

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL
INSTITUTO DE BIOLOGIA

DISSERTAÇÃO

**O efeito do isolamento geográfico no tamanho de *Rhinella ornata* (Spix
1824) (Anura: Bufonidae) em ilhas continentais da Costa Verde do
Rio de Janeiro.**

RACHEL MONTESINOS MARTINS PEREIRA

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL
INSTITUTO DE BIOLOGIA

**O efeito do isolamento geográfico no tamanho de *Rhinella ornata* (Spix
1824) (Anura: Bufonidae) em ilhas continentais da Costa Verde do
Rio de Janeiro.**

RACHEL MONTESINOS MARTINS PEREIRA

Sob a orientação do Professor

Dr. Hélio Ricardo da Silva

Dissertação submetida como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em Biologia
Animal, no Programa de Pós-Graduação em
Biologia Animal da UFRRJ.

Seropédica, RJ

Junho de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL
INSTITUTO DE BIOLOGIA

RACHEL MONTESINOS MARTINS PEREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Animal, no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01/JUNHO/2010 PELA BANCA
EXAMINADORA COMPOSTA PELOS MEMBROS:

Hélio Ricardo da Silva (Dr.) UFRRJ
(Orientador)

Ronaldo Fernandes (Dr.) MN-UFRJ
(Titular)

Juliana Zina (Dra.) UESB
(Titular)

Patrícia Abrunhosa (Dra.) UFRRJ
(Suplente)

À minha família...

Agradecimentos

São inúmeras as pessoas que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. Certamente cresci muito pessoal e profissionalmente e isso só foi possível com a ajuda de vocês.

Inicialmente agradeço aos meus pais (Nélida e José Carlos) por toda uma vida de dedicação e amor, e, principalmente, por me incentivarem e me encorajarem nessa louca jornada em terras estranhas, longe de casa, da família e dos amigos. Agradeço, também, a todos os membros da minha família que direta ou indiretamente participaram desta minha conquista.

Agradeço imensamente ao meu orientador e amigo Hélio Ricardo da Silva, pelos valiosos ensinamentos, sábios conselhos, incessante dedicação e extrema paciência. Agradeço também pelas inúmeras noites boêmias, onde em meio aos copos e às risadas nosso assunto preferido era ciência; nestas noites várias idéias surgiram, algumas insanas, outras nem tanto.

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório de Herpetologia (André Carvalho, Bruna Almeida, Flávio Hashimoto, Gabriela Bittencourt, Karina Marques, Piktor Benmaman, Renata Escobar e Ricardo Alves), agradeço pela recepção, apoio e cumplicidade durante estes dois anos. Nada seria possível sem a ajuda e a amizade de vocês. Gabriela e Maria Clara foram de extrema importância para acelerar o processo de medição dos bichos no Museu Nacional. Aproveito este espaço para agradecer a nossa querida agregada Maria Clara, a engenheira mais herpetóloga que eu conheço, pela amizade, companheirismo e as várias idas ao Kone.

Devo fazer um agradecimento especial ao meu amigo André Luiz Carvalho pela valiosa ajuda e incansável dedicação em todas as etapas deste trabalho, desde a medição

dos bichos, passando pelas questões estatísticas, análise dos resultados, até a leitura crítica e sugestões do texto. Também agradeço pela hospedagem nos momentos que precisei estar na “cidade maravilhosa”. Aproveito este espaço para agradecer o carinho e companhia de Annelise Frazão, uma amizade recente e muito especial.

Sou extremamente grata aos membros da banca pelos valiosos conselhos que certamente acrescentarão muito para a finalização deste trabalho e por disponibilizarem de seus preciosos tempos.

Ao Dr. José Pombal Jr. por disponibilizar a Coleção Herpetológica do Museu Nacional do Rio de Janeiro para a análise e medição dos indivíduos nela depositados. Aproveito para agradecer ao Paulo (curador) e a todos os alunos do Museu Nacional que me auxiliaram durante a minha passagem pelo MNRJ.

Agradeço aos professores Dr. Ronaldo Fernandes (MNRJ), Dr. Francisco Gérson (UFRRJ) e Dr. Carlos Esbérard (UFRRJ) pela valiosa ajuda em várias questões estatísticas.

Aos meus colegas do Mestrado pelas importantes discussões em sala de aula e pela agradável convivência durante estes dois anos. Agradeço, também, a todos os professores da Rural que participaram dessa minha jornada, sendo em sala de aula ou em encontros nos corredores e barzinhos.

Agradeço a todos os meus amigos do Espírito Santo, por compreenderem minha ausência e por estarem sempre disponíveis nas minhas raras idas para casa. Em especial, agradeço ao Kanu (Ricardo Flores) pelo incentivo, apoio, carinho e paciência em todo o período em que quase 600 km nos separavam.

Suporte financeiro foi concedido pela CAPES (Coordenadoria de Apoio à Pesquisa e ao Ensino Superior) através da bolsa de Mestrado.

Sumário

Introdução.....	1
<i>Variações do nível marinho e a formação das ilhas das Baías de Sepetiba e Ilha Grande</i>	10
Objetivo.....	17
Material e Métodos	19
<i>Material examinado</i>	19
<i>Caracteres morfométricos analisados</i>	21
<i>Análises estatísticas</i>	24
Resultados	26
Discussão.....	36
Considerações finais	44
Literatura citada.....	47
Anexos	59
Anexo I. <i>Lista de espécimes de Rhinella ornata analisadas no presente trabalho. Todos os espécimes estão depositados na Coleção Herpetológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RU) ou na Coleção Herpetológica do Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ).</i>	59
Anexo II. <i>Média ± Desvio Padrão (DP), máximo (Máx) e mínimo (Min) de todas as variáveis tomadas das populações de Rhinella ornata de localidades continentais e insulares no Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil.</i>	60

Índice de figuras

- Figura 1.** Importância e influência das pressões seletivas que atuam nas comunidades insulares. Adaptado de Lomolino 2005. 3
- Figura 2.** Esquema da origem de ilhas fragmentos, originadas através das montanhas costeiras (a) que foram isoladas com a subida do nível marinho em um evento de transgressão (b); e ilhas oceânicas, que surgem no oceano após um processo de vulcanismo (c, d). 8
- Figura 3.** Indivíduo adulto de *Rhinella ornata* (Spix 1824) oriundo da Ilha de Itacuruçá, Mangaratiba. 10
- Figura 4.** Esquema das oscilações do nível marinho que ocorreram ao longo da costa do Rio de Janeiro (A) nos últimos 123.000 anos e (B) na Baía da Ilha Grande durante os últimos 7.000 anos (adaptado de Oliveira & Brito 1998). 13
- Figura 5.** Perfil batimétrico digital da Baía da Ilha Grande, em destaque o canal central com aproximadamente 50 m de profundidade (adaptado de Belo *et al.* 2002). 15
- Figura 6.** Representações demonstrando um cenário que possivelmente ocorreu (A) no período em que o nível do mar esteve abaixo de atual, entre 11000 e 6500 anos a.p., e as quatro hipóteses possíveis após a formação das ilhas, 6500 anos a.p.: (B) Hipótese nula: indivíduos não alteraram de tamanho; (C) Hipótese 1: indivíduos tornaram-se menores nas ilhas; (D) Hipótese 2: indivíduos tornaram-se maiores nas ilhas; (E) Hipótese 3: indivíduos insulares variaram de tamanho aleatoriamente. 18
- Figura 7.** Mapa do Estado do Rio de Janeiro. (A) Pontos indicando as cinco localidades continentais amostradas: 1) Itaguaí, 2) Seropédica, 3) Rio de Janeiro, 4) Duque de Caxias, 5) Tanguá. (B) Destaque das Baías de Sepetiba e Ilha Grande com a indicação das três ilhas utilizadas nas análises: Ilha de Itacuruçá, Ilha da Marambaia e Ilha Grande. 20
- Figura 8.** Medidas utilizadas para as análises morfométricas. (A) Comprimento rostro-cloacal (CRC), Distância inter-nasal (DIN), Espaço inter-orbital (EIO; duas medidas foram tomadas: EIO1 e EIO2), Comprimento da glândula parótida (GLP1), Comprimento do fêmur (CFe) e Comprimento da tíbia (CTi); (B) Largura da cabeça (LCa), Comprimento da mão (CMa), Comprimento do tarso (CTa) e Comprimento do pé (CPe); (C) Comprimento da cabeça (CCa), Distância olho-narina (DON), Distância olho-focinho (DOF), Diâmetro do olho (DO), Diâmetro

do tímpano (DTi1), Altura do tímpano (DTi2) e Altura da glândula parótida (GLP2). Indivíduo ilustrado: RU 3438, CRC = 77,81.....	23
Figura 9. Comparação entre dois indivíduos de <i>Rhinella ornata</i> representando as populações que apresentaram o menor e o maior tamanho corporal, Ilha Grande (à esquerda, RU 6974, CRC = 63,43) e Seropédica (à direita, RU 3438, CRC = 77,81), respectivamente.	26
Figura 10. Média e desvio padrão das oito localidades amostradas. Círculos representam a média e barras o desvio padrão.	27
Figura 11. Scatterplots dos primeiro e segundo componentes principais gerado através da Análise dos Componentes Principais (PCA, matriz de covariância), considerando: (A) cada localidade analisada como diferentes populações: Duque de Caxias (círculo marrom), Ilha Grande (círculo laranja), Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa); (B) populações insulares (quadrado azul claro) e continentais (círculo azul escuro) como dois grupos distintos; (C) localidades insulares separadamente e áreas continentais envolvidas em um único grupo: Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Ilha Grande (círculo laranja), continente (círculo azul escuro); (D) apenas localidades continentais: Duque de Caxias (círculo marrom), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa).....	30
Figura 12. Análise de <i>Cluster</i> utilizando uma sub-amostra de 10 indivíduos por população, através do algoritmo Paired Group com similaridade Euclidiana. Coeficiente de Correlação Cofenético = 0,7301. (DC) Duque de Caxias, (I. I.) Ilha de Itacuruçá, (I.G) Ilha Grande, (I. M) Ilha da Marambaia, (It) Itaguaí, (RJ) Rio de Janeiro, (Ta) Tanguá, (SE) Seropédica.	32
Figura 13. Ganho de massa corpórea observado para (A) cada população de <i>Rhinella ornata</i> estudada: Duque de Caxias (círculo marrom), Ilha Grande (círculo laranja), Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa); e (B) para populações insulares (quadrado azul claro) e continentais (círculo azul escuro) envolvidas em dois grupos.	35
Figura 14. Imagem de satélite mostrando a proximidade entre a foz do rio Guandu e a Ilha de Itacuruçá. Fonte: Google maps.	42

