



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – IBIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL) - PPG BIO

Luana Barbosa Seixas

**Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos
sobre a ictiofauna na Baía da Guanabara, RJ?**

Rio de Janeiro

2014

LUANA BARBOSA SEIXAS

**Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos
sobre a ictiofauna na Baía da Guanabara, RJ?**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro como requisito parcial para obtenção de Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos

Rio de Janeiro

2014

Seixas, Luana B.

Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na baía da Guanabara, RJ?

51 Páginas, 9 Figuras, 7 Tabelas.

Orientador: Luciano Neves dos Santos

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

1. Assimetria flutuante. 2. *Orthopristis ruber* 3. Costão rochoso. 4. Baía de Guanabara. I. Santos, Luciano Neves dos. II. Universidade Federal do Estado do Rio Janeiro. Centro de Ciências Biológicas e de Saúde. Curso de Mestrado em Ciências Biológicas. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UNIRIO
Instituto de Biociências (IBIO)
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS)
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (PPGBIO)
Mestrado em Biodiversidade Neotropical

Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na Baía da Guanabara, RJ?

por

Luana Barbosa Seixas

Dissertação de Mestrado

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos (Orientador)

Prof. Dr. Áthila Bertancini Andrade

Prof. Dr.ª Ilana Rosental Zalmon

Conceito: A

AGOSTO DE 2014

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical (PPGBIO)
Tel.: (0xx21) 2542-4278
<http://www.unirio.br> ppgbio.mestrado@unirio.br

RESUMO

Perturbações ambientais podem desenvolver estresses na população de peixes, ocasionando alterações morfológicas em estruturas pares nos indivíduos. Estas alterações são conhecidas como assimetria flutuante, que consiste em sutis alterações morfológicas aleatórias entre os planos com simetria bilateral de um determinado carácter. A assimetria flutuante é considerada uma técnica sensível a alterações ambientais em sua fase inicial, podendo refletir o estado de adaptação de uma população antes da contaminação de toda a comunidade ou ecossistema, sendo desta forma, considerada uma ferramenta alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da saúde ambiental. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a existência da assimetria flutuante em caracteres morfométricos e merísticos em *Orthopristis ruber* (Cuvier, 1830) em costões rochosos de um gradiente ambiental na baía de Guanabara (RJ, Brasil). Foram testados cinco índices da assimetria flutuante em seis caracteres de 66 exemplares de *O. ruber* coletados em três zonas com diferentes características hidrodinâmicas da baía de Guanabara nas estações seca e chuvosa de 2011. Os resultados demonstraram que houve diferenças significativas no nível da assimetria flutuante entre os índices e caracteres testados, com o número de rastros branquiais e o número de raios da nadadeira peitoral, juntamente com o comprimento das nadadeiras peitoral e ventral às estruturas que melhor responderam a existência da assimetria flutuante, mostrando-se estruturas vulneráveis aos agentes estressores encontrados na região. Entretanto, o nível de assimetria flutuante se mostrou de maneira diferenciada entre os costões da baía de Guanabara, com os *O. ruber* coletado na zona da Urca com menores níveis de assimetria flutuante do que os indivíduos das zonas de Paquetá e Ponte, mostrando que as estruturas são afetadas de diferentes maneiras pelos agentes estressores. Os resultados do presente estudo corrobora que a assimetria flutuante é

uma ferramenta eficaz para diagnosticar pequenas diferenças bilaterais no *O. ruber* encontrado entre os costões rochosos da baía de Guanabara. Nosso trabalho se destaca por ser pioneiro na validação da assimetria flutuante utilizando uma espécie de peixe marinha Neotropical comparando os níveis de assimetria flutuante em diferentes regiões.

Palavras-chave: assimetria flutuante, *Orthopristis ruber*, índices individuais e compostos, costões rochosos, gradiente latitudinal, baía de Guanabara.

ABSTRACT

Environmental disturbances can develop stresses on fish populations, causing morphological changes in pairs structures in individuals. These changes are known as fluctuating asymmetry, which consists of random subtle morphologic changes between the bilateral symmetry plans with a given character. The fluctuating asymmetry is considered a sensitive technique to environmental changes in its initial phase, which can reflect the state of adaptation of a population before the contamination of the whole community or ecosystem, being thus considered as an alternative tool to traditional methods of health assessment environmental. This study aimed to evaluate the existence of fluctuating asymmetry in meristic and morphometric characters in *Orthopristis ruber* (Cuvier, 1830) on rocky shores of an environmental gradient in Guanabara Bay (RJ, Brazil). Five indices of fluctuating asymmetry were tested in six characters of 66 specimens of *O. ruber* collected in three zones with different hydrodynamic characteristics of the Guanabara Bay in the dry and wet seasons of 2011. The results showed that there were significant differences in the level of fluctuating asymmetry between indexes and tested characters, with the number of gill rakers and the number of rays of the pectoral fin, along with the length of the pectoral and ventral fins to the structures that best answered the existence of fluctuating asymmetry, being vulnerable to stressors structures found in the region. However, the level of fluctuating asymmetry was shown differently between the shores of the Bay of Guanabara, with *O. ruber* collected in the Urca district with lower levels of fluctuating than individuals zones Paquetá and Bridge, showing that structures are affected in different ways by stressors. The results of this study confirms that fluctuating asymmetry is an effective tool for diagnosing small bilateral differences in *O. ruber* found among the rocky shores of Guanabara Bay. Our work stands out as a pioneer in validating the fluctuating asymmetry using a species of marine fish Neotropical comparing the levels of fluctuating asymmetry in different regions.

Keywords: Fluctuating Asymmetry, *Orthopristis ruber*, composite index, individual index, rocky shores, latitudinal gradient, Guanabara Bay.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Distribuições das frequências de diferença entre os lados direito e esquerdo em organismos bilaterais: assimetria flutuante, assimetria direcional e antissimetria. Adaptado de Van Dongen et al. (1999)..... 4
- Figura 2:** Exemplar de *Orthopristis ruber* coletado no costão rochoso da Urca. Foto: Luana Seixas..... 8
- Figura 3:** Localização geográfica da baía de Guanabara com indicação das zonas onde foram realizadas as coletas de *Orthopristis ruber*. Ponto 1 = Urca; Ponto 2 = Ponte Rio-Niterói; Ponto 3 = ilha de Paquetá. Mapa: Áthila Bertoncini.....15
- Figura 4:** Fluxograma resumindo as análises dos dados de assimetria flutuante em *Orthopristis ruber* 22
- Figura 5:** Histogramas representativos das frequências das diferenças entre os lados direito e esquerdo de cada caracter e o grau de ajuste dos valores com a curva esperada para a distribuição normal (figura menor no canto superior direito de cada histograma) dos seis caracteres de *Orthopristis ruber* analisados. NRP: número de raios peitorais; NRV: número de raios ventrais; NRB: número de rastros branquiais; DOL: diâmetro dos olhos; CNP: comprimento das nadadeiras peitorais e CNV: comprimento das nadadeiras ventrais.....23
- Figura 6:** Variações dos níveis de assimetria flutuante calculado pelos índices individuais para os seis atributos entre as zonas da baía de Guanabara. Linhas verticais representam o erro padrão; NRB: número de rastros branquiais; NRP: número de raios nadadeira peitoral; NRV: número de raios nadadeira ventral; DOL: diâmetro do olho; CNP: comprimento nadadeira peitoral; CNV: comprimento nadadeira ventral; coluna em preto: índice FA1; coluna cinza claro: índice FA2; coluna cinza escuro: índice FA5; valores eixo Y esquerdo representam os índices FA1 e FA5; valores eixo Y direito representam os índices FA2.....27
- Figura 7:** Variações dos níveis de assimetria flutuante calculado pelos índices compostos para os seis atributos entre as zonas da baía de Guanabara. Linhas verticais representam o erro padrão; coluna em preto: índice CFA1; coluna cinza claro: índice CFA2.....28
- Figura 8:** Diagrama de ordenação construído a partir dos dois primeiros eixos da PCA aplicada sobre a matriz de dados ambientais e com as amostras codificadas pelas zonas da baía de Guanabara. O sentido das setas indica quais variáveis apresentaram maiores contribuições para a distribuição das amostras ao longo de cada eixo.....30
- Figura 9:** Relação da assimetria flutuante com as variáveis ambientais ao longo da baía de Guanabara. As linhas representam os modelos aditivos generalizados selecionados pelo critério de informação de Akaike.....31

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Número total de indivíduos do *Orthopristis ruber* coletados nos costões rochosos das zonas da baía de Guanabara e as estruturas utilizadas para a validação da existência da assimetria flutuante.....17
- Tabela 2:** Fórmulas dos índices individuais de assimetria flutuante (FA) e dos índices de assimetria composto (CFA) utilizado no estudo. D = valor da medida do lado direito; E = valor da medida do lado esquerdo; var = variância.....18
- Tabela 3:** Significância (p) do teste t-Student para médias significativamente diferentes de zero dos lados direito e esquerdo para os seis caracteres morfométricos e merísticos analisados do *Orthopristis ruber*. Valores significativos (em negrito) indicam a existência de assimetria direcional.....24
- Tabela 4:** Valores de r para o teste de Correlação de Pearson e de Spearman com o comprimento do *Orthopristis ruber* para os seis caracteres de medidas. Interação significativa estão em negrito.....25
- Tabela 5:** Resultados da PERMANOVA baseada na matriz de distância euclidiana para os caracteres analisados. Interação lado × indivíduo significativas estão em negrito.....25
- Tabela 6:** Valores de assimetria flutuante calculado pelos índices individuais e compostos para os seis atributos. DOL: diâmetro do olho; CNP: comprimento nadadeira peitoral; CNV: comprimento nadadeira ventral; NRP: número de raios nadadeira peitoral; NRV: número de raios nadadeira ventral; NRB: número de rastros branquiais; CFA: índice composto; Ur: Urca; Po: Ponte; Pa: Paquetá. * p<0,05; ** p<0,01..... 26
- Tabela 7:** Média e amplitude de variação (entre parêntesis) das variáveis de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L), pH e transparência (m), medidas nos substratos rochosos de cada local de amostragem. São apresentados valores para o conjunto de dados e para cada local de amostragem em particular.....29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Assimetrias bilaterais.....	03
1.2. Espécie estudada	07
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1. Área de estudo.....	11
2.2. Desenho Amostral e Artefato de captura.....	14
2.3. Tratamento dos dados.....	17
3. RESULTADOS.....	22
3.1. Validação da existência de assimetria flutuante.....	22
3.2. Variação espacial da assimetria flutuante na baía de Guanabara.....	25
3.3. Relação entre os níveis da assimetria flutuante e as variáveis abióticas.....	28
4. DISCUSSÃO.....	32
4.1. Validação da existência de assimetria flutuante.....	32
4.2. Variação espacial da assimetria flutuante na baía de Guanabara.....	36
4.3 Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na baía da Guanabara, RJ?.....	39
5. CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Entre os diferentes indicadores de contaminação ambiental baseado em respostas biológicas, o uso de medições das mudanças ao longo do desenvolvimento ontogenético representa uma ferramenta promissora para o biomonitoramento (Palmer, 1994; Kiteviski & Pyron, 2006). Em teoria, estruturas morfológicas pareadas apresentam perfeita simetria entre elas (Van Vallen, 1962). Já os desvios da manutenção do eixo da simetria bilateral podem indicar organismos submetidos a estresses ambientais (Palmer, 1994; Somarakis et al., 1997). Neste contexto, destaca-se a assimetria flutuante, que pode ser definida como alterações morfológicas aleatórias entre os planos com simetria bilateral de uma determinada estrutura, em decorrência do efeito de condições ambientais adversas (Van Vallen, 1962; Palmer, 1994; Herminta et al., 2013).

Pesquisas utilizando a assimetria flutuante como indicador de estresse ou de aptidão física do indivíduo têm aumentado consideravelmente. Devido à intrínseca capacidade de revelar a estabilidade do indivíduo diante o estresse ambiental, o uso da assimetria flutuante vem se consolidando como ferramenta indicadora da qualidade individual e/ou estimador de algum tipo de perturbação ambiental (Palmer & Stobek, 1992; Somarakis et al., 1997; Kristoffersen & Megoulas, 2009; Oxnevad et al., 2012). Por ser considerada uma técnica sensível a alterações ambientais em fases iniciais e/ou de menor magnitude, a assimetria flutuante pode refletir o estado de adaptação de uma população antes que os níveis de contaminação afetem drasticamente toda a comunidade ou ecossistema (Graham et al., 1998; 2010). Deste modo, a assimetria flutuante é considerada uma ferramenta alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da saúde ambiental, podendo até mesmo ser utilizada em estudos sobre a evolução das populações ao longo do tempo, bem como dos processos associados à extinção de espécies (Palmer, 1994; Allenbach, 2011).

Os níveis de assimetria flutuante estão intimamente relacionados com uma ampla gama de agentes estressores bióticos, abióticos e genéticos passíveis de acarretarem desvios na simetria bilateral (Somarakis et al., 1997; Kristoffersen & Magoulas, 2009; Allenbach, 2011; Trokovic et al., 2012). Contudo, a assimetria flutuante responde de maneira diferenciada entre os táxons aptos para esse tipo de análise, como também, entre os caracteres pares de um mesmo indivíduo (Lens et al., 2002). Entre os estudos com assimetria flutuante, é crescente o aumento de pesquisas demonstrando claramente as relações da assimetria bilateral com diversos caracteres morfológicos de peixes e uma ampla variedade de agentes estressores, com destaque para as espécies pertencentes as

ordens Cyprinodontiformes, Cypriniformes, Perciformes e Salmoniformes como aquelas que têm fornecido resultados mais significativos de assimetria flutuante (Allenbach, 2011). Entretanto, ainda são escassos os registros sobre como a assimetria flutuante se manifesta em peixes em resposta à degradação do habitat em um cenário mais abrangente (Mamry et al., 2011). Por exemplo, estudos sobre a relação entre assimetria flutuante e os níveis de degradação ambiental ainda inexitem para espécies de peixes tropicais (Ayoade et al., 2004), dificultando o esclarecimento de diversas questões e a consolidação de teorias mais gerais sobre o assunto. Em síntese, a variedade de contextos bióticos ou abióticos em que a assimetria flutuante pode estar relacionada, somada à diversidade de espécies utilizadas nas pesquisas e de caracteres morfológicos medidos, dificulta um desenho generalizado dos estudos sobre o tema (Palmer & Strobeck, 1986; Lens et al., 2002; Allenbach, 2011). Não obstante, para que a assimetria flutuante possa ser considerada uma ferramenta eficaz para inferir sobre a instabilidade do desenvolvimento em resposta às condições ambientais, também se faz necessário que os mecanismos do desenvolvimento da espécie sejam melhor compreendidos (Palmer, 1994; Gonçalves et al., 2002; Kristoffersen & Magoulas, 2009; Allenbach, 2011).

Entre os diferentes biótopos presentes na baía de Guanabara, os costões rochosos são encontrados em toda a sua extensão, constituindo ambientes estruturalmente complexos e abrigando uma ictiofauna bastante diversificada (Chaves et al., 2014). Apesar de toda a contaminação ambiental já relatada para a baía de Guanabara (Kjerfve et al., 1997; Aguiar et al., 2011; Fonseca et al., 2013), é evidente a sua importância ecológica, dispoendo de importantes áreas com grande diversidade biológica, principalmente referente a ictiofauna que utiliza diferentes zonas da baía de Guanabara como locais de berçário, reprodução, crescimento e alimentação (Araújo & Azevedo, 2001; Castro et al., 2005; Jablonski et al., 2006). Neste ambiente, ainda persistem algumas espécies de peixes, sobretudo aquelas que apresentam uma íntima associação com os habitats consolidados, que possuem potencial interessante para funcionarem como indicadores da integridade do ecossistema, pois são sensíveis a pequenas variações ambientais que podem produzir alterações morfológicas em diversas espécies de peixes (Allenbach, 2011).

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi validar a existência da assimetria flutuante em caracteres bilateralmente simétricos em uma espécie de peixe demersal, *Orthopristis ruber*, associada aos costões rochosos distribuídos ao longo de um gradiente ambiental de três zonas da baía de Guanabara com características hidrodinâmicas

distintas. O trabalho propôs especificamente: 1) identificar as estruturas morfológicas pareadas mais indicadas para a validação da existência da assimetria flutuante; 2) identificar os índices que melhor respondem a existência da assimetria flutuante; 3) validar se a assimetria flutuante está correlacionada com algumas características físicas e químicas do ecossistema; 4) discutir sobre o uso da assimetria flutuante e do *O. ruber* como ferramenta para avaliação da integridade ambiental da baía de Guanabara e de ecossistemas similares. A principal hipótese do trabalho é que existem desvios significativos na simetria bilateral do *O. ruber* em função do gradiente ambiental, mas que as respostas variem entre os atributos biológicos medidos, os índices empregados no cálculo da assimetria flutuante, e as zonas da baía de Guanabara.

1.1. Assimetrias bilaterais

Alterações ambientais ou perturbações genéticas podem gerar distúrbios capazes de ocasionar mudanças fisiológicas ou morfológicas no nível individual. Em casos mais hostis, as mudanças podem afetar as taxas de sobrevivência de toda uma população, e desta forma, interferir na trajetória de desenvolvimento, e em eventos mais severos acarretar a mortalidade de todo o grupo. Entre as capacidades que o indivíduo possui para amortecer (“buffer”) este distúrbio se destaca a estabilidade do desenvolvimento (Palmer & Strobeck, 1986).

