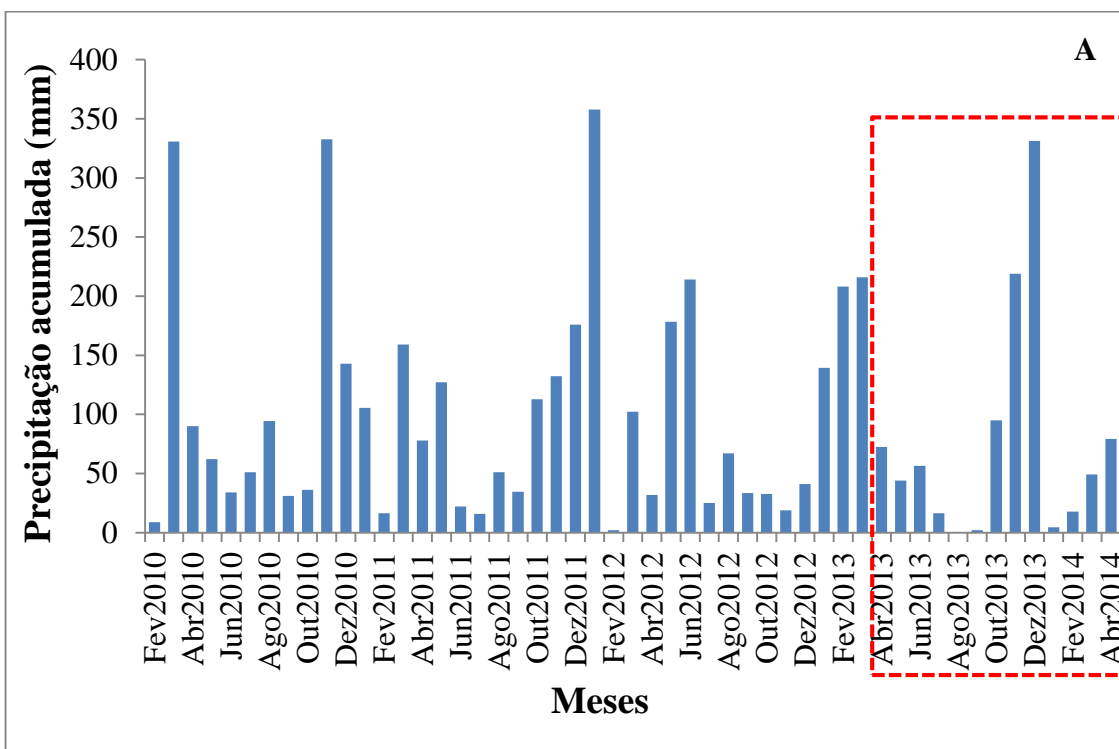


Figura 2. Acumulado mensal da precipitação no norte fluminense, entre os anos 2010 e 2014 (A), destacando no retângulo vermelho o período no qual foi realizado o presente estudo (B). Fonte: INMET, estação de Macaé/RJ.

Amostragens e procedimentos laboratoriais

Os peixes foram coletados mensalmente, entre maio de 2013 e abril de 2014. Arrastos marginais foram empregados com rede de 1,5 m de altura, 5 m de largura, e

malha de 0,5cm com o objetivo de coletar um mínimo de 50 fêmeas de *P. vivipara* em cada ambiente. Em campo, todos os indivíduos coletados foram anestesiados com benzocaína (250mg.L⁻¹), fixados em formaldeído 10% por 14 dias e posteriormente conservados em álcool 70%.

Por ocasião da amostragem dos peixes, três variáveis ambientais foram registradas com o auxílio de um termosalinômetro (YSI Yellow Spring): salinidade, temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹). Amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Ecologia Aquática do NUPEM/UFRJ para a determinação do pH, concentração de nutrientes (N_{total} µmol.L⁻¹; P_{total}, mg.L⁻¹) e carbono orgânico dissolvido (COD mg.L⁻¹).

Em laboratório, após a triagem dos indivíduos para a confirmação da espécie e do sexo (*P. vivipara* e fêmeas, respectivamente), foi registrado o comprimento total e padrão (paquímetro digital Mitutoyo, resolução 0,01mm) e realizada a dissecação das fêmeas, retirando os ovócitos/embriões ou gônadas e o terço anterior do intestino, este último para análises posteriores. As fêmeas foram submetidas à estufa em temperatura média de 60°C por 24h e posteriormente pesadas, para obtenção do peso somático seco. Os embriões de cada fêmea foram classificados de acordo com os estágios de desenvolvimento propostos por Haynes (1995). Este autor caracterizou o desenvolvimento embrionário de *Heterandria formosa* e *Gambusia affinis* e sua ferramenta metodológica tem sido amplamente utilizada em estudos que avaliam a variação no desenvolvimento embrionário e provisionamento materno de peixes da família Poeciliidae (Arcanjo et al., 2014; Ghalambor et al., 2004).

De acordo com a classificação de Haynes (1995), os três primeiros estágios (estágios I a III) caracterizam a maturação do ovócito (não fecundado), o estágio IV caracteriza o primeiro estágio do embrião (óvulo apresentando pólo vegetal e animal) e entre os estágios V e XI o desenvolvimento do embrião, que considera o desenvolvimento dos olhos, das nadadeiras ímpares, o padrão de pigmentação e o aumento do tamanho do corpo. No presente estudo, o estágio I não foi considerado nas análises, enquanto os estágios II à XI foram considerados para o cálculo da fecundidade. Foram consideradas fêmeas grávidas todas aquelas que apresentaram embriões a partir do estágio IV. Assim, o comprimento total na primeira fecundação foi considerado o

menor comprimento no qual foi detectada a ocorrência de uma fêmea com embriões em estágio inicial de desenvolvimento (estágio IV, *sensu* Haynes, 1995).

Análise de Dados

Com o objetivo de identificar os parâmetros que explicaram a maior parte da variação limnológica dos ambientes e investigar possível variação espacial e/ou temporal nos fatores físicos e químicos foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (ACP) à matriz das variáveis físicas e químicas das 48 amostras. Estes dados foram logaritimizadas ($\log_{10}X+1$, exceto o pH) e a ACP foi aplicada com a utilização do programa PC-ORD 4.10, utilizando o critério de Broken–Stick para a seleção dos eixos a serem retidos para a interpretação (McCune & Mefford, 1999).

A elaboração de um histograma da distribuição bimestral das fêmeas investigadas em classes de comprimento possibilitou uma análise exploratória sobre a ocorrência de picos uni ou multimodais no recrutamento. As doze classes de comprimento utilizadas nessa abordagem foram determinadas a partir do postulado de Sturges. Foi calculado o valor da mediana do comprimento total de fêmeas para cada uma das 48 amostras. Sobre esses valores foi aplicada uma ANOVA bifatorial, testando um possível efeito do ambiente e da estação do ano (estiagem ou chuvosa) sobre o comprimento que divide os indivíduos entre a metade com comprimentos inferiores e outra metade com comprimentos superiores a ele. Para cada classe de comprimento foi calculado o valor médio da fecundidade e a frequência de fêmeas com ovócitos ou embriões. A variação mensal na frequência dos estágios de desenvolvimento embrionário foi inspecionada para cada ambiente, considerando a ocorrência dos estágios II a XI. A frequência mensal de fêmeas grávidas foi comparada entre as lagoas, sendo que sempre que esses valores atingiram 60%, foi considerada a ocorrência de um pico reprodutivo.

Correlações de Spearman foram aplicadas aos valores de frequência de fêmeas grávidas com o objetivo de explorar uma possível associação na variação intraanual entre os quatro ambientes. Valores significativos de correlação indicariam um relativo sincronismo entre essas populações. Um possível efeito do ambiente e da estação do ano (estiagem ou chuvosa) na frequência de fêmeas grávidas foi avaliado através de uma ANOVA bifatorial. A variação na relação entre o comprimento (classes de comprimento, variável preditora contínua) e a fecundidade (raiz quadrada da

fecundidade média, variável resposta) entre os ambientes (variável preditora categórica) foi explorada a partir de uma ANCOVA. Todas as análises foram realizadas com o uso do programa Statistica (Statsoft, 2007) e o nível de significância adotado em todos os testes foi $p < 0,05$.

Resultados

Os quatro ambientes selecionados para o presente estudo e monitorados no decorrer de um ano representam o gradiente halino reconhecido para o PARNA Restinga de Jurubatiba, que variou de 0,2 na lagoa Cabiúnas (durante todo o ano) à 49,6 na Lagoa Catingosa (março de 2015). A temperatura da água, com um valor médio de $26 \pm 0,7^\circ\text{C}$, não apresentou variações pronunciadas em cada ambiente nem entre os ambientes (Figura 3).

Os teores de oxigênio dissolvido foram mais elevados no período de estiagem, apresentando picos de concentrações entre os meses de julho à setembro de 2013 (Figura 3). O COD, por outro lado, apresentou valores mais elevados no período chuvoso, com picos de concentração entre os meses de janeiro e março (Figura 3). Foram registrados valores mais altos de nutrientes nas lagoas Catingosa e Pitanga ($N_{\text{total}} = 4,5 \pm 0,98$ e $P_{\text{total}} = 269,7 \pm 100,67 \text{mg.L}^{-1}$) do que nas lagoas Preta e Cabiúnas ($N_{\text{total}} = 1,72 \pm 0,52$ e $P_{\text{total}} = 42,9,7 \pm 13,58 \text{mg.L}^{-1}$) (Figura 3).

Espacialmente, a salinidade da água variou de valores nulos até outros muito mais elevados que a água do mar (0,2-52,4). Temporalmente, esses ambientes experimentaram variações que foram drásticas nos teores de sais dissolvidos, como o aumento de 24,8 e 18 unidades de sal nas lagoas Catingosa e Preta, respectivamente, enquanto em Cabiúnas a salinidade se manteve extremamente baixa e constante (0,2, eixo secundário da Figura 3).

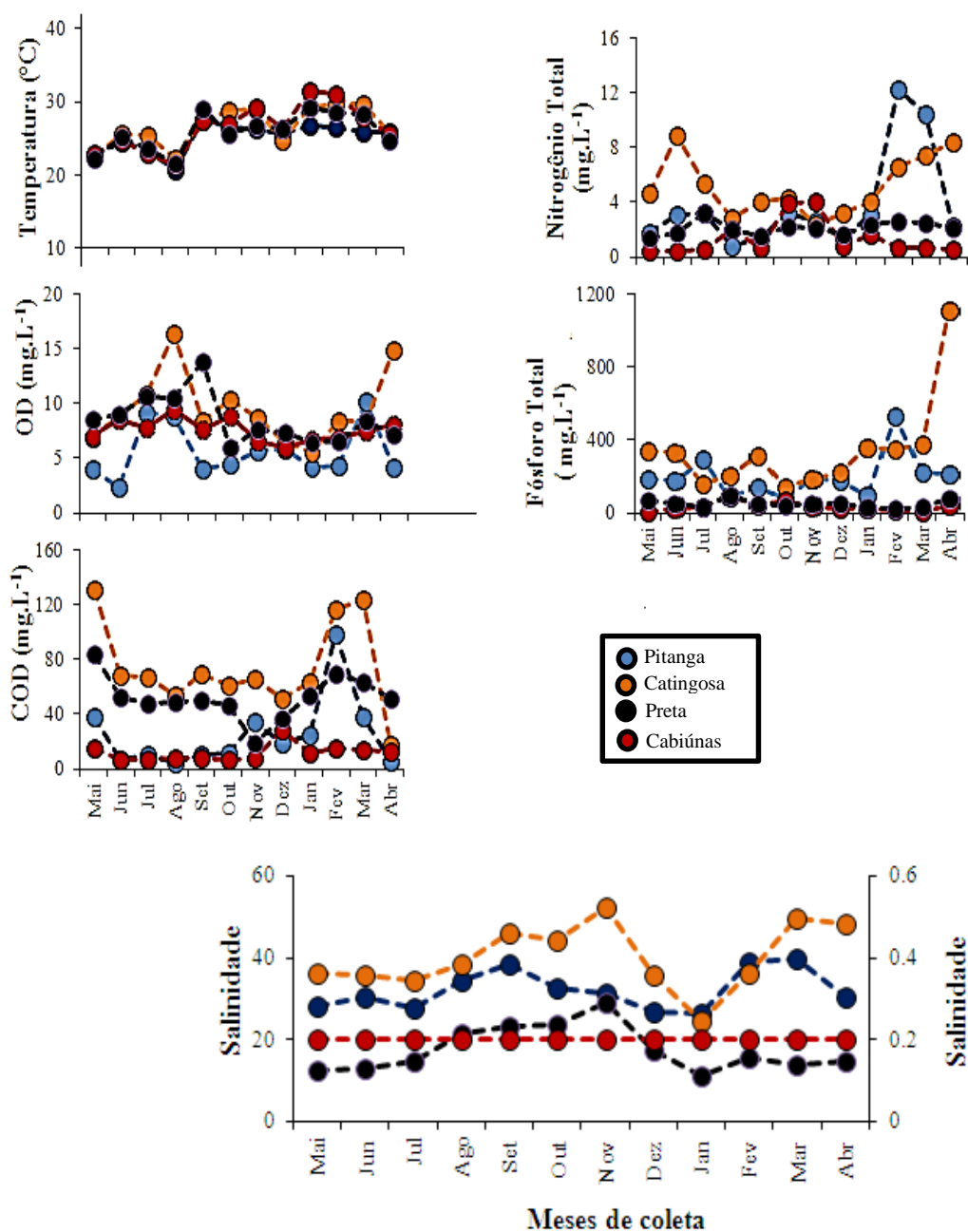


Figura 3. Variação intraanual das variáveis limnológicas nos ambientes investigados no PARNA Restinga de Jurubatiba, entre maio de 2013 e abril de 2014. A salinidade na Lagoa Cabiúnas segue o eixo secundário.