Índice de tabelas

Tabela 1. Component Loading (Load), autovetores (AVT), autovalores (AVL) e variância explicada (%) gerados pela Análise dos Componentes Principais (matriz de covariância), usando as medidas Log10-transformadas dos indivíduos de <i>Rhinella ornata</i>	28
Tabela 2. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de <i>Rhinella ornata</i> , empregando os <i>scores</i> do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre todas as localidades continentais e insulares. (*) difere significativamente.	29
Tabela 3. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de <i>Rhinella ornata</i> , empregando os <i>scores</i> do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre localidades continentais (todas amostradas como único grupo) e insulares (amostradas separadamente). (*) difere significativamente.	31
Tabela 4. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de <i>Rhinella ornata</i> , empregando os <i>scores</i> do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre localidades continentais. (*) difere significativamente.....	33
Tabela 5. Equação da reta gerada pela Análise de Regressão Linear entre comprimento rostro-cloacal e peso, calculado para todas as localidades estudadas, separadamente, e envolvendo dois grupos (ilhas e continente), com valores de R ² e p.	34

Resumo

MONTESINOS, R. **O efeito do isolamento geográfico no tamanho de *Rhinella ornata* (Spix 1824) (Anura: Bufonidae) em ilhas continentais da Costa Verde do Rio de Janeiro.** 2010. XI + 62pp. Dissertação de Mestrado em Biologia Animal. Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Darwin e Wallace, em meados do Século XIX, foram os primeiros a observar exemplos da atuação da seleção natural em habitantes insulares. Apenas um século depois um padrão morfológico para organismos em ilhas foi devidamente identificado, e nomeado de “regra insular”, a qual prevê que nessas comunidades espécies com indivíduos pequenos tendem ao gigantismo enquanto aquelas com indivíduos grandes tendem ao nanismo. Pressões seletivas, como limitação de recursos e aumento da competição intra-específica, modulam o tamanho dos organismos nesses ambientes. Diversos grupos de vertebrados têm sido investigados sob essa ótica; dos quais, apenas dois trabalhos foram tratados com anfíbios. Este trabalho representa o terceiro registro para variação de tamanho corporal em populações insulares de anfíbio (*Rhinella ornata*), sendo o primeiro para o Hemisfério Sul. As ilhas investigadas já foram áreas contínuas com o continente. Elas tornaram-se isoladas como um resultado das oscilações do nível marinho que ocorreram no Pleistoceno e Holoceno. Este trabalho investigou variações morfométricas em populações de *Rhinella ornata* (Bufonidae) ocorrendo em três ilhas da região da Costa Verde e comparou-as a cinco áreas continentais do Rio de Janeiro. Nós mensuramos 18 variáveis e o peso de 177 indivíduos. Baseado nessa amostra, nós descobrimos uma clara tendência à diminuição de tamanho do corpo (nanismo) em duas das três populações insulares analisadas. O padrão geral identificado parece determinado por fatores geográficos, verificando-se a expressão da regra insular de forma inversa em populações de anuros tropicais (nanismo insular) em relação àquelas de ambientes temperados (gigantismo insular). Estes resultados são avaliados em relação às características físicas das ilhas, à biologia reprodutiva das espécies e ao histórico de formação das ilhas.

Palavras-chaves: Morfometria, regra insular, nível marinho, nanismo.

Abstract

MONTESINOS, R. **The effects of geographic isolation on the size of *Rhinella ornata* (Spix 1824) (Anura: Bufonidae) in mainland island of Costa Verde of Rio de Janeiro.** 2010. XI + 62pp. Master Degree Dissertation in Animal Biology. Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Darwin and Wallace in the mid-nineteenth century were the first to observe examples of natural selection acting on island dwellers. Nevertheless, only a century later a pattern for organisms on island was described as an island rule, which states that in these communities, species with small individuals tend to gigantism while those with large individuals tend to dwarfism. Selective pressures, such as limited resources and increased intraspecific competition, modulate the size of organisms in these environments. Several groups of vertebrates have been investigated under this approach; however, only two papers have addressed amphibians. Therefore, this work represents the third record of body size variation for insular populations of amphibian (*Rhinella ornata*), the first record for the Southern Hemisphere. The islands investigated were once continuous with the mainland. They became isolated as a result of sea level fluctuations that took place in the Pleistocene and Holocene. This study investigated morphometric variation in populations of *Rhinella ornata* (Bufonidae) occurring on three islands in the region of the Costa Verde of Rio de Janeiro (Ilha de Itacuruçá, Ilha da Marambaia and Ilha Grande) and compared them to five continental areas (Duque de Caxias, Itaguaí, Rio de Janeiro, Seropédica and Tanguá). Thus, we measured 18 variables and weight of 177 individuals. Based on this sample, we uncovered a clear tendency towards smaller body size (dwarfism) in two of the three island populations analyzed. The overall pattern seems to be determined by geographical factors, indicating the expression of the island rule inversely in populations of anurans in tropical environments (island dwarfism) compared to those of temperate areas (insular gigantism). These results are evaluated against physical characteristics of the islands, reproductive biology of the species and the history of the islands' formation.

Keywords: Morphometry, island rule, sea level, dwarfism.

Introdução

Desde meados do século XIX, Charles Darwin (1859) já discutia a evolução de biotas insulares, como pode ser evidenciado através da metáfora dos “marinheiros naufragados”, baseada em seleção natural:

“Como aqueles marinheiros naufragados próximos à costa, teria sido melhor para os bons nadadores se eles tivessem sido capazes de nadar ainda mais além, enquanto poderia ter sido melhor para os maus nadadores se eles não tivessem sido capazes de nadar e tivessem ficado aderidos ao naufrágio” (C. Darwin 1859, p. 136).

Darwin empregou tal comparação para ilustrar como as divergências evolutivas das formas insulares podem resultar de mudanças nas pressões seletivas que agem durante a imigração e daquelas que agem após a colonização. A seleção durante imigração favorece os “bons nadadores”; mas, uma vez que atingiram o “naufrágio” (ilha), a seleção favorece então os “maus nadadores” — aqueles que têm menos probabilidade de nadarem ou serem carregados pelos ventos para se perderem no mar (Lomolino 2005).

Assim como Darwin (1859), Alfred Russel Wallace (1857) também observou que indivíduos insulares sofriam pressões seletivas diferentes de seus parentes continentais e foi o primeiro a documentar essas observações, a partir dos dados levantados em seus estudos nas Ilhas Aru, arquipélago ao leste da Indonésia. Entretanto, apesar das constatações de Darwin e Wallace em meados do século XIX, estudos adicionais abordando os efeitos do isolamento insular sobre a forma dos organismos

somente começaram a ser desenvolvidos um século mais tarde. Entre esses trabalhos encontra-se a obra de Lack (1947), a respeito dos tentilhões de Darwin, e os trabalhos de Foster (1963, 1964, 1965) e Grant (1965), empregando mamíferos e aves como modelos.

Conforme dito por Darwin, as espécies que se adaptam às condições e “se fixam ao naufrágio” frequentemente sofrem mudanças notáveis no tamanho do corpo. Os trabalhos de Foster realizados nas Ilhas Charlotte Queen, Canadá, foram pioneiros e de extrema importância no estudo do efeito insular sobre o tamanho do corpo dos organismos. Ele observou gigantismo na ordem Rodentia e nanismo em Carnivora, Lagomorpha e Artiodactila insulares (Foster 1963, 1964, 1965). O padrão foi descrito por Foster como uma tendência que diferentes ordens de mamíferos exibem caminhos evolutivos distintos, quando isolados em ilhas. Uma década depois, Van Valey (1973) atribui ao fenômeno o status de regra e a batiza como “regra insular” (*island rule*). Heaney (1978) e Lomolino (1985) reinterpretaram a regra insular como sendo um caminho gradativo para o gigantismo por espécies pequenas e para o nanismo por espécies grandes de mamíferos. Além disso, Lomolino (1985) afirma que essa regra deve associar-se às limitações de recursos e aos níveis reduzidos de competição interespecífica e predação em comunidades insulares (Figura 1).

Recursos limitados em ilhas pequenas podem selecionar indivíduos menores de certas espécies, os quais são mais aptos a sobreviver e reproduzir em tais condições, pois gastam menos energia (Wassersug *et al.* 1979; Lawlor 1982). A redução do tamanho corporal pode ser vantajosa uma vez que indivíduos pequenos (1) necessitam de menos recursos para sobreviver e reproduzir; (2) por necessitar de menos recursos, tendem a ser mais especializados e eficientes na assimilação de nutrientes e energia; e (3) podem explorar pequenos abrigos e refúgios, protegendo-se de predadores e

evitando condições ambientais adversas (Brown & Lomolino 1998). Por outro lado, a ausência de predadores nas comunidades insulares pode selecionar indivíduos maiores, levando organismos pequenos a um incremento de tamanho (Grant 1965; Schoener 1970). Apresentar um porte maior permite ao indivíduo (1) explorar uma diversidade maior de recursos; (2) adquirindo mais recursos, é possível gerar um número maior de descendentes; (3) apresentar vantagem em lutas territoriais ou outras interações associadas à competição por recursos; e (4) possuir mais energia e reservas de água, permitindo maior habilidade para resistir à fome e à seca (Brown & Lomolino 1998). A Figura 1 apresenta as pressões seletivas que atuam sobre as comunidades insulares, destacando a importância e influência de cada uma das forças atuantes tanto sobre o gigantismo quanto sobre o nanismo.