A estabilidade de desenvolvimento ou controle homeostático do desenvolvimento morfológico é definida como a capacidade do organismo em resistir a distúrbios antropogênicos ou genéticos durante o seu processo de desenvolvimento (Palmer, 1994; Somarakis et al., 1997). Organismos com simetria bilateral apresentam estruturas morfológicas simétricas que estão sob o mesmo controle genético, desta forma é esperado que tais estruturas apresentem fenótipos idênticos (Leary & Alendorf, 1989). Quando este fenótipo não é alcançado isso reflete em uma instabilidade do desenvolvimento, sendo possível observar leves diferenças entre os lados direito e esquerdo de uma estrutura morfológica pareada, ocasionando uma assimetria bilateral (Palmer & Strobeck, 1986; Palmer, 1994; Allenbach, 2011).

Entre os diferentes tipos de assimetria bilateral, a medida mais utilizada para avaliar a estabilidade do desenvolvimento é a assimetria flutuante que denota a ausência ou alteração na estrutura morfológica em um dos lados de um ou mais caracter (Van Vallen,

1962). A assimetria flutuante é, frequentemente, utilizada para estimar a estabilidade do desenvolvimento, antes que os distúrbios possam ocorrer em concentrações a níveis letais (Graham et al., 1998; Palmer & Strobeck, 1992; Allenbach, 2011; Jawad et al., 2012). Outras formas de desvio de simetria também são encontradas, com destaque para a assimetria direcional e a antissimetria, ambas refletem em um desenvolvimento normal para a formação do fenótipo assimétrico (Figura 1; (Palmer & Strobeck, 1992; Graham et al., 1998; Leary & Allendorf, 1989). Estes dois tipos de assimetria possuem uma origem de base genética e uma parte de um componente relacionado ao ambiente, mas não retratam totalmente a estabilidade do desenvolvimento, dificultando relaciona-las como indicadores ambientais (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer & Strobeck, 2003; Van Dongen et al., 1999). De acordo com Kark (2001), os três tipos de assimetria estão intrinsicamente relacionados formando um *continuum* entre eles, podendo a transição entre as assimetrias refletir a um tipo de resposta ao estresse no desenvolvimento. No entanto, essa relação não está bem solidificada.

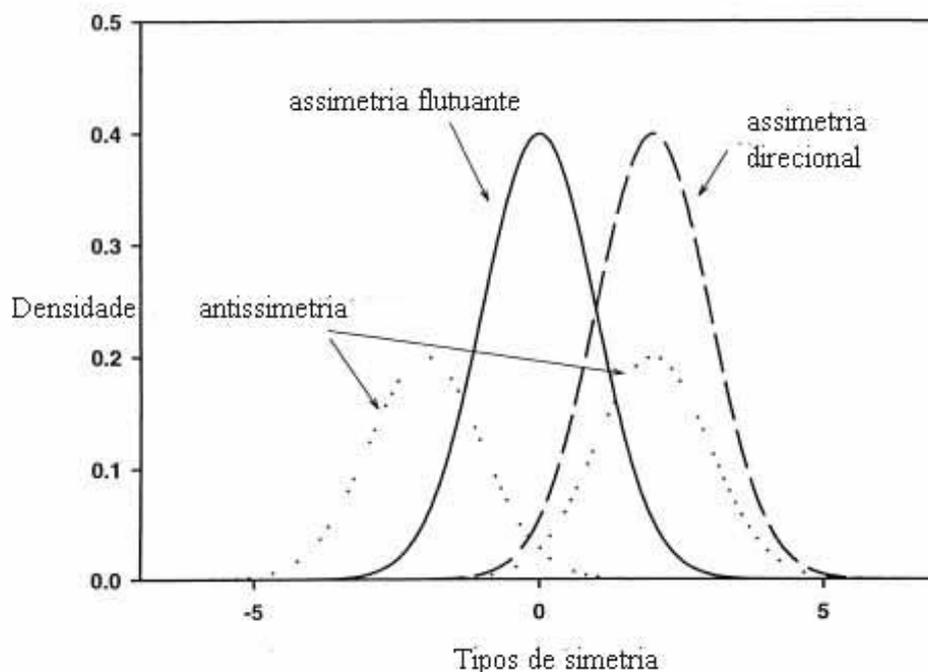


Figura 1. Distribuições das frequências de diferença entre os lados direito e esquerdo em organismos bilaterais: assimetria flutuante, assimetria direcional e antissimetria. Adaptado de Van Dongen et al. (1999).

A assimetria flutuante possui uma distribuição da frequência normal com média igual a zero entre os resultados da subtração dos valores dos lados direito e esquerdo de determinado carácter (Van Vallen, 1962; Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). Atualmente, é considerada como uma importante ferramenta para os estudos ambientais podendo seus resultados ser frequentemente extrapolados para a saúde de toda uma população (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994; Graham et al., 2010). Em contra partida, a relação entre a assimetria flutuante e os agentes causadores de estresse não está bem elucidada, com uma série de resultados discordantes. A assimetria flutuante está inversamente relacionada à homeostasia de desenvolvimento, aumentando o seu nível decorrente ao decréscimo da estabilidade do desenvolvimento (Van Vallen, 1962; Palmer, 1994). Em uma mesma população pode ocorrer variados níveis da assimetria flutuante decorrentes em diferentes estruturas podendo, ou não, estas estrutura terem a mesma base genética (Palmer, 1994; Ayoade et al., 2004).

O termo assimetria flutuante foi adotado em 1932 pelo biólogo alemão Wilhem Ludwig que retratava em sua monografia a assimetria biológica (Kowner, 2001), desde então, o interesse por pesquisas aplicando a assimetria flutuante como medida de biomonitoramento ambiental em vários grupos taxonômicos tem crescido, destacando-se os trabalhos sobre decapodas (Maia et al., 2009), amphipoda (Barca-Bravo et al., 2008), dipteras (Hosken et al., 2000), plecopteras (Hogg et al., 2001), hemíptera (Gorur, 2006), aves marinhas (Hammouda et al., 2012), passeriformes (Anciães & Marini, 2000), lagartos (Bancila et al., 2010), humanos (Milne et al., 2003), incluindo trabalhos de meta-analise (Allenbach, 2011). Entretanto, alguns outros estudos não encontraram relação entre a assimetria flutuante e agentes estressores genético ou ambiental (Oxnevard et al., 2002; Trokovic et al., 2012).

Os peixes, por ser considerado o grupo mais especioso entre os vertebrados (25.000-30.000 espécies; Allenbach, 2011), com representantes em praticamente todos os habitats aquáticos e com diversas espécies vivendo intimamente associadas aos seus habitats são considerados sensíveis às influências das condições ambientais em seu desenvolvimento (Allenbach, 2011), desta forma, formam um excelente grupo para a validação da existência da assimetria flutuante como indicador da saúde ambiental.

Vários tipos de agentes estressores são capazes de interferir em populações naturais de peixes podendo originar a assimetria flutuante (Mamry et al., 2011; Jawad et al., 2012). De acordo com a natureza do agente estressor, estes são classificados em endógenos

(intrínseco, bióticos, genéticos ou naturais) ou exógenos (extrínsecos, abióticos ou ambientais) (Palmer, 1994). Entre os estressores endógenos comumente estudados estão incluídos a endogamia (Fries et al., 2004; Hermita et al., 2013), parasitismo (Allenbach, 2011), densidade da criação de uma prole, doenças, heterozigosidade (Palmer & Strobeck, 1986; 2003), competição, predação e hibridação (Palmer & Strobeck, 1986; 2003; Palmer, 1994). Entretanto, a maior parte dos estudos da assimetria flutuante em peixes relaciona o desvio bilateral a estressores exógenos que variam desde mudança física do habitat, salinidade, ocorrência de El Nino (Allenbach, 2011), pesticidas (Palmer, 1994; Kiteviski & Pyron, 2006; Jawad et al., 2012), metais pesados, temperatura e acidificação (Oxnevad et al., 2002).

Estudos constataram a relação negativa entre o aumento dos níveis da assimetria flutuante correlacionado com a redução das variáveis de aptidão (“*fitness*”) (Palmer, 1994) especificamente com, fertilidade, crescimento, sucesso reprodutivo, tamanho do ovo e as taxas de sobrevivência individual (Somarakis et al., 1997; Van Doogen & Leans, 2000; Morris et al., 2012). Indivíduos mais assimétricos conseqüentemente expõem menores estabilidades do desenvolvimento e capacidade de tamponamento em condições adversas durante o desenvolvimento, acarretando uma diminuição do seu valor adaptativo (Palmer, 1994; Almeida et al., 2008; Gonçalves et al., 2002; Hermita et al., 2013), chegando a níveis tão baixos que podem prejudicar a capacidade de adaptação de uma população inteira (Oxnevad et al., 2002; Kristoffersen & Magoulas, 2009). Também é observada uma relação negativa entre o nível de assimetria flutuante encontrado para algumas estruturas e a importância funcional das mesmas. Estes caracteres com elevada importância funcional são altamente canalizados durante a ontogenia, deste modo, apresentam baixos valores de assimetria flutuante (Gonçalves et al., 2002; Trokovic et al., 2012).

Segundo os estudos de Gonçalves et al. (2002) com blenídeo *Salaria pavo* coletados no rio Formosa (Portugal) e de Kodric-Brown (1997) com *Cyprinodon pecosensis* coletados nos lagos Mirror e Francis (México), indivíduos com baixo desenvolvimento utilizam mais recursos para manter a estabilidade fenotípica, conseqüentemente, ocasiona baixo sucesso reprodutivo. Evidência corroborada por Morris et al. (2012) em que fêmeas da espécie *Xiphophorus multilineatus* escolheram machos para acasalamento pelas características simétricas de suas faixas laterais dorsais.

Existe uma diversidade de caminhos para medir os níveis de assimetria flutuante tanto em nível individual quanto em uma população (Palmer, 1994; Graham et al., 1998).

Para tanto é recomendado o uso de múltiplos caracteres para testar diferenças na estabilidade do desenvolvimento de um indivíduo ou de uma população (Leary & Allendorf, 1989; Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994), de forma a apresentar um padrão de variação real e não apenas uma característica particular de um determinado carácter (Van Vallen, 1962). Apesar dos esforços de alguns autores os padrões de assimetria para peixes tropicais ainda é ausente (Ayode et al., 2004) e, para a ictiofauna do Atlântico Sul ocidental nenhum estudo sobre o assunto ainda foi consolidado.

Outro tipo de assimetria bilateral encontrada nos organismo é a assimetria direcional, refletindo uma tendência intrínseca da espécie, quando um padrão de assimetria em um traço morfológico é constante em apenas uma direção, considerando que um dos lados da estrutura possa ser mais desenvolvido que o outro (Van Vallen, 1962; Palmer & Strobeck, 2003). A assimetria direcional assume que a distribuição da frequência dos resultados da subtração dos valores dos lados direito e esquerdo de determinado carácter possui uma distribuição normal com a média diferente de zero (Van Vallen, 1962; Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). Podemos encontrar assimetria direcional no coração de mamíferos, onde o lado esquerdo é maior que o direito, na abertura de conchas de alguns gastrópodes e na migração dos olhos dos linguados (Pleuronectiformes) que aderem condições dextrogiras ou levógiras.

A antissimetria é um padrão da frequência de um determinado carácter, quando um lado é morfológicamente mais desenvolvido que o outro. Esta variação ocorre aleatoriamente entre os indivíduos de uma população (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). Desta forma, a antissimetria é caracterizada pela distribuição da frequência bimodal ou platicúrtica com média igual a zero entre os resultados da subtração dos valores dos lados direito e esquerdo de determinada estrutura (Van Vallen, 1962; Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). É encontrado antissimetria nas quelas de caranguejos, com um lado sempre mais desenvolvido que o outro, com uma frequência semelhante nos tamanhos entre os lados direito e esquerdo em uma população.

1.2. Espécie estudada

Orthopristis ruber (Cuvier, 1830) (Figura 2), também conhecido vulgarmente no estado do Rio de Janeiro como cocoroca, é uma espécie da família Haemulidae comumente encontrado nos mares tropicais e subtropicais. A sua distribuição no Atlântico sul ocorre

desde Honduras (América Central) ao Rio Grande do Sul (Brasil) (30°S-53°O) (Mata et al., 2004). Apesar de bem distribuído pela costa brasileira (Menezes & Figueiredo 1980; Santos et al., 2007), ainda não está bem elucidada a distribuição zoogeográfica das populações desta espécie (Vianna & Verani, 2002). Apresentando hábito bentopelágico, são encontrados em uma ampla variedade de habitat, desde áreas costeiras, baías, praias, lagoas, estuários até canais com 200 metros de profundidade, entretanto, preferencialmente associados a águas túrbidas e quentes (Menezes & Figueiredo 1980; Mata et al., 2004). *Orthopristis ruber* possui comportamento sedentário, com íntima associação com substratos consolidados, porém também são encontrados em substratos arenosos, lama e cascalho (Vasconcellos et al., 2007), mostrando uma grande plasticidade no uso de habitats.



Figura 2. Exemplar de *Orthopristis ruber* coletado no costão rochoso da Urca. Foto: Luana Seixas.

Esta espécie de peixe é frequentemente encontrada durante todo o ano, exibindo alterações em sua abundância em resposta às interações bióticas intrínsecas da espécie e as variações ambientais locais mais favoráveis (Araújo et al., 2002; Vianna & Verani, 2002; Santos et al., 2007). Os cardumes do *O. ruber* são comumente numerosos, com os jovens ocupando águas mais quentes junto às algas e ouriços, sobre o substrato de areia próximo aos costões rochosos, enquanto os adultos, preferencialmente, ocupam águas mais frias em fundo arenoso ou rochoso (Menezes & Figueiredo, 1980).

Na baía de Guanabara, *O. ruber* é encontrado em toda a sua extensão, com maior abundância na porção mais externa da baía em águas com características oceânicas e, desta

forma, apresentando uma correlação positiva com transparência e salinidade (Chaves et al., 2014) e com os menores teores de matéria orgânica (Araújo et al., 2002). A distribuição de *O. ruber* por todas as zonas da baía de Guanabara, entre outros fatores, pode estar relacionada com a singular influência da massa d'água Água Central do Atlântico Sul (ACAS), dado que sinais da massa d'água pode ser percebida até o limite interno da distribuição do canal central nos meses do verão (Passos et al., 2012). Em outras baías, como na baía de Sepetiba (RJ) e no norte de São Paulo, a distribuição do *O. ruber* se restringe, preferencialmente, a profundidades em torno dos 50 m, quando nos meses de verão também pode ser percebida uma provável influência da ACAS, que comprime a massa de Água Costeira (AC) (Vianna & Verani, 2002; Santos et al., 2007). A restrição do *O. ruber* na entrada da baía de Sepetiba também pode estar condicionada a competições interespecíficas por territórios (Vianna & Verani, 2002), padrão não comprovado para as populações na baía de Guanabara, onde a espécie é distribuída por todos os costões rochosos (Chaves et al., 2014).

O comprimento total máximo encontrado para a espécie foi de 41,6 cm (Vianna & Verani, 2002). Igualmente aos demais peixes tropicais, *O. ruber* apresenta vida curta e crescimento rápido, onde as variações oceanográficas tropicais refletem em um crescimento oscilatório (Sparre & Venema, 1992). O recrutamento do *O. ruber* ocorre a partir de 10 cm, com pico de presença de indivíduos pequenos no outono e inverno, indicando associação com a água quente, comum nessa época do ano no sudeste brasileiro, sofrendo diminuição na taxa de crescimento no verão (Vianna & Verani, 2002). Santos et al., (2007) sugerem que esta variação no recrutamento pode estar intimamente relacionada com a disponibilidade dos recursos alimentares e em menor grau com o comportamento reprodutivo. O crescimento encontrado para os indivíduos do norte de São Paulo (Vianna & Verani, 2002) e para os indivíduos da baía de Sepetiba (Santos et al., 2004) é do tipo alométrico positivo, indicando elevado investimento no crescimento com o aumento de peso e do metabolismo reprodutivo. Por outro lado, foi observado um crescimento alométrico negativo para as populações do *O. ruber* da lagoa dos Patos (RS) (Haimovici & Velasco, 2000). Esta diferença no investimento no crescimento pode estar relacionada ao ambiente mais pristino encontrado na lagoa dos Patos, quando a população do *O. ruber* apresenta uma estrutura de tamanho mais diversificada e menor investimento para a reprodução.

No período reprodutivo *O. ruber* pode apresentar comportamento migratório (Obs. Pes). A estimativa de primeira maturação gonadal é de 15,6 cm de comprimento total, apresentando maturidade sexual com cerca de 1/3 do L_{∞} (Vianna & Verani, 2002). O período de desova na região sudeste ocorre com maior volume do final da primavera ao verão (Vianna & Verani, 2002). As populações do *O. ruber* do norte de São Paulo apresentaram um aumento de atividade reprodutiva em setembro e outubro com pico em novembro e dezembro e queda em maio e junho, coincidindo com os sinais de maior penetração da ACAS na região, quando a oferta de alimentos é alta (Vianna & Verani, 2002). Populações do *O. ruber* do golfo da Venezuela também apresentaram desova no período do verão com maior incidência nos meses de janeiro e fevereiro (Mata et al., 2004). No entanto, fêmeas do *O. ruber* da baía de Sepetiba exibiram maiores valores do índice gonadossomático entre junho e agosto, indicando que o período reprodutivo para a população desta região ocorre no inverno (Santos et al., 2007).