O eixo 1 da ACP (ACP1) explicou sozinho 48,59% da variação dos dados da matriz ambiental (Tabela 1). Ao longo deste eixo, as amostras foram ordenadas em um gradiente crescente de salinidade e nutrientes, onde a Lagoa Cabiúnas apresentou escores positivos (entre 2 e 5), Preta com escores intermediários (entre 0 e -1), Pitanga,

apesar de ter apresentado a maioria de suas amostras de valores intermediários, apresentou maior amplitude nos escores (entre 1 e -4) e Catingosa que apresentou os escores mais negativos (entre -1e -3) (Figura 4).

Tabela 1. Autovalores, porcentagem de variância explicada por cada eixo da ACP, autovalores gerados pelo critério de Broken-Stick e coeficientes de correlação das variáveis limnológicas registradas nas lagoas Cabiúnas, Preta, Catingosa e no Canal Pitanga e cada um dos eixos principais gerados. Os autovetores assinalados com * correspondem às variáveis que foram as mais importantes na formação do eixo retido para interpretação.

	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6
Autovalores	3,401	1,248	1,013	0,514	0,497	0,188
% Variância	48,59	17,83	14,47	7,342	7,102	2,68
Broken-stick	2,593	1,593	1,093	0,760	0,510	0,310
Autovetores						
COD	-0,3702	0,2762	0,2929	0,7379	0,371	-0,1323
PTotal	-0,4347	0,066	-0,4116	-0,3396	0,273	-0,664
Ntotal	-0,4633*	-0,044	0,1301	-0,3864	0,4389	0,6204
OD	-0,012	0,7023	0,5236	-0,3984	-0,1927	-0,1383
Salinidade	-0,4766*	0,0718	-0,2838	0,0874	-0,3297	0,2275
Temperatura	-0,1583	-0,637	0,6033	-0,1329	0,0302	-0,2919
pH	-0,455	-0,1151	0,096	0,0827	-0,6697	-0,0227

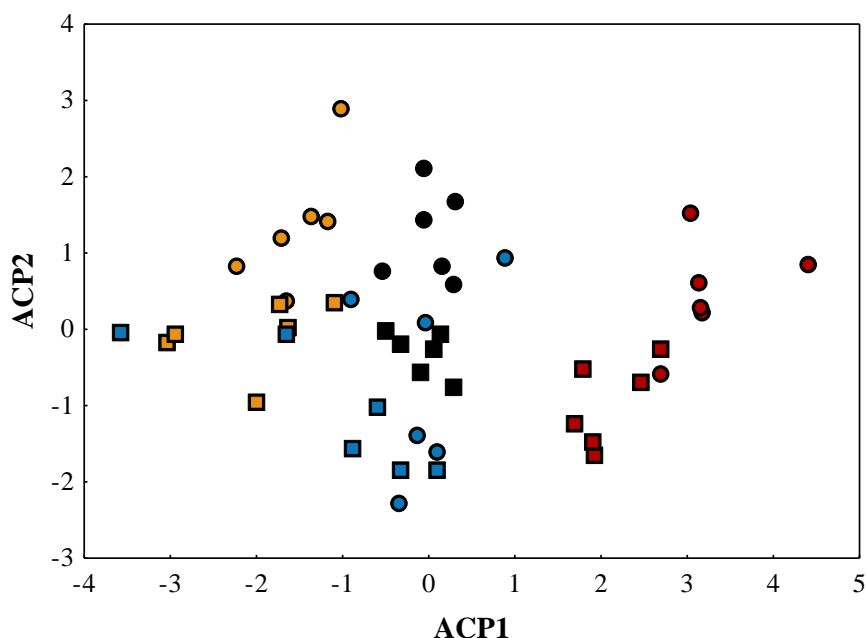


Figura 4. Ordenação das amostras ao longo dos dois primeiros eixos da ACP em função das variáveis limnológicas no Canal Pitanga (azul) e nas lagoas Catingosa (amarelo), Preta (preto) e Cabiúnas (vermelho), PARNA Restinga de Jurubatiba, ordenados bimestralmente, entre maio de 2013 e abril de 2014. Os círculos representam as amostras na estação de estiagem e os quadrados na estação chuvosa.

Um total de 2.270 fêmeas foi analisado, sendo que essas apresentaram uma evidente diferenciação espacial na estrutura de comprimento total do corpo. A distribuição das fêmeas em classes de comprimento total demonstra uma maior amplitude nas lagoas Preta e Catingosa, enquanto as fêmeas da Lagoa Cabiúnas apresentam os comprimentos menores (classes de comprimento da 2 à 7) e do Canal Pitanga os comprimentos maiores (classes de comprimento de 3 à 12) (Figura 5).

A ANOVA bifatorial não detectou um efeito de interação entre a estação do ano e o ambiente para os valores da mediana do comprimento total ($F=3,40$; g.l.=3;44; $p=0,7$). Diferenças significativas no comprimento das fêmeas foram detectadas somente entre os ambientes ($F=10,37$; g.l.=3;44; $p<0,01$), sendo que a mediana do comprimento total das fêmeas da Lagoa Cabiúnas foi significativamente inferior às medianas dos demais ambientes (Figura 6).

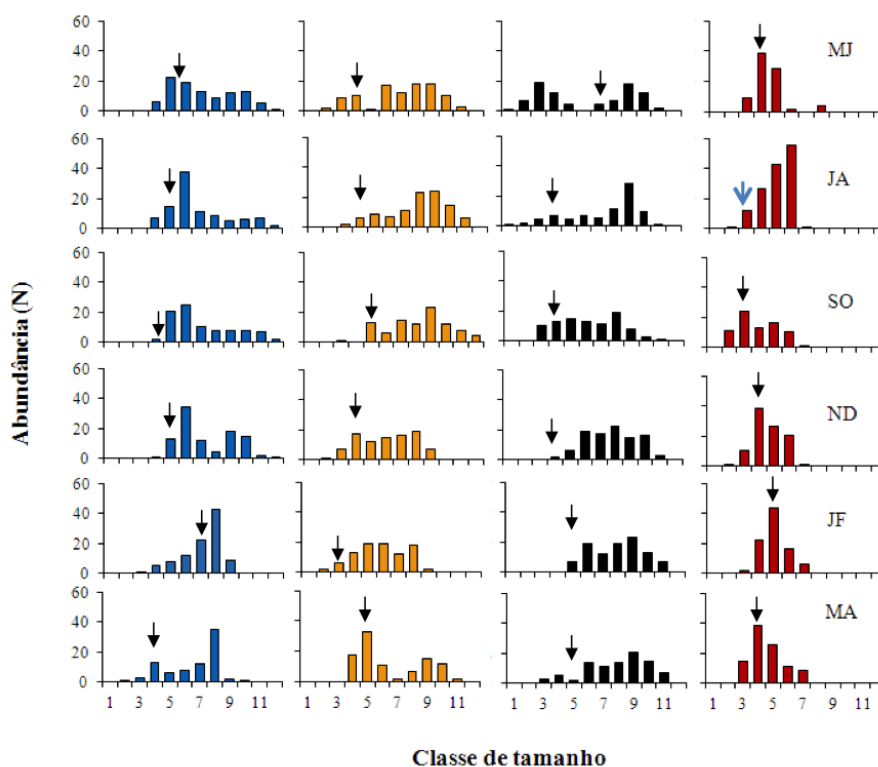


Figura 5. Variação intraanual na distribuição do comprimento total das fêmeas de *Poecilia vivipara* em 11 classes de comprimento total (mínimo 11,48 - 15,97, máximo 60,98 - 65,48, intervalo 4,5 mm) no Canal Pitanga (azul) e nas lagoas Catingosa (amarelo), Preta (preto) e Cabiúnas (vermelho), PARNA Restinga de Jurubatiba, ordenados bimestralmente, entre maio de 2013 e abril de 2014. Seta azul indica a classe na qual a menor fêmea apresentava ovócitos (a partir do estágio II), setas pretas indicam as menores fêmeas que apresentavam ovócitos.

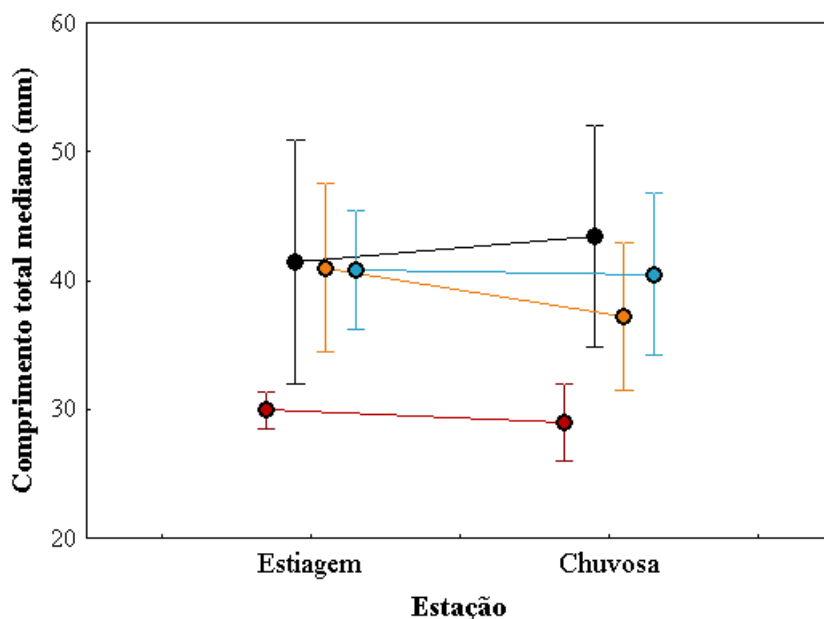


Figura 6. Variação dos valores de mediana (média±desvio-padrão) do comprimento total de fêmeas de *Poecilia vivipara* amostradas em meses da estação de estiagem e chuvosa, no Canal Pitanga (azul) e nas lagoas Catingosa (amarelo), Preta (preto) e Cabiúnas (vermelho), PARNA de Jurubatiba, entre os meses de março de 2013 e abril de 2014.

Foram contabilizados 22.144 ovócitos ou embriões em 46% das fêmeas evisceradas. A menor fêmea foi da Lagoa Preta na amostragem de junho, apresentou um comprimento total de 11,48mm. A menor fêmea grávida apresentou 20,73mm de comprimento, sete embriões no estágio VII e foi da Lagoa Cabiúnas, em agosto. A fêmea de maior comprimento foi oriunda da Lagoa Catingosa em agosto, medindo 64,9mm e apresentando 95 embriões no estágio VI. Apesar dessa fêmea apresentar uma elevada fecundidade, a fêmea mais fecunda foi oriunda da Lagoa Pitanga em julho, medindo 31,65mm e apresentando 113 embriões no estágio XI.

Os embriões representaram um número total de 17.599, ou seja, 79% de um total de embriões e ovócitos. Grande parte desses foi registrada em fêmeas do Canal Pitanga (37,1%), nas lagoas Preta (31,1%) e Catingosa (24,0%). A lagoa com a menor frequência de embriões foi Cabiúnas (0,07%), apesar da quantidade de fêmeas grávidas nesta lagoa ser maior que em Catingosa (N=181 *versus* N=159) (Tabela 2).

A frequência dos estágios de desenvolvimento embrionário variou de forma pronunciada entre as lagoas (Figura 7). Foi registrada a ocorrência de ovócitos entre os

meses de setembro e março e uma maior frequência de embriões no estágio inicial de desenvolvimento entre maio e agosto. Junho foi um dos meses com a menor ocorrência de diversos estágios de desenvolvimento, enquanto agosto e janeiro foram meses nos quais não foi registrada a ocorrência de embriões ou ovócitos em nenhuma das 50 fêmeas evisceradas na Lagoa Catingosa e no Canal Pitanga, respectivamente.

Nas lagoas, janeiro ou fevereiro se destacaram como meses nos quais a maior parte das fêmeas apresentava ovócitos maduros. A frequência de embriões no estágio XI, prontos para o nascimento, foi maior entre os meses de setembro a abril (Figura 7).

Tabela 2. Classes de comprimento total e a amplitude de seu intervalo, número (N) e fecundidade das fêmeas evisceradas nos quatro ambientes investigados no PARNA Restinga de Jurubatiba, entre os meses de maio de 2013 e abril de 2014.