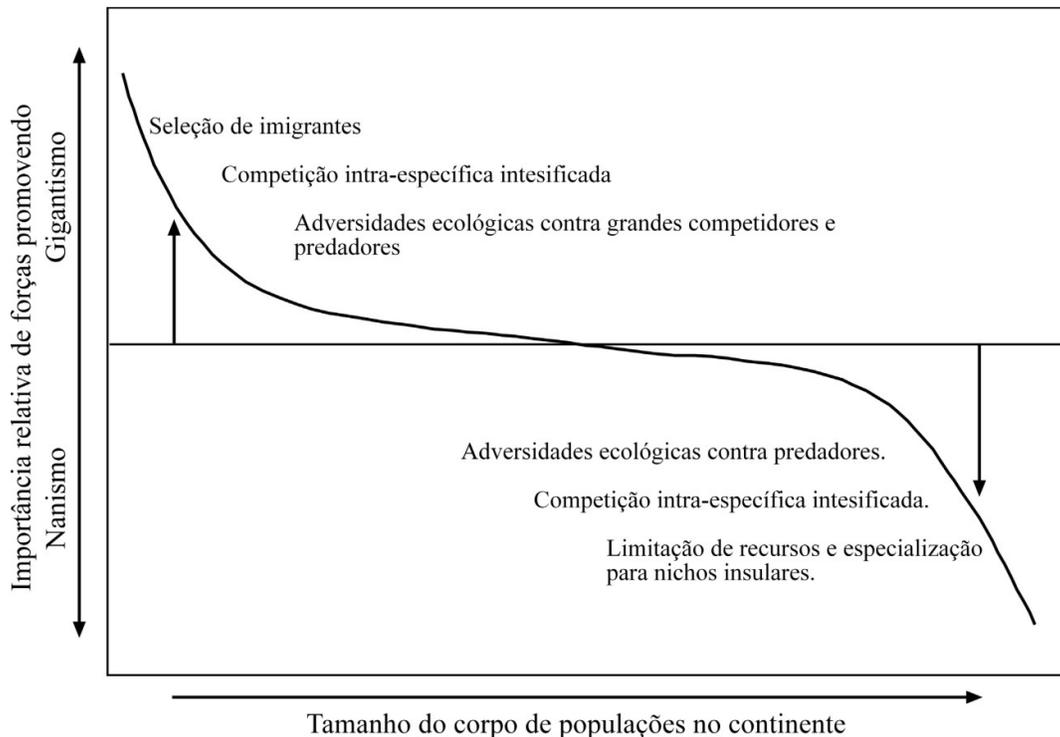


Figura 1. Importância e influência das pressões seletivas que atuam nas comunidades insulares. Adaptado de Lomolino 2005.

Sabendo que populações insulares podem ser influenciadas por uma combinação de forças seletivas que favorecem o gigantismo ou o nanismo, poderíamos esperar uma tendência caótica em relação ao tamanho do corpo, porém as faunas insulares normalmente apresentam alguns padrões consistentes quanto à variação no tamanho corporal, sugerindo que pelo menos uma das forças seletivas varia de modo sistemático entre as espécies (Brown & Lomolino 1998). Mamíferos não-voadores constituem o primeiro grupo utilizado na investigação sobre a generalidade da regra insular e continua sendo, até os dias atuais, o mais estudado (Foster 1963, 1964, 1965; Lawlor 1982; Lomolino 1985, 2005). Entre os trabalhos envolvendo esse grupo, podem-se citar aqueles que observaram nanismo em preguiças (*Bradypus pygmaeus*) nas ilhas de Boca Del Toro, Panamá (Anderson & Handley 2002). Por outro lado, gigantismo foi relatado para roedores como *Mus musculus*, no arquipélago de Skokholm, Reino Unido (Berry 1964), e *Peromyscus maniculatus*, nas Gulf Islands, Columbia Britânica (Redfield 1976). O trabalho clássico envolvendo esquilos tricolores (*Callosciurus prevosti*) no Sudeste Asiático relata que a espécie apresenta gigantismo em ilhas com área até 100 mil Km² e que em ilhas maiores esta volta a diminuir de tamanho, sugerindo a existência de um tamanho ótimo para a espécie (Heaney 1978). Além de mamíferos não-voadores, alguns trabalhos foram realizados com morcegos, onde também foi observado que espécies maiores tendem ao nanismo em ilhas (Krzanowski 1967). Entretanto, a regra insular não se aplicou em alguns casos, sendo pouco suportada para a ordem Carnivora (Meiri *et al.* 2004). O urso pardo (*Ursus americanus carllotae*) das Ilhas Queen Charlotte, no Canadá, por exemplo, é maior que o urso continental (*U. a. altifrontalis*) (Gordon 1986). Em macacos da cauda-longa (*Macaca fascicularis*) das Ilhas Sunda Shelf, no Sudeste Asiático, a regra insular também não foi confirmada (Schillaci *et al.* 2009).

Trabalhos com fósseis também revelam o efeito da regra insular. O caso do mamute pigmeu, por exemplo, ganhou grande destaque quando publicado por Vartanyan *et al.* (1995). Durante o período interglacial que ocorreu de 20 mil a 10 mil anos atrás, os mamutes sobreviveram em pequenos refúgios na Ilha Wrangel, a leste do mar Siberiano e ao norte do Círculo Ártico, e lá persistiram por todo o período interglacial. Vartanyan *et al.* (1995) descrevem que um elemento chave para a persistência dos mamutes foi o desenvolvimento de um notável e rápido nanismo. A medida de peso dos indivíduos foi reduzida de seis para duas toneladas em aproximadamente 5 mil anos. Um caso semelhante ocorreu com os cervos vermelhos das Ilhas Jersey, que também desenvolveram nanismo durante o período interglacial (Lister 1989). Outro exemplo clássico é o do Homem de Flores (*Homo floresiensis*), uma espécie anã de homínido do Pleistoceno Superior (Brown *et al.* 2004; Morwood *et al.* 2004).

Até recentemente, a regra insular era aplicada quase que exclusivamente aos mamíferos não-voadores (Lomolino *et al.* 2006), embora alguns trabalhos tenham sido realizados antes do reconhecimento e batismo da regra insular por Van Valey (1973), (*e.g.*, Wallace 1857; Lack 1947; Greenway 1967). Entre os principais trabalhos realizados com os outros grupos de vertebrados, é possível observar que, em grande parte, aves e répteis são utilizados como objetos de estudo. Empregando aves, o primeiro trabalho realizado foi de Wallace (1857), que observou que a espécie de *Casuarinus* (ave ratita) da Nova Guiné era menor que a do continente da Austrália. Mais tarde, Lack (1947) estudou as variações no tamanho e forma dos bicos nos tentilhões de Galápagos, que representam sinais de reconhecimento funcionando como mecanismo de isolamento. E, assim como Wallace, Greenway (1967) observou nanismo de ratita (*Dromaius*) nas pequenas ilhas do Estreito de Bass, que separa a Tasmânia do Sul da

Austrália. Além desses trabalhos clássicos, outros observaram nanismo em Rallidae e Anatidae, especificamente para o gênero *Anas*, em ilhas oceânicas (McNab 1994), e gigantismo em 15 espécies de Passeriformes nas Ilhas de Tres Mariás, em Nayarit, México, apresentado em pelo menos um dos caracteres observados (bico, tarso, asas ou cauda) (Grant 1965).

Entre os répteis, Case (1978) compilou informações de 13 trabalhos e observa uma clara tendência à redução de tamanho apresentada por serpentes insulares em relação aos seus parentes continentais, verificada em 19 das 20 espécies revisadas. Resultados semelhantes foram encontrados para *Boa constrictor* nas ilhas de Belize (Boback 2006). Entretanto, para *Crotalus mitchelli* das ilhas Angel de La Guarda, no Golfo da Califórnia (Klauber 1949), e para *Thamnophis sirtalis* e *Nerodia sipedon* das ilhas do Lago Erie, norte dos Estados Unidos, foram encontrados resultados opostos, em que indivíduos insulares eram maiores que os continentais (King 1989). Em lagartos foi observado que populações continentais de *Liolaemus pictus* possuem cabeça de tamanho maior do que populações insulares do Chile (Vidal *et al.* 2006). Gigantismo também foi constatado em populações de *Varanus* insulares na Austrália (Case & Schawaner 1993) e em *Sauromalus* no Sudeste da América do Norte (Petren & Case 1997). Entretanto, ao compilar dados da literatura sobre tamanho de lagartos insulares do mundo, Meiri (2007) observou que pequenos lagartos tornaram-se menores em ilhas e que lagartos grandes tornaram-se ainda maiores. Tais resultados foram mais robustos para espécies carnívoras, os lagartos onívoros e herbívoros apresentaram um padrão que corrobora a regra insular, todavia os resultados não foram estatisticamente significativos (Meiri 2007). Em tartarugas, o caso clássico é o de gigantismo nas tartarugas de Galápagos (*Geochelone elephantopus*) (Hayes *et al.* 1988; Caccone *et al.* 1999; 2002). Recentemente foi descoberto um fóssil de um novo gênero de Crocodyliano,

Aldabrachampsus (*A. dilophus*), do Quaternário no Atol Aldraba, oeste do Oceano Índico, que é menor do que qualquer outro Crocodiliano conhecido (Brochu 2006).

Entre os vertebrados, peixes e anfíbios são os grupos menos estudados. Para peixes, apenas um trabalho foi publicado utilizando populações de *Pungitius pungitius*, um pequeno teleóstio, na Fino-Escandinávia (Filândia + Escandinávia) (Herczeg *et al.* 2009). As populações de pequenas poças isoladas foram consideradas insulares, e estas foram comparadas com populações de lagoas conectadas a sistemas de drenagem, não isoladas, e populações marinhas. Os resultados de Herczeg *et al.* (2009) apontam para um gigantismo das populações isoladas nas poças. Apenas os trabalhos de Wu *et al.* (2006) e Castellano *et al.* (1999) compararam tamanho do corpo entre anfíbios insulares e continentais, embora Wu *et al.* (2006) equivocadamente afirme que este representa o primeiro trabalho sobre variação do tamanho corporal em anfíbios. No trabalho de Castellano *et al.* (1999) é relatado que os indivíduos da população de *Bufo viridis* da ilha Sardegna, Itália, são 30% maiores e duas vezes mais pesados que os indivíduos da população continental na Península Italiana. O mesmo foi verificado por Wu *et al.* (2006), em que indivíduos de *Rana limnocharis* de sete populações insulares das plantações de arroz do arquipélago de Zhoushan, a leste do mar da China, e do continente, foram comparados e observou-se que os indivíduos das populações insulares eram maiores que os das populações continentais.

Em sua versão tradicional, a regra insular foi elaborada para explicar a variação da fauna de ilhas oceânicas, que se originaram de processos vulcânicos em partes isoladas dos continentes no meio dos oceanos. De modo geral, é assumido que a fauna destas ilhas é composta por organismos que lá chegaram ao acaso, como descrito na biogeografia de ilhas (McArthur & Wilson 1967). Outro tipo de ilha, comum na margem continental, ou em grandes lagos, é a ilha fragmento ou ilhas continentais, que

se formam através de processos transgressivos resultantes de aquecimento global (Hewitt 2000). Nessas ilhas, a fauna e a flora são compostas, em sua maioria, por organismos que já estavam presentes antes da transgressão, com isso, após o isolamento, estas populações passam a sofrer pressões seletivas associadas à regra insular, podendo acarretar na variação do tamanho e, até mesmo, em extinção (Marquet & Taper 1998). Diversos trabalhos sobre regra insular foram realizados em ilhas continentais (eg. Heaney 1978, Anderson & Handley 2002, Wu et al. 2006), indicando que a regra também se aplica nesses ambientes. A Figura 2 ilustra a diferença entre ilhas oceânicas e continentais.