De acordo com Aguiar & Filomeno (1995) e Amaral & Migotto (1980) em estudos na lagoa da Conceição (SC) e Ubatuba (SP), respectivamente, *O. ruber* possui hábito alimentar invertívoro, consumindo preferencialmente crustáceos bentônicos e poliquetas. Estes autores não indicam o item peixe como importante na dieta da espécie. Como recurso pesqueiro, *O. ruber* é considerado importante elemento da fauna acompanhante em pescarias de arrastões de praia e pela frota pesqueira de arrasto de parelha no sudeste brasileiro, com pico de captura no inverno (Araújo et al., 2002; Vianna & Verani, 2002; Mata et al., 2004; Santos et al., 2007). Entretanto, a espécie possui baixo valor comercial (Menezes & Figueiredo, 1980), sendo comercializada, na maioria das vezes, na categoria de mistura nas pescarias de arrasto (Vianna & Verani, 2002) e com o tamanho mínimo de aproveitamento em torno de 17 cm, exceto quando a quantidade e tamanho dos exemplares são elevados, podendo ser comercializados separadamente, e, desta forma, alcançando melhores preços (Vianna & Verani, 2002). Devido, principalmente, a ação da pesca acidental, *O. ruber* pode ser considerado um recurso pesqueiro superexplorado, com alta incidência de captura sobre classes de comprimento bastante variadas (Vianna & Verani, 2002).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Baía de Guanabara – características físicas, químicas e biológicas.

Baías costeiras são encontradas em todos os continentes e comumente exibem íntima relação com a variabilidade das condições oceanográficas adjacentes, ação hidrológica dos estuários e com seu próprio limite geográfico, diferenciando-se entre si em suas origens e formações (Kjerfve et al., 1997). A baía de Guanabara (22°24'–22°57'S; 42°33'–43°19'W) é considerada um ambiente estuarino formado por uma bacia hidrográfica com mais de 90 rios (Amador, 2012). Tem sua origem atrelada a uma depressão tectônica no Cenozóico e pelo afogamento marinho de uma bacia fluvial pleistocênica. Está inserida em um complexo de escarpas cristalinas, que se estende por todo o estado do Rio de Janeiro. Este complexo de escarpas possui como principal característica a presença do embasamento cristalino, ora mergulhando formando costões rochosos e ora recuando formando a Serra do Mar (Amador, 2012).

A baía de Guanabara se destaca no cenário econômico nacional como inserida na segunda maior região industrializada no Brasil e com o segundo maior porto do país. Compõe um dos ambientes costeiros mais degradados em âmbito nacional (Fonseca et al., 2013), apresentando uma área de entorno altamente urbanizada, com rápido e desordenado crescimento populacional urbano, a qual despeja diariamente uma elevada carga de metais pesados, poluentes orgânicos e de esgoto doméstico *in natura* nos corpos d'água afluentes, com grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes, especialmente fósforo, que aumentam a produção primária e acarretam um quadro de eutrofização aguda, com hipóxia nas camadas inferiores da coluna d'água e supersaturação de oxigênio dissolvido na superfície (Kjerfve et al., 1997; Aguiar et al., 2011; Fonseca et al., 2013). Além do esgoto doméstico, os efluentes industrial e agrícola contribuem para a degradação ambiental na baía, já que apresentam registros de metais pesados, entre eles o Pb, Cr, Ni e Cu, os quais tendem a apresentar maiores teores de contaminação na estação chuvosa (verão), quando há o aumento do aporte de águas fluviais. As altas concentrações de cobre também são reflexos da atividade naval, principalmente na região próxima ao porto de Niterói (Fonseca et al., 2013). Apesar do elevado teor de metais pesados nos sedimentos no fundo da baía de Guanabara, concentrações muito baixas estão disponíveis na coluna d'água, amenizando o risco de entrada na cadeia alimentar (Fonseca et al., 2013).

De acordo com a diversidade de suas características hidrológicas é possível verificar um gradiente longitudinal bem marcado na baía de Guanabara que imprime uma forte variabilidade às condições ambientais (Mayr et al., 1989; Valentin et al., 1999). Este gradiente obedece a um fator temporal, regido por uma nítida variação sazonal, reguladas pelos ciclos verão-chuvoso e inverno-seco, pela passagem de frentes frias, pelo regime das correntes oscilatórias de maré, apresentando diferenças bem marcadas entre a entrada da baía de Guanabara e as áreas mais internas, encontrando águas mais salinas e oxigenadas nas áreas mais externas e ao longo do canal central em contraste com regiões mais eutrofizadas nas regiões internas (Mayr et al., 1989). Gradientes ambientais similares também são encontrados em outras baías costeiras brasileiras, como a baía de Sepetiba (RJ; Araújo et al., 2002), Guaratuba (PR; Barletta et al., 2008) e Paranaguá (PR; Passos et al., 2012). Variações espaciais coincidentes com o gradiente ambiental também são observadas para a distribuição da ictiofauna na baía de Guanabara, destacando-se os trabalhos de Rodrigues et al. (2007) em coletas esparsas com arrastos de fundo e Chaves et al. (2014) utilizando redes de espera com esforço amostral padronizado. Padrões de variação espacial também são encontrados para outros grupos, como para a diversidade de microorganismos planctônicos (Gregoracci et al., 2012), e as comunidades de invertebrados bentônicos (Lavrado et al., 2000; Neves et al., 2012; Omena et al., 2012).

O espelho d'água da baía de Guanabara, que atualmente perfaz 377 km² de área, vem sofrendo ao longo dos anos, sobretudo a partir de 1950, uma redução da sua superfície devido aos aterros para áreas de urbanização (Fonseca, 2013). O volume total de água na baía de Guanabara varia sazonalmente de acordo com as estações seca e chuvosa, apresentando, em média, o volume total estimado em $3,058 \times 10^9$ m³ (Kjerfve et al., 1997). De acordo com Schubel (1971) a baía de Guanabara é caracterizada como estuário dominado pelo regime das marés, que são regidas pelas características semi-diurnas. Este tipo de regime é originado pela ligação com o oceano Atlântico e com a direção das correntes seguindo, predominantemente, o alinhamento do canal principal e de seus braços secundários (Amador, 2012).

A intensidade das correntes é influenciada pela geometria da baía de Guanabara, com redução das correntes na extensão transversal maior, ao passo que no estreitamento existente na entrada da baía a velocidade da corrente é maior. Esta oscilação da maré com consequente mistura das águas é responsável por toda a dinâmica ambiental na baía e por sua capacidade depuradora (Amador, 2012). Devido a sua origem tectônica, a baía de

Guanabara tem uma topografia do fundo irregular, com a profundidade aumentando gradativamente em direção à desembocadura. A batimetria média em torno de 7,6 m varia de 16,9 m na porção mais externa, ultrapassando 50 m no canal principal e alcançando mínimos de 3 m ou até menos na região interna (Mayr et al., 1989). A maior extensão encontrada na baía é na sua porção longitudinal com 36 km (direção N-S) e a sua extensão transversal máxima apresenta 29 km (direção E-W), atingindo a menor largura de 1.650 m na entrada da baía (Kjerfve et al., 1997), com uma pequena comunicação com as águas da plataforma continental.

Em regiões estuarinas a temperatura e salinidade das águas são norteadas, entre outros fatores, pela oscilação da maré, topografia do fundo, aporte de água fluvial e o fluxo de água oceânica. A distribuição da salinidade apresenta valores de 29‰ na porção mais interna, 30‰ e 33‰ na porção intermediária e os maiores valores entre 33‰ e 34‰ na porção externa, corroborando a afirmação da mistura de águas continentais e costeiras (Kjerfve et al., 1997; Neves et al., 2012; Omena et al., 2012). De acordo com Amador (2012) há uma tendência de diminuição gradativa dos valores de salinidade na baía de Guanabara, como reflexo de impactos antropogênicos, aumento da população no entorno e principalmente pelo desvio de um dos principais rios (rio Paraíba) que deságua na baía para o fornecimento de água potável para a cidade do Rio de Janeiro.

A temperatura segue um padrão inverso da salinidade na baía de Guanabara variando entre 21°C e 26°C. Temperaturas mais elevadas são encontradas na região do fundo da baía com predominância de influência fluvial e baixa batimetria, enquanto temperaturas mais baixas são encontradas próximas a entrada da baía com influência direta de águas oceânicas e da profundidade mais elevada (Kjerfve et al., 1997; Neves et al., 2012). Nos meses de primavera e verão a baía de Guanabara apresenta águas com temperaturas mais frias e mais salinas remetendo a contribuição da massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) para a formação da massa d'água ali presente (Passos et al., 2012). Entretanto, nestes casos, a ACAS não se apresenta com as mesmas densidades quando comparadas além da plataforma continental e a sua intrusão é guiada por um efeito baroclínico, porém o efeito dessa intrusão ainda é pouco conhecido.

A baía de Guanabara possui baixos valores de transparência de água, que varia desde 0,5 m nas áreas mais internas até 5 m na sua porção mais externa (Mayr et al., 1989). Os baixos valores e a forma de como a transparência está distribuída demonstra uma ligação com a turbulência causada pelas correntes de maré e provavelmente uma relação com as

elevadas concentrações de clorofila-a (6,2 a 224,5 ml/L) e material em suspensão (20 g/L) (Amador, 2012; Neves et al., 2012; Omena et al., 2012). De maneira geral, os nutrientes alcançam os seus maiores teores nas áreas internas e de águas mais eutrofizadas, que, de acordo com a influência da maré, mantêm suas características de água costeira sobre o contorno do canal central, que aliado a uma provável redução do caráter eutrófico, proporciona melhores condições para a penetração da energia luminosa. Além disso, a elevada carga em fosfato proporciona uma razão N/P extremamente baixa, indicadora de uma acentuada distrofia do ecossistema. Os teores em oxigênio dissolvido são elevados nas águas superficiais e nas áreas internas onde há forte desenvolvimento fitoplanctônico, mas apresentam valores próximos a zero na camada mais profunda destas mesmas áreas, devido a intensos processos de oxidação da matéria orgânica.

Apresentando uma diversidade de biótopos ao longo de toda a sua extensão, os substratos rochosos destacam-se na baía de Guanabara pela sua diversidade biológica (Amador, 2012; Chaves et al., 2014). Em geral, as condições ecológicas nestes costões rochosos estão em constante mudança, refletindo o ritmo diário das marés e propiciando a instalação e desenvolvimento de uma elevada diversidade de organismos, com destaque para os peixes que utilizam o habitat durante parte do seu ciclo de vida (Floeter, 2007). Tal diversidade reforça o papel da baía de Guanabara como área importante de reprodução e crescimento de várias espécies de peixes de interesse comercial, sustentando uma importante frota pesqueira local (Jablonski et al., 2006).

2.2. Desenho Amostral e Artefato de captura

Foi adotado um programa amostral de coletas que incluísse as variações latitudinais das condições hidrodinâmicas da baía de Guanabara, de acordo com a classificação proposta por Mayr et al. (1989). Ao todo, foram realizadas duas campanhas em diferentes estações em 2011, seca (inverno) e chuvoso (primavera). Estas campanhas ocorreram na segunda quinzena do último mês de cada estação. O inverno de 2011 foi caracterizado como época muito seca representando de 0,5% a 15% da precipitação anual. Em contrapartida a primavera foi considerada como período úmido, representando entre 15 e 33% de precipitação acumulada no ano.

Para a instalação das baterias de redes de espera foram selecionados costões rochosos distribuídos ao longo da baía de Guanabara (Figura 3): 1- Praia de Fora (Fortaleza de São João – Urca; zona externa); 2- Enseada de Botafogo (próximo à Ponte Rio-Niterói; zona intermediária) e 3- Ilha de Paquetá (zona interna). Segundo Mayr et al. (1989), a praia de Fora apresenta os costões rochosos inseridos em uma zona de influência direta do canal principal de circulação, onde são encontradas as melhores condições ambientais devido à maior contribuição da água do mar. Na enseada de Botafogo, foi amostrado um parcel submerso (Parcel das Feiticeiras), formado por rochas sobrepostas, localizadas em profundidades entre 8-10m e sobre o canal principal de circulação da baía. Esta depressão do canal principal tem continuidade na plataforma continental. Os costões da ilha de Paquetá sofrem influência periódica de águas oceânicas, devido à sua comunicação com o canal principal da baía, entretanto apresentam baixa energia hidrodinâmica. Também sofrem influência da desembocadura de rios menos poluídos (Guapimirim e Caceribu) e da proximidade com a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim (Mayr et al., 1989; Amador, 2012).



Figura 3. Localização geográfica da baía de Guanabara com indicação das zonas onde foram realizadas as coletas de *Orthopristis ruber*. Ponto 1 = Urca; Ponto 2 = Ponte Rio-Niterói; Ponto 3 = ilha de Paquetá. Mapa: Áthila Bertoncini.

As de redes de espera foram confeccionadas para as coletas com panagem de nylon monofilamento em baterias de (60 m×1,5 m), com malhas variadas (20 m de malhas com 15, 30 e 45 mm entre nós adjacentes), instaladas nos substratos rochosos dos três pontos de amostragem. Em cada ponto de amostragem foram instaladas três repetições de bateria de redes de espera fixadas perpendicularmente aos substratos rochosos e paralelas entre si (mínimo de 20 m de distância entre cada bateria), com tempo de permanência 20 h na água. Adicionalmente, foram tomadas *in situ* as seguintes variáveis físicas e químicas da água: temperatura (°C), concentração de oxigênio dissolvido (mg/L), pH e salinidade, medidas em uma profundidade aproximada de 1 m por meio de sonda multiparâmetros modelo Hanna HI 9828. A transparência foi medida com o auxílio do disco de Secchi. Todos os indivíduos do *Orthopristis ruber* capturados foram acondicionados em sacos plásticos, etiquetados e refrigerados em gelo ainda no campo, sendo, em seguida, transferidos ao Laboratório de Ictiologia Teórica e Aplicada (LICTA) da UNIRIO para serem pesados (peso total e eviscerado) com balança digital de 0,001g e medidos o comprimento total com o auxílio de ictiômetro.

No Laboratório de Ictiologia Teórica e Aplicada foram realizadas as contagens e medições das estruturas dos lados direito (D) e esquerdo (E) dos *O. ruber*. Todas as contagens e medições foram realizadas pelo mesmo pesquisador. As contagens dos caracteres merísticos foram realizadas com a mesma lupa biocular Zeiss Stemi DV4. Para as medidas métricas foi utilizado sempre o mesmo paquímetro digital (0,01mm modelo Digital Caliper). No momento das contagens e medições, o pesquisador não tinha informação de localidade do indivíduo para não influenciar no resultado.

Ao total, foram realizadas medidas em 66 indivíduos do *O. ruber*, distribuídos em 42 peixes coletados nos costões da Urca, 16 nos de Paquetá e oito na região da Ponte Rio-Niterói (Tabela 1). Para a validação da assimetria flutuante foram selecionadas estruturas bilaterais levando-se em consideração sua importância funcional (Allenbach, 2011). Desta forma, foram analisados seis pares de caracteres comumente utilizados em pesquisas com assimetria flutuante em peixes (Ayode et al., 2004; Allenbach, 2011; Mamry et al., 2011; Jawad et al., 2012). Estruturas que se encontravam lesionadas impossibilitando a medição ou contagem não foram incorporadas ao conjunto de dados (Tabela 1). Os caracteres morfométricos medidos foram o diâmetro das órbitas oculares e o comprimento das nadadeiras peitoral e ventral. Os caracteres merísticos analisados foram o número de rastros

branquiais e o número de raios das nadadeiras peitoral e ventral. Os caracteres merísticos são mais comuns nas análises da assimetria flutuante, seu uso é recomendado por serem considerados independentes do tamanho do corpo ou da idade do indivíduo, além de possuírem menor possibilidade de ocorrência de erro de medição (Palmer, 1994). Entretanto, o seu uso deve ser realizado com parcimônia, pois é difícil encontrar caracteres merísticos com grandes diferenças entre os lados (Allenbach, 2011).

Tabela 1. Número total de indivíduos do *Orthopristis ruber* coletados nos costões rochosos das zonas da baía de Guanabara e as estruturas utilizadas para a validação da existência da assimetria flutuante.

Zonas	N	Caracteres merísticos			Caracteres morfométricos		
		Raio peitoral	Raio ventral	Rastro branquial	Diâmetro dos olhos	Nadadeira peitoral	Nadadeira ventral
Urca	42	38	41	41	42	39	42
Ponte	8	8	8	8	3	3	3
Paquetá	16	14	16	16	14	12	13

2.3. Tratamento dos dados

Para avaliar o tipo de assimetria existente nos caracteres estudados foi aplicado o teste *t-Student* nas medidas merísticas e morfométricas dos lados direito e esquerdo de todas as seis estruturas analisadas para assimetria flutuante (Figura 3). O teste *t-Student* avaliou se os valores diferiram da média zero e se distribuíram próximos a uma distribuição normal dos dados (Oxnevad et al., 2012). A confirmação de média zero pelo teste *t-Student* indica a presença de assimetria flutuante e antissimetria (Oxnevad et al., 2012). Para descartar a presença desta última foi gerado o histograma para verificar a normalidade dos dados, sendo que a confirmação da distribuição normal ressalta a existência da assimetria flutuante, ao passo que a distribuição bimodal sugere a existência da antissimetria (Palmer, 1994). A antissimetria causa um falso resultado capaz de aumentar os sinais de assimetria flutuante obtidos pelo uso de determinados índices (ex. FA1; Tabela 2; Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). Não se recomenda o emprego de qualquer tipo de correção para as estruturas que apresentem a antissimetria (Palmer, 1994; Van Dongens et al., 1999).