Classe	Comprimento total (mm)	Pitanga		Catingosa		Preta		Cabiúnas	
		N	Média±DP	N	Média±DP	N	Média±DP	N	Média±DP
1	11,48-15,97								
2	15,98-20,47							1	12
3	20,48-24,97			1	5	1	7	1	5
4	24,98-29,47	1	13	3	5,33±2,30	3	16,33±19,73	34	6,70±2,79
5	29,48-33,97	13	15,38±6,12	6	13,50±8,68	9	7±2,54	89	5,57±3,17
6	33,98-38,47	52	16,60±5,68	10	21,40±18,75	22	11,7±5,19	44	10,97±3,80
7	38,48-42,97	25	26,92±8,51	17	18,41±14,93	20	13,7±5,47	10	12,5±5,15
8	42,98-47,47	40	27,75±10,43	37	18,32±8,29	57	19,73±7,07		
9	47,48-51,97	26	31,19±16,24	40	23,90±9,03	52	24,69±7,40	2	11±2,82
10	51,98-56,47	37	42±17,90	28	34,42±13,43	56	32,10±9,94		
11	56,48-60,97	14	54,57±24,31	13	51,23±21,37	14	37±17,83		
12	60,98-65,48	4	102,75±9,64	4	62,00±30,01				

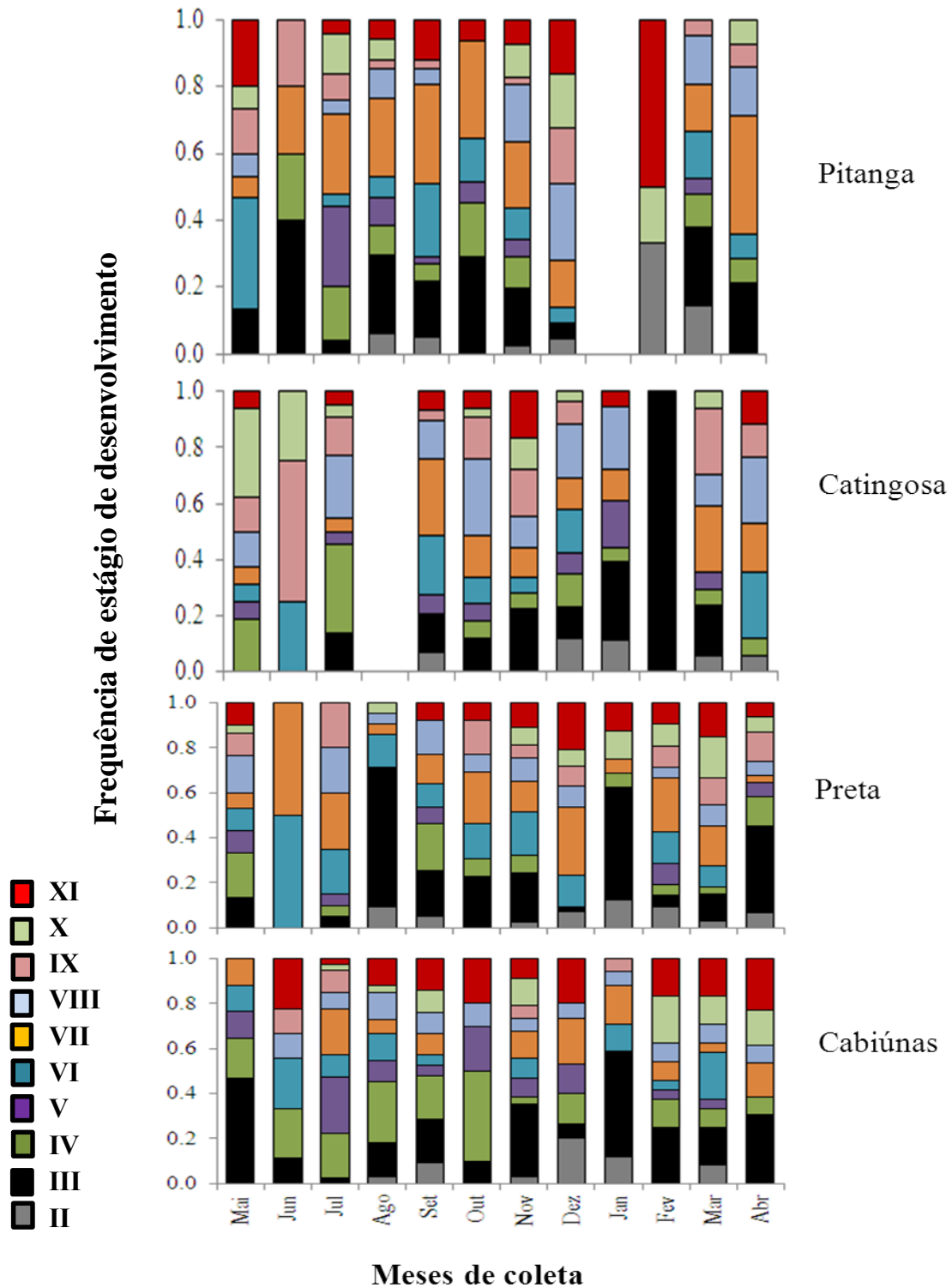


Figura 7. Variação na frequência de estágios de desenvolvimento dos embriões nas fêmeas nos quatro ambientes investigados no PARNA Restinga de Jurubatiba, entre maio de 2013 e abril de 2014.

O número e a frequência de picos reprodutivos variaram entre os ambientes, apesar de próximos geograficamente (Figura 8). O maior pico reprodutivo na Lagoa Preta e no Canal Pitanga ocorreu no mês de dezembro, enquanto para a Lagoa Catingosa, um pico anual foi registrado em outubro. A Lagoa Cabiúnas também apresentou um único pico reprodutivo, porém estendido entre os meses de julho e agosto (Figura 7).

Apesar de apenas um pico reprodutivo e da menor fecundidade média (Tabela 2), as fêmeas de *P. vivipara* em Cabiúnas apresentaram maior constância na atividade reprodutiva, estimada por pelo menos 15% das fêmeas se apresentarem fecundas durante todo o período investigado.

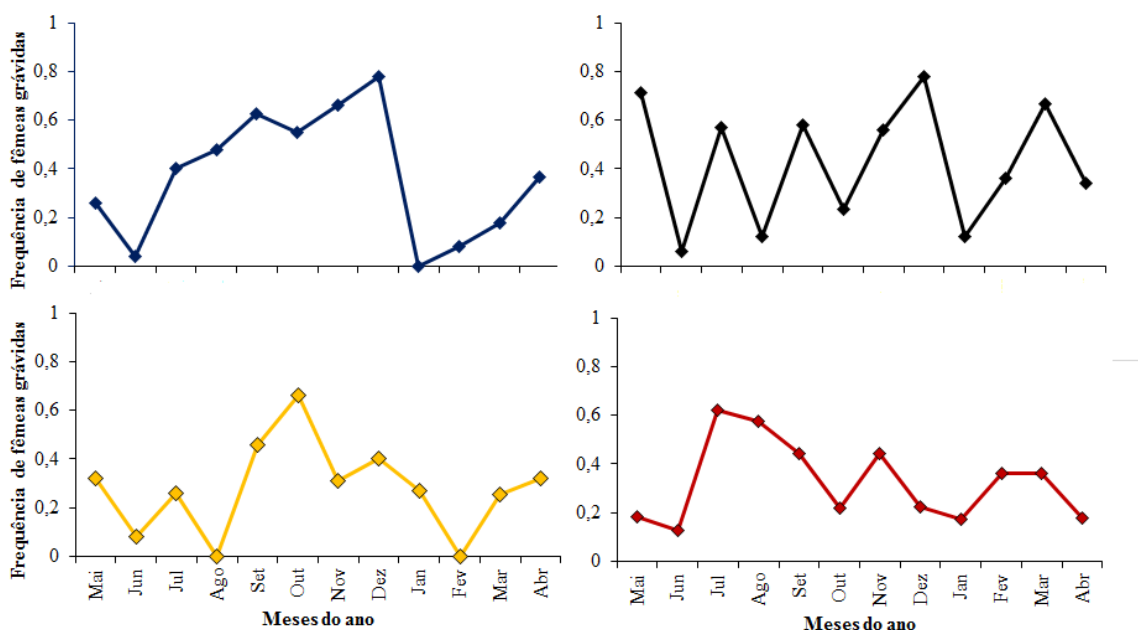


Figura 8. Variação intraanual na frequência relativa de fêmeas grávidas (embriões a partir da estágio IV) no Canal Pitanga (azul) e nas lagoas Catingosa (amarelo), Preta (preto) e Cabiúnas (vermelho), PARNA de Jurubatiba, entre os meses de março de 2013 e abril de 2014.

Os picos que representam a maioria das fêmeas grávidas não foram coincidentes entre nenhum par de ambientes (Tabela 3). Uma correlação positiva marginalmente significativa foi detectada entre o Canal Pitanga e a Lagoa Catingosa, indicando um relativo sincronismo na dinâmica reprodutiva das fêmeas desses dois ambientes.

Tabela 3. Valores das correlações de Spearman (r_{sp}) e suas respectivas significâncias (p) aplicadas aos valores da frequência de fêmeas grávidas nos quatro ambientes investigados no PARNA Restinga de Jurubatiba, entre maio de 2013 e abril de 2014.

		p			
		Pitanga	Catingosa	Preta	Cabiúnas
r_{sp}	Pitanga		0,053807	0,147339	0,077052
	Catingosa	0,568425		0,207674	0,635207
	Preta	0,444834	0,391916		0,300586
	Cabiúnas	0,528897	-0,152900	0,326316	

Os picos e as quedas na frequência de fêmeas grávidas não corresponderam às estações do ano e não foram homogêneos entre as lagoas. A ANOVA não detectou efeito da estação do ano ou do ambiente, ou ainda da interação entre esses na frequência de fêmeas grávidas (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado da ANOVA que avaliou o efeito do ambiente e da estação (precipitação e estiagem) na frequência de fêmeas grávidas de *Poecilia vivipara* do PARNA de Jurubatiba, entre maio de 2013 e abril de 2014.

	SQ	G.L.	Q.M.	F	p
Intercepto	5,907884	1	5,907884	113,5751	0,000000
Lagoa	0,102866	3	0,034289	0,6592	0,582135
Estação	0,001049	1	0,001049	0,0202	0,887793
Lagoa*Estação	0,020825	3	0,006942	0,1335	0,939548
Erro	2,028679	39	0,052017		

Uma relação positiva foi verificada entre a fecundidade média e as classes de comprimento, sendo que fêmeas maiores foram aquelas, em média, mais fecundas. Porém, a intensidade dessa relação foi diferente em função do ambiente (Figura 9).

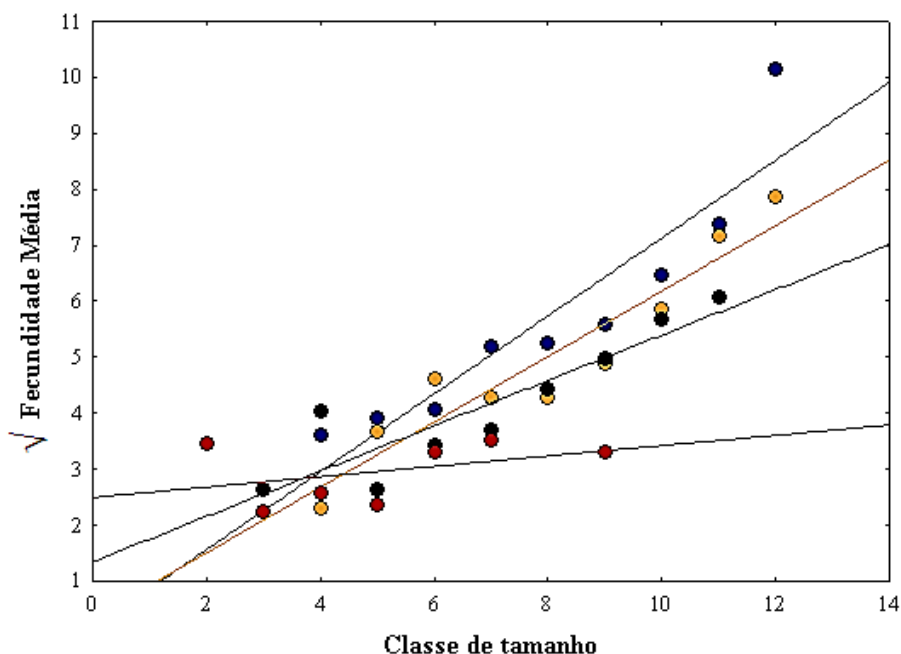


Figura 9. Relação entre a fecundidade média ($\sqrt{}$) e as classes de comprimento das fêmeas grávidas de *Poecilia vivipara* no Canal Pitanga (azul) e nas lagoas Catingosa (amarelo), Preta (preto) e Cabiúnas (vermelho), PARNA de Jurubatiba, entre os meses de março de 2013 e abril de 2014.

O termo de interação significativo da ANCOVA indica que a relação entre a fecundidade média e as classes de comprimento para as fêmeas de *P. vivipara* dos quatro ambientes investigados não pode ser predita por um único modelo (Tabela 5). O teste *post hoc* identificou que após controlado o efeito do comprimento, a fecundidade média difere significativamente entre todos os quatro ambientes, exceto entre as lagoas Preta e Catingosa.

Tabela 5. Resultado da ANCOVA que avaliou o efeito do ambiente sobre a relação entre a fecundidade média ($\sqrt{}$) e as classes de comprimento das fêmeas grávidas de *Poecilia vivipara* do PARNA de Jurubatiba, entre maio de 2013 e abril de 2014.

	SQ	G.L.	Q.M.	F	p
Intercepto	13,02939	1	13,02939	31,8146	0,000005
Lagoa	2,89806	3	0,96602	2,3588	0,093811
Classe de comprimento	42,59857	1	42,59857	104,0152	0,000000
Lagoa*Classe de comprimento	9,20660	3	3,06887	7,4934	0,000839
Erro	11,05762	27	0,40954		

Discussão

No presente estudo, a salinidade da água se mostrou um forte estruturador dos ambientes aquáticos e da dinâmica intraanual dos organismos que neles vivem. De certa forma, a expectativa da salinidade ser um dos principais fatores a promover variações nos indivíduos que se refletem em estruturas diferenciadas das populações era esperada (conforme apresentado no Capítulo I desta Dissertação). Estudos realizados em regiões áridas ou semiáridas do planeta evidenciam que seus ambientes aquáticos são mais propensos a alterações nas variáveis limnológicas, destacando-se entre elas, a salinidade (Williams, 1999; Nielsen & Brock et al., 2009).

A variação na salinidade em ambientes aquáticos em regiões de clima semiárido pode ser intensificada pela proximidade com o mar, que passa a ser um fator adicional que influencia na salinização (Martin et al., 2009). Segundo as observações de Felice (2014) em relação à pluviosidade nos primeiros anos na década de 2010, o clima da região na qual se insere o PARNA Restinga de Jurubatiba se adequaria ao clima de uma região semiárida (*sensu* Alvarez et al., 2013). Desse modo, a estiagem prolongada e os anos seguidos de baixos índices pluviométricos determinaram um aumento na amplitude do gradiente de salinidade nos corpos d'água investigados no presente estudo. Ou seja, enquanto os que recebem aporte fluvial são temporalmente estáveis, em outros desprovidos de uma rede de drenagem superficial, onde as taxas de evaporação superaram as de precipitação, a salinidade mais que duplicou seus valores (Cabiúnas e Catingosa, respectivamente).