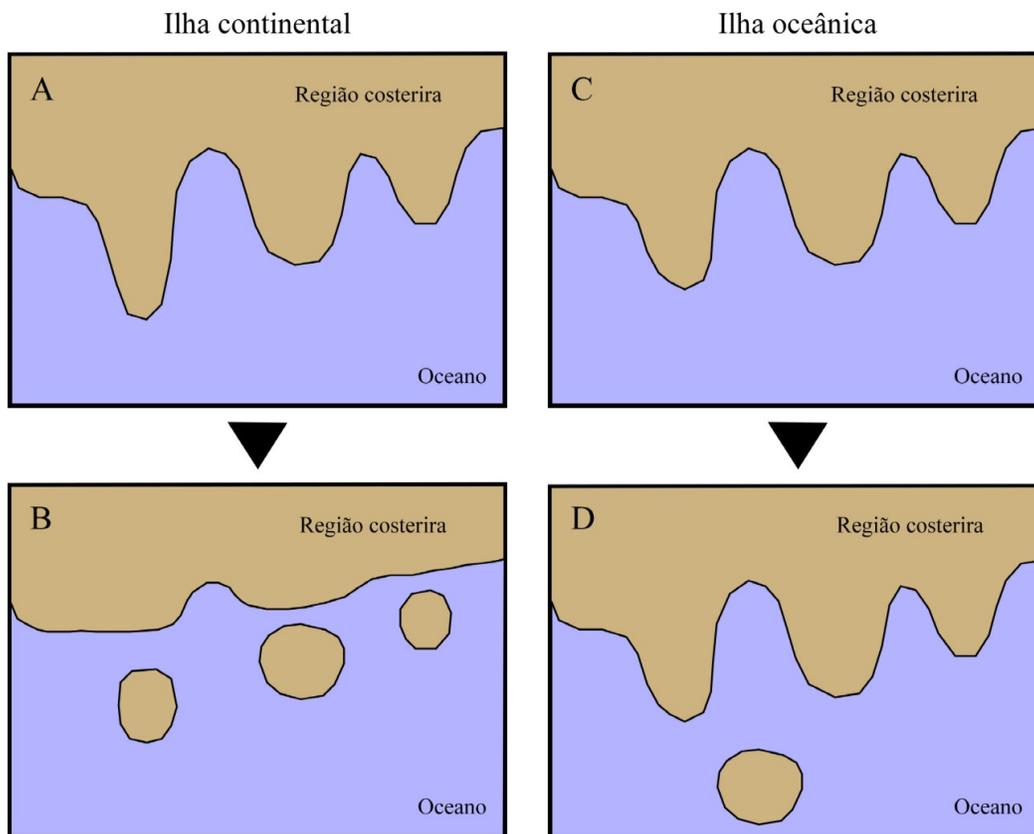


Figura 2. Esquema da origem de ilhas fragmentos, originadas através das montanhas costeiras (a) que foram isoladas com a subida do nível marinho em um evento de transgressão (b); e ilhas oceânicas, que surgem no oceano após um processo de vulcanismo (c, d).

O presente trabalho representa o terceiro registro da variação de tamanho corporal em populações insulares realizado com uma espécie de anfíbio, sendo o primeiro realizado em ilhas do Hemisfério Sul. O trabalho de Wu *et al.* (2006) foi realizado em ilhas continentais que se separaram do continente entre 7000 e 9000 a.p., durante o Pleistoceno Superior (Wang & Wang 1980 *apud* Wu *et al.* 2006). As ilhas estudadas no presente trabalho foram formadas pelos mesmos processos que se enquadram em escala temporal de isolamento semelhante, com isso, é esperado que haja modificação do tamanho do corpo nas populações insulares assim como as populações insulares de *Rana limnocharis*.

O bufonídeo *Rhinella ornata* (Spix 1824) (Figura 3) é amplamente distribuído em áreas continentais no Estado do Rio de Janeiro e localidades insulares da costa sul fluminense, e foi escolhido para este estudo por representar uma das poucas espécies de anuros cujos registros em coleções científicas incluem amostragem adequada desta região. Esta espécie está presente nas três principais ilhas das Baías de Sepetiba e Ilha Grande — Ilha Grande, Ilha da Marambaia e Ilha de Itacuruçá —, o que permitiu uma comparação morfométrica entre populações continentais e insulares.

As baías de Sepetiba e Ilha Grande abrigam um arquipélago formado por ilhas continentais que tiveram seus topos de morro conectados e desconectados ao continente, formando cadeia de montanhas costeiras e ilhas continentais, respectivamente, em diferentes momentos de sua história geológica recente. Estas mudanças ocorreram devido às oscilações do nível marinho durante o Pleistoceno e Holoceno. A seção a seguir relata tais variações do nível do mar e apresenta seus principais efeitos sobre a dinâmica e geografia costeira nessa região.



Figura 3. Indivíduo adulto de *Rhinella ornata* (Spix 1824) oriundo da Ilha de Itacuruçá, Mangaratiba.

Variações do nível marinho e a formação das ilhas das Baías de Sepetiba e Ilha Grande

A geologia do quaternário, representado pelo Pleistoceno e Holoceno, representa a última fase da história geológica da Terra, cobrindo os últimos 1,81 Ma (Van Couvering, 1997). Durante o quaternário ocorreram grandes eventos de glaciação, onde a camada de gelo polar se expandiu consideravelmente (Willians *et al.* 1998 *apud* Hewitt 2000). O grande acúmulo de água doce sob a forma de gelo reduziu o nível dos mares em pelo menos 120 m (Rohling *et al.* 1998). Este evento produziu pontes de terras em vários lugares do mundo (Hewitt 2000), além da drástica redução das florestas

tropicais úmidas e extensão dos desertos e savanas (Colinvaux 1997). Estes eventos de glaciação foram intercalados por períodos interglaciais, descongelando as calotas polares, provocando o aumento do nível marinho (Hewitt 2000).

As primeiras constatações associadas a estas variações do nível marinho, no Brasil, foram feitas por Darwin em 1841, durante sua viagem à costa do Estado de Pernambuco (Tessler & Mahiques 1996). Além disso, estudos mais completos sobre as rochas praias foram executados há mais de 100 anos por Branner (1904). Porém, até 1960 as pesquisas sobre paleoníveis marinhos quaternários no país eram muito escassas, tendo sido as primeiras investigações feitas de maneira sistemática, incluindo datações por radiocarbono, realizadas por Van Andel & Laborel (1964). Desde a década de 1970, muitos estudos foram desenvolvidos na costa brasileira a fim de verificar o histórico das mudanças no nível marinho e seus efeitos nessa região (Suguio & Martin 1976; Suguio *et al.* 1985; Vilas-Boas *et al.* 1985; Martin *et al.* 1996).

Hoje sabemos que variações dos paleoníveis marinhos são controladas pelos (1) movimentos tectônicos horizontais e verticais, (2) movimentos isostáticos relacionados às variações nas sobrecargas exercidas pela expansão (glaciação) ou retração (deglaciação) das calotas polares sobre os continentes, ou ainda pela deposição e erosão em bacias sedimentares, e (3) deformações das superfícies continentais, decorrentes principalmente de causas gravitacionais (Suguio *et al.* 2005). Com estas variações, o nível marinho oscilou em períodos acima e abaixo do atual, através de processos transgressivos e regressivos, respectivamente. Estudos de registros geológicos, biológicos e paleo-antropológicos (sambaquis) realizados ao longo da costa brasileira geraram evidências de que o nível do mar esteve acima do atual (Suguio *et al.* 1985; Martin *et al.* 1996). Foram definidas as seguintes fases: (1) níveis marinhos anteriores a 123 mil anos a.p., entre 15 a 25 m acima do nível atual; (2) aproximadamente 123 mil

anos a.p., nível do mar em 8 ± 2 m (Suguio 1999); e (3) nível marinho acima do atual durante o Holoceno, período em que tem indicação de três níveis máximos, sendo o primeiro há 5.200-5.100 anos a.p., com o mar aproximadamente 4,8 m acima do atual, o segundo superior a 3 m, há 3.900-3.600 anos a.p., e por fim, o terceiro ocorrido há 2.800-2.900 anos a.p., com o nível marinho cerca de 2,5 m acima do nível atual (Martin & Dominguez 1995) (Figura 4).

Para esquematizar os períodos em que o nível marinho esteve abaixo do presente, Corrêa (1990) propõe uma curva indicando a evolução da plataforma costeira ao longo do estado de Rio Grande de Sul contendo três fases: (1) 17.500 a 16.000 anos a.p. o nível marinho estava aproximadamente 130 metros abaixo do atual e subiu rapidamente (cerca de 2 cm/ano), estabilizando-se há 16 mil anos a.p.; (2) entre 16.000 e 11.000 anos a.p. o nível estava entre 60 e 70 metros abaixo do presente, indicando o início do Holoceno; (3) entre 11.000 e 6.500 anos a.p. o nível marinho subiu 1,6 cm/ano, apresentando dois períodos, um com 32-45 metros e outro com 20-25 metros abaixo do presente. A Figura 4 (acima) foi construída com base nas previsões citadas acima e ilustra as oscilações do nível do mar desde aproximadamente 123 mil anos a.p., apontando os períodos em que o nível do mar esteve abaixo e acima do atual. Uma representação mais detalhada das variações do nível marinho nos últimos 7.000 anos ocorridos na Baía da Ilha Grande é apresentada na Figura 4 (abaixo).