O resultado significativo encontrado no teste t indica que a estrutura não possui média igual a zero, demonstrando o desvio dos dados em relação a distribuição normal e indicando a presença da assimetria direcional nas estruturas (Palmer, 1994). Na ocorrência de médias diferentes de zero, faz-se necessário aplicar a correção da assimetria direcional (Palmer, 1994; Graham et al., 1998). Para tal, foi adotado o procedimento de subtração da metade da média da diferença entre os lados direito e esquerdo do lado que apresentou a maior tendência de assimetria, e acréscimo da metade da média da diferença entre os lados direito e esquerdo para o lado com a menor tendência. Após a correção foi calculado novamente a distribuição normal dos valores indicativos das diferenças entre os lados.

Tabela 2. Fórmulas dos índices individuais de assimetria flutuante (FA) e dos índices de assimetria composto (CFA) utilizado no estudo. D = valor da medida do lado direito; E = valor da medida do lado esquerdo; var = variância.

Índice	Fórmula
FA 1	$FA = D-E $
FA 2	$FA = D-E \div [(D+E) \div 2]$
FA 4	$FA = 0,798 \sqrt{(\text{var } D-E)}$
FA 5	$FA = (D-E)^2$
CFA 1	$CFA = D-E $
CFA 2	$CFA = D-E \div [(D+E) \div 2]$

Para os caracteres que ainda persistiram em apresentar assimetria direcional foi verificada se a diferença entre as medidas dos lados direito e esquerdo (D-E) foi menor que o valor calculado com o emprego do índice FA4 (Tabela 2) proposto por Palmer & Strobeck (2003). Nos casos em a predisposição para que as medidas de um determinado lado sejam maiores que as do outro (i.e. assimetria direcional), mas que os valores médios sejam inferiores ao desvio da média de D-E (índice FA4), se considera que assimetria direcional não interfere significativamente na interpretação da variação da assimetria flutuante (Palmer & Strobeck, 2003). A presença da assimetria direcional pode elevar, artificialmente, os níveis de alguns índices individuais, como os FA1, FA2 e FA5 (Tabela

2). Para aquelas estruturas que apresentam assimetria direcional, a diferença entre os lados pode ter uma eventual explicação hereditária (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994).

Falsos resultados da existência da assimetria flutuante podem ser encontrados devido a correlações significativas entre os níveis de assimetria com o tamanho da estrutura analisada (Palmer & Strobeck, 1986; Palmer, 1994). Para testar a relação da dependência da assimetria flutuante com o tamanho da estrutura foi realizado os testes de correlação de Spearman e de Pearson para todas as seis estruturas analisadas (Figura 4; Palmer & Strobeck, 2003). O coeficiente de Spearman é mais recomendado para este tipo de análise, pois é menos influenciado por ruídos externos e também capaz de detectar relações não-lineares (Palmer & Strobeck, 1986). Em ambos os testes foram utilizados os valores da subtração das medidas dos lados direito e esquerdo (D-E) contra o tamanho médio da estrutura, obtido pela soma dos valores dos lados direito e esquerdo e dividindo-se do resultado por 2 $[(D+E)/2]$ (Kristoffersen & Magoulas, 2009). Quando o resultado apresentou uma correlação positiva os valores de assimetria foram corrigidos. Várias correções para o tamanho da dependência têm sido propostas (Palmer e Strobeck, 1986), sendo utilizado o índice FA2 no presente trabalho, que é o mais comum nos estudos de variação assimétrica devido à sua simplicidade de cálculo: se baseia na divisão dos valores de (D-E) pela média dos valores de $[\sum (D+E)/2]$ (Palmer, 1994; Palmer & Strobeck, 2003). O índice FA2 foi aplicado não somente nos casos em que a diferença entre os lados aumentou com o tamanho do carácter (i.e. correlações de Spearman ou Pearson significativas), mas também para todos os caracteres analisados, visando a avaliação do uso deste índice na detecção de assimetria flutuante (Palmer, 1994). Todas as análises univariadas empregadas para a validação da existência da assimetria flutuante foram realizadas utilizando-se o programa STATISTICA 8.

Para o cálculo da estimativa do erro de medição foram realizadas duas medições para todas as seis estruturas analisadas de 30 indivíduos do *O. ruber* escolhidos aleatoriamente, conforme orientação Palmer & Strobeck (1986). As medidas foram avaliadas pelo teste PERMANOVA (Figura 4) através do programa PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance; McArdle & Anderson, 2001). O teste PERMANOVA foi aplicado sobre a matriz de similaridade (distância euclidiana), sendo os dados permutados 4999 vezes por análise. A aplicação da PERMANOVA tem como objetivo testar possíveis diferenças entre as medidas amostradas para verificar a existência do erro de medição. De acordo com orientação de Palmer & Strobeck (1986), foi utilizado o lado da

estrutura (fixo) e cada indivíduo (aleatório) como os dois fatores para cada estrutura e para cada zona da baía de Guanabara. A análise PERMANOVA possui a robustez similar ao da ANOVA tradicional sendo considerado um método eficiente para testar respostas simultâneas de uma ou mais variáveis a um ou mais fatores do desenho amostral, embora não exija normalidade ou homocedasticidade dos valores como pressupostos para o seu emprego. A presença de interação significativa entre lado da estrutura \times indivíduo determina a significância da assimetria flutuante em relação ao erro de medição.

Seguindo orientação de Palmer (1994) foram selecionados e aplicados três índices individuais (índices FA1, FA2, FA5; Tabela 2; Figura 4) para validar a existência da assimetria flutuante. Os três índices são indicados para testar diferenças entre três ou mais amostras, considerados de fácil análise e entendimento. Também são indicadores pouco sensíveis a possíveis ocorrências de outliers e podem ser utilizados sobre amostras pequenas (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer 1994). Apesar das indicações positivas para sua utilização, os três índices apresentam peculiaridades distintas (Somarakis et al., 1997; Oxnevad et al., 2002; Kristoffer & Magoulas, 2009).

Conforme recomendação de Leung et al. (2000) também foram calculados os índices compostos para detecção de assimetria (CFA1 e CFA2; Tabela 2; Figura 4), que avaliam o efeito conjunto de todos ($n=6$) os caracteres analisados. Os índices CFA1 e CFA2 são considerados mais poderosos para dados com distribuição normal entre caracteres heterogêneos (Leung et al., 2000). Análises utilizando o CFA são recomendadas devido aos baixos riscos dos efeitos do erro de medição sobre os cálculos da assimetria flutuante (Leung et al., 2000; Lens et al., 2002).

Cada índice de assimetria flutuante foi calculado individualmente para cada *O. ruber* e para os seis caracteres mensurados, sendo os valores agrupados por cada área de estudo. Valores absolutos para as medidas dos lados direito e esquerdo são utilizados visando à manutenção do carácter aleatório das análises e a possível verificação da magnitude de assimetria em qualquer direção (Leung et al., 2000). Para o cálculo do índice composto CFA1 foi aplicado às somas dos valores absolutos dos lados direito menos o esquerdo (D-E), ou seja, o índice FA1 totalizado para todos os caracteres para cada indivíduo. De maneira análoga, para o cálculo do índice CFA2 foi aplicado a soma dos valores absolutos do índice FA2 para todos os caracteres individuais. Os resultados foram adicionados em base de dados para posteriores análises (Van Vallen, 1962). Apesar de o número amostral não ser elevado, este apresentou-se em conformidade com os parâmetros de Palmer &

Strobeck (2003). No protocolo utilizado não foram retirados eventuais outliers uma vez que tais resultados são esperados em estudos de assimetrias e podem ser importantes para as análises posteriores (Palmer & Strobeck, 1986).

Para testar a existência de diferenças significativas entre os níveis de assimetria flutuante entre as três zonas da baía de Guanabara foi aplicado o teste de variância multivariado não paramétrico PERMANOVA através do programa estatístico PAST (Figura 4; Hammer et al., 2001). A distância de Bray-Curtis foi utilizada em todas as análises. Comparações significativas com o valor de $p < 0,05$ revelam interações entre os índices e os caracteres analisados. Quanto maior for a medida de dissimilaridade menor será a semelhança entre os indivíduos estudados. Testes de *post-hoc* também foram aplicados sempre que diferenças significativas foram detectadas, a fim de identificar quais zonas diferiram significativamente entre si.

Também foram aplicadas análises multivariadas para testar as relações dos valores calculados para a assimetria flutuante com algumas variáveis físicas e químicas da água medidas nas três zonas estudadas da baía de Guanabara. A Análise de Componentes Principais (PCA; Figura 4) foi aplicada com o auxílio do programa PC-ORD6 sobre a matriz de dados ambientais para identificar quais variáveis abióticas melhor explicaram o padrão de separação dos três costões. A PCA é uma análise multivariada usualmente aplicada sobre dados ambientais, uma vez que se baseia na correlação e covariância entre as variáveis de interesse, e a partir do cálculo de autovalores e autovetores, pode-se realizar a redução dimensional dos dados e analisar os padrões principais de variabilidade presentes (Tabachnick & Fidell, 2001). Modelos aditivos generalizados (GAM; Figura 4), disponíveis no programa CANOCO 4.5 também foram aplicados para identificar as relações dos valores calculados pelos índices compostos de assimetria com os escores dos eixos da PCA, os quais representaram variações ao longo do gradiente ambiental da baía de Guanabara. A complexidade do modelo GAM foi escolhida por meio do procedimento passo-a-passo usando o critério de informação Akaike (AIC), também disponível no programa CANOCO 4.5. O AIC não considera somente a qualidade de ajuste dos pontos, mas também a parcimônia dos dados, penalizando modelos mais complexos quando estes aportam pouca contribuição na explicação dos dados (Burnham & Anderson, 1998).

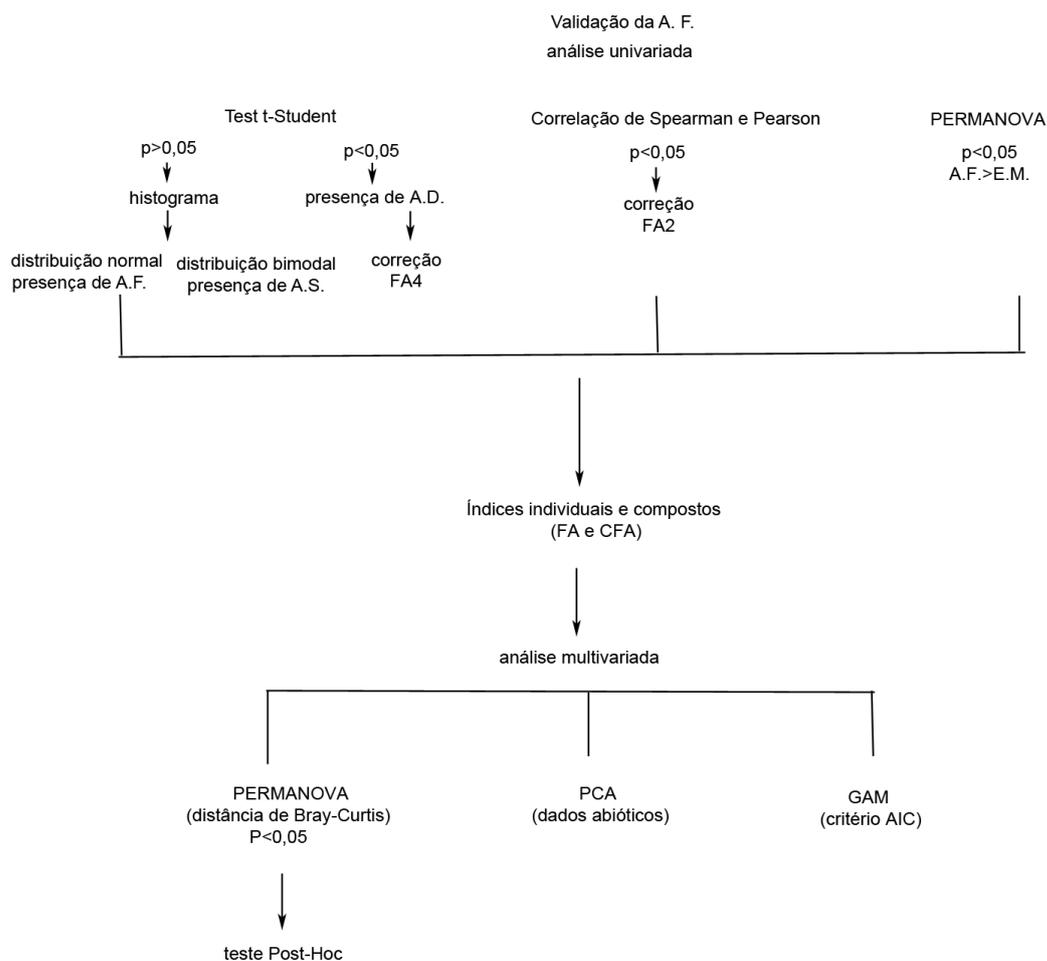


Figura 4. Fluxograma resumindo as análises dos dados de assimetria flutuante em *Orthopristis ruber*.

3. RESULTADOS

3.1. Validação da existência de assimetria flutuante

As frequências das diferenças entre os lados direito e esquerdo de cada caracter e o grau de ajuste dos valores com a curva esperada para a distribuição normal demonstraram que todos os seis caracteres do *O. ruber* atenderam satisfatoriamente ao pressuposto de normalidade (Figura 5). Os histogramas da distribuição das diferenças entre os lados direito e esquerdo dos caracteres não revelou evidências de

antissimetria. Tais resultados sinalizaram a existência de assimetria flutuante para todos os seis caracteres analisados.

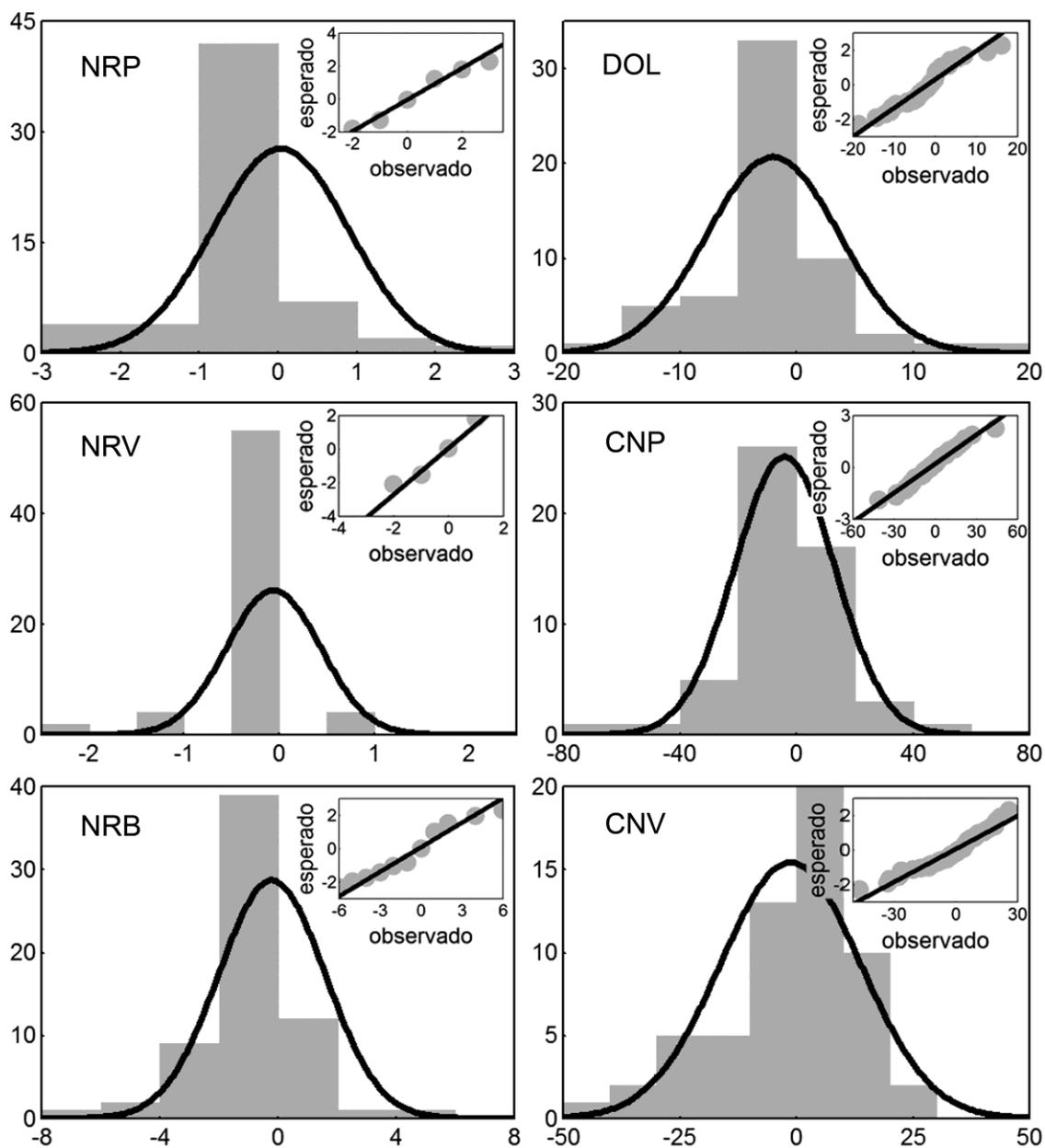


Figura 5. Histogramas representativos das frequências das diferenças entre os lados direito e esquerdo de cada caracter e o grau de ajuste dos valores com a curva esperada para a distribuição normal (figura menor no canto superior direito de cada histograma) dos seis caracteres de *Orthopristis ruber* analisados. NRP: número de raios peitorais; NRV: número de raios ventrais; NRB: número de rastros branquiais; DOL: diâmetro dos olhos; CNP: comprimento das nadadeiras peitorais e CNV: comprimento das nadadeiras ventrais.