De acordo com os resultados do presente estudo, os peixes parecem refletir essas variações. Independente da estação do ano, as fêmeas de *P. vivipara* da hipossalina Lagoa Cabiúnas foram menores que nas demais lagoas avaliadas. Este fato estende temporalmente os resultados do Capítulo I desta Dissertação, porém contraria o que Martin et al. (2009) constataram para outras duas de três espécies de Cyprinodontiformes que investigaram em sistemas de marismas sob regime de salinidade baixa (0 a 1), intermediária (1 a 8) e salobra (8 a 15). Esses autores falharam em detectar diferenças significativas na relação entre o peso e o comprimento das fêmeas de *Poecilia latipinna* e *Heterandria formosa*, que foi considerados indicadores da condição corpórea nesse estreito gradiente de salinidade. Entretanto, estes autores constataram para *Gambusia affinis* que, de acordo com o

incremento na salinidade, as fêmeas de marismas salobros foram as que apresentavam a melhor condição corpórea. Também no presente estudo a baixa salinidade da água parece exercer uma pressão ambiental forte sobre *P. vivipara*, porém insuficiente para afetar a frequência da plena atividade reprodutiva apesar das fêmeas de menor comprimento.

De acordo com outros estudos em Poeciliidae, fatores como a predação, a competição e parâmetros ambientais potencialmente influenciam a morfologia e podem indiretamente determinar alterações reprodutivas como investimento em proles maiores, picos reprodutivos em curtos períodos do ano (Ghalambor et al., 2004; Zúniga-Vega et al., 2007; Gomes & Monteiro, 2007). Apesar de apenas um pico reprodutivo no ano e de uma menor fecundidade média limitada pelo comprimento total da mãe (discutido em mais detalhes adiante), as fêmeas da Lagoa Cabiúnas apresentaram a maior constância intraanual na frequência de ovócitos e embriões. Estes resultados demonstram que uma menor variação na dinâmica reprodutiva em ambientes estáveis pode reduzir os efeitos da limitação do comprimento do corpo na fecundidade. Ou seja, em Cabiúnas, a relativamente baixa contribuição para o tamanho populacional efetuada por cada fêmea, a cada gestação, é compensada pela maior ocorrência e constância de fêmeas em reprodução.

Assim como verificado no Capítulo I desta Dissertação, um potencial estresse causado pela elevada ou baixa salinidade a um animal eurihalino que parece estar mais adaptado a condições intermediárias de salinidade, como águas salobras para *P. vivipara*, pode estimulá-lo a investir na reprodução apesar do seu menor comprimento. De acordo com Rocha (2010), em situações desfavoráveis, o investimento de energia na produção de ovócitos e de vitelo, compostos basicamente por açúcares e gorduras, deve ser reduzido ou até cessado, para que haja economia energética para a manutenção do corpo.

A relativa constância das condições ambientais mesmo que estressantes (condições hipossalinas) explicariam a constância da frequência na reprodução na Lagoa Cabiúnas. Se considerarmos essa lagoa como um laboratório natural, esse estresse constante poderia ser comparado à um *experimento de pressão* (*sensu* Gotelli & Ellison, 2011), onde as condições do tratamento, neste caso, da salinidade, são mantidas ao longo do tempo, de maneira que a resistência do organismo e sua resposta sejam mensuradas sob uma força manipulativa constante. Já os demais ambientes (Canal Pitanga e as lagoas Catingosa e Preta) são comparáveis à um *experimento de pulso* (*sensu* Gotelli & Ellison, 2011), no qual

os tratamentos são alterados no tempo, onde se mede a resiliência do organismo registrando respostas transitórias em um ambiente ou condições em modificação.

Em ambientes dinâmicos, como os três ambientes deste estudo (exceto a Lagoa Cabiúnas, que foi um ambiente estável quanto à salinidade), poderíamos considerar a variação mensal da salinidade de suas águas como o tratamento alterado no tempo, com um retardo de cerca de um mês para as respostas das fêmeas. O ciclo reprodutivo de 28 dias sugerido por Betito (2006) para *P. vivipara* sustenta estas suposições. Uma alteração pronunciada num curto intervalo de tempo, tal como o ocorrido com a salinidade nos ambientes hipersalinos, deve demandar um alto custo energético para as fêmeas em termos de osmorregulação.

As fêmeas de *P. vivipara* dos ambientes com aumento na salinidade em novembro (Preta e Pitanga e Preta), responderam com um maior e um menor pico de gravidez em dezembro. O segundo maior pico na frequência de fêmeas grávidas na Lagoa Preta e um aumento nas demais lagoas no período de fevereiro e março de 2014 pode estar relacionado à queda da salinidade registrada no mês de janeiro em Preta, Catingosa e Pitanga. Estes resultados sugerem que um aumento da salinidade até certo limite é mais positivo à *Poecilia vivipara* do que uma redução.

Os resultados aqui apresentados sugerem fortemente que as variações na salinidade, mesmo em ambientes hipersalinos, influenciam na reprodução, corroborando as predições da Teoria da História de Vida (Stearns 1992) de que sob condições favoráveis, ocorre um maior investimento na reprodução.

Considerações finais do Capítulo II

- O regime de salinidade difere entre as quatro lagoas estudadas.
- A constância na baixa salinidade foi associada a um menor comprimento do corpo em fêmeas de *Poecilia vivipara* da Lagoa Cabiúnas.
- As fêmeas de *Poecilia vivipara* nas lagoas Catingosa e Pitanga apresentaram lacunas reprodutivas nos meses de agosto e janeiro, respectivamente.
- As fêmeas de *Poecilia vivipara* na Lagoa Preta apresentaram maior frequência de picos reprodutivos no ano.
- A interação significativa entre a fecundidade média e as classes de comprimento de fêmeas de *Poecilia vivipara* revela que em Cabiúnas a fecundidade não pode ser predita pelo menos por classes de comprimento.

Referências

- Alvarez, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. 2013. “Köppen’s climate classification map for Brazil.” *Meteorologische Zeitschrift*, doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Arcanjo, R. B., Souza, L. P., Rezende, C. F., Silva, J. R. 2014. “Embryonic development and nourishment in the viviparous fish *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae).” *Acta Zoologica*, 95(4), 493-500.
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3ª ed. Sinauer Associates Inc. Publishers. Massachusetts.
- Betito, R. 2006. “Comparação da complexidade das adaptações bioecológicas de dois peixes (*Jenynsia multidentata* e *Poecilia vivipara*) (Cyprinodontiformes) no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil).” *Revista Didática Sistemática*, 3:71-100.
- Boeuf, G. & Payan, P. 2001. “How should salinity influence fish growth?” *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130:411-423.
- Bove, C. P & J. Paz. 2009. *Guia de campo das plantas aquáticas do Parque Nacional Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brasil*. Rio de Janeiro, Museu Nacional.
- Caliman, A., Carneiro, L. S., Santangelo, J. M., Guariento, R. D., Pires, A. F. P., Suhett, A. L., Quesado, L. B., Scofield, V., Fonte, E. S., Lopes, P. M., Sanches, L. F. Azevedo, F. D., Marinho, C. C., Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Farjalla, V. F. 2010. “Temporal coherence among tropical coastal lagoons: A search for patterns and mechanisms.” *Brazilian Journal of Biology*, 70 (3), 803-814.
- Di Dario, F., Petry, A. C., Maia, M. S. P., Mincarone, M. M., Soares, L. A., Camara, E. M., Caramaschi E. P., de Britto, M. R. 2013. “An update on the fish composition (Teleostei) of the coastal lagoons of the Restinga de Jurubatiba National Park and

- the Imboassica Lagoon, northern Rio de Janeiro State.” *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(3), 257-278.
- Felice, B. C. *Dinâmica de metacomunidades de peixes em ecossistemas costeiros: uma abordagem com lagoas e poças do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba*. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, RJ. Brasil.
- Ghalambor, C. K., Reznick, D. N., Walker, J. A. 2004. “Constraints on adaptive evolution: the functional trade-off between reproduction and fast-start swimming performance in the Trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*).” *The American Naturalist*, 164(1), 38-50.
- Gomes-Jr, J. L. & Monteiro, R. L. 2007. “Size and fecundity variation in populations of *Poecilia vivipara* Block & Schneider (Teleostei; Poeciliidae) inhabiting an environmental gradient.” *Journal of Fish Biology*, 71:1799-1809.
- Gotelli, N. J., Ellison, A. M. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. 1ª ed. Artmed, Porto Alegre.
- Haynes, J. L. 1995. “Standardized classification of Poeciliid development for life-history studies.” *Copeia*, 1:147-154.
- Jørgensen, C. B. 1997. “Urea and amphibian water economy.” *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 117(2), 161-170.
- Kjerfve, B. 1986. “Comparative oceanography of coastal lagoons.” In: Wolfe, D. A. *Estuarine variability*. Academic Press, New York.
- Lucinda, P. H. F. 2003. “Family Poeciliidae”. In R.E Reis, S.O Kullander, C.J. Ferraris, editores. *Check list of the freshwater fishes of South and central Central America*. Porto Alegre, Editora Edipucrs.
- Martin, S., A. T. Hitch, K. M. Purcell., Klerks P. L., P. L Leberg. 2009. “Life history variation along a salinity gradient in coastal marshes.” *Aquatic Biology*, 8:15-28.
- McCune, B. & Mefford, M. J. 1999. “Multivariate Analysis of Ecological Data.” Version 4.10, MjMsoftware, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A
- Nelson, D. E., Rammesmayer, G., Bohnert, H. J. 1998. “Regulation of cell-specific inositol metabolism and transport in plant salinity tolerance.” *The Plant Cell Online*, 10(5), 753-764.
- Nielsen, D. L., & Brock, M. A. 2009. “Modified water regime and salinity as a consequence of climate change: prospects for wetlands of Southern Australia.” *Climatic Change*, 95(3-4), 523-533.
- Odum, E. P. & Barrett, G. W. 2007. *Fundamentos de Ecologia*. 5ª ed. São Paulo, Thomson Learning.
- Prast-Enrich, A., Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Meirelles, F. “Lagoas Costeiras de Jurubatiba: Descrição de suas variáveis limnológicas.” In: Rocha C.F.D, Esteves, F. A., Scarano, F. R. 2004. *Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: Ecologia, História Natural e Conservação*. São Carlos, RIMA.
- Ricklefs, R. E. 2010. *A Economia da Natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- Rocha, T. L., Carvalho, R., Yamada, Á. T., Sabóia-Morais, S. M. 2010. “Morphologic analysis of developmental phases and gill ontogenesis in neotropical species *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) exposed to different salinities.” *Zoologia (Curitiba)*, 27(4), 554-562.
- StatSoft. 2007. “STATISTICA (data analysis software system).” version 8.0. Available from: <www.statsoft.com>

- Stearns, S. C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford, Oxford University Press.
- Tedesco, P. A., Hugueny, B., Oberdorff, T., Dürr, H. H., Merigoux, S., De Mérona, B. 2008. "River hydrological seasonality influences life history strategies of tropical riverine fishes." *Oecologia*, 156(3), 691-702.
- Townsend, C. R., Begon, M. e Harper, J. L. 2005. *Essentials of Ecology*. 2ª Ed. Malden, Blackwell Science.
- Vazzoler, A. E. 1996. *Biologia da reprodução de peixes Teleósteos: teoria e prática*. Maringá, Editora da Universidade Estadual de Maringá.
- Willians, W. D. 1999 "Salinisation: A major threat to water resources in the arid and semi-arid regions of the world." *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 4:85–91
- Zúñiga-Vega, J., N Reznick, D., B., Johnson, J. 2007. "Habitat predicts reproductive superfetation and body shape in the livebearing fish *Poeciliopsis turrubarensis*." *Oikos*, 116(6), 995-1005.

Capítulo III

Do ambiente natural ao laboratório: respostas de *Poecilia vivipara* a regimes de variação da salinidade da água

Introdução

Além dos movimentos de dispersão, os mecanismos fisiológicos dos organismos estão estreitamente relacionados com sua capacidade de colonizar e fundar populações em sistemas que representam um gradiente de condições físicas e químicas como temperatura, umidade, pH, pressão atmosférica e osmótica (Parmesan, 2006, Townsend et al., 2005). Em relação à fisiologia, processos externos como os estímulos ambientais garantem aos organismos da maioria das espécies uma relativa estabilidade corpórea, o que permite a essas se distribuírem por um amplo gradiente ambiental e/ou viverem sob condições ambientais variáveis. O mecanismo de regulação nas trocas de íons e água entre um organismo e o meio em que vive é denominado osmorregulação (Baldisseroto, 2009).

De acordo com Sáez et al. (2008), a osmorregulação representa o mecanismo fundamental para a manutenção da homeostase do corpo, sendo a tolerância aos sais dissolvidos na água um dos exemplos mais evidentes de adaptação ecológica de organismos aquáticos. Nos peixes, a osmorregulação representa uma das principais adaptações, pois confere a capacidade de colonizar ambientes com salinidade diferenciada e/ou variável às expensas de gastos energéticos nesse processo (Laiz-Carrion, 2004). Dessa forma, o investimento energético de um organismo é mediado entre mecanismos como a osmorregulação, capacidade de deslocamento, investimento reprodutivo e crescimento somático (Wolcott & Wolcott, 2001).

São conhecidas como eurihalinas, as espécies que pela osmorregulação são capazes de tolerar variações de salinidade que podem ser pronunciadas e muito diferentes das concentrações iônicas de seus fluidos corporais (Baldisseroto, 2009). Algumas espécies de peixes eurihalinos se deslocam entre ambientes de água doce, salobra e marinha, enquanto outras, podem despende toda sua vida em um único sistema, que passa por mudanças

drásticas ou graduais na salinidade (McCormick et al., 2013). No norte do Estado do Rio de Janeiro, mais de uma centena de lagoas e brejos se distribuem numa planície extensa, de origem Quaternária, influenciada pelo Rio Paraíba do Sul. Em um trecho de 40km de costa, entre os municípios de Macaé e Quissamã, duas dezenas de lagoas que variam na fonte de aporte hídrico se destacam pelas características físicas e químicas da água marcadamente diferenciadas (Caliman et al., 2010). Nesse sistema, a concentração de sais dissolvidos pode variar entre 0,1 a mais de 200 entre ambientes relativamente próximos ou mesmo por variações bruscas na salinidade de um dado local, em períodos relativamente curtos de tempo, como semanas (Felice, 2014).