Evidências dessas oscilações do nível marinho são encontradas nos registros sedimentológicos (depósitos marinhos quaternários), biológicos (incrustações de ostras e corais) e arqueológicas (sambaquis construídos pelos paleo-índios), sugerindo a ocorrência de paleo-praias em níveis mais altos que os atuais (Suguio & Tessler 1992). Evidências de níveis mais baixos que o atual podem ser encontradas nos registros de paleo-mangues inundados próximos à costa, momento em que cessou a deposição de

camada argilosa e iniciou a deposição de sedimentos com porcentagens maiores de areia (Pereira 1998), canais submersos indicando paleo-rios (Belo *et al.* 2002), além de sambaquis encontrados em níveis abaixo do nível marinho atual (Martin *et al.* 2003). Com essas variações no nível do mar, diversas mudanças ocorreram na linha da costa

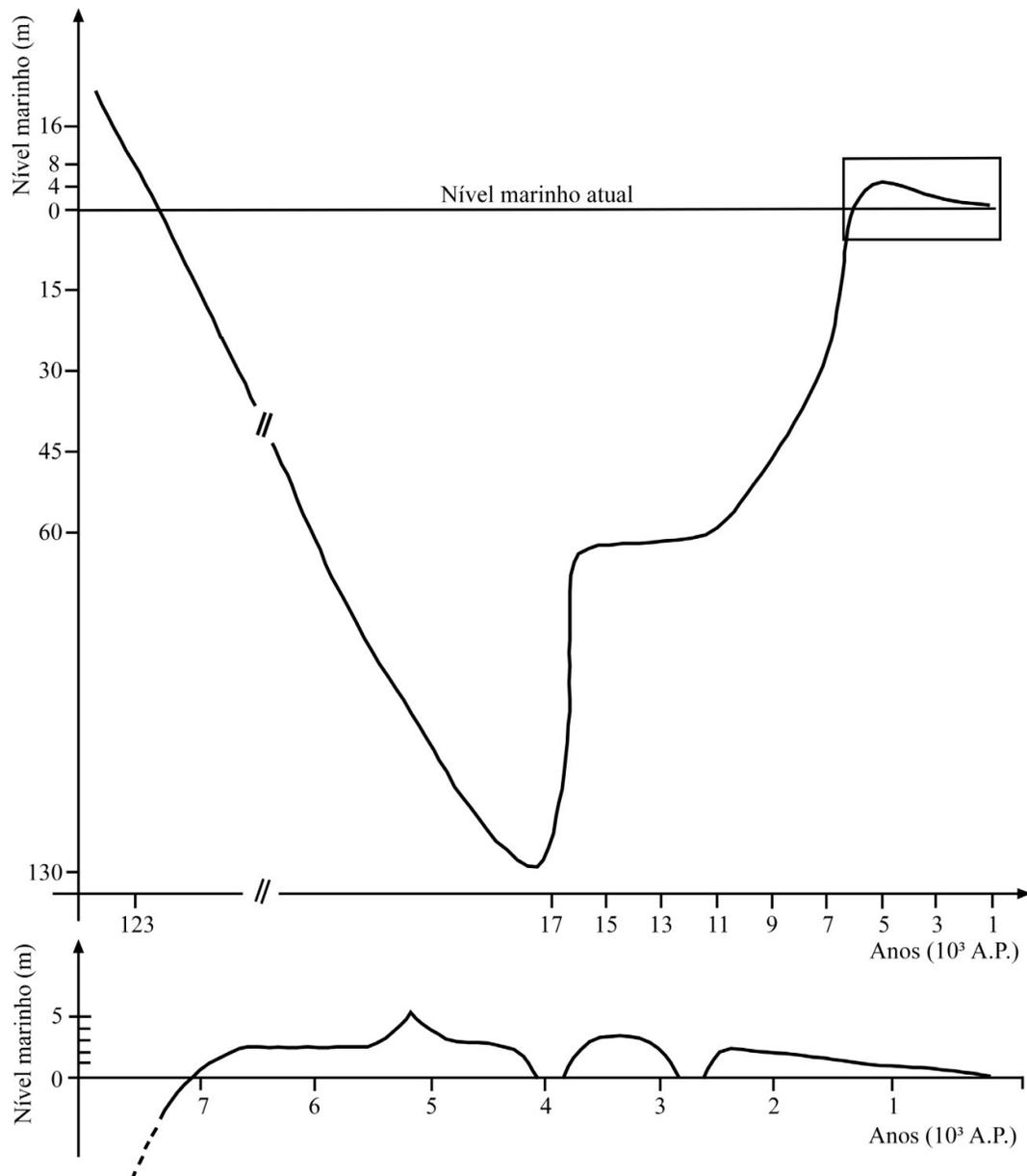


Figura 4. Esquema das oscilações do nível marinho que ocorreram ao longo da costa do Rio de Janeiro (acima) nos últimos 123.000 anos e (abaixo) na Baía da Ilha Grande durante os últimos 7.000 anos (adaptado de Oliveira & Brito 1998).

(Addad & Matins-Neto 2000), entre elas a redução de áreas florestais, o surgimento de restingas praias, a formação de lagoas costeiras, baías e ilhas continentais (Suguio *et al.* 2005). Algumas destas mudanças foram detectadas para as Baías de Sepetiba e Ilha Grande (Suguio *et al.* 1988; Pereira 1998).

Localizada no setor da costa brasileira situada entre Guaratiba e Angra dos Reis, a Baixada de Sepetiba teve sua origem durante o Quaternário, quando o mar recuou após inundar toda a planície quaternária (Goes 1942). Em Angra dos Reis foram encontradas evidências biológicas através de depósitos de ostras e gastrópodes em dois momentos: o primeiro, com o nível do mar 4,8 metros acima do atual, aproximadamente 5.200 anos a.p.; o segundo, com o mar três metros acima do nível atual, entre 3.650 e 3.450 anos a.p. (Suguio *et al.* 1988). Pereira (1998) constatou a presença de paleomangues sob a Baía de Sepetiba evidenciando nível marinho abaixo do atual. Além disso, a restinga da Marambaia foi formada durante e é uma evidência da última regressão marinha (Rocarati & Menezes 2005).

A Baía de Sepetiba não apresenta grandes profundidades, variando de 2 a 12 metros (Moura *et al.* 1982), exceto nos três canais, onde a profundidade é maior, estando eles entre a Ilha Guaíba e a Ilha da Marambaia, com profundidade máxima de 31 metros, entre as ilhas de Itacuruçá e Jaguanum, com máximo de 24 metros de profundidade, e entre a Ilha de Itacuruçá e o continente, que atinge 5 metros de profundidade. Entretanto, aproximadamente 50% de sua área são inferiores a 6 metros (SEMADS 1998). A maior contribuição de água doce para a Baía é proveniente do Canal de São Francisco (Rio Guandu), que carrega águas originalmente desviadas do rio Paraíba do Sul pela LIGHT – Serviços de Eletricidade S/A, que são utilizadas na geração de energia hidroelétrica nas usinas daquela empresa, localizadas no município de Piraí, Rio de Janeiro (Costa, 1992).

Para a Baía de Ilha Grande, que é contínua a oeste da Baía de Sepetiba, Dias *et al.* (1990) apresentaram o primeiro mapa batimétrico detalhado, que foi posteriormente digitalizado por Belo *et al.* (2002) (Figura 5). Segundo esses autores, a morfologia submarina dessa baía apresenta canais fluviais submersos formados em períodos em que o nível marinho encontrava-se mais baixo, além de uma depressão costeira entre a Ilha Grande e o continente (canal central), com 55 metros de profundidade (Figura 5). Em geral, assim como verificado na Baía de Sepetiba, as maiores profundidades estão no lado oeste do canal central (20 a 30 m), enquanto no lado leste essas variam entre 10 e 25 metros (Belo *et al.* 2002).

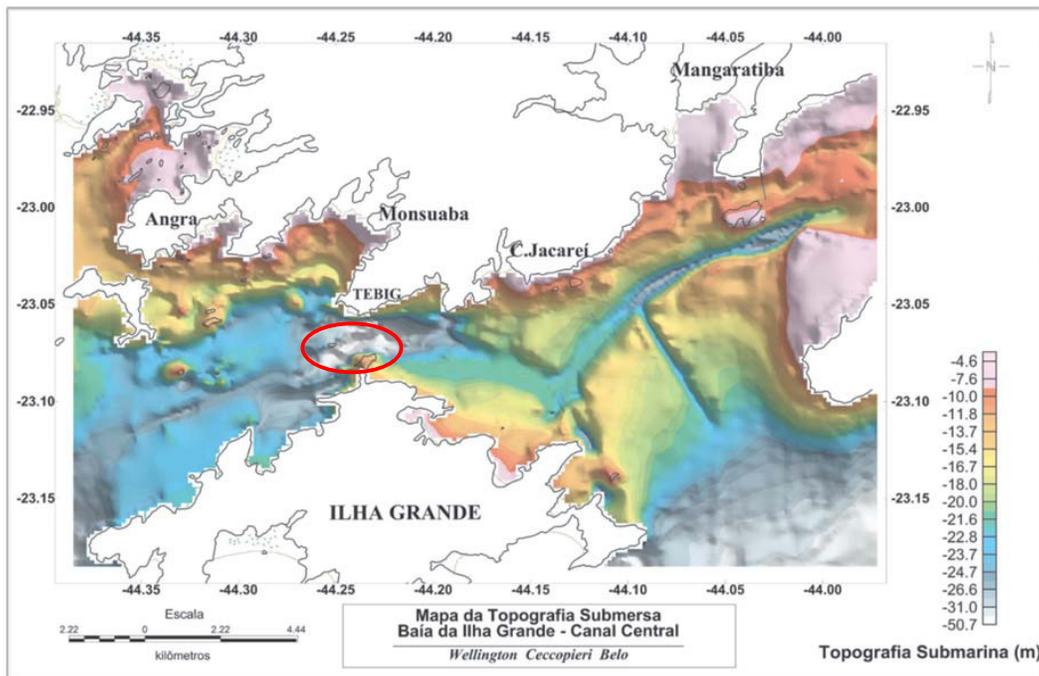


Figura 5. Perfil batimétrico digital da Baía da Ilha Grande, em destaque o canal central com aproximadamente 50 m de profundidade (adaptado de Belo *et al.* 2002).

Acompanhando o histórico de oscilações do nível marinho e seus efeitos sobre os parâmetros batimétricos da costa fluminense, é possível afirmar que as ilhas

continentais localizadas nas baías de Sepetiba e Ilha Grande, aproximadamente 123.000 anos a.p., tinham suas áreas de baixada completamente inundadas e apresentavam área total menor que a registrada atualmente. Entre 123.000 e 7.000 anos (período em que o nível do mar esteve mais baixo que o atual), estas ilhas não existiam e toda área compreendida pelas Baías de Sepetiba e Ilha Grande encontrava-se cobertas por Mata Atlântica, onde os rios e riachos (hoje afogados) corriam (Belo *et al.* 2002). Há aproximadamente 7.000 anos, o nível do mar voltou a subir e há cerca de 5.200 anos as ilhas dessa região foram novamente formadas, permanecendo assim até o presente. É importante frisar que essa subida do nível do mar ocorreu de forma gradual, portanto os processos de conexão e desconexão das ilhas em relação ao continente ocorreram em momentos diferentes para cada ilha, dependendo da profundidade dos canais que as separam umas das outras e do continente. Com isso, por apresentar um canal de aproximadamente 50 m de profundidade (Figura 5), a Ilha Grande provavelmente foi a primeira ilha a se desconectar do continente, seguidas pelas Ilhas da Marambaia e Itacuruçá.