Os valores médios da diferença entre os lados direito e esquerdo (D-E) não diferiram significativamente de zero (teste *t-Student*; $p > 0,05$) para a maioria dos seis caracteres medidos (Tabela 3), excetuando-se o diâmetro dos olhos ($p = 0,009$), indicando a presença de assimetria direcional. Mesmo aplicando-se a metodologia proposta por Palmer (1994) para controle deste tipo de artefato, a diferença entre os lados direito e esquerdo (D-E) do diâmetro dos olhos continuou diferindo significativamente de zero (teste *t-Student*; $p < 0,01$), indicando a persistência de assimetria direcional para este caracter. Para inferência do grau de interferência da assimetria direcional sobre os resultados obtidos, foi calculado o índice FA4, segundo metodologia proposta por Palmer & Strobeck (2003). Como o valor calculado para FA4 (= 4,54 cm) foi superior àquele obtido para a média da diferença entre os lados direito e esquerdo para o diâmetro do olho (= 2,02 cm).

Tabela 3. Significância (p) do teste *t-Student* para médias significativamente diferentes de zero dos lados direito e esquerdo para os seis caracteres morfométricos e merísticos analisados do *Orthopristis ruber*. Valores significativos (em negrito) indicam a existência de assimetria direcional.

Caracter	n	Média	Test T
Número de raios da nadadeira peitoral	60	0,03	0,766
Número de raios da nadadeira ventral	65	-0,06	0,321
Número de rastros branquiais	65	-0,22	0,340
Diâmetro do olho	59	-2,02	0,009*
Comprimento da nadadeira peitoral	54	-4,12	0,083
Comprimento da nadadeira ventral	58	-1,29	0,083

O número de raios das nadadeiras peitorais apresentou-se significativamente correlacionado (r de Pearson; $p < 0,05$) com o comprimento do *O. ruber*, enquanto uma correlação marginalmente significativa foi observada entre o número de rastros branquiais e o comprimento do *O. ruber* (r de Pearson; $p = 0,051$; Tabela 4). O teste de correlação de Spearman, por sua vez, identificou relações significativas apenas entre o número de raios das nadadeiras ventrais e o comprimento do *O. ruber* (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de r para o teste de Correlação de Pearson e de Spearman com o comprimento do *Orthopristis ruber* para os seis caracteres de medidos. Interação significativa estão em negrito.

Caracter	Pearson (r)	Spearman (r)
Número de raios da nadadeira peitoral	0,27	0,19
Número de raios da nadadeira ventral	0,07	0,04
Número de rastros branquiais	0,24	-0,21
Diâmetro do olho	0,20	-0,35
Comprimento da nadadeira peitoral	0,05	0,11
Comprimento da nadadeira ventral	0,14	0,12

O PERMANOVA revelou interação significativa lado \times indivíduo para quase todos caracteres do *O. ruber* medidos (Tabela 5). Apenas o caracter diâmetro do olho não apresentou interação lado \times indivíduo significativa, os demais resultados confirmaram a existência de assimetria flutuante para os outros caracteres do *O. ruber*.

Tabela 5. Resultados da PERMANOVA baseada na matriz de distância euclidiana para os caracteres analisados. Interação lado \times indivíduo significativas estão em negrito.

Caracter	Lado x Indivíduo		
	n	F	P
Número de raios peitoral	24	3,69	0,0002
Número de raios ventral	23	2,09	0,0176
Rastros branquiais	28	13,07	0,0002
Diâmetro dos olhos	27	1,31	0,1974
Comprimento nadadeiras peitoral	25	2,46	0,0032
Comprimento nadadeiras ventral	22	3,87	0,0004

3.2. Variação espacial da assimetria flutuante na baía de Guanabara

A PERMANOVA detectou diferenças significativas de assimetria flutuante para a maioria dos caracteres analisados, porém os padrões variaram entre os índices utilizados (Tabela 6). O número de rastros branquiais foi o único atributo que apresentou diferenças significativas nos níveis de assimetria para os três índices. Não foram detectadas diferenças significativas nos níveis de assimetria para o diâmetro do olho e nem para o número de raios da nadadeira ventral.

Tabela 6. Valores de assimetria flutuante calculado pelos índices individuais e compostos para os seis atributos. DOL: diâmetro do olho; CNP: comprimento nadadeira peitoral; CNV: comprimento nadadeira ventral; NRP: número de raios nadadeira peitoral; NRV: número de raios nadadeira ventral; NRB: número de rastros branquiais; CFA: índice composto; Ur: Urca; Po: Ponte; Pa: Paquetá. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Caracteres	Índices de Assimetria Flutuante					
	FA1		FA2		FA5	
	F	Post-hoc	F	Post-hoc	F	Post-hoc
DOL	0,64		0,48		0,36	
CNP	4,16*	Pa;Po>Ur	1,36		5,72*	Po>Ur
CNV	3,75*	Pa;Po>Ur	1,98		1,98	
NRP	0,86		3,21*	Po>Ur	0,47	
NRV	0,10		0,08		0,09	
NRB	4,46*	Pa>Ur	4,69*	Pa>Ur	4,45*	Pa> Ur
IC	9,29**	Pa;Po>Ur	4,51*	Pa>Ur		

Para o número de rastros braquiais, os peixes da região da Urca apresentaram menores valores de assimetria que os da região da Paquetá (Tabela 6; Figura 6), padrão este que foi observado para todos os três índices (i.e. FA1, FA2 e FA5). Para o comprimento da nadadeira peitoral, diferenças significativas nos níveis de assimetria flutuante foram observadas para os índices FA1 e FA5, sendo que para o primeiro, os peixes da Urca foram menos assimétricos que os das outras duas regiões, enquanto que para o segundo, os peixes da Urca somente foram menos assimétricos que os de Ponte. Tendência similar foi observada para o caracter comprimento da nadadeira ventral, porém diferenças significativas na assimetria flutuante foram registradas apenas para o índice FA1, com os peixes da Urca também apresentando menores valores que aqueles de Paquetá e Ponte. Para o número de raios da nadadeira peitoral, foram registradas diferenças apenas para o índice FA2 (Tabela 6; Figura 6), com menores assimetrias para os peixes da região da Urca em comparação com aqueles dos costões rochosos da Ponte.

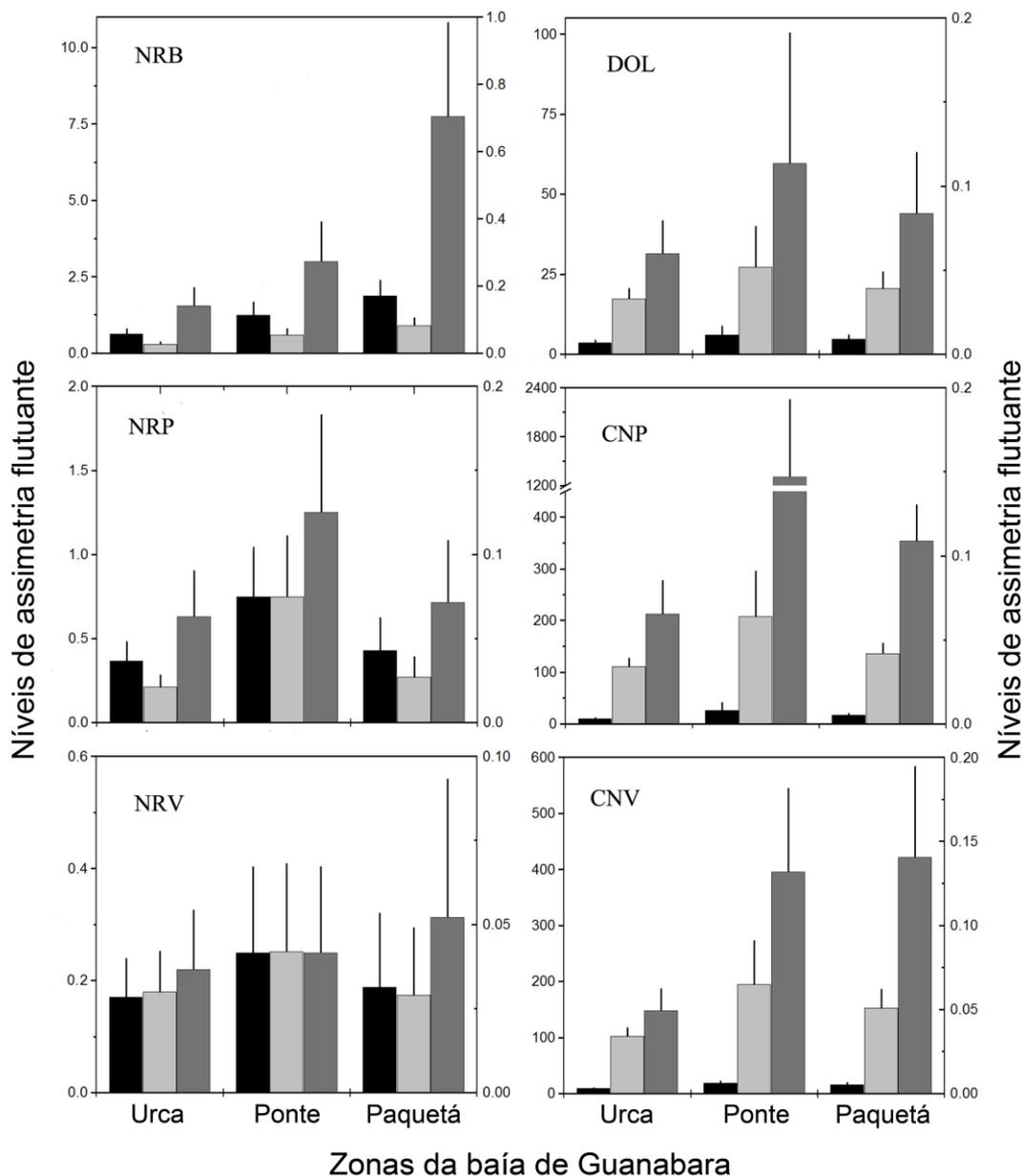


Figura 6. Variações dos níveis de assimetria flutuante calculado pelos índices individuais para os seis atributos entre as zonas da baía de Guanabara. Linhas verticais representam o erro padrão; NRB: número de rastros branquiais; NRP: número de raios nadadeira peitoral; NRV: número de raios nadadeira ventral; DOL: diâmetro do olho; CNP: comprimento nadadeira peitoral; CNV: comprimento nadadeira ventral; coluna em preto: índice FA1; coluna cinza claro: índice FA2; coluna cinza escuro: índice FA5; valores eixo Y esquerdo representam os índices FA1 e FA5; valores eixo Y direito representam os índices FA2.

Para os índices compostos, diferenças significativas foram registradas tanto para o CFA1 ($p < 0,01$) quanto para o CFA2 ($p < 0,05$) (Tabela 6; Figura 7). Para o CFA1, os peixes

da Urca foram menos assimétricos que os das outras duas regiões. Tendência similar foi observada para o CFA2, porém os peixes da Urca somente foram menos assimétricos que os de Paquetá.

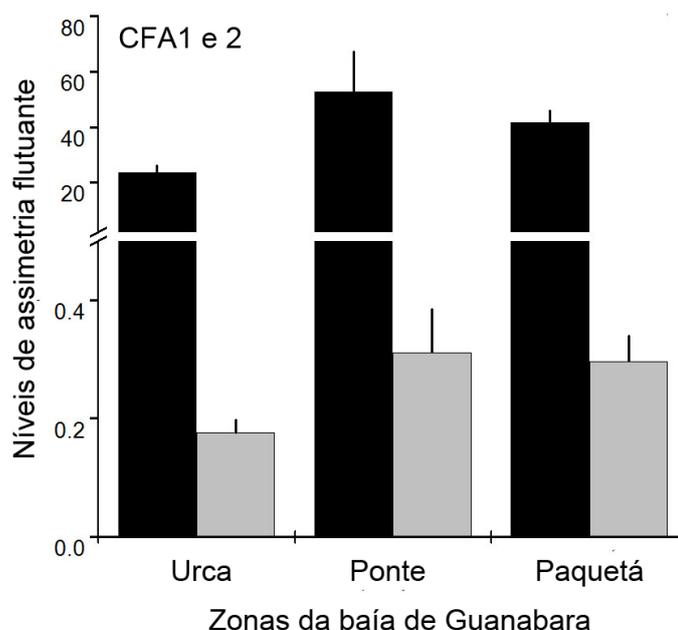


Figura 7. Variações dos níveis de assimetria flutuante calculado pelos índices compostos para os seis atributos entre as zonas da baía de Guanabara. Linhas verticais representam o erro padrão; coluna em preto: índice CFA1; coluna cinza claro: índice CFA2.

3.3. Relação entre os níveis da assimetria flutuante e as variáveis abióticas

A baía de Guanabara é caracterizada como um ambiente, em que os estratos mais superficiais da água apresentam temperaturas superiores 20° C, bem oxigenados (>7,0 mg/l O₂ dissolvido), de baixa transparência (<2,0m), com pH e salinidade próximos àqueles esperados para ambientes marinhos típicos (~8,4 e 33,2, respectivamente; Tabela 7). Entretanto, também foi observada uma considerável variação espacial nas características físicas e químicas da água, em decorrência da influência alternada de águas oceânicas e estuarinas a que a baía está submetida.

Tabela 7. Média e amplitude de variação (entre parêntesis) das variáveis de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L), pH e transparência (m), medidas nos substratos rochosos de cada local de amostragem. São apresentados valores para o conjunto de dados e para cada local de amostragem em particular.

Variáveis ambientais	Conjunto de dados	Zonas da baía de Guanabara		
		Urca	Ponte	Paquetá
Temperatura (°C)	22.09 (17.18-25.22)	20.00 (17.18-22.23)	22.42 (22.08-23.35)	23.86 (23.36-25.22)
Salinidade	33.23 (29.06-35.45)	34.45 (32.04-35.45)	33.10 (30.91-33.96)	32.15 (29.06-33.30)
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7.45 (5.58-9.57)	6.94 (5.58-8.49)	6.83 (6.55-7.00)	8.59 (5.97-9.57)
pH	8.44 (7.67-9.01)	8.50 (7.93-9.01)	8.45 (8.34-8.57)	8.39 (7.67-8.71)
Transparência (m)	1.59 (0.60-3.35)	2.02 (0.85-3.35)	1.93 (0.70-2.58)	0.82 (0.60-0.95)

Os menores valores de salinidade, pH e transparência foram encontrados para a zona de Paquetá, confirmando na região um grande aporte de água doce oriundo da bacia hidrográfica da baía de Guanabara. Em contra partida, a zona da Urca apresentou os maiores valores de salinidade, pH e transparência, e juntamente com os menores valores de temperatura indicam o predomínio da influência de águas oriundas da plataforma continental adjacente que através do canal principal adentra à baía. A região da Ponte apresentou, em geral, características intermediárias em relação às demais zonas, podendo observar uma similaridade desta região com os substratos rochosos da Urca e com os de Paquetá, demonstrando o local como uma área de circulação do canal (Figura 8).

As mudanças espaciais e sazonais nas condições físicas e químicas das águas subsuperficiais da baía de Guanabara são resumidas pelos dois primeiros eixos da PCA, que juntos explicaram 71,5% da variância total dos dados. O eixo 1 foi

altamente significativo (Teste de Monte Carlo; $P = 0,01$) e explicou 43,2% da variação dos dados, separando claramente as zonas da baía. O eixo 1 correlacionou-se positivamente com os valores de temperatura ($r = 0,89$) e com as amostras da região de Paquetá, em ambos os períodos, e da Ponte no período chuvoso. Por outro lado, este eixo correlacionou-se negativamente com os valores de salinidade ($r = -0,87$) e de transparência ($r = -0,52$), e com as amostras da região da Urca, em especial no período seco. O eixo 2 foi marginalmente significativo (Teste de Monte Carlo; $P = 0,06$) e explicou 28,3% da variância dos dados, separando claramente os dois períodos estudados (seco versus chuvoso), com as amostras do período chuvoso distribuindo-se no quadrante positivo e as amostras do período seco distribuindo-se na porção inferior do diagrama, apresentando-se associadas com os valores de oxigênio dissolvido ($r = -0,74$) e transparência ($r = -0,71$).

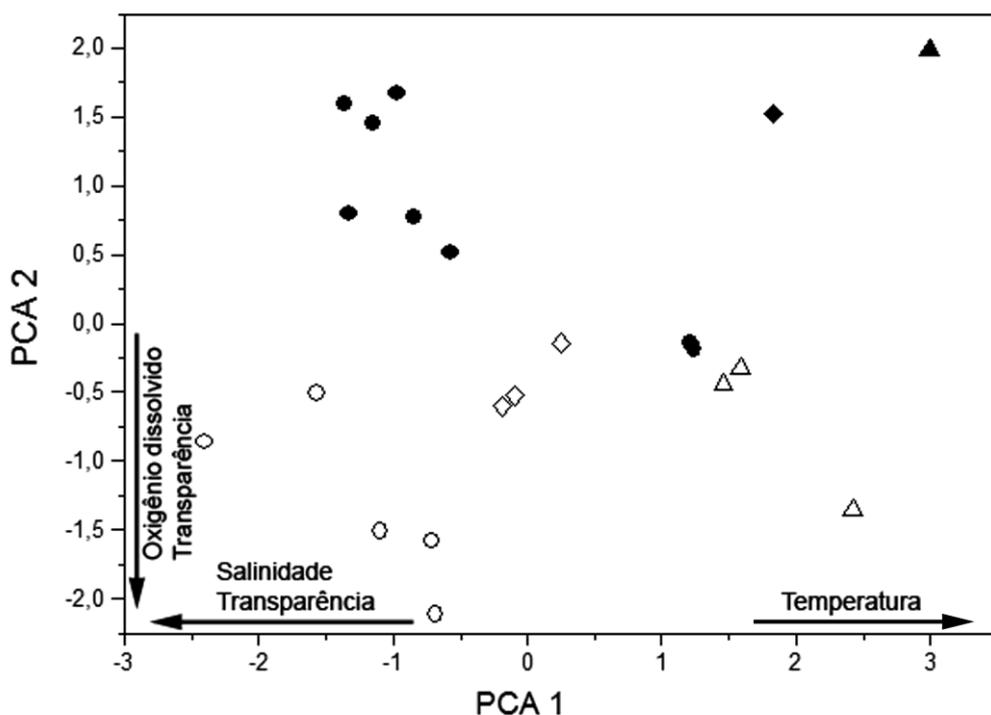


Figura 8. Diagrama de ordenação construído a partir dos dois primeiros eixos da PCA aplicada sobre a matriz de dados ambientais e com as amostras codificadas pelas zonas da baía de Guanabara. O sentido das setas indica quais variáveis apresentaram maiores contribuições para a distribuição das amostras ao longo de cada eixo. Urca seco; Urca chuvoso; Ponte seco; Ponte chuvoso; Paquetá chuvoso; Paquetá seco.