O Cyprinodontiformes *Poecilia vivipara* se destaca pela elevada abundância e ampla distribuição nessa região, ocupando desde ambientes dulcícolas àqueles hipersalinos (Capítulo I desta dissertação). Comparada a outras demais espécies de peixes, todas de distribuição mais restrita nessa área (Di Dario et al., 2013), *P. vivipara* parece apresentar uma tolerância diferencial às variações ambientais, em especial à salinidade. A escassez de chuvas nos últimos anos no norte fluminense tem aumentado a amplitude do gradiente de salinidade da água (Felice, 2014). Dessa forma, o registro de populações remanescentes de *P. vivipara* em corpos d'água hipersalinos e em pleno processo de dessecação e diferenças no esforço reprodutivo entre ambientes estáveis e variáveis em relação à salinidade (ver Capítulos I e II desta Dissertação) se constituiu numa oportunidade singular para estudos observacionais acerca das mediações dos indivíduos entre o crescimento somático e o investimento reprodutivo sob diferentes regimes de salinidade.

Este estudo se propôs a estender o enfoque dos estudos observacionais conduzidos nos demais capítulos desta Dissertação para uma abordagem experimental manipulativa das respostas de *P. vivipara* a regimes de salinidade. Considerando o comprimento do corpo de *P. vivipara* significativamente menor em ambientes com salinidades extremas, é razoável supor que para esses indivíduos o investimento energético na osmorregulação seja maior do que para aqueles em ambientes considerados de salinidade intermediária, capazes de alocar mais energia no crescimento somático. Nesse sentido, a forma como a salinidade se altera nesses corpos d'água, se de forma brusca ou gradual, de agora em diante chamado de regime de salinidade, também deve interferir nessas relações.

Dessa forma, a hipótese de trabalho deste estudo é que *Poecilia vivipara*, como um peixe eurihalino secundário de água doce, seja capaz de mediar os efeitos de alterações extremas de salinidade e dessa forma se distribuir amplamente pelos corpos hídricos costeiros. A estrutura de comprimento total do corpo diferenciada seria uma resposta à uma menor alocação energética em crescimento somático em ambientes sob regime brusco de salinidade, devido a maiores gastos com a osmorregulação. Caso esta hipótese seja corroborada, ao submeter uma prole descendente de organismos que habitam ambientes de salinidade intermediária a variações extremas e bruscas de salinidade, esta responderá com diferenças no comprimento do corpo, peso somático, retenção hídrica, sem contudo haver diferenças na sobrevivência. Espera-se que em ambientes com salinidade considerada extrema para *Poecilia vivipara*, o seu crescimento somático seja menor quando comparado aos ambientes com salinidade intermediária, considerados aqui como os ideais para que realize toda a sua capacidade de crescimento com gasto energético reduzido com a osmorregulação.

Material e Métodos

Obtenção das matrizes em campo

Em agosto de 2013, cerca de 60 fêmeas e 20 machos adultos foram capturados com picaré (malha de 0,5cm de entre nós) nas lagoas Cabiúnas, Catingosa e Preta. Em campo, foram acondicionados em caixa térmica com 32L de água da respectiva lagoa, onde foi diluído 10ml de Labcon Protect Plus, Alcon®, um produto que protege as escamas e reduz o estresse dos peixes devido ao transporte. Os peixes foram transportados sob aeração para biotério aquático do NUPEM-UFRJ.

Procedimentos laboratoriais

Cultivo das matrizes por cinco meses

As fêmeas de cada lagoa foram divididas em dois aquários (aquário-fonte) de 30L, e os machos de cada lagoa foram mantidos em aquário separado. Durante as duas primeiras

semanas no confinamento, gradualmente a água dos aquários foi substituída por água filtrada e esterilizada, com salinidade equivalente àquela registrada em campo, no momento da captura dos indivíduos (Cabiúnas 0,2; Catingosa 35; Preta 13) obtida pela diluição de sal marinho (Natural Ocean, Up Aquarium Supply®). Os nove aquários (dois para as fêmeas e um para os machos de cada uma das três lagoas) permaneceram sob condições constantes de 28°C de temperatura da água mantida com o auxílio de termostato (110V e 15W), fotoperíodo de 15h de luz e 9h de escuridão e salinidade monitorados e ajustados semanalmente.

A limpeza e a manutenção dos aquários era realizada quinzenalmente, quando 30% da água era aspirada para a remoção de fezes e restos de alimento não consumido e renovado o mesmo volume (10L) de água filtrada, esterilizada com salinidade ajustada para 0,2 (aquários de fêmeas e machos coletados em Cabiúnas), 35 (aquários de fêmeas e machos coletados em Catingosa) e 13 (aquários de fêmeas e machos coletados em Preta). Diariamente, a alimentação dos indivíduos era administrada *ad libitum* às 9 e às 17h, com a ração em flocos Alcon®. Os experimentos foram autorizados pela Comissão de Ética com uso de animais (CEUA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé (MACAE018).

Obtenção da prole

Após a aclimação das matrizes às condições de cativeiro, em novembro de 2013 os machos foram introduzidos nos aquários das fêmeas com o objetivo de promover a fecundação dessas. Assumindo um período reprodutivo de 28 dias (Betito, 2006), a partir de janeiro de 2014 as fêmeas passaram a ser vistoriadas diariamente para identificação daquelas que apresentavam o abdômen proeminente e uma mancha escura na região ventral (compressão dos embriões sobre o intestino), próximo das nadadeiras pélvicas.

Essas fêmeas, consideradas em estágio avançado de gravidez eram então removidas do aquário, acondicionadas individualmente em criadeira dentro de um aquário de 3L, mantendo temperatura constante em 28°C e salinidade de sua origem (Figura 1AB). No caso de ocorrer nascimento, a prole recebia um código identificador da mãe. A mãe era então removida deste aquário e depois de registrado o seu comprimento total, era devolvida ao aquário de origem.

Experimento de cultivo da prole em diferentes regimes de salinidade

Cinco dias após o nascimento, caso a prole atingisse um mínimo de oito filhotes, pelo menos dois eram aleatoriamente removidos, eutanasiados com *overdose* de benzocaína (250mg.L^{-1} diluída em 1ml de álcool) utilizando água com a respectiva salinidade de origem da mãe e submetidos à estufa a 60°C por 24h para obtenção do peso seco médio inicial. Os demais filhotes eram então contabilizados para determinação do número de indivíduos que seriam submetidos ao tratamento manipulando o regime de mudança salinidade (Tabela 1).

Para minimizar possíveis efeitos herdados, cada repetição do experimento foi realizada de maneira independente, isolando os filhotes de cada mãe em um único aquário em cada um dos três níveis do tratamento, sendo eles a alteração brusca e gradual da salinidade e controle (este sem alteração da salinidade), a partir de agora denominados brusco, gradual e controle (Figura 1C).

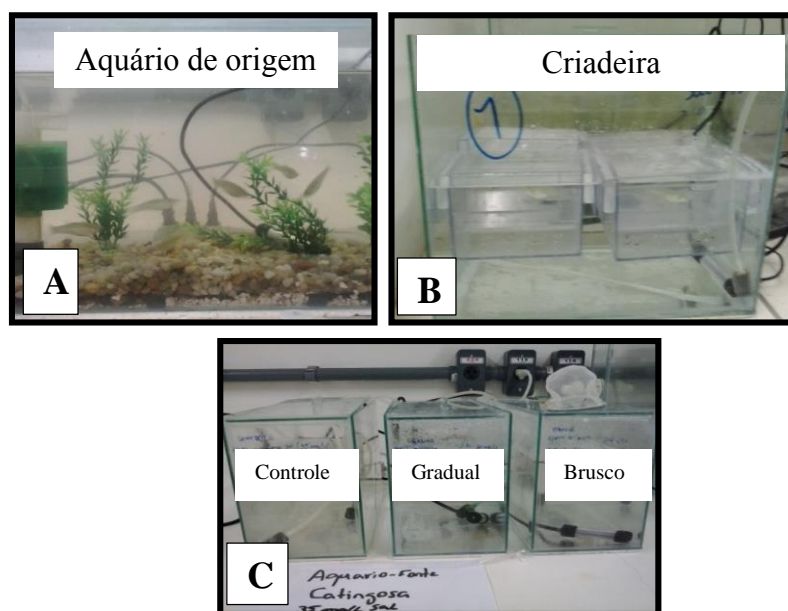


Figura 1. Representação dos aquários e equipamentos utilizados no cultivo das matrizes (A), obtenção da prole em criadeiras (B) e cultivo de uma mesma prole em experimento que manipulou o regime de salinidade (C).

Tabela 1. Lagoa de origem das matrizes, a identificação e comprimento total da fêmea cuja prole foi utilizada nos experimentos, o tamanho de sua prole, o número de filhotes utilizados para determinação do peso inicial e o número de filhotes submetidos a cada um dos três níveis do tratamento que manipulou o regime de salinidade.

Lagoa	Identidade da mãe	Comprimento total (mm)	Número de filhotes		
			Nascidos	Destinados ao peso seco	Utilizados em cada nível do tratamento
Catingosa	Catingosa 2	54	66	6	20
Catingosa	Catingosa 1	49	11	2	3
Catingosa	Catingosa 7	47	17	5	4
Cabiúnas	Cabiúnas 9	44	8	2	2
Cabiúnas	Cabiúnas 11	46	13	4	3
Cabiúnas	Cabiúnas 8	52	24	3	7
Cabiúnas	Cabiúnas 10	46	15	3	4
Cabiúnas	Cabiúnas 24	46	12	3	3
Preta	Preta 23	56	34	4	6
Preta	Preta 52	55	20	5	3
Preta	Preta 54	52	37	2	7
Preta	Preta 53	53	17	2	3

No nível de tratamento brusco, os filhotes eram submetidos abruptamente aos cinco dias de vida (primeiro dia do experimento) à salinidade extrema oposta àquela da lagoa de origem da mãe, sendo essa salinidade mantida pelos 40 dias de duração do experimento. No nível de tratamento gradual, os filhotes também eram submetidos à salinidade oposta, porém por meio de uma alteração semanal, de maneira que o valor dessa salinidade fosse alcançado aos 28 dias de duração do experimento (Tabela 2). No controle, os filhotes foram mantidos na salinidade da lagoa de origem da mãe, ou seja, a mesma salinidade do aquário onde nasceram. Assim, para os filhotes de fêmeas da Lagoa Cabiúnas a salinidade oposta foi 35, aquela verificada em Catingosa, e para os filhotes de fêmeas da Lagoa Catingosa a salinidade oposta foi 0,2, aquela verificada em Cabiúnas. Considerando a salinidade intermediária de Preta (13), os filhotes de fêmeas desta lagoa foram submetidos a dois níveis de tratamento brusco e dois níveis de tratamento gradual (0,2 e 35), que refletissem

os extremos hipo e hiperalino, respectivamente (Tabela 2). Dessa forma, as proles provenientes de fêmeas da Lagoa Preta que foram submetidas ao aumento brusco ou gradual da salinidade passaram a ser referidas como Preta + e as submetidas à diminuição brusca ou gradual da salinidade passaram a ser referidas como Preta –.

Diariamente os aquários eram inspecionados para a detecção, registro e remoção de indivíduos mortos. A renovação completa da água em todos os aquários experimentais e contabilização do número de indivíduos foram realizadas semanalmente. A salinidade da água foi mantida constante nos aquários dos níveis brusco e controle e semanalmente ajustada apenas nos aquários do nível gradual (Tabela 2). A manutenção da temperatura em 28°C foi alcançada com o auxílio de aquecedor (110V 0,5W).

Tabela 2. Valor de ajuste da salinidade no nível de tratamento gradual durante as primeiras quatro semanas do experimento que manipulou o regime de salinidade em proles de *Poecilia vivipara*. Números em parênteses indicam a salinidade da lagoa de origem da mãe da prole, no primeiro dia de experimento.

Dia	Cabiúnas (0,2)	Preta – (13)	Preta + (13)	Catingosa (35)
7°	8,9	9,8	18,5	26,3
14°	17,6	6,6	24	17,6
21°	26,3	3,4	29,5	8,9
28°	35	0,2	35	0,2

No último dia do experimento todos os indivíduos foram eutanasiados com *overdose* de benzocaína (250mg.L⁻¹ diluída em 1ml de álcool) diluída em água com a respectiva salinidade do nível do tratamento no qual se encontravam. Os indivíduos foram então medidos (comprimento total, mm) e pesados (peso úmido, 0,00001g), após serem pressionados em uma toalha ultraabsorvente, sendo registrada sempre que detectada a ocorrência de machos com gonopódio em formação ou completamente formado. Em seguida, cada indivíduo foi submetido à estufa a 60°C por 24h para obtenção do seu peso seco final (peso seco, 0,00001g).

Análise de dados

O comprimento total das fêmeas cujas proles foram utilizadas no experimento em diferentes salinidades foi comparado através de uma ANOVA unifatorial, considerando a lagoa como o fator. Um possível efeito do comprimento total da mãe na variação do tamanho da sua prole (número de filhotes) foi testado por uma regressão linear simples, enquanto um possível efeito do comprimento total da mãe e do tamanho da prole na variação do peso inicial de seus filhotes (peso seco médio) foi testado por uma regressão linear múltipla. Essas análises tiveram por objetivo avaliar um possível efeito diferencial de condições prévias ao início do experimento e que poderiam interferir nos resultados obtidos com a experimentação.