Objetivo

Considerando que as ilhas das Baías de Sepetiba e Ilha Grande sofreram com os efeitos de variação do nível marinho que provocaram períodos diferenciais de isolamento das populações de espécies insulares em relação às populações presentes no continente, e assumindo que anfíbios são intolerantes à água salgada e, com isso, possuem baixo potencial de dispersão, infere-se que esses eventos possam ter sido responsáveis por determinar significativa variação fenotípica entre essas populações (“regra insular”). A fim de se testar essa hipótese, este trabalho visa avaliar possíveis diferenças morfométricas de populações de *Rhinella ornata* (Bufonidae) oriundas de áreas insulares e continentais do Estado do Rio de Janeiro, considerando quatro hipóteses possíveis: Hipótese nula — o isolamento não afetou o tamanho corporal dos indivíduos —; Hipótese 1 — o corpo dos indivíduos diminuiu de tamanho após o isolamento —; Hipótese 2 — o corpo dos indivíduos aumentou de tamanho após o isolamento —; e Hipótese 3 — o tamanho do corpo dos indivíduos variou aleatoriamente (Figura 6).

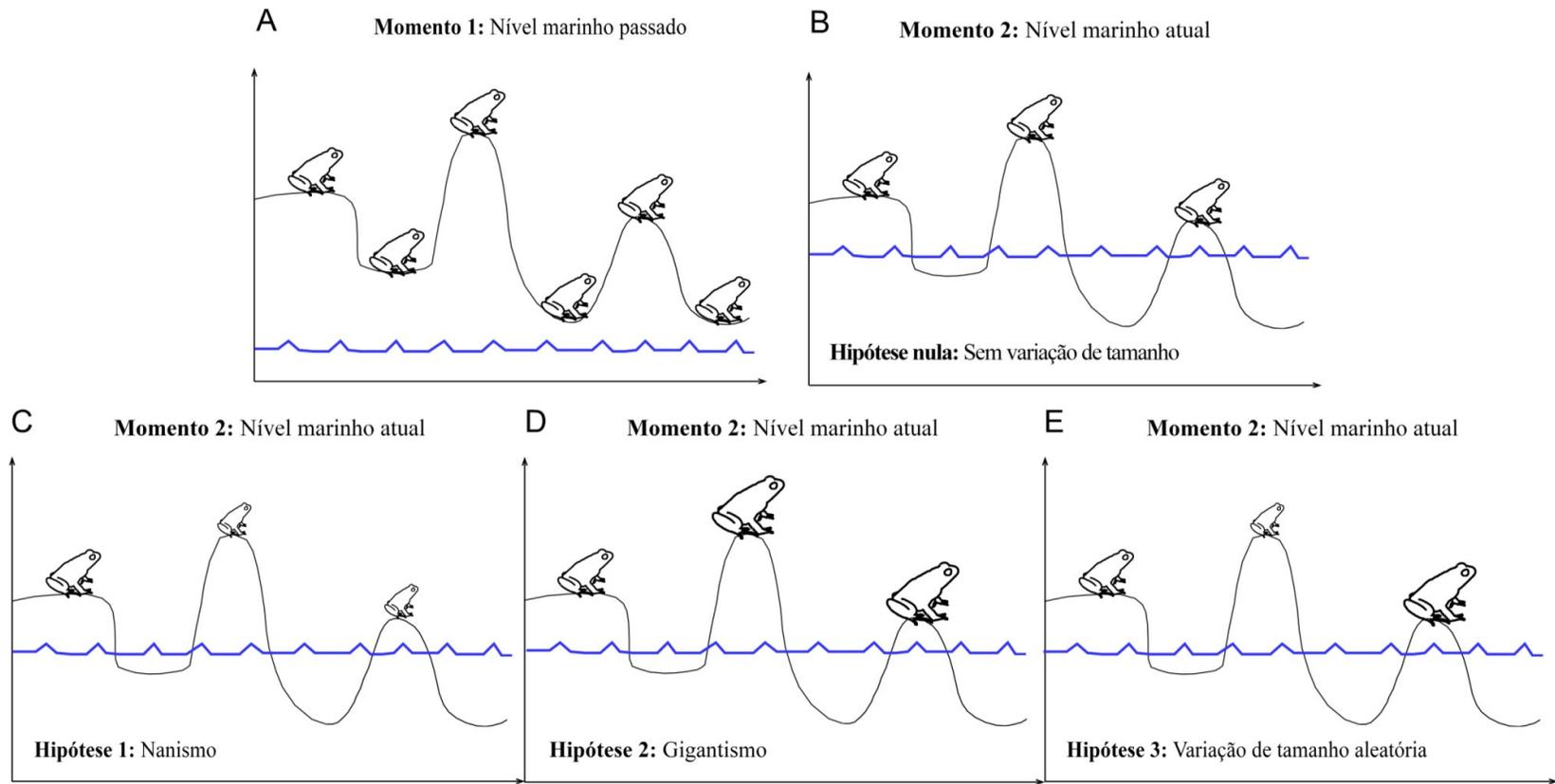


Figura 6. Representações demonstrando um cenário que possivelmente ocorreu (A) no período em que o nível do mar esteve abaixo de atual, entre 11000 e 6500 anos a.p., e as quatro hipóteses possíveis após a formação das ilhas, 6500 anos a.p.: (B) Hipótese nula: indivíduos não alteraram de tamanho; (C) Hipótese 1: indivíduos tornaram-se menores nas ilhas; (D) Hipótese 2: indivíduos tornaram-se maiores nas ilhas; (E) Hipótese 3: indivíduos insulares variaram de tamanho aleatoriamente.

Material e Métodos

Material examinado

Para a obtenção dos dados morfométricos de *Rhinella ornata*, 177 indivíduos desta espécie depositados nas coleções herpetológicas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RU) e do Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ) foram examinados. Devido ao dimorfismo sexual observado nesta espécie (Ribeiro *et al.* 2005) e a preponderância de machos na maioria das amostras, apenas os machos foram utilizados nas análises morfométricas. Para sexagem dos indivíduos e determinação dos machos, foram observadas as presenças de calo nupcial no segundo dedo (Mendelson 1994) e fendas vocais.

Todas as localidades que possuíram no mínimo 10 indivíduos machos foram incluídas nas análises. Das oito localidades amostradas no Estado do Rio de Janeiro, cinco pertencem ao continente e três são ilhas continentais pertencentes às Baías de Sepetiba e Ilha Grande (Figura 7). Os municípios amostrados no continente são Duque de Caxias (n = 18), Itaguaí (n = 12), Rio de Janeiro (n = 18), Seropédica (n = 13) e Tanguá (n = 26) (Figura 7A), enquanto as ilhas amostradas são a Ilha de Itacuruçá (n = 30), Ilha da Marambaia (n = 31) e Ilha Grande (n = 29). Os *vouchers* encontram-se listados no Anexo 1.

Entre as ilhas amostradas (Figura 7B), a Ilha de Itacuruçá corresponde àquela de menor área (aproximadamente 10 km²) e de menor distância em relação ao continente (220 metros do continente), possui altitude máxima de aproximadamente 300 metros. A Ilha da Marambaia possui área total de 81 km², e é a mais afastada do continente (9,6 km), tendo seu pico mais alto em 640 metros (Menezes & Araujo 2005). A Ilha Grande

é a maior ilha amostrada, com aproximadamente 190 km², distando 3,15 km do continente, e possui altitude máxima de 1.030 metros (Oliveira 2002). As informações de cada ilha foram medidas com auxílio da ferramenta do programa Google Earth.



Figura 7. Mapa do Estado do Rio de Janeiro. (A) Pontos indicando as cinco localidades continentais amostradas: 1) Itaguaí, 2) Seropédica, 3) Rio de Janeiro, 4) Duque de Caxias, 5) Tanguá. (B) Destaque das Baías de Sepetiba e Ilha Grande com a indicação das três ilhas utilizadas nas análises: Ilha de Itacuruçá, Ilha da Marambaia e Ilha Grande.

Caracteres morfométricos analisados

Todas as medidas morfométricas dos indivíduos de *Rhinella ornata* foram tomadas com paquímetro digital de precisão 0,01mm e com auxílio de lupa estereoscópica. O peso foi aferido através de balança de precisão 1g, após os indivíduos terem sido secados com papel por aproximadamente 3 minutos. As medidas morfométricas a seguir foram tomadas seguindo Duellman (1970) e estão ilustradas na Figura 8.

- Comprimento rosto-cloacal (CRC): medido da ponta do focinho até a extremidade posterior do corpo (cloaca) (Figura 8A).
- Largura da cabeça (LCa): medida transversalmente da parte final da boca (Figura 8B).
- Comprimento da cabeça (CCa): medida longitudinalmente, da ponta do focinho até a margem posterior do tímpano (Figura 8C).
- Distância internasal (DIN): medida entre as margens internas das narinas (Figura 8A).
- Distância olho-narina (DON): medida entre a margem posterior da narina e a margem anterior do olho (Figura 8C).
- Distância olho-focinho (DOF): medida da margem anterior do olho até a ponta do focinho (Figura 8C).
- Espaço interorbital (EIO): duas medidas foram tomadas: **(EIO1)**: medido no ponto de contato da crista cantal com a crista pré-orbital; **(EIO2)**: medido na altura da crista parietal, quando presente (Figura 8A).

- Diâmetro do olho (DO): medido horizontalmente, entre a margem da crista anterior e posterior do olho (Figura 8C).
- Diâmetro do tímpano (DTi1): medido horizontalmente, entre a margem anterior e posterior (Figura 8C).
- Altura do tímpano (DTi2): medido verticalmente, entre as margens superior e inferior (Figura 8C).
- Comprimento da glândula paratóide (GLP1): medido entre a margem anterior e posterior da glândula direita (Figura 8A).
- Altura da glândula paratóide (GLP2): medido entre os bordos superior e inferior (Figura 8C).
- Comprimento da mão (CMa): medido ventralmente do bordo posterior do tubérculo palmar externo até a ponta do 3º dedo (Figura 8B).
- Comprimento do fêmur (CFe): medido do centro da abertura cloacal até a articulação tíbio-femural, com o membro flexionado, encostado à lateral do corpo (Figura 8A).
- Comprimento da tíbia (CTi): medido do membro flexionado, entre as articulações tíbio-femural e tíbio-tarsal (Figura 8A).
- Comprimento do tarso (CTa): medido entre as articulações tíbio-tarsal e tarso-metatarsal (Figura 8B).
- Comprimento do pé (CPe): medido do bordo posterior do tubérculo metatarsal interno até a ponta do 4º dedo (Figura 8B).