O AIC identificou relações entre os índices compostos CFA1 e CFA2 de assimetria flutuante com os dois primeiros eixos da PCA (Figura 9), porém com respostas lineares para o eixo 1 ($F \geq 10,4$; $P < 0,001$ para ambos) e não-lineares para o eixo 2 ($F \geq 2,7$; $P \leq 0,07$ para ambos). Em relação ao eixo 1, os valores de assimetria flutuante aumentaram linearmente com os escores do eixo 1, ou seja, com o aumento da temperatura e com a diminuição da salinidade e da transparência. Para o eixo 2, os padrões não foram tão claros, uma vez que a relação unimodal observada indicou que a assimetria aumenta até valores intermediários dos escores, decrescendo em direção aos extremos.

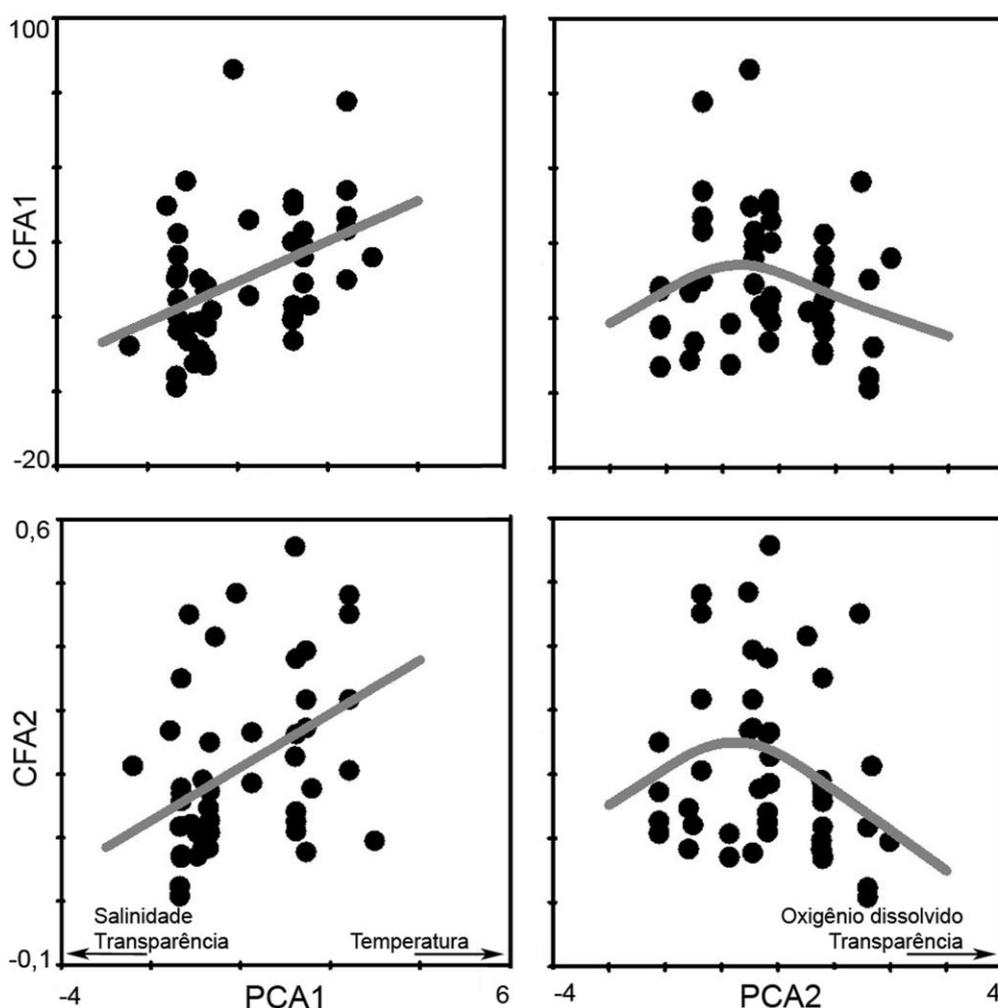


Figura 9. Relação da assimetria flutuante com as variáveis ambientais ao longo da baía de Guanabara. As linhas representam os modelos aditivos generalizados selecionados pelo critério de informação de Akaike.

4. DISCUSSÃO

4.1. Validação de a existência de assimetria flutuante

Foi comprovada a existência de assimetria flutuante para todos os seis caracteres utilizados na avaliação da assimetria dos *Orthopristis ruber* associados aos costões rochosos da baía de Guanabara. Entretanto, os caracteres merísticos e morfométricos responderam de forma distinta às variações da assimetria flutuante em *O. ruber*, com destaque para o número de rastros branquiais que apresentou as melhores repostas no presente trabalho. O número de rastros branquiais, seguido pela quantidade de raios das nadadeiras pares, figuram entre os caracteres merísticos mais comumente utilizados nos estudos sobre assimetria flutuante (Allenbach, 2011; Oxnevard et al., 2011; Jawad et al., 2012).

O número de rastros branquiais tem se mostrado como a melhor estrutura para validar a presença da assimetria flutuante em diversos estudos com peixes marinhos e de água-doce. Fries et al. (2004) registraram assimetrias significativas em rastros branquiais no primeiro arco de *Morone saxatilis*, as quais foram relacionadas ao estresse da época de desova. Oxnevard et al. (2012) também observaram assimetria flutuante nos rastros branquiais da perca *Perca fluviatilis*, enquanto Ayoade et al. (2004) detectaram assimetria bilateral para filamentos e rastros branquiais de carpas *Labeo ogunensis*, com os primeiros respondendo melhor que os rastros para a detecção da assimetria. Os registros recorrentes de assimetria flutuante em rastros branquiais demonstram a vulnerabilidade desta estrutura a agentes estressores, tendência esta que foi observada em outros trabalhos que não se utilizaram da assimetria flutuante como ferramenta de avaliação ambiental (Yamada et al., 2010; Nascimento et al., 2011; Gomes et al., 2012).

A contagem do número de raios das nadadeiras pares para validação da existência da assimetria flutuante ainda não é uma abordagem muito reconhecida. No presente estudo, apenas o número de raios da nadadeira peitoral apresentou sensibilidade para a variação de assimetria. Relações positivas entre elevados níveis de assimetria flutuante e o número de raios na nadadeira peitoral também foram reportadas em outros estudos (Oxnevard et al., 2002; Jawad et al., 2012). Por outro lado, não foram detectadas relações entre a assimetria flutuante e o número de raios da nadadeira ventral do *O. ruber*. Esta tendência corrobora com outros estudos que indicam a menor confiabilidade deste caráter na validação da assimetria, em razão da sua menor vulnerabilidade ao agente estressor, provavelmente

devido à baixa relação entre o período de desenvolvimento da estrutura e os eventos de adversidade ambiental (Mamry et al., 2011; Jawad et al., 2012).

Apesar dos resultados, em geral, positivos do uso de caracteres merísticos em estudos de assimetria, algumas limitações devem ser consideradas durante as análises com estes caracteres. Primeiro, alterações nos caracteres merísticos são fixadas no início da fase de vida, ao passo que outras alterações, decorrentes de condições ambientais estressoras, são menos prováveis de serem fixadas ao longo do desenvolvimento ontogenético, exceto em situações de nível extremamente elevadas de estresse ambiental, capazes de danificar também outras estruturas funcionalmente importantes (Kristoffersen & Magoulas, 2009). Além disso, outras pesquisas têm encontrado resultados controversos para o uso de caracteres merísticos, indicando uma menor sensibilidade destes para a detecção da assimetria bilateral (Allenbach, 2011; Mamry et al., 2011; Oxnevard et al., 2011; Jawad et al., 2012).

Em relação aos caracteres morfométricos, os resultados obtidos para *O. ruber* no presente trabalho estão em consonância com os demais estudos de validação da assimetria flutuante em peixes. Allenbach et al. (1999) relacionaram a assimetria flutuante no comprimento das nadadeiras peitorais de *Gambusia affinis* com a presença de pesticidas. Gonçalves et al. (2002) associaram menores assimetrias flutuantes no comprimento das nadadeiras do blenídeo *Salaria pavo* com o maior sucesso reprodutivo. Almeida et al. (2008) registraram níveis significativos de assimetria flutuante para o comprimento das nadadeiras peitorais em *Carassius auratus* e *Cyprinus carpio*. O diâmetro dos olhos, assim como observado no presente estudo, não apresentou sensibilidade para detecção da assimetria flutuante, sendo considerada uma estrutura menos vulnerável aos agentes estressores ambiental e genético (Jawad et al., 2012). Vale ressaltar ainda, que outros caracteres morfométricos não testados no presente trabalho também podem ser usados em estudos de assimetria flutuante, como as medidas da cabeça e dos otólitos (Lens et al., 2002; Almeida et al., 2008; Kristoffersen & Magoulas, 2009; Allenbach, 2011).

Além da assimetria flutuante, também foi detectada assimetria direcional em *O. ruber*, mas apenas para o carácter diâmetro dos olhos. Não foram detectadas evidências de antissimetria em *O. ruber*. A identificação da existência de outros tipos de assimetria bilateral, além da flutuante (i.e. direcional ou antissimetria) é recomendável (Palmer, 1994; Allenbach et al., 1999), uma vez que a ocorrência destas pode interferir nos resultados de alguns estimadores da instabilidade do desenvolvimento (Palmer, 1994; Graham et al.,

1998; Van Dongen et al., 1999). Entretanto, muitos estudos não dão a devida atenção a essa diferenciação. Entre os 81 estudos analisados na compilação de Allenbach (2011), apenas 58% identificaram quais os tipos de assimetria estavam ocorrendo. A existência dos três tipos de assimetria, aparentemente, decorre de um *continuum*, geralmente mais perceptível em distâncias geográficas curtas e associado a gradientes ambientais ao longo da faixa de distribuição de uma determinada espécie (Graham et al., 1998; Kark, 2001; Lens et al., 2002). Neste sentido, outros tipos de assimetria, em particular a assimetria direcional, podem surgir de um estresse ambiental adicionado à uma origem de base genética (Palmer, 1994), também podendo refletir uma resposta ao estresse no desenvolvimento ontogenético de caracteres bilaterais (Graham et al., 1998; Kark, 2001). Embora tenha sido registrado para um mesmo carácter morfológico de uma ave ao longo de um gradiente espacial em Israel (Kark, 2001), a existência de um *continuum* no desenvolvimento de vários tipos de assimetrias ainda não está bem estabelecido, requerendo pesquisas adicionais para sua confirmação.

Embora correções estatísticas para a assimetria direcional possam ser aplicadas (Graham et al., 1998; Van Dongen et al., 1999), a abordagem sugerida por Palmer (1994) não corrigiu satisfatoriamente a assimetria direcional observada para o diâmetro do olhos de *O. ruber*. Por outro lado, os resultados calculados para o índice FA4 superiores aos valores obtidos para a assimetria direcional demonstram que esse tipo de assimetria não interferiu significativamente na interpretação dos resultados de assimetria flutuante (Palmer & Strobeck, 2003). Portanto, optou-se pela manutenção do carácter diâmetro do olho nas análises dos níveis de assimetria flutuante em *Orthopristis ruber* na baía de Guanabara. Ou seja, isto significa que a predisposição de um lado do carácter ser maior que o outro é menor que o desvio da média das diferenças entre os lados direito e esquerdo (Palmer, 1994). Além disso, não há evidências de que as diferenças no diâmetro dos olhos do *Orthopristis ruber* apresentem qualquer base genética ou fundamento ecológico, contribuindo para a não-exclusão deste carácter das análises, até por que a retirada dos caracteres com assimetria direcional dos estudos pode influenciar na compreensão dos fatores que influenciam a assimetria bilateral (Kark, 2001). De todas as maneiras, a existência da assimetria direcional no diâmetro dos olhos do *O. ruber* demonstra que mais de um tipo de assimetria bilateral pode ocorrer em uma mesma estrutura de um indivíduo.

Neste sentido, se faz necessário o conhecimento da história de vida e distribuição geográfica da espécie estudada para um bom entendimento das relações que envolvem a assimetria flutuante com os mecanismos produtores de estresse e a instabilidade do desenvolvimento.

Os valores significativos obtidos nos testes de correlação (Pearson e Spearman) para o número de raios da nadadeira peitoral, número de rastros branquiais e diâmetro de olho, sugerem que as diferenças existentes entre os lados destes caracteres podem estar correlacionadas com mudanças do tamanho do corpo do *O. ruber*. Ou seja, durante o crescimento normal dos peixes, a variabilidade natural de um caracter tende a aumentar com o tamanho da estrutura, podendo mascarar a detecção de assimetria flutuante por alguns índices. O efeito do tamanho do caracter, entretanto, pode ser corrigido pela utilização do índice FA2, concebido especialmente para esta finalidade (Palmer & Strobeck, 1986; Palmer, 1994; Almeida et al., 2008; Graham et al., 2010; Jawad et al., 2012). Outra opção é a retirada dos caracteres que apresentam diferenças bilaterais relacionadas ao desenvolvimento ontogenético, embora esta alternativa apresente potenciais prejuízos para a comprovação da assimetria flutuante (Palmer, 1994). No presente trabalho optou-se pelo uso do índice FA2, o qual além de confirmar a existência de assimetria flutuante significativa para o número de rastros branquiais, também revelou a existência de assimetria flutuante para o número de raios da nadadeira peitoral, que estava mascarada pelo efeito do tamanho do peixe. Resultados similares da relação entre rastro branquial e o tamanho do caracter também foram observados para *Labeo ogunensis*, nos quais o caracter também não foi retirado das análises devido ao seu potencial como indicador de assimetria flutuante (Ayoade et al., 2004).

As interações significativas entre lado \times indivíduo reveladas pela PERMANOVA para quase todos os caracteres do *O. ruber*, excetuando-se o diâmetro do olho, indica que as diferenças entre os lados direito e esquerdo do corpo foram maiores que a variação atribuída ao erro de medição (Palmer & Strobeck, 1986). O resultado do PERMANOVA para o diâmetro do olho também confirma a existência de assimetria direcional, como já evidenciada pelo resultado significativo do teste t-Student (i.e. divergências significativas em relação a zero dos valores médios da diferença entre os lados). Medições recorrentes e múltiplas de caracteres podem aumentar consideravelmente a probabilidade de encontrar variações importantes para o mesmo caracter, aumentando os erros de medição e a irregularidade por parte do pesquisador, cuja variação pode oscilar entre 36 e 86% das

medidas dependendo do tipo do caracter observado, como detectado por Hubert & Alexander (1995) para trutas *Onchorhynchus* sp. Análises com erros significativos de medição em caracteres podem acarretar um falso resultado de assimetria flutuante (Palmer & Strobeck, 1986; Palmer, 1994; Lens et al., 2002 ; Oxnevard et al., 2002). Ainda assim, na compilação de Allenbach (2011), apenas 37% dos estudos tiveram a preocupação de estimar o valor do erro de medição.

4.2. Variação espacial da assimetria flutuante na baía de Guanabara

O presente trabalho encontrou diferenças significativas dos níveis da assimetria flutuante para a maioria dos caracteres analisados, entretanto, os padrões variaram entre as zonas da baía de Guanabara. O caracter número de rastros branquiais demonstrou diferenças significativas nos níveis de assimetria flutuante do *O. ruber* entre os costões da Urca e de Paquetá, mas não para os costões da região da Ponte. Tais resultados sugerem que a região da Ponte pode representar uma zona de transição entre as zonas internas (Paquetá) e externas (Urca) da baía de Guanabara sob a influência do canal principal. Os caracteres comprimento das nadadeiras peitoral e ventral também se mostraram como bons indicadores da assimetria flutuante, com menores níveis de assimetria flutuante para os peixes da região da Urca que os das outras duas regiões. O caracter número de raios da nadadeira peitoral, por outro lado, foi o único a revelar que os peixes da região da Urca são menos assimétricos que aqueles dos costões rochosos da Ponte, sugerindo uma menor sensibilidade desse caracter como indicador da ocorrência de assimetria flutuante, como previamente evidenciado pela pequena variabilidade na diferença entre os lados direito e esquerdo do *O. ruber* para este atributo.