A contagem semanal do número de filhotes possibilitou determinar a sobrevivência relativa em cada aquário. Considerando que mesmo após a transformação dos dados (arcoseno) os valores de sobrevivência não apresentaram distribuição normal nem homocedástica, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para avaliar separadamente um possível efeito da lagoa de origem da mãe e do tratamento. Considerando a baixa ocorrência de indivíduos com gonopódio, a frequência relativa de machos em cada aquário foi analisada apenas de forma descritiva.

A influência da lagoa de origem da mãe e do tratamento tanto no comprimento quanto no peso dos filhotes ao final do experimento foi testada por uma ANOVA bifatorial protegida, aplicada aos valores do comprimento total e peso seco. Considerando que este teste detectou um efeito de interação entre as variáveis preditoras em pelo menos uma das variáveis-resposta, uma ANOVA bifatorial foi posteriormente aplicada sobre as variáveis comprimento total e peso seco.

A razão entre a diferença entre o peso seco e o peso úmido no final do experimento pelo comprimento total foi utilizada como uma medida de retenção hídrica de cada indivíduo. Uma ANOVA bifatorial foi aplicada sobre esses valores, considerando a lagoa de origem da mãe e o tratamento como fatores.

Nas análises de regressão linear e nas ANOVAs, os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância foram respectivamente alcançados. Sempre que

diferenças significativas foram detectadas na comparação das médias, o teste LSD de Fisher foi aplicado para a identificação dos pares que diferiram significativamente entre si. Todas as análises foram realizadas com o uso do programa Statistica (Statsoft, 2007) e o nível de significância adotado em todos os testes foi $p < 0,05$.

Resultados

As fêmeas da Lagoa Preta apresentaram um comprimento maior ($5,4 \pm 0,16\text{mm}$) que aquelas das lagoas Catingosa ($5,0 \pm 0,36\text{mm}$) e Cabiúnas ($4,7 \pm 0,30\text{mm}$) (Figura 2AB). A ANOVA unifatorial encontrou diferenças significativas no comprimento total das fêmeas entre as lagoas de origem (Tabela 3), sendo que as fêmeas da Lagoa Cabiúnas foram significativamente menores que as da Lagoa Preta.

Tabela 3. Resultado do teste ANOVA que comparou o comprimento total das fêmeas que deram origem aos filhotes utilizados no experimento que manipulou o regime de salinidade entre as lagoas de origem Cabiúnas, Preta e Catingosa.

	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	229,5225	1	229,5225	2278,947	0,000000
Lagoa	0,9800	2	0,4900	4,865	0,047376
Erro	0,7050	7	0,1007		

O número de filhotes por fêmea foi variável, sendo que uma fêmea da Lagoa Catingosa chegou a parir de 66 filhotes (Tabela 1). A relação entre o comprimento da mãe e o tamanho da sua prole (número de filhotes) foi positiva e significativa ($F=7,07$; $R^2=0,28$; g.l.=1,14; $p < 0,05$) (Figura 2A). O comprimento da mãe e o tamanho da sua prole não influenciaram significativamente a variação do peso seco de seus filhotes ($F=1,91$; $R^2=0,11$; g.l.=2;13; $p=0,18$) (Figura 2BC).

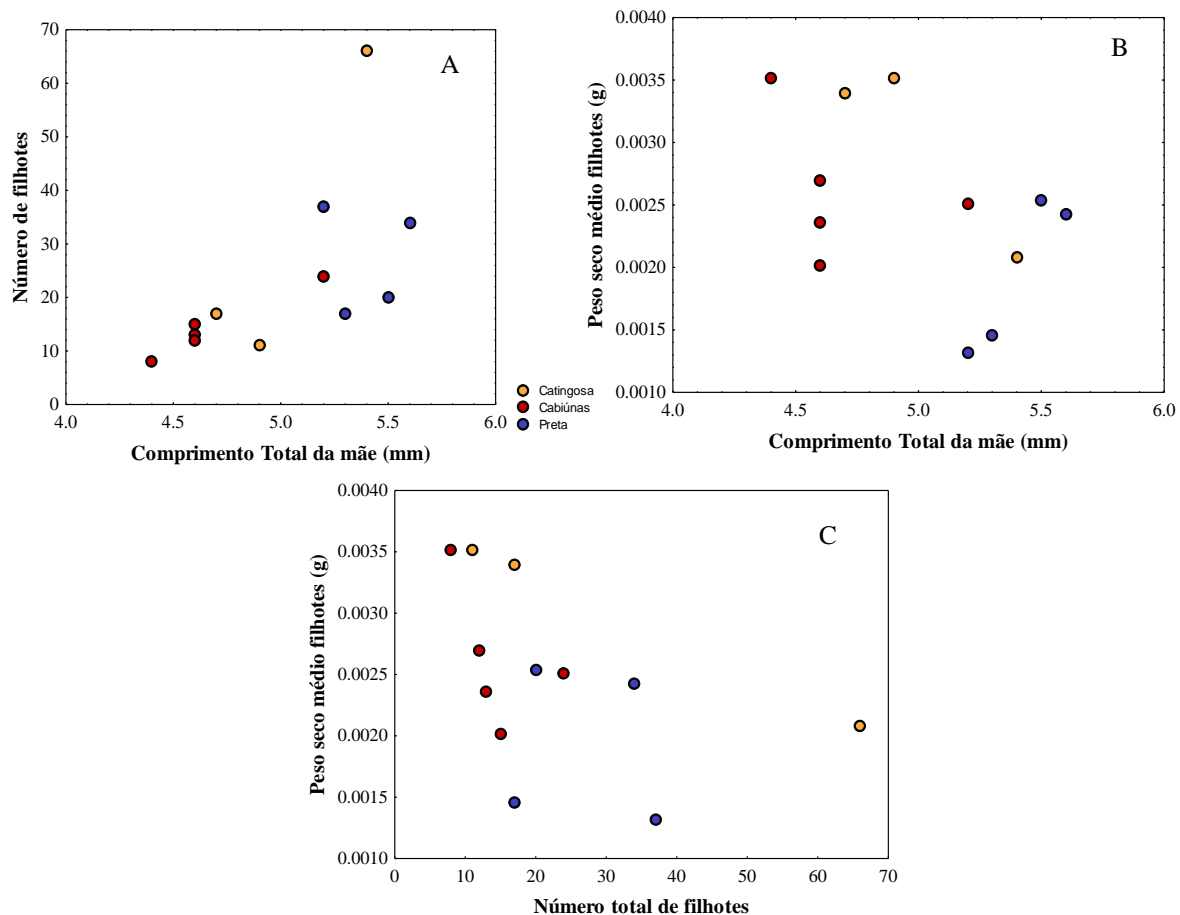


Figura 2. Relação entre o comprimento total da mãe e o tamanho da sua prole (A), e o peso médio dos filhotes ao nascer (B), e entre o tamanho da sua prole e peso médio dos filhotes ao nascer (C).

A sobrevivência média dos filhotes considerando todas as réplicas foi de 91%. Entretanto, quando as réplicas de cada tratamento são analisadas separadamente, verificou-se que o nível de tratamento brusco foi aquele onde a sobrevivência média foi a menor, 77%. A sobrevivência média foi elevada nos níveis do tratamento controle e gradual, de 99 e 97%, respectivamente. O teste Kruskal-Wallis detectou ausência de um efeito devido à lagoa de origem da mãe na sobrevivência dos filhotes ($H=3,2835$; $N=3;48$; $p=0,3499$). Porém, as diferenças entre os níveis do tratamento foram significativas, em especial entre os níveis brusco e controle ($H=12,42$; $N=3;48$; $p=0,0020$) (Tabela 4).

Dos 295 filhotes utilizados neste experimento, apenas 25 (9%) foram detectados como machos ao final do período de 40 dias. A Lagoa Cabiúnas foi aquela que apresentou o maior número de machos (N=12), seguida da Lagoa Catingosa com nove e a Lagoa Preta com quatro machos (Tabela 3).

Tabela 4. Lagoa de origem das matrizes, a identificação da fêmea cuja prole foi utilizada nos experimentos, o número de filhotes que sobreviveram aos 40 dias em cada um dos três níveis do tratamento que manipulou o regime de salinidade e a frequência relativa (e absoluta) do número de machos em cada réplica. Preta + e Preta - compartilham o mesmo controle.

Lagoa de origem	Identidade da mãe	Número final			Machos		
		Controle	Gradual	Brusco	Controle	Gradual	Brusco
Catingosa	Catingosa 2	20	20	18	0,15 (3)	0	0
Catingosa	Catingosa 1	3	3	0	0	0,33 (1)	0
Catingosa	Catingosa 7	4	4	3	0,25 (1)	0,25 (1)	0
Cabiúnas	Cabiúnas 9	2	2	2	0	0	0
Cabiúnas	Cabiúnas 11	3	3	3	0	0	0
Cabiúnas	Cabiúnas 8	7	7	6	0,28 (2)	0,28 (2)	0,33 (2)
Cabiúnas	Cabiúnas 10	4	4	3	0	0	0,5 (2)
Cabiúnas	Cabiúnas 24	3	3	0	0	0	0
Preta+	Preta 23	6	6	6	0	0	0
Preta +	Preta 52	6	4	1	0	0	0
Preta +	Preta 54	3	3	0	0,13 (1)	0,13 (1)	0
Preta +	Preta 53	3	3	3	0	0,33 (1)	0,33 (1)
Preta -	Preta 23	6	6	6	0	0	0
Preta -	Preta 52	6	4	1	0	0	0
Preta -	Preta 54	3	3	0	0,13 (1)	0	0
Preta -	Preta 53	3	3	3	0	0	0

Em relação ao comprimento total dos indivíduos ao final dos 40 dias de experimento, este variou entre 10,47 e 23,83mm. Em geral, filhotes de fêmeas da Lagoa Cabiúnas foram os maiores $20,28 \pm 1,11$ e os da Lagoa Catingosa foram os menores $17,04 \pm 1,5$ mm (Figura 3A). O peso expressado pela massa seca variou de forma menos pronunciada, entre 0,009 e 0,055g. Em geral, filhotes de fêmeas da Lagoa Cabiúnas apresentaram maior peso $0,029 \pm 0,008$ e os da Lagoa Catingosa apresentaram menor peso $0,014 \pm 0,008$ (Figura 3B).

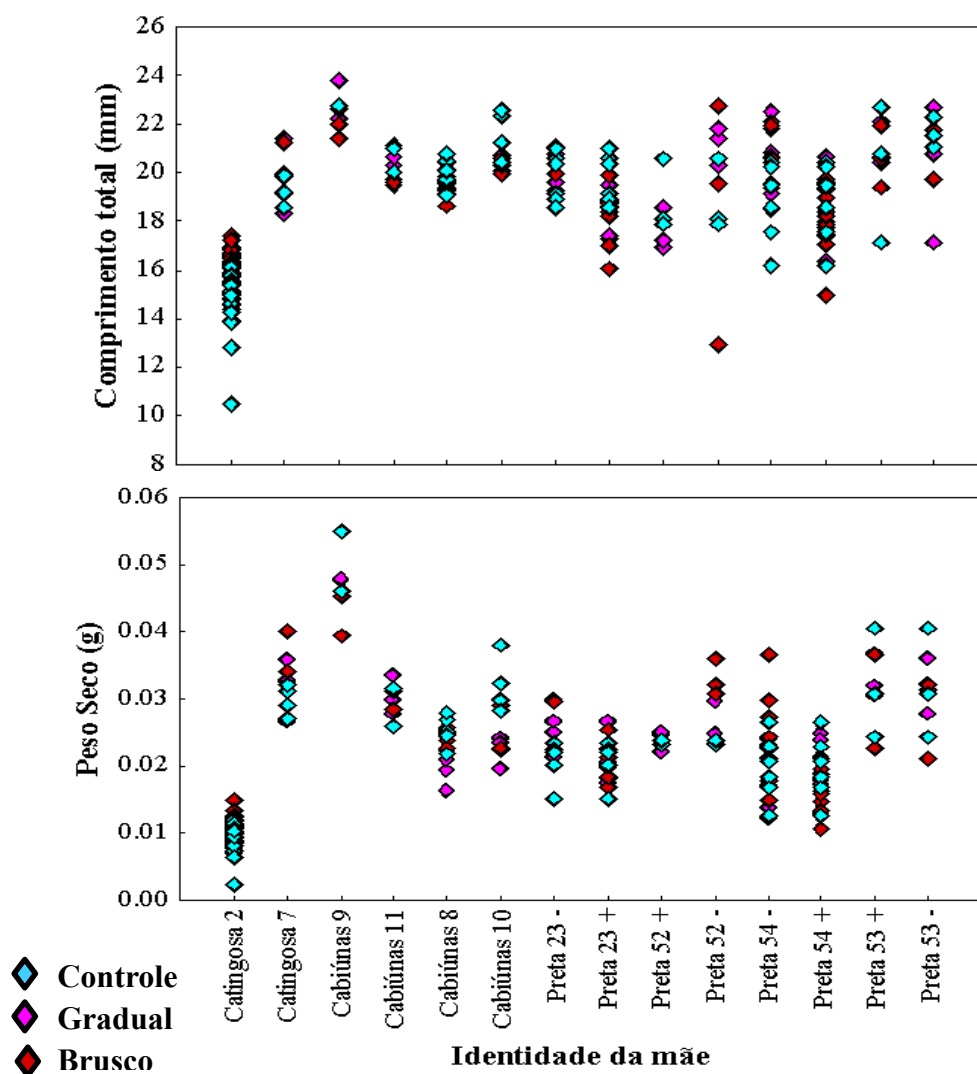


Figura 3. Variação dos valores de comprimento total (A) e peso seco (B) de juvenis de *Poecilia vivipara* que descendem de matrizes capturadas em lagoas com diferentes salinidades e que foram expostos por 40 dias de experimento a diferentes regimes de alteração da salinidade.