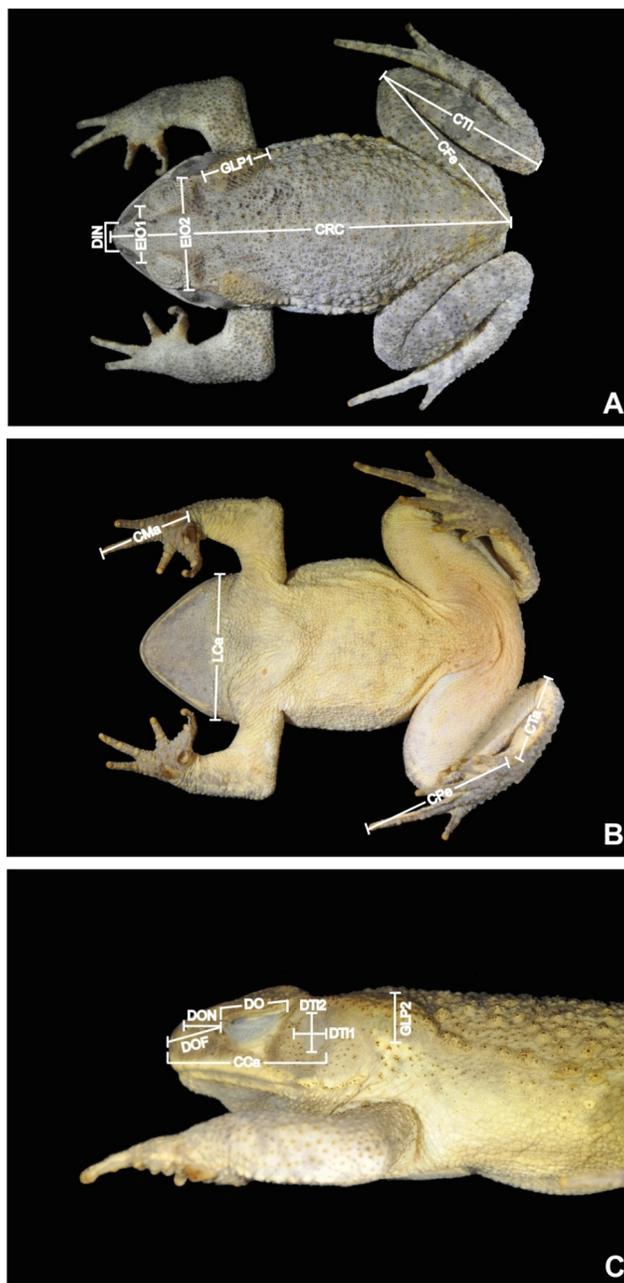


Figura 8. Medidas utilizadas para as análises morfométricas. (A) Comprimento rostro-cloacal (CRC), Distância inter-nasal (DIN), Espaço inter-orbital (EIO; duas medidas foram tomadas: EIO1 e EIO2), Comprimento da glândula parótida (GLP1), Comprimento do fêmur (CFe) e Comprimento da tíbia (CTi); (B) Largura da cabeça (LCa), Comprimento da mão (CMA), Comprimento do tarso (CTa) e Comprimento do pé (CPe); (C) Comprimento da cabeça (CCa), Distância olho-narina (DON), Distância olho-focinho (DOF), Diâmetro do olho (DO), Diâmetro do tímpano (DTi1), Altura do tímpano (DTi2) e Altura da glândula parótida (GLP2). Indivíduo ilustrado: RU 3438, CRC = 77,81.

Análises estatísticas

A estatística descritiva básica (média, desvio padrão e valores máximo e mínimo) foi calculada para cada uma das variáveis morfométricas analisadas de cada população. Os resultados são apresentados no Anexo 2.

Para identificar *outliers* na amostra utilizou-se de inspeção visual dos gráficos de dispersão construídos para cada variável plotada contra o CRC. Este procedimento foi realizado a fim de evitar uma grande discrepância entre as variâncias das amostras. Após a retirada de três *outliers* (MNRJ 45459, 45467, 45469), as premissas de normalidade e a homocedasticidade das variáveis foram testadas através dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente. Ao verificar que parte das variáveis não apresentavam distribuição normal e variâncias homocedásticas, todas foram Log10-transformadas e as premissas de normalidade e homocedasticidade foram novamente testadas e confirmadas.

Uma análise exploratória da variação morfométrica das populações de *Rhinella ornata* entre as localidades estudadas foi realizada através da Análise de Componentes Principais (PCA, matriz de covariância). Para a análise do perfil morfométrico dessas populações considerou-se (1) cada localidade em análise como uma população diferente; (2) localidades insulares e localidades continentais em dois grupos distintos; (3) localidades insulares separadamente e localidades continentais reunidas em uma única amostra; (4) apenas amostras continentais.

Sabe-se que o primeiro componente da PCA é aquele que carrega a maior variação do tamanho, com isso, para se testar a existência de variação significativa do tamanho entre os grupos, com base nos *scores* do primeiro componente principal, foi empregado Teste t-Student, para a análise que envolvia apenas dois grupos (ilha x

continente) e análise de variância (ANOVA), para as análises que envolviam mais de dois grupos, Foi usado o teste GT2 para comparar populações com tamanho amostral diferentes. Para todos os testes foi empregado $\alpha = 0,05$.

Os demais componentes gerados pela PCA são independentes do primeiro, que representa o tamanho, e são considerados como dimensões que representam a forma dos indivíduos. Com base nisso, foi realizada uma Análise Discriminante com base nos valores Log10-transformados, a fim de testar se as populações analisadas variam significativamente em relação à forma.

Uma Análise de *Cluster*, com base nos valores Log10-transformados, utilizando o algoritmo 'Grupos Pareados' (*Paired Group*) e a distância euclidiana como medida da similaridade entre os grupos, foi realizada para se analisar o nível de similaridade morfométrica entre as amostras. Tal análise foi empregada de duas maneiras: (1) utilizando a média dos valores de CRC de todos os indivíduos de cada população; e (2) utilizando uma sub-amostra de 10 indivíduos de cada população, sendo escolhidos aqueles que apresentavam valores mais próximos aos valores médios de CRC.

Por fim, para testar a existência de correlação entre o CRC e o peso, foi realizada uma Regressão Linear Simples. Com este teste, é possível verificar se existe diferença no ganho de massa corpórea entre indivíduos insulares e continentais ao longo de seu crescimento. Todas as análises foram realizadas como o auxílio do pacote estatístico SYSTAT 11.0, exceto a análise de *Cluster* que foi realizada com o auxílio do programa PAST e o teste *post hoc* GT2, calculado manualmente. A escolha e implementação das análises estatísticas seguiram Sokal & Rohlf (1995).

Resultados

Os valores de média, desvio padrão e valor máximo e mínimo das variáveis morfométricas medidas calculados para cada localidade são apresentados no Anexo 2. Observando as médias da principal variável, comprimento rostro-cloacal (CRC), entre as localidades é possível observar que a população de Seropédica apresenta o maior valor e a Ilha Grande possui o menor (Figura 9 e 10). A Figura 9 compara um indivíduo oriundo de Seropédica e outro da Ilha Grande, sendo possível observar a discrepância do tamanho corporal entre essas duas populações. Das 18 variáveis analisadas, apenas a variável distância olho-narina (DON) não é homocedástica de acordo com o teste de Levene ($F = 2,353$; $gl = 7, 170$; $p = 0,026$). Entretanto, todos os testes foram executados incluindo-se e excluindo-se esta variável e nenhuma diferença significativa foi observada. Por esta razão, optou-se pela inclusão desta variável na análise final.



Figura 9. Comparação entre dois indivíduos de *Rhinella ornata* representando as populações que apresentaram o menor e o maior tamanho corporal, Ilha Grande (à esquerda, RU 6974, CRC = 63,43) e Seropédica (à direita, RU 3438, CRC = 77,81), respectivamente.

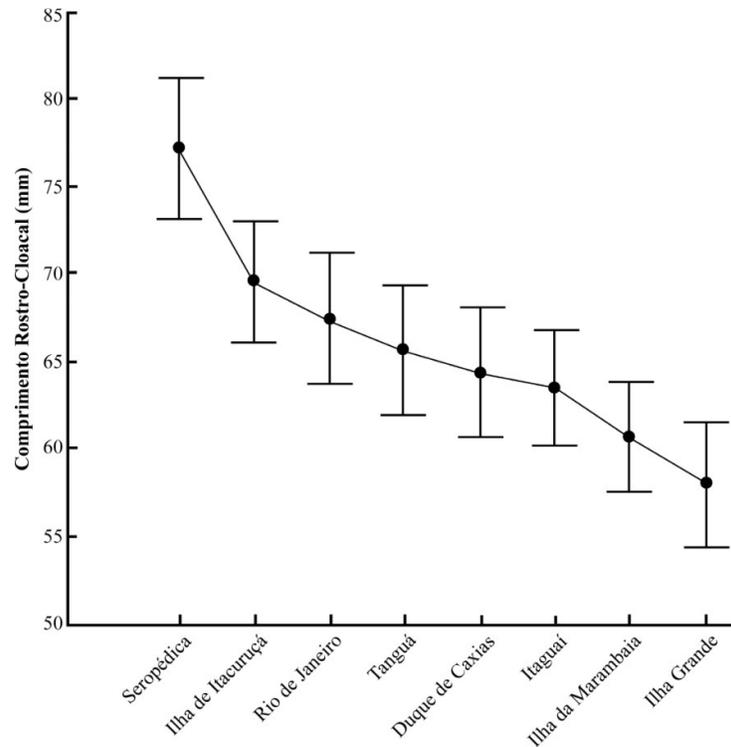


Figura 10. Média e desvio padrão das oito localidades amostradas. Círculos representam a média e barras o desvio padrão.

A análise de variância realizada com base nos *scores* obtidos para o primeiro componente principal indicou que as populações de *Rhinella ornata* oriundas das oito localidades diferem significativamente em tamanho (Anova, $F = 46,523$; $gl = 7, 169$; $p < 0,001$; Figura 11A). O Teste GT2 indicou que a Ilha de Itacuruçá apresenta distribuição muito semelhante a muitas localidades do continente e dissimilaridade em relação às demais ilhas estudadas (Tabela 2). Além disso, as populações de Seropédica e Ilha Grande apresentaram média de tamanho corporal diferente de todas as demais populações. A Análise Discriminante revelou que as oito localidades também diferem significativamente em relação à forma (Wilks' Lambda = 0,0216; $gl = 7, 169$; $p < 0,001$).