Tendências similar a do número de rastros branquiais e comprimento das nadadeiras peitoral e ventral foram encontradas pelo uso dos índices compostos CFA1 e CFA2, nos quais os *O. ruber* da Urca se mostraram menos assimétricos que os das zonas de Paquetá e Ponte. Tais padrões refletem as melhores condições ambientais encontradas na região da Urca, que proporcionaram aos *O. ruber* melhores condições de sobrevivência e, conseqüentemente, maior simetria bilateral, como também confirmado pelo aumento linear nos valores de assimetria flutuante com os escores do primeiro eixo da PCA. Variações sazonais nas características físicas e químicas da baía de Guanabara também ocorreram, conforme indicado pelo segundo eixo da PCA, contudo tais variações não apresentaram

uma clara relação com a assimetria flutuante nos *O. ruber*, confirmando as expectativas de que alterações espaciais nas características ambientais da baía são mais significativas que mudanças sazonais na explicação das diferenças de simetria bilateral do *O. ruber*.

Os resultados encontrados para os atributos abióticos confirmaram a natureza mixohalina da baía de Guanabara, demonstrando oscilações dos parâmetros da água decorrente de fatores ambientais, entre os quais, o regime fluvial e de marés possuem grande influência nas características abióticas entre os costões rochosos da baía de Guanabara. A diminuição progressiva da salinidade e transparência da água da Urca para as zonas mais internas da baía de Guanabara, mas que ainda estão sob influência do canal principal, atingiu seu ponto mínimo no entorno dos costões rochosos de Paquetá, região que apresenta uma área de circulação de água mais restrita em relação às demais zonas amostradas (Mayr et al., 1989). Os menores valores da salinidade nas zonas mais internas da baía também estão intimamente associados com o aporte de água doce oriundo das redes fluvial e pluvial, corroborando a afirmação de que a baía é um ecossistema estuarino, com influência tanto de águas continentais pouco salinas e quanto de águas costeiras, tipicamente marinhas (Kjerfve et al., 1997; Omena et al., 2012).

O padrão de variação da transparência da água reflete a baixa energia hidrodinâmica em conjunto com a elevada quantidade de material em suspensão e matéria orgânica nas zonas mais internas da baía (Omena et al., 2012). As relações negativas entre a salinidade e transparência e os valores da assimetria flutuante demonstraram que águas com maior influência oceânica, como aquelas encontradas para os costões da Urca, resultaram em *O. ruber* com maior simetria bilateral. Resultado similar foi encontrado por Allenback (2011), que observou menor assimetria flutuante em locais com maior transparência da água. Por outro lado, a temperatura da água apresentou um padrão de aumento progressivo em direção as zonas mais internas, atingindo seu valor máximo nos costões de Paquetá. Embora o registro de temperaturas mais elevadas nas zonas mais internas da baía esteja relacionado com a influência fluvial e a menores profundidades típicas dessa região (Kjerfve et al., 1997), Allenback (2011) não encontrou relações significativas entre os níveis da assimetria flutuante e a temperatura da água.

Os menores níveis de assimetria flutuante obtidos para os *O. ruber* associados aos costões da Urca também podem estar associados a requerimentos ecológicos próprios da espécie, como a diminuição da taxa de crescimento nos meses de seca (Vianna & Verani, 2002) e com o pico de desova na estação chuvosa, períodos estes em que coincidiram com

a realização das coletas no presente trabalho. Neste sentido, a maior presença de juvenis do *O. ruber* nessa região, que, portanto, tenham permanecido menos tempo expostos a condições ambientais adversas, pode ter contribuído para menores valores de assimetria flutuante, especialmente no verão. Padrões similares foram encontrados para indivíduos de menores classes de tamanho de *Sardinella longiceps* (Jawad et al., 2012), corroborando a tendência do aumento crescente do nível da assimetria flutuante com o crescimento do peixe.

Por outro lado, os maiores níveis de assimetria flutuante nos *O. ruber* dos costões rochosos de Paquetá podem estar associados às características hidrodinâmicas de Paquetá, com águas túrbidas e de baixo hidrodinamismo, provavelmente funcionando como área de crescimento da espécie (Menezes & Figueiredo, 1980; Araújo et al., 2002; Rodrigues et al., 2007). Neste sentido, uma intensificação no sinal da assimetria flutuante pode ter ocorrido caso os *O. ruber* de Paquetá tenham permanecido exposto aos agentes estressores por um maior período de tempo do seu ciclo de vida. Resultados parecidos foram encontrados por Kiteviski & Pyron (2006), que compararam a assimetria de populações de *Fundulus diaphanus* de uma baía pristina e de outra contaminada por metais pesados e pesticidas.

Resumindo, as variações dos níveis da assimetria flutuante observadas entre as populações do *O. ruber* associados aos costões rochosos coincidiram com diferenças ambientais bem marcadas entre as diferentes zonas da baía de Guanabara. Estes padrões concordam com os resultados similares obtidos por vários estudos que testaram as mudanças na assimetria flutuante em peixes com o estresse ambiental entre baías pristinas e antropizadas (Oxnevar et al., 2002; Kiteviski & Pyron, 2006; Almeida et al., 2008; Hermita et al., 2013). Neste sentido, os resultados obtidos no presente trabalho foram especialmente robustos para diferenciar a simetria bilateral das populações do *O. ruber* entre as zonas da Urca e de Paquetá, revalidando a presença de um gradiente ambiental proposto originalmente por Mayr et al. (1989), mas também observado por Valentin et al. (1999), de diminuição da qualidade ambiental em direção às zonas mais internas da baía de Guanabara.

4.3 Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na baía da Guanabara, RJ?

Os resultados do presente estudo demonstraram que os níveis de assimetria flutuante ocorreram diferenciadamente entre os caracteres analisados. Apesar de, em teoria, a assimetria flutuante potencialmente se manifestar em todos os caracteres pares de um indivíduo, a detecção de divergências na simetria bilateral do organismo como um todo é raramente observada, mesmo para caracteres mais sensíveis, que estão fortemente correlacionados com o desenvolvimento ontogenético (Palmer & Strobeck, 1986; Lens et al., 2002), indicando, portanto, que a ação de agentes estressores afetam os caracteres de diferentes maneiras. Neste sentido, a utilização de apenas um caracter para comprovar a assimetria flutuante pode não ser um bom indicador do estresse imposto sobre o desenvolvimento de um indivíduo, corroborando estudos prévios que defendem que a utilização de múltiplos caracteres acarreta em informações mais verossímeis e robustas da presença da assimetria flutuante (Leary & Allendorf, 1989; Palmer & Strobeck, 2003).

A escolha de caracteres a partir da compreensão dos seus significados funcionais é fundamental nos estudos sobre assimetria flutuante, pois estruturas que apresentem maior funcionalidade estão inclinadas a uma seleção mais forte durante a ontogenia, sendo, portanto, mais conservadores nas variações da assimetria bilateral (Palmer & Strobeck 1986; Gonçalves et al., 2002; Almeida et al., 2008; Allenbach, 2011). Entretanto, o significado funcional de um determinado caracter depende da espécie e da sua relação intrínseca com o habitat (Allenbach, 2011). Apesar da importância funcional das brânquias na respiração e regulação iônica em peixes (Nascimento et al., 2011), os resultados do presente estudo mostraram os rastros branquiais como o melhor caracter para validar a presença da assimetria flutuante em *O. ruber*, demonstrando a sensibilidade dessa estrutura às variações na qualidade ambiental da baía e potencial interessante de sua utilização como ferramenta na avaliação de impactos ambientais em sistemas estuarinos (Yamada et al., 2010; Nascimento et al., 2011; Gomes et al., 2012).

Palmer & Strobeck (1986) encontraram pelo menos 22 índices distintos de assimetria flutuante, os quais representam variações de nove índices fundamentais. Cada um destes índices difere entre si pela sensibilidade a diversos fatores, entre eles a presença de assimetria direcional e de “outliers”, desvios de normalidade e ao tratamento que é dado à variação no tamanho do caracter (Palmer, 1994). Alguns estimadores possuem a peculiaridade de corrigirem as diferenças de tamanho do caracter (i.e. FA2) em nível de

indivíduo ou para a população como um todo. Devido às diferenças intrínsecas de cada índice é indicado que as análises de assimetria flutuante possam contemplar a utilização de pelo menos dois estimadores para se obter um resultado mais fidedigno da realidade (Palmer, 1994). A utilização de mais de um índice pode revelar artefatos causados pela escolha de um único estimador dos níveis de assimetria flutuante.

Entre os índices individuais analisados, o FA1 demonstrou ser mais significativo para a detecção de assimetria flutuante, apresentando o maior número de caracteres com valores significativos de assimetria. Tal resultado corrobora a capacidade do índice FA1 em responder satisfatoriamente às variações na simetria bilateral quando o tamanho da amostra é superior a 30 indivíduos (Palmer, 1994), contribuindo para a melhor sinalização deste índice nos resultados. Não obstante, o índice FA1 é um dos mais frequentemente utilizados como estimador da assimetria flutuante em estudos com peixes (Somarakis et al., 1997; Oxnevard et al., 2002; Ayoade et al., 2004; Kristoffer & Magoulas, 2009). Em geral, os índices FA1 e FA2 são utilizados como avaliadores de estresse nas pesquisas com assimetria bilateral. Ambos os índices produzem valores de fácil entendimento e interpretação, são considerados imparciais ao desvio padrão da amostra e recomendado para testar diferenças entre três ou mais amostras (Palmer & Strobeck, 1992; Palmer, 1994). No presente estudo, o uso de ambos os índices foi uma abordagem importante para a melhor compreensão da assimetria flutuante nas populações do *O. ruber* associadas aos costões rochosos de diferentes zonas da baía de Guanabara.

O índice FA2 possui a singularidade de não ser influenciado pelo tamanho do carácter na detecção dos desvios de simetria bilateral, reduzindo o potencial de interferência do tamanho do atributo sobre os reais valores de assimetria (Palmer & Strobeck, 1986). Apesar de outros índices de assimetria flutuante também corrigirem os efeitos do tamanho do carácter, o índice FA2 é rotineiramente utilizado para esse tipo de correção, provavelmente devido a sua facilidade de aplicação e cálculo (Palmer & Strobeck, 1986). Apesar dos resultados do presente estudo demonstrarem que o índice FA2 foi menos sensível entre os testados, resultados opostos foram observados por Graham et al. (2010), quando o índice FA2 foi indicado como o melhor estimador para calcular a assimetria flutuante. Palmer & Strobeck (1986) foram mais categóricos afirmando que os índices que corrigem o efeito da variação de tamanho do carácter (i.e. índice FA2) são menos robustos do que aqueles que não o fazem (i.e. índices FA1 e FA5),

especialmente nas situações em que assimetria flutuante for independente do tamanho do carácter.

No presente estudo, o índice FA5 se mostrou mais eficiente quando comparado ao índice FA2, porém menos sensível quando comparado ao índice FA1. O índice FA5 é considerado tão ou mais robusto que os índices baseados na média de valores absolutos (como o FA1 e o FA2) na detecção da assimetria flutuante, porém, seu uso é particularmente recomendada para amostras de pequeno tamanho ($N \leq 25$; Palmer & Strobeck, 1986; Palmer, 1994). Os resultados encontrados demonstraram que realmente há variações na sensibilidade dos índices que estimam a assimetria flutuante, ratificando os resultados de Palmer & Strobeck (1986) e Palmer (1994).

Leung et al. (2000) usando simulações computacionais compararam a capacidade de seis índices compostos em detectar diferenças na assimetria flutuante entre populações estressadas e não estressadas, sendo o primeiro estudo a comparar quantitativamente a eficácia das análises com estes tipos de índices. Os índices compostos propostos por Leung et al. (2000) diferem entre si sobretudo no método em determinar os níveis de assimetria flutuante, desse modo, inferindo na potência dos estimadores. A partir de Leung et al. (2000), outros estudos investigaram a existência da assimetria flutuante utilizando múltiplos caracteres. Trokovic et al. (2012) encontraram resultados significativos empregando o CFA2 em 12 caracteres merísticos de *Pungitius pungitius* na Península Escandinava. Kristoffersen & Magoulas (2009) também utilizaram os índices compostos em medidas de otólitos de *Engraulis encrasicolus*. Estudos com outros táxons também aplicaram o CFA2. Servia et al. (2004) utilizaram o CFA2 investigando diptera *Chironomus riparius* coletados na Espanha e Hammouda (2012) identificou a existência da assimetria flutuante em aves marinhas *Larus michahellis* na Tunísia. Outros estimadores compostos, porém em menor proporção, foram utilizados para estimar o nível da assimetria flutuante, ressaltando Bancila et al. (2010) que aplicaram o CFA3 em répteis *Podarcis* sp. analisando 32 caracteres merísticos através da técnica de “Landmarks”.

Entre os índices compostos, o CFA1 foi aparentemente mais sensível na detecção da assimetria flutuante quando comparado ao CFA2, o qual se mostrou mais conservativo. Na totalidade dos cinco índices testados no presente trabalho, o uso CFA1 apresentou a maior quantidade de resultados altamente significativos para a detecção da assimetria flutuante, mostrando ser o estimador mais robusto entre os analisados, apesar de outros estudos preferirem o índice CFA2 (Leung et al., 2000). Desta forma, o uso de índices compostos,

provavelmente reflete melhor a estabilidade do desenvolvimento e o estresse do que os índices individuais de assimetria propostos por Palmer (1994). Kristoffersen & Magoulas (2009) analisaram diversas medidas de otólitos da anchova *Engraulis encrasicolus* coletadas no mar Mediterrâneo, Jônico e Egeu, demonstrando a pouca precisão dos índices individuais na avaliação da assimetria flutuante, corroborando, de certa forma, nas indicações de uso simultâneo de vários caracteres na detecção da assimetria. A possibilidade de inclusão de vários caracteres em uma única análise é preferível para examinar os desvios na simetria bilateral, refletindo em uma maior confiabilidade sobre a verdadeira origem da variação entre os lados do corpo e reduzindo a chance de correlações espúrias ou do erro tipo I oriundos do uso isolado de um determinado caracter ou índice (Palmer & Strobeck, 1992; Leung et al., 2000; Palmer & Strobeck, 2003).

Mesmo diante da possibilidade de uso de uma ampla variedade de índices, a assimetria flutuante pode ser considerada uma medida eficaz para a detecção do ruído de desenvolvimento ou de problemas ambientais (Palmer & Strobeck, 1986). Assim, a assimetria flutuante é capaz de diagnosticar pequenas diferenças bilaterais no eixo do organismo, indicando se uma população está submetida ao estresse de origem ambiental e/ou genética (Leary & Allendorf, 1989). Entretanto, a falta de uma padronização e consistência na maioria dos estudos utilizando a assimetria flutuante dificulta a comparação entre os resultados encontrados, principalmente naqueles que empregam os peixes como indicadores de qualidade ambiental. O presente trabalho se destaca por ser pioneiro na análise de assimetria flutuante utilizando uma espécie de peixe marinho comparando os níveis da assimetria em diferentes regiões de uma baía estuarina tropical de grande importância regional.

Apesar de os resultados indicarem que a existência da assimetria flutuante em *O. ruber* está relacionada com as condições abióticas na água da baía de Guanabara, não foi possível afirmar se as variações nas características físicas e químicas analisadas foram as únicas a influenciarem decisivamente nos desvios bilaterais na morfologia da espécie. Também não foi possível analisar como alguns atributos biológicos do *O. ruber* responderam às variações ambientais e se correlacionaram com os desvios na simetria bilateral dos indivíduos. Ainda assim, o presente trabalho apresentou uma abordagem robusta e confiável para avaliação da assimetria flutuante de peixes distribuídos ao longo do gradiente ambiental da baía de Guanabara. Neste sentido, pesquisas adicionais se fazem necessárias não somente para testar a validação do protocolo aqui utilizado em outros

ecossistemas tropicais, mas também para investigar o papel de outros estressores antropogênicos, tais como nutrientes inorgânicos e contaminantes refratários e bioacumuláveis, como metais pesados e pesticidas, nas diferenças morfológicas observadas entre os lados direito e esquerdo do *O. ruber* e de outros peixes de amplas ocorrências e abundâncias na baía de Guanabara.

5. CONCLUSÃO

A falta de uma padronização e consistência entre as pesquisas sobre a utilização da assimetria flutuante no biomonitoramento ambiental dificulta a comparação entre os resultados encontrados, principalmente nas pesquisas que utilizam os peixes como indicadores de qualidade ambiental. Nosso trabalho se destaca por ser pioneiro na validação da assimetria flutuante utilizando uma espécie de peixe marinha Neotropical comparando os níveis de assimetria flutuante em diferentes regiões.

Os resultados do presente estudo corrobora que a assimetria flutuante é uma ferramenta eficaz para diagnosticar pequenas diferenças bilaterais no *Orthopristis ruber* indicando que os agentes estressores afetam as estruturas de diferentes maneiras.

Nossos resultados sinalizaram que as variações dos níveis da assimetria flutuante coincidiram com diferenças ambientais entre as zonas da baía de Guanabara, diferenciando a simetria bilateral das populações de *O. ruber* entre as zonas da Urca e de Paquetá. Entretanto, não foi possível afirmar se as variações nas condições ambientais da baía de Guanabara foram as únicas a influenciarem decisivamente nos desvios bilaterais na morfologia da espécie.

Todos os índices testados se mostraram eficazes em validar a existência da assimetria flutuante. No entanto, o índice composto CFA1 se mostrou mais recomendado para este tipo de análise, mostrando resultados altamente significativos na detecção de desvios bilaterais. O rastro branquial mostrou ser o caracter com maior vulnerabilidade a agentes estressores nos *O. ruber*, apresentando correlações dos níveis de assimetria flutuante (índices FA1, FA2 e FA5) entre os costões rochosos da baía de Guanabara.