A ANOVA protegida detectou um efeito significativo da interação entre a lagoa de origem da mãe e o tratamento em pelo menos uma dessas variáveis dependentes ($F=2,97$; g.l.=12;418; $p=0,0005$). Dessa forma, uma ANOVA bifatorial foi aplicada a cada uma das variáveis dependentes, comprimento total e peso seco. Foi detectado um efeito significativo da interação entre a lagoa de origem da mãe e o tratamento para o comprimento total dos juvenis ao final do experimento, indicando que o efeito da variação da salinidade foi

dependente da origem da mãe. Para o peso seco, no entanto, apenas um efeito significativo da lagoa de origem da mãe foi detectado, sendo que filhotes de fêmeas da Lagoa Cabiúnas pesaram significativamente mais que os filhotes da Lagoa Catingosa (Tabela 5).

Tabela 5. Resultado do teste ANOVA que comparou o comprimento total e o peso seco dos juvenis após os 40 dias de experimento entre as lagoas de origem das fêmeas e o tratamento que manipulou o regime de salinidade.

		SQ	G.L	QM	F	p
Comprimento total (mm)	Intercepto	77060,45	1	77060,45	30032,14	0,000000
	Lagoa	629,45	3	209,82	81,77	0,000000
	Tratamento	3,58	2	1,79	0,70	0,499047
	Lagoa*Tratamento	53,01	6	8,84	3,44	0,002895
	Erro	538,85	210	2,57		
Peso seco (g)	Intercepto	0,105856	1	0,105856	1931,176	0,000000
	Lagoa	0,007222	3	0,002407	43,916	0,000000
	Tratamento	0,000018	2	0,000009	0,167	0,846148
	Lagoa*Tratamento	0,000450	6	0,000075	1,369	0,228674
	Erro	0,011511	210	0,000055		

Em geral, juvenis submetidos ao nível brusco da Lagoa Preta- (0,2 de salinidade) apresentaram uma diferença entre o peso úmido e o seco duas vezes maior que aqueles submetidos ao nível controle da Catingosa (salinidade de 35), mesmo após controlar o efeito do comprimento do corpo. Houve um efeito significativo da interação entre o nível do tratamento e a lagoa de origem da mãe sobre a retenção hídrica dos juvenis, indicando que o efeito da salinidade de cultivo interfere no percentual hídrico retido no corpo, porém a origem materna dos indivíduos afeta essa relação (Tabela 6).

Tabela 6. Resultado do teste ANOVA que comparou a razão entre a diferença entre o peso seco e o peso úmido pelo comprimento total dos juvenis após os 40 dias de experimento entre as lagoas de origem das fêmeas e o tratamento que manipulou o regime de salinidade.

	SQ	GL	QM	F	p
Intercepto	77023,61	1	77023,61	30048,78	0,000000
Lagoa	626,87	3	208,96	81,52	0,000000
Tratamento	3,63	2	1,81	0,71	0,493917
Lagoa*Tratamento	52,80	6	8,80	3,43	0,002962
Erro	538,29	210	2,56		

De acordo com o teste *pos hoc*, os filhotes de fêmeas da Lagoa Catingosa, independentemente do nível do tratamento, foram aqueles que apresentaram em média as menores retenções hídricas. Não foi encontrada diferença significativa entre o nível gradual da Lagoa Cabiúnas e seus níveis brusco ou controle, nem tampouco entre o gradual de Cabiúnas e os níveis de controle de Preta + e Preta -.

O nível brusco de Cabiúnas não diferiu significativamente de nenhum dos níveis de tratamento de Preta + e nem do controle de Preta -. O Controle de Cabiúnas não diferiu significativamente dos níveis de controle de Preta + e Preta -, tampouco dos níveis gradual e brusco de Preta - (Figura 4).

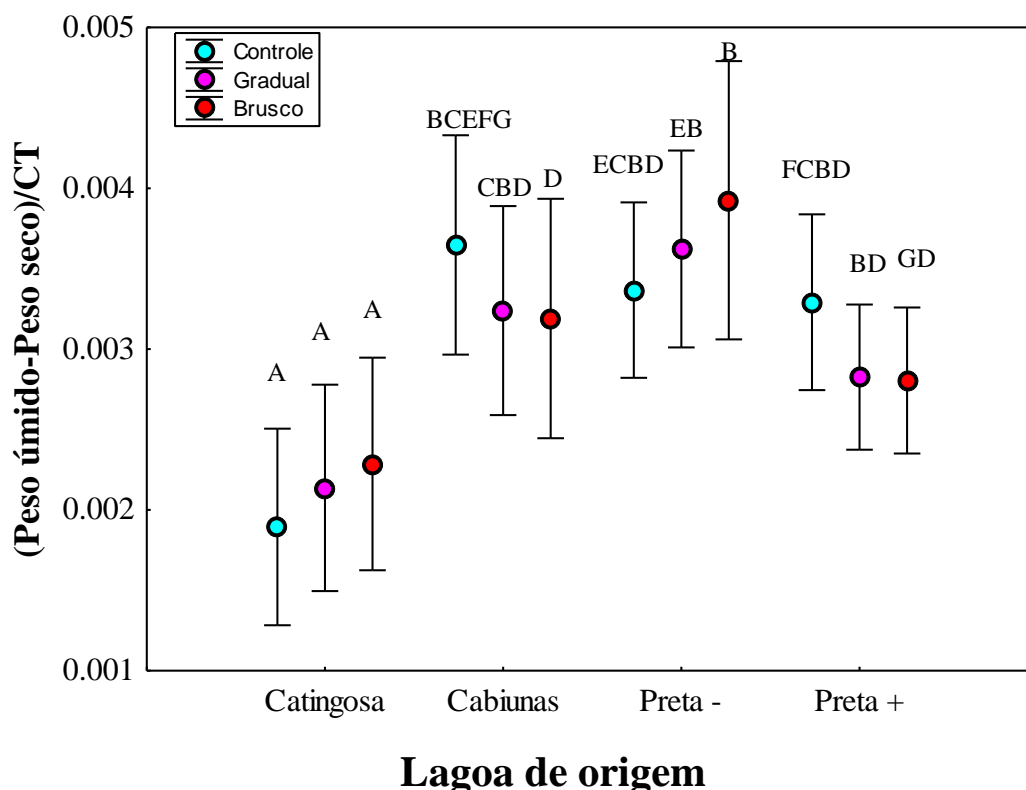


Figura 4. Variação dos valores de retenção hídrica (média±erro-padrão) dos juvenis de *Poecilia vivipara* que descendem de matrizes de lagoas com diferentes salinidades e que foram expostos por 40 dias de experimento a diferentes regimes de alteração da salinidade.

Discussão

Os resultados do presente estudo evidenciam que *P. vivipara* responde a regimes diferenciados de variação na salinidade em termos de sobrevivência, crescimento somático e no teor hídrico do corpo. A discussão desses resultados requer revisitar os padrões de comprimento corporal detectados nos estudos observacionais (Capítulos I e II desta Dissertação) e buscar subsídios em abordagens morfofisiológicas. O processo de osmose ocorre por meio da propriedade de permeabilidade seletiva das membranas celulares, via difusão de líquidos entre meios mais e menos ionicamente concentrados (Alberts et al., 2006). O estresse osmótico é causado por mudanças na concentração de solutos, como por exemplo pelo NaCl causando mudanças na movimentação das moléculas de água pelas membranas celulares. De acordo com os resultados do presente estudo, a salinidade parece influenciar crescimento dos peixes devido ao estresse osmótico gerado, porém este estresse no caso dos juvenis refletiu as condições prevalentes do ambiente ocupado pelas matrizes (menor crescimento em juvenis com origem na Lagoa Catingosa). No presente estudo, fêmeas oriundas de salinidade intermediária (Lagoa Preta, salinidade 13) foram maiores que as fêmeas da Lagoa Cabiúnas (salinidade 0,2) corroborando os resultados de outros estudos que detectaram a ocorrência de maiores comprimentos de corpo sob condições intermediárias de salinidade em relação à ambientes hipo ou hipersalinos (Boeuf & Payan, 2001; Capítulo I). Essas fêmeas maiores foram capazes de gerar ninhadas maiores. Este não é um padrão exclusivo de *P. vivipara*, mas comumente encontrado em outras espécies de Cyprinodontiformes como *Poecilia latipinna*, *Gambusia affinis*, *Heterandria formosa* (Martin et al., 2009). De acordo com as próprias predições da Teoria de História de Vida, organismos maiores produzem proles mais numerosas (Stearns, 1992; Begon et al., 1996).

Uma preocupação inicial, e que poderia funcionar como um potencial confundidor dos resultados do presente experimento era uma esperada relação negativa entre o tamanho e o peso da prole. Afinal, para uma espécie que parece complementar as reservas energéticas do vitelo com algum investimento materno durante a gestação (ver Capítulo I desta Dissertação), seria esperado que proles numerosas fossem nutridas de maneira incipiente. Essas observações remetem novamente à Teoria da História de Vida, que afirma que fêmeas de maior comprimento, que dão origem a proles mais numerosas, também tendem a produzir embriões de melhor “qualidade” (Stearns, 1992; Ricklefs, 2010). Dessa forma, uma prole numerosa não implicaria necessariamente em filhotes menores ou mais sensíveis ao tratamento aplicado. No presente experimento, nem o comprimento total da mãe, tampouco o tamanho da prole apresentou relação com o peso dos recém-nascidos, fato que minimiza o efeito de influências externas, além da variável manipulada, a salinidade, o experimento de cultivo.

O experimento de cultivo da prole sob diferentes regimes de salinidade foi caracterizado por uma elevada sobrevivência, apesar do estresse ao qual os filhotes foram submetidos, em especial ao submetê-los bruscamente a valores extremos de salinidade. Comparativamente, os filhotes quando submetidos de salinidade 0,2 para 35 permaneceram por alguns minutos nadando lentamente e de maneira desorientada. Porém, este comportamento não se estendeu por mais de 60 minutos. O teor de sais dissolvidos, quando elevado, aumenta a densidade da água (Esteves, 2011), o que pode ter influenciado na natação e na abertura dos opérculos desses juvenis. Manipulando a salinidade em um intervalo muito inferior ao utilizado nesse estudo (0 a 16), mas que refletia as variações naturais do estuário da Lagoa dos Patos, Mai et al. (2005) registraram uma sobrevivência relativamente elevada, porém variável para o Cyprinodontiformes *Jenynsia multidentata*

76,0±18,3%. Esta relativa facilidade de cultivo e sobrevivência sob condições de cativeiro deve contribuir para espécies desta ordem serem amplamente empregadas em estudos experimentais (Haney & Walsh, 2003; Rocha et al., 2010).

O estresse gerado em nível de indivíduo ao se alterar bruscamente a salinidade da água poderia ter acarretado em menor sobrevivência daqueles submetidos ao nível de tratamento brusco, uma vez que o teor de sais dissolvidos no corpo foi muito menos ou mais concentrado que no meio circundante. Em ambientes com elevada salinidade, o organismo tende a perder água e incorporar íons do meio, sendo a desidratação corpórea uma das consequências desse processo (Gonzalez, 2012). Por outro lado, os organismos que vivem em ambientes de água doce são hipertônicos em relação ao meio, devido a maior concentração de sais em seu corpo. Assim, esses organismos estão propensos à entrada de água no corpo e perda de íons para o ambiente por osmose (Greenwell et al., 2003). Uma das formas de compensar esta tendência que pode comprometer negativamente peixes em ambientes hipossalinos é consumir pouca e excretar muita quantidade de água. Devido a todos os fatores citados acima, para mudanças súbitas de salinidade como as ocorridas no nível de tratamento brusco, era esperada uma menor sobrevivência, mas que não foi confirmada no presente estudo.

Apesar de ser uma variável avaliada apenas descritivamente, o número de machos detectados ao final do experimento foi baixo, muito aquém de uma razão 1:1. Parte da explicação para os resultados obtidos pode dever-se a reconhecida desproporção sexual de machos e fêmeas para espécies de fecundação interna, como são a maior parte dos Cyprinodontiformes (Wolff et al., 2001; Gomez-Marquez et al., 2008; Goyenola et al., 2011), bem como à curta duração do experimento, sendo que os filhotes foram eutanasiados aos 45 dias de vida.

Ao detectar gonopódios completamente formados ou em formação em 25 machos aos 45 dias de vida, o presente estudo registra um tempo menor de maturação sexual do que os 49 dias registrados em juvenis de *P. vivipara* compartilhando um aquário com um predador *Hoplias malabaricus* (A. C. Petry, comunicação pessoal). Um fato interessante é que foi exatamente em aquários sob nível brusco de salinidade que uma proporção maior de machos foi detectada. Desses, em sua maioria na Lagoa Cabiúnas, a mesma fonte dos juvenis empregados no experimento de risco de predação. Considerando as fortes hierarquias de dominância sexual descritas para Poeciliidae (Magurran & Seghers, 1994), o tempo que decorre desde o nascimento até a diferenciação sexual dos machos pelo desenvolvimento do gonopódio é altamente flexível e parece depender da pré-existência de outro macho e de estímulos como a ocorrência de um predador, ou, até mesmo, pela alteração brusca da salinidade, como sugere o presente estudo.

Uma abordagem curiosa que se sugere investigar é se a frequência de machos não é maior em ambientes que variam bruscamente no regime de salinidade, assim como ocorre em eventos de abertura de barra arenosa em lagoas costeiras ou sob dessecação intenso de ambientes aquáticos restritos como poças. Certamente a confirmação da proporção sexual em cada aquário demandaria uma extensão do experimento para pelo menos 120 dias, sob o risco de se considerar como fêmea um indivíduo macho no qual ainda não houve o início da modificação da nadadeira anal, pelo seu avanço em direção às nadadeiras pélvicas e o prolongamento dos seus 3º, 4º e 5º raios para posteriormente se unirem na forma de um gonopódio.

A forma de variação da salinidade nos diferentes níveis de tratamento foi a grande questão deste estudo, que procurou seguir uma das duas abordagens de experimentos manipulativos preconizadas por Gotelli & Ellison (2011). De acordo com esses autores,

denomina-se um *experimento de pressão*, aquele no qual as condições alteradas no tratamento são mantidas ao longo do tempo, de forma a assegurar que a força da manipulação permaneça constante. Por outro lado, em *experimento de pulsos*, o tratamento é aplicado uma única vez, sendo possibilitado à réplica (ou no caso, os indivíduos de um mesmo aquário) que se recupere da manipulação apenas inicial. Enquanto experimentos de pressão avaliam a resistência de um dado organismo à condição experimental, os de pulsos avaliam sua resiliência a ela. No caso de salinidades extremas, porém constantes no tempo, como na Lagoa Cabiúnas, um experimento de pressão estaria em curso. No presente estudo, os níveis de tratamento controle e brusco podem ser entendidos como experimentos de pressão, já que as condições do tratamento foram mantidas do primeiro ao último dia experimental. O nível de tratamento gradual, por outro lado, funcionou como um experimento de pressão por etapas, uma vez que com regularidade o aumento ou a redução da salinidade eram aplicados até que 70% do período experimental estivesse decorrido. Apesar dessas diferenças, o crescimento somático avaliado pelo comprimento do corpo ao final do experimento respondeu mais à salinidade do que ao regime pelo qual esta foi modificada. Em relação ao comprimento dos filhotes, a interação entre o tratamento e a lagoa foi significativa, entretanto em relação ao peso, apenas lagoa de procedência das mães exerceu um forte efeito. Estes resultados confirmam o fato de que apesar dos níveis de tratamento graduais ou bruscos, a salinidade se apresenta como maior estressor (Griffith, 1974; Boeuf & Payan, 2001).

Como mencionado anteriormente, quanto à retenção hídrica, organismos que são hiperosmóticos em relação ao meio, como peixes que vivem em água doce, tendem a perder íons para o meio e absorver água, enquanto os hiposmóticos, como os peixes que vivem em ambientes com salinidade mais alta que aquela do meio interno, tendem a perder água e ter

maior entrada de íons por osmose (Greenwell et al., 2003; Gonzalez, 2012). São diversas as adaptações para maior eficiência de perda de água e absorção de íons em peixes em água doce ou salgada, como os rins, que desempenham papel essencial nos processos de filtração e seleção de água e íons (como Ca^{2+} , Mn^{+}), enquanto o intestino atua no processo de absorção de íons. Peixes de água doce excretam grande volume de urina diluída, com a finalidade de eliminar grande quantidade de água (Evans, 1980; Evan & Takei, 1992). A produção de urina, por sua vez, é estimulada pelo hormônio Arginina vasopressina, enquanto a Prolactina estimula a absorção de Na^{+} no intestino (Greenwell et al., 2003). Dentre as adaptações de peixes que vivem em ambientes de salinidade elevada está o aumento na eficiência de retenção hídrica. Aproximadamente 75% da água ingerida é reabsorvida pelos túbulos renais (Baldisseroto et al., 2007; Baldisseroto, 2009; Cnaani & Hulata, 2011; McCormick 2013). As brânquias representam uma das maiores superfícies para trocas gasosas e iônicas em um peixe, contendo células pavimentosas que cobrem o filamento branquial e células clorídricas, que de acordo com a literatura são responsáveis pela secreção de NaCl em teleósteos marinhos. As células clorídricas também estão presentes em teleósteos de água doce, nos quais funcionam como uma barreira para reduzir perda iônica para o meio (Evans et al., 2005). Além destas adaptações, alguns peixes eurihalinos que vivem em ambientes de água doce apresentam modificações estruturais em suas brânquias, como foi observado em *Poecilia vivipara* por de Sabóia-Moraes et al. (2011), com diminuição volumétrica de células mucosas em água doce e aumento de células clorídricas.

A capacidade de *P. vivipara* responder fisiologicamente num relativamente curto intervalo de tempo a regimes diferenciados de alteração na salinidade foi comprovada pelo fato dos juvenis expostos à água doce (como no controle da Cabiúnas, brusco e gradual da

Catingosa e Preta-) apresentarem uma maior retenção hídrica em relação aqueles submetidos a salinidades mais elevadas (como no controle da Catingosa, brusco e gradual da Cabiúnas e Preta+). Dessa forma, a distribuição ampla de *P. vivipara* no gradiente de salinidade que existe no PARNA Restinga de Jurubatiba não se explica pelo menos exclusivamente por uma possível elevada capacidade de dispersão, mas por flexibilidade nos mecanismos de ajuste fisiológico.

Considerações finais do Capítulo III

- A forma como o tratamento foi administrado influenciou no crescimento, ganho de peso e sobrevivência dos juvenis de *Poecilia vivipara* submetidos ao experimento.
- Filhotes de *Poecilia vivipara* das lagoas Cabiúnas e de Preta- responderam de forma similar com maior retenção hídrica quando submetidos ao tratamento de aumento de salinidade.
- Filhotes de *Poecilia vivipara* da Catingosa quando submetidos aos tratamentos brusco e controle apresentaram uma maior retenção hídrica (apesar de não estatisticamente significativa), esperada em organismos submetidos à ambientes de água doce.

Referências

- Alberts, B., Bray, D., Lewis J., Johnson A., Raff M., Roberts K., Walter, P., Hopkin K. 2006. *Fundamentos da Biologia Celular* . 2ª ed. Rio de Janeiro, Artmed.
- Baldisseroto, B. 2009. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 2ª Ed. Santa Maria, Editora da UFSM.
- Baldisseroto, B., Mancera, J. M. e Kapoor, B. G. 2007. *Fish osmoregulation*. 1.ed. New Hampshire, Science Publishers.
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3ª ed. Massachusetts, Sinauer Associates Inc. Publishers.

- Betito, R. 2006. "Comparação da complexidade das adaptações bioecológicas de dois peixes (*Jenynsia multidentata* e *Poecilia vivipara*) (Cyprinodontiformes) no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)." *Revista Didática Sistemática*, 3:71-100.
- Boeuf, G. & Payan, P. 2001. "How should salinity influence fish growth?" *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130:411-423.
- Caliman, A., Carneiro, L. S., Santangelo, J. M., Guariento, R. D., Pires, A. P. F., Suhett, A. L., Farjalla, V. F. 2010. "Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms." *Brazilian Journal of Biology*. 70(3), 803-814.
- Cnaani, A. & Hulata, G. 2011. "Improving salinity tolerance in tilapias: Past Experience experience and future projects." *The Israeli Journal of Aquaculture*. 1-21. IIC:63.2011.533
- Di Dario, F., Petry, A. C., Maia, M. S. P., Mincarone, M. M., Soares, L. A., Camara, E. M., Caramaschi E. P., de Britto, M. R. 2013. "An update on the fish composition (Teleostei) of the coastal lagoons of the Restinga de Jurubatiba National Park and the Imboassica Lagoon, northern Rio de Janeiro State." *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(3), 257-278.
- Esteves, F. A. 2011. *Fundamentos de limnologia*. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Interciência.
- Evans D. H., Piermarini, P. M., Choe, P. K. 2005. "The multifunctional fish gill: dominant site of gas Exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste." *Physiological Reviews*, 85:97-177. DOI: 10.1152/physrev.00050.2003
- Evans, D. H. 1980. "Osmotic and ionic regulations by freshwater and marine fishes." *Environmental Physiology of Fishes*, 7:93-122.
- Evans, D. H. & Takei, Y. 1992. "A putative role for natriuretic peptides in fish osmoregulation." *News in Physiological Science*, 7:15-18.
- Felice, B. C. "Dinâmica de metacomunidades de peixes em ecossistemas costeiros: uma abordagem com lagoas e poças do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba." 2014. Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, RJ. Brasil.
- Gomez-Marquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I., Sanches-Herrera, A. K., Satré-Baez, L. 2008. "Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in Mexico." *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1801-1812. ISSN 0034-7744.
- Gonzalez, R. J. 2012. "The physiology of hyper-salinity tolerance in teleost fishes: a review." *Journal of Comparative Physiology B*, 182: 321-329.
- Gotelli, N. J., Ellison, A. M. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. 1ª ed. Porto Alegre, Artmed.
- Goyenola, G., C. Iglesias., Mazzeo, C. N., E. Jeppesen. 2011. "Analysis of the reproductive strategy of *Jenynsia multidentata* (Cyprinodontiformes, Anablepidae) with focus on sexual differences in growth, size and abundance." *Hydrobiologia*, 673: 245-257
- Greenwell, M. G., Sherrill, J., Clayton, L.A. 2003. "Osmoregulation in fish mechanisms and clinical implications." *Veterinary Clinics Exotic Animal Practice*, 6:169-189.
- Griffith, R. W. 1974. "Environment and salinity tolerance in the genus *Fundulus*." *Copeia*, 2:319-331.
- Haney, D. C. & Walsh, S. J. 2003. "Influence of Salinity and Temperature on the Physiology of *Limia melanonotata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae): A Search for Abiotic Factors Limiting Insular Distribution in Hispaniola." *Caribbean Journal of Science*, 39(3), 327-337.

- Laiz-Carrión, R., Sangiao-Alvarellos, S., Guzmán, J. M., del Río, M. P. M., Míguez, J. M., Soengas, J. L., Mancera, J. M. 2002. "Energy metabolism in fish tissues related to osmoregulation and cortisol action." *Fish Physiology and Biochemistry*, 27(3-4), 179-188.
- Magurran, A. E., & Seghers, B. H. 1994. "A cost of sexual harassment in the guppy, *Poecilia reticulata*. Proceedings of the Royal Society of London." *Series B: Biological Sciences*, 258(1351), 89-92.
- Mai, A.C.G., Garcia A.M., Vieira J.P. 2005. "Influência da salinidade no crescimento de juvenis de *Jenynsia multidentata* Jenyns (Pisces)." *Revista Brasileira de Zoologia* 22 (3), 780-783
- Martin, S., A. T. Hitch, K. M. Purcell., Klerks P. L., P. L Leberg. 2009. "Life history variation along a salinity gradient in coastal marshes." *Aquatic Biology*, 8:15-28.
- Mccormick, S. D., Farrel, A. P., Brauner, C. 2013. *J. Fish Physiology: Euryhaline Fishes*. 1^a Ed. Waltham, Academic Press.
- Parmesan, C. 2006. "Ecological and evolutionary responses to recent climate change." *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics*. 37:637-669. DOI 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100
- Ricklefs, R. E. 2010. *A Economia da Natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- Rocha, T. L., Carvalho, R., Yamada, Á. T., Sabóia-Moraes, S. M. 2010. "Morphologic analysis of developmental phases and gill ontogenesis in neotropical species *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) exposed to different salinities." *Zoologia (Curitiba)*, 27(4), 554-562.
- Sabóia-Moraes, S. M. T., Saldiva, P. H. N., da Silva, J. R. M. C., Yamada, Á. T., Aloia, T. P. A., Hernandez-Blazquez, F. J. 2011. "Adaptação do epitélio branquial de peixes eurialinos, guaru (*Poecilia vivipara*), para água doce." *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 48(1), 5-13.
- Sáez, A. G., Lozano, E., Riverón-Zaldívar, A. 2008. "Evolutionary history of Na,K-ATPases osmoregulatory role." *Genetica*, 136:479-490. DOI 10.1007/s10709-009-9356-0
- StatSoft. 2007. "STATISTICA (data analysis software system)." version 8.0. Available from: <www.statsoft.com>
- Stearns, S. C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford, Oxford University Press.
- Townsend, C. R., Begon, M., Harper, J. L. 2005. *Essentials of Ecology*. 2^a Ed. Malden, Blackwell Science.
- Wolcott, T. G., & Wolcott, D. L. 2001. "Role of behavior in meeting osmotic challenges." *American Zoologist*, 41(4), 795-806.
- Wolff, L. L., Hreciuk, E. R., Viana, D., Zaleski, T., Donatt, L. 2007. "Population structure of *Phalloceros caudimaculatus* (Hensel, 1868) (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) collected in a brook in Guarapuava, PR." *Brazilian archives of biology and technology*, 50(3), 417-423. ISSN 1516-8913.

Considerações Finais

Os resultados apresentados nessa dissertação sugerem mecanismos que explicam o padrão da distribuição de *P. vivipara* no amplo gradiente de salinidade que ocorre nos ambientes aquáticos lênticos do norte fluminense. A espécie foi detectada tanto em ambientes de água doce quanto em ambientes hipersalinos, onde nenhuma outra espécie de peixe foi registrada. Descritores da estrutura das populações sugerem que a salinidade exerça influência sobre as taxas de crescimento do corpo e no tamanho da primeira maturação sexual. Dessa forma, gastos energéticos em osmorregulação devem interferir no crescimento e na reprodução de *P. vivipara*. Dessa forma, se sugere que a espécie possa ser usada como modelo em estudos envolvendo alterações ambientais, como por exemplo, as alterações na salinidade da água.

Em relação à fecundidade, o investimento em uma prole numerosa foi maior em ambientes extremos mais salinos em relação a aqueles dulcícolas e salobros. Entretanto, todas as fêmeas de ambientes extremos foram menores do que em ambientes intermediários, sugerindo que *P. vivipara* seja capaz de realizar seu crescimento ótimo sob condições intermediárias de salinidade, atingindo um comprimento total maior e um maior investimento na reprodução, o que garante proles maiores e de melhor qualidade, mensurada pelo peso dos embriões.

Como perspectiva de trabalhos futuro, sugiro:

- Estudos fisiológicos que apontem gastos energéticos em relação à osmorregulação que ultrapassem fronteiras dos experimentos de curto prazo.
- Estudos comportamentais para verificar a influência da salinidade na locomoção, alimentação, escolha do parceiro, diferenciação sexual e interações interespecíficas.