Contudo algumas questões ainda se encontram sem conclusões, entre elas, o momento em que a assimetria flutuante é determinada durante a ontogenia do indivíduo, como também, se os desvios bilaterais são corrigidos durante o desenvolvimento ou se existe uma variação natural dos desvios bilaterais própria da espécie.

Recomendamos que pesquisas adicionais se fazem necessárias para testar a validação do protocolo em outros ecossistemas tropicais, mas também para investigar o papel de outros estressores antropogênicos. Sendo necessário, a extensão dos trabalhos para outras espécies de peixes com ampla ocorrência e abundância na baía de Guanabara.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, J. B. S., Filomeno, M. J. B. 1995. Hábitos alimentares de *Orthopristis ruber* (Curvier 1830), (Osteichthyes – Haemulidae) na Lagoa da Conceição – SC, Brasil. *Biotemas*, 8(2), 41-49.
- Aguiar, V. M. C., Baptista Neto, J. A., Rangel, C. M. 2011. Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1915–1919. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.04.035.
- Allenbach, D. M., Sullivan, K. B., Lydy, J. M. 1999. Higher fluctuating asymmetry as a measure of susceptibility to pesticides in fishes. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18, 899–905.
- Allenbach, D. M. 2011. Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: A review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21, 355–376. doi:10.1007/s11160-010-9178-2.
- Almeida, D., Almodóvar, A., Nicola, G. G., Elvira, B. 2008. Fluctuating asymmetry, abnormalities and parasitism as indicators of environmental stress in cultured stocks of goldfish and carp. *Aquaculture*, 279, 120–125. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.04.003.
- Amador, E. S. 2012. Bacia da baía de Guanabara - características geoambientais e ecossistemas. Editora Interciência: Rio de Janeiro, 432p.
- Amaral, A. C., Migotto, A. E. 1980. Importância dos anelídeos poliquetas na alimentação da macrofauna demersal e Epibentônica da região de Ubatuba. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 19(2), 31 – 35.
- Anciães, M., Marini M. Â. 2000. Assimetria flutuante em passeriformes da Mata Atlântica. In: Alves, M. A. S., Silva, J. M. C., Van Sluys, M., Bergallo, H.G., Rocha, C. F. D. (Eds.). *A ornitologia no Brasil: Pesquisa atual, conservação e perspectivas*. 187-204. Editora UERJ: Rio de Janeiro.
- Araújo, F. G., Azevedo, M. C. C., Silva, M. A., Pessanha, A. L. M., Gomes, I. D., Cruz-Filho, A. G. 2002. Environmental influences on the demersal fish assemblages in the Sepetiba Bay, Brazil. *Estuaries*, 25(3), 441–450.
- Araújo, G. G., Azevedo, M. C. C. 2001. Assemblages of southeast-south brazilian coastal systems based on the distribution of fishes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52, 729–738. doi:10.1006/ecss.2001.0778.
- Ayoade, A. A., Sowunmi, A. A., Nwachukwu, H. I. 2004. Gill asymmetry in *Labeo ogunensis* from Ogun River, Southwest Nigeria. *Revista de Biologia Tropical*, 52(1), 171-175.
- Bancila, R., Gelder, I. V., Rotteveel, E., Loman, J., Arntzen, J. W. 2010. Fluctuating asymmetry is a function of population isolation in island lizards. *Journal of Zoology*, 282, 266–275. doi:10.1111/j.1469-7998.2010.00736.x.

- Barca-Bravo, S., Servia, M., J., Cobo, F., Gonzalez, M. 2008. The effect of human use of sandy beaches on developmental stability of *Talitrus saltator* (Montagu, 1808) (Crustacea, Amphipoda). A study on fluctuating asymmetry. *Marine Ecology*, 29(1), 91–98.
- Barletta, M., Amaral, C.S., Corrêa, F.M., Guebert, F., Dantas, D.V., Lorenzi, L., Saint-Paul, U. 2008. Factors affecting seasonal variations in demersal assemblages at an ecocline in a tropical – subtropical. *Journal of Fish Biology*, 73, 1314-1336.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. 1998. Model selection and inference. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Castro, M. S., Bonecker, A. C. T., Valentin, J. L. 2005. Seasonal variation in fish larvae at the entrance of Guanabara Bay, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(1), 121-128.
- Chaves, M. C., Seixas, L. B., Cruz, L. R., Sampaio, A. C., Santos, L. N. 2014. Fish assemblage responses to environmental gradients in a tropical polluted bay. No prelo.
- Floeter, S. R., Krohling, W., Gasparini, J.L., Ferreira, C. E. L., Zalmon, I. 2007. Reef fish community structure on coastal islands of the southeastern Brazil: the influence of exposure and benthic cover. *Environmental Biology of Fishes*, 78, 147–160.
- Fonseca, E. M., Baptista Neto, C. G., McAlister, J. J., Fernandez, M. A. 2013. Stormwater impact in Guanabara Bay (Rio de Janeiro): Evidences of seasonal variability in the dynamic of the sediment heavy metals. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 161-168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.04.022>.
- Fries, L.T., Fries, J. N., Hysmith, B.T., Bulak, J. S. 2004. Analysis of fluctuating asymmetry in three populations of striped bass. Management Data Series No. 223, Texas Parks and Wildlife Department, 17p.
- Gomes, I. D., Nascimento, A. A., Sales, A., Araújo, F. G. 2012. Can fish gill anomalies be used to assess water quality in freshwater Neotropical systems?. *Environmental Monitoring and Assessment (Dordrecht. Online)*, 84, 5523-5531. doi: 10.1007/s10661-011-2358-2.
- Gonçalves, D. M., Simões, P. C., Chumbinho, A. C., Correia, M. J., Fagundes, T., Oliveira, R. F. 2002. Fluctuating asymmetries and reproductive success in the peacock blenny. *Journal of Fish Biology*, 60, 810–820. doi:10.1006/jfbi.2002.1877.
- Gorur, G. 2006. Developmental instability in cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) populations exposed to heavy metal accumulated host plants. *Ecological Indicators*, 6, 743-748.

- Graham, J. H., Emlen, J. M., Freeman, D. C., Leamy, L. J., Kieser, J. A. 1998. Directional asymmetry and the measurement of developmental instability. *Biological Journal of the Linnean Society*, 64, 1-16.
- Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or, H., Nevo, E., 2010. Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2, 466-540. doi:10.3390/sym2020466.
- Gregoracci, G. B., Paranhos, R., Nascimento, J. R., Cabral, A. S., Valentin, J. L., Thompson, C. C., Thompson, F. L. 2012. Structuring of bacterioplankton diversity in a large Tropical Bay. *Plos One*, 7(2), e31408 - /journal.pone.0031408.
- Haimovici, M., Velasco, G. 2000. Relações comprimento-peso de peixes teleósteos marinhos do sul do Brasil com uma avaliação de diferentes métodos de ajuste. *Atlântica*, 22, 131-140.
- Hammer, O., Harper, D. A. Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1).
- Hammouda, A., Selmi, S., Pearce-Duvel, J., Chokri, M. A., Arnal, A., Gauthier-Clerc, M., Boulinier, T. 2012. Maternal antibody transmission in relation to mother fluctuating asymmetry in a long-lived colonial seabird: The Yellow-Legged Gull *Larus michahellis*. *PLoS ONE*, 7(5), e34966. doi:10.1371/journal.pone.0034966.
- Hermita, Z. M., Gorospe, J. G., Torres, M. A. J., Lumasag, G. J., Demayo, C. G. 2013. Describing body shape within and between sexes and populations of the Mottled Spinefoot fish, *Siganus fuscescens* (Houttuyn, 1782) collected from different Bays in Mindanao Island, Philippines. *AAFL Bioflux*, 6(3).
- Hogg, I. D., Eadie, J. M., Williams, D., Turner, D. 2001. Evaluating fluctuating asymmetry in a stream-dwelling insect as an indicator of low-level thermal stress: a large-scale field experiment. *Journal of Applied Ecology*, 38, 1326–1339.
- Hosken, D. J., Blanckenhorn, W. U., Ward, P. I. 2000. Developmental stability in yellow dung flies (*Scathophaga stercoraria*): Fluctuating asymmetry, heterozygosity and environmental stress. *Journal of Evolutionary Biology*, 13, 919–926.
- Hubert, W. A., Alexander, C. B. 1995. Observer variation in counts of meristic traits affects fluctuating asymmetry. *North American Journal of Fisheries Management*, 15, 156–158.
- Jablonski, S., Azevedo, A. F., Moreira, L. H. A. 2006. Fisheries and conflicts in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(1), 79-91.
- Jawad, L., Al-Mamry, J., Al-Busaidi, J., Al-Mamari, A., Al-Mamry, S., Al-Owisi, K., Al-Rubiey, M. 2012. Asymmetry in some morphological characters of Indian Oil Sardine, *Sardinella Longiceps* Valenciennes, 1847 collected from Muscat Waters on the Sea of Oman. *Water Research and Management*, 2(1), 61-64.

- Kark, S. 2001. Shifts in bilateral asymmetry within a distribution range: The case of the chucar partridge. *Evolution*, 55, 2088-2096.
- Kitevski, B., Pyron, M. 2006 Symmetry of banding pattern in banded killifish (*Fundulus diaphanus*) from Presque Isle Bay, Lake Erie. *Journal of Freshwater Ecology*, 18, 229-233. doi: 10.1080/02705060.2003.9664489.
- Kjerfve, B., Ribeiro, C. H. A., Diasi, G. T. M., Filippo, A. M., Quaresma, V. S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, 17(13), 1609-1643.
- Kodric-Brown, A. 1997. Sexual selection, stabilizing selection and fluctuating asymmetry in two populations of pupfish (*Cyprinodon pecosensis*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 62, 553-566.
- Kowner, R. 2001. Psychological perspective on human developmental stability and fluctuating asymmetry: sources, applications and implications. *British Journal of Psychology*, 92, 447-469.
- Kristoffersen, J. B., Magoulas, A. 2009. Fluctuating asymmetry and fitness correlations in two *Engraulis encrasicolus* populations. *Journal of Fish Biology*, 75, 2723-2736. doi:10.1111/j.1095-649.2009.02473.x.
- Lavrado, H. P., Falcão, A. P. C., Carvalho-Cunha, P., Silva, S. H. G. 2000. Composition and distribution of Decapoda from Guanabara Bay, RJ. *Nautilus*, 8(1), 15-23.
- Leary, R. F., Alendorf, F. W. 1989. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for Conservation Biology. *Tree*, 4(7).
- Lens, L., Van Dongens, S., Kark, S., Matthysen, E. 2002. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: Can we bridge the gap between studies? *Biological Reviews*, 77, 27-38. doi: 10.1017/S1464793101005796.
- Leung, B., Forbes, M. R., Houle, D. 2000. Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits. *American Naturalist*, 155, 101-115.
- Maia, S. C. A., Molina, W. F., Maia-Lima, F. A. 2009. Analysis of fluctuating asymmetries in marine shrimp *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(1), 55-62.
- Mamry, J. A., Jaward, L. A., Bimani, L. M. H., Busaidi, H. K., Marzouqui, M. S., Habsi, S. H. 2011. Asymmetry analysis study on *Callionymus margaretae* Regan, 1906 collected from the Arabian Sea coasts of Oman. *Ribarstvo*, 69(1), 3-9.
- Nascimento, A. A., Araújo, F. G., Gomes, I. D., Mendes, R. M. M., Sales, A. 2012. Fish gills alterations as potential biomarkers of environmental quality in a eutrophized Tropical

- River in South-Eastern Brazil. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 41, 209-216. doi: 10.1111/j.1439-0264.2011.01125.x.
- Mata, E., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T. 2004. Inducción hormonal al desove y descripción larval del corocoro *Orthopristis ruber* Cuvier (Pisces: Haemulidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 39(1), 21-29.
- Mayr, L. M., Tenenbaum, D. R., Villac, M. C., Paranhos, R., Nogueira, C. R., Bonecker, S. L. C., Bonecker, A. C. T. 1989. Hydrobiological characterization of Guanabara Bay, In: Magoon O., Neves C (Eds.). *Coastlines of Brazil*. 124-138. American Society of Civil Engineers: New York.
- McArdle, B. H., Anderson, M. J. 2001. Fitting multivariate models to community data: A comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 82, 290–297.
- Menezes, N. A., Figueiredo, L. L. 1980. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. IV Teleostei (3) 1ª Ed. Museu de Zoologia de São Paulo: São Paulo. 98p.
- Milne, B. J., Belsky, J., Poulton, R., Thomson, W., Caspi, A., Kieser, J. 2003. Fluctuating asymmetry and physical health among young adults. *Evolution and Human Behavior*, 24, 53–63.
- Morris, M. R., Rios-Cardenas, O., Lyons, S. M., Tudor, M. S., Bono, L. M., 2012. Fluctuating asymmetry indicates the optimization of growth rate over developmental stability. *Functional Ecology*, 26, 723–731. doi: 10.1111/j.1365-2435.2012.01983.x.
- Neves, R. A. F., Echeverria, C. A., Pessoa, L. A., Paiva, P. C., Paranhos, R., Valentin, J. L. 2012. Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3), 577–589. doi:10.1017/S0025315412001105.
- Omena, E. P., Lavrado, H. P., Paranhos, R., Silva, T. A. 2012. Spatial distribution of intertidal sandy beach polychaeta along an estuarine and morphodynamic gradient in an eutrophic tropical bay. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 1861–1873. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.009>.
- Oxnevad, S. A., Heibo, E., Vollestad, L. A. 2002. Is there a relationship between fluctuating asymmetry and reproductive investment in perch (*Perca fluviatilis*)? *Canadian Journal of Zoology*, 80, 120–125.
- Palmer, A. R. 1994. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In T. A. Markow (Ed.). *Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications*. 335-364. Kluwer: Netherlands.
- Palmer, R., Strobeck, C. 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 17, 391-421.

- Palmer, A. R., Strobeck, C. 1992. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: Implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zoologica Fennica*, 191, 55-70.
- Palmer, A. R., Strobeck, C. 2003. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: M. Polak (ed.). In: *Developmental Instability (DI): Causes and Consequences*. 279-319. Oxford University Press: United Kingdom.
- Passos, A. C., Contente, R. F., Araújo, C. C. V., Daros, F. A. L., Spach, H. L., Abilhôa, V., Fávaro, L.F. 2012. Fishes of Paranaguá Estuarine Complex, South West Atlantic. *Biota Neotropica*, 12(3), 227-238.
- Rodrigues, C., Lavrado, H. P., Falcão, A. P., Silva S. H. 2007. Distribuição da ictiofauna capturada em arrastos de fundo na baía de Guanabara - Rio de Janeiro, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 65(2), 199-210.
- Santos, A. L. B., Pessanha, A. L. M., Costa, M. R., Araújo, F. G. 2004. Relação peso-comprimento de *Orthopristis ruber* (Cuvier) (Teleostei, Haemulidae) na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(2), 185-187.
- Santos, A. L. B., Pessanha, A. L. M., Araújo, F. G., Costa, M. R. 2007. Condicionantes ambientais na distribuição e no período reprodutivo do *Orthopristis ruber* (Cuvier) (Teleostei, Haemulidae) na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24(4), 1017-1024.
- Schubel, J. R. 1971. Estuarine circulation and sedimentation. In: *The estuarine environment, short course lecture notes*. American Geosciences Institute, 17, 7-9.
- Servia, M. J., Cobo, F., Gonzalez, M. A. 2004. Multiple-trait analysis of fluctuating asymmetry levels in anthropogenically and naturally stressed sites: a case study using *chironomus riparius* Meigen, 1804 larvae. *Environmental Monitoring and Assessment*, 90, 101-112.
- Somarakis, S., Kostikas, I., Peristeraki, N., Tsimenides, N. 1997. Fluctuating asymmetry in the otoliths of larval anchovy *Engraulis encrasicolus* and the use of developmental instability as an indicator of condition in larval fish. *Marine Ecology Progress Series*, 51, 191-203.
- Sparre, P., Venema, S. C. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Part. 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper, 306, 376p.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S. 2001. Using multivariate statistics. Allyn and Bacon: Boston, 256p.
- Trokovic, N., Herczeg, G., Ghani, N. I., Shikano T., Merilä, J. 2012. High levels of fluctuating asymmetry in isolated stickleback populations. *Evolutionary Biology*, 12, 115.

- Valentin, J. L., Tenenbaum, D. R., Bonecker, A. C., Bonecker, S. L. C., Nogueira, C., Villac, M. C. 1999. O sistema planctônico da baía de Guanabara: Síntese do conhecimento. *Oecologia Brasiliensis*, 7(1), 35-39.
- Van Dongen, S., Lens, L., Molenberghs, G. 1999. Mixture analysis of asymmetry: Modelling directional, asymmetry, antisymmetry and heterogeneity in fluctuating asymmetry. *Ecology Letters*, 2, 387-396.
- Van Vallen, L. 1962. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16, 125-142.
- Vasconcellos, R. M., Santos, J. N. S., Silva, M. A., Araújo, F. G. 2007. Efeito do grau de exposição às ondas sobre a comunidade de peixes juvenis em praias arenosas do município do Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotropica*, 7(1).
- Vianna, M., Verani, J. R. 2002. Biologia populacional de *Orthopristis ruber* (Teleostei, Haemulidae) espécie acompanhante da pesca de arrasto do camarão-rosa, no sudeste brasileiro. *Atlântica*, 23(1), 27-36.
- Yamada, F. H., Santos, L. N., Takemoto, R. M. 2011. Gill ectoparasite assemblages of two non-native *Cichla* populations (Perciformes, Cichlidae) in Brazilian reservoirs. *Journal of Helminthology*, 85, 185-191.