Tabela 1. Component Loading (Load), autovetores (AVT), autovalores (AVL) e variância explicada (%) gerados pela Análise dos Componentes Principais (matriz de covariância), usando as medidas Log10-transformadas dos indivíduos de *Rhinella ornata*.

	Componente 1		Componente 2		Componente 3		Componente 4		Componente 5	
	Load	AVT	Load	AVT	Load	AVT	Load	AVT	Load	AVT
CRC	0,040	0,230	0,002	0,033	0,003	0,056	0,001	0,024	0,003	0,083
LCa	0,050	0,286	0,000	-0,005	0,005	0,097	0,001	0,028	0,001	0,015
CCa	0,036	0,206	0,004	0,051	0,005	0,099	0,002	0,054	0,000	-0,007
DIN	0,055	0,313	0,053	0,739	-0,030	-0,554	-0,004	-0,083	-0,003	-0,072
DON	0,045	0,257	0,002	0,024	0,008	0,140	0,007	0,158	0,012	0,313
DOF	0,037	0,215	0,009	0,129	0,003	0,059	0,005	0,129	0,008	0,208
EIO1	0,038	0,219	-0,006	-0,090	0,002	0,036	0,004	0,098	0,007	0,169
EIO2	0,037	0,211	0,000	0,000	0,005	0,083	0,003	0,063	0,002	0,047
DO	0,023	0,129	-0,001	-0,008	0,005	0,089	0,002	0,049	-0,004	-0,099
DTi1	0,044	0,253	-0,007	-0,098	0,012	0,222	0,007	0,170	-0,015	-0,391
DTi2	0,041	0,235	-0,002	-0,022	0,003	0,059	0,010	0,238	-0,028	-0,729
GLP1	0,038	0,216	0,000	0,004	0,014	0,266	-0,038	-0,906	-0,005	-0,141
GLP2	0,063	0,359	-0,046	-0,644	-0,035	-0,650	-0,005	-0,112	0,001	0,035
CMa	0,030	0,171	0,001	0,009	0,007	0,127	-0,001	-0,027	0,005	0,135
CFe	0,043	0,248	0,000	-0,003	0,007	0,131	0,003	0,063	0,002	0,043
CTi	0,036	0,206	0,000	0,005	0,006	0,113	0,001	0,024	0,005	0,136
CTa	0,036	0,208	0,000	0,002	0,009	0,157	0,003	0,080	0,008	0,213
CPe	0,031	0,180	-0,001	-0,018	0,007	0,123	-0,001	-0,020	0,005	0,131
AVL	0,030		0,005		0,003		0,002		0,002	
Variância	65,739		11,216		6,338		3,810		3,243	

Tabela 2. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de *Rhinella ornata*, empregando os *scores* do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre todas as localidades continentais e insulares. (*) difere significativamente.

	Itacuruçá	I. Grande	Marambaia	Itaguaí	Seropédica	Tanguá	D. Caxias
I. Grande	-1.808*						
Marambaia	-1.048*	0.76*					
Itaguaí	-0.8*	1.008*	0.248				
Seropédica	1.359*	3.167*	2.407*	2.159*			
Tanguá	-0.342	1.466*	0.706*	0.458	-1.701*		
D. Caxias	-0.561	1.247*	0.487	0.239	-1.92*	-0.219	
R. Janeiro	-0.083	1.725*	0.965*	0.717*	-1.442*	0.259	0.478

Verificou-se também diferença significativa quando os testes foram realizados comparando ilha e continente, com considerável tendência ao nanismo nas ilhas (Test t-Student, $t = 5,701$; $gl = 175$; $p < 0,001$; Figura 11B). O mesmo valor de p foi encontrado quando as ilhas foram tratadas individualmente e comparadas ao continente (Anova, $F = 45,008$; $gl = 3, 173$; $p < 0,001$; Figura 11C). Para esta última análise, o Teste GT2 indicou que a população da Ilha de Itacuruçá não difere de tamanho das populações continentais, mas distingue em relação às outras ilhas estudadas (Tabela 3). Nesta análise também podemos observar que a Ilha de Itacuruçá não difere significativamente das demais ilhas (Ilha de Itacuruçá x Ilha da Marambaia: $p < 0,001$; Ilha de Itacuruçá x Ilha Grande: $p < 0,001$). A Análise Discriminante indica que as populações insulares e continentais, diferem significativamente quanto à forma (Wilks' Lambda = 0,3615; $gl = 1, 175$; $p < 0,001$). O mesmo é observado quando comparadas às populações insulares, individualmente, com as populações continentais representando um grupo único (Wilks'

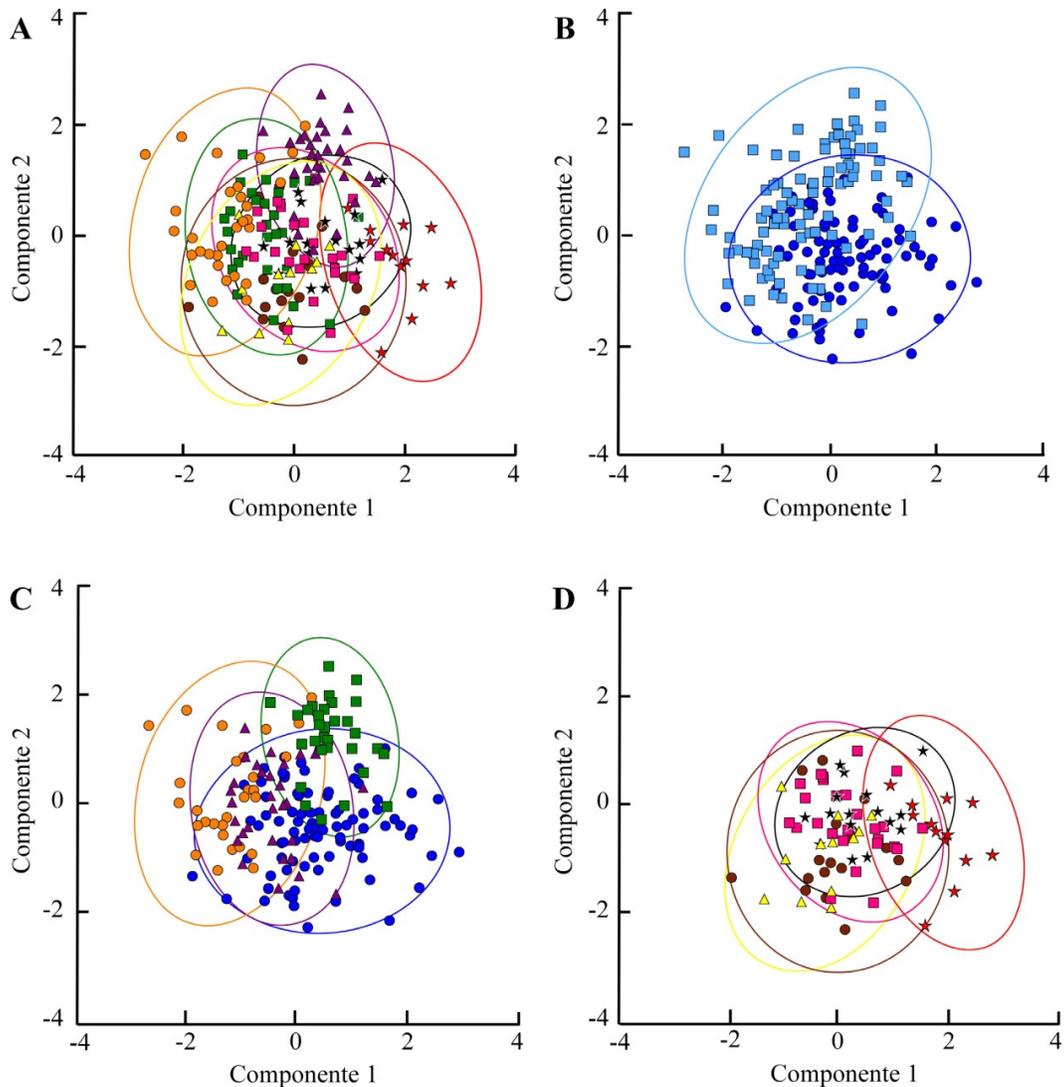


Figura 11. Scatterplots dos primeiro e segundo componentes principais gerado através da Análise dos Componentes Principais (PCA, matriz de covariância), considerando: (A) cada localidade analisada como diferentes populações: Duque de Caxias (círculo marrom), Ilha Grande (círculo laranja), Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa); (B) populações insulares (quadrado azul claro) e continentais (círculo azul escuro) como dois grupos distintos; (C) localidades insulares separadamente e áreas continentais envolvidas em um único grupo: Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Ilha Grande (círculo laranja), continente (círculo azul escuro); (D) apenas localidades continentais: Duque de Caxias (círculo marrom), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa).

Lambda = 0,1029; gl = 3, 173; $p < 0,001$). Além disso, o teste t-Student comparando apenas a população de Itacuruçá com a população continental indicou que os indivíduos da Ilha de Itacuruçá não diferem significativamente dos indivíduos do continente (Teste $t = -0,832$; gl = 116, $p = 0,407$).

Tabela 3. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de *Rhinella ornata*, empregando os *scores* do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre localidades continentais (todas amostradas como único grupo) e insulares (amostradas separadamente). (*) difere significativamente.

	Itacuruçá	Ilha Grande	Marambaia
Ilha Grande	-1.808*		
Marambaia	-1.048*	0.76*	
Continent	-0.143	1.665*	0.905*

A análise de Cluster utilizando uma sub-amostra de 10 indivíduos para cada população (Coef. Corr. = 0,7301; Figura 12) revelou a existência de grande variação entre as populações. Quatro grandes grupos podem ser observados: o primeiro, à esquerda, com a maioria dos indivíduos pertencendo à Seropédica; o segundo, com todos os representantes da Ilha da Marambaia e alguns indivíduos da Ilha Grande, Itaguaí e Tanguá; o terceiro, com a maioria dos indivíduos pertencendo a Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Tanguá e Ilha de Itacuruçá; e por último, à direita, composto apenas por indivíduos da Ilha Grande. As populações que apresentaram maior distinção foram Seropédica, Ilha da Marambaia, Ilha de Itacuruçá e Ilha Grande. Com exceção de Seropédica, todas as localidades do continente não apresentaram um padrão claro, indicando muita sobreposição de tamanho entre elas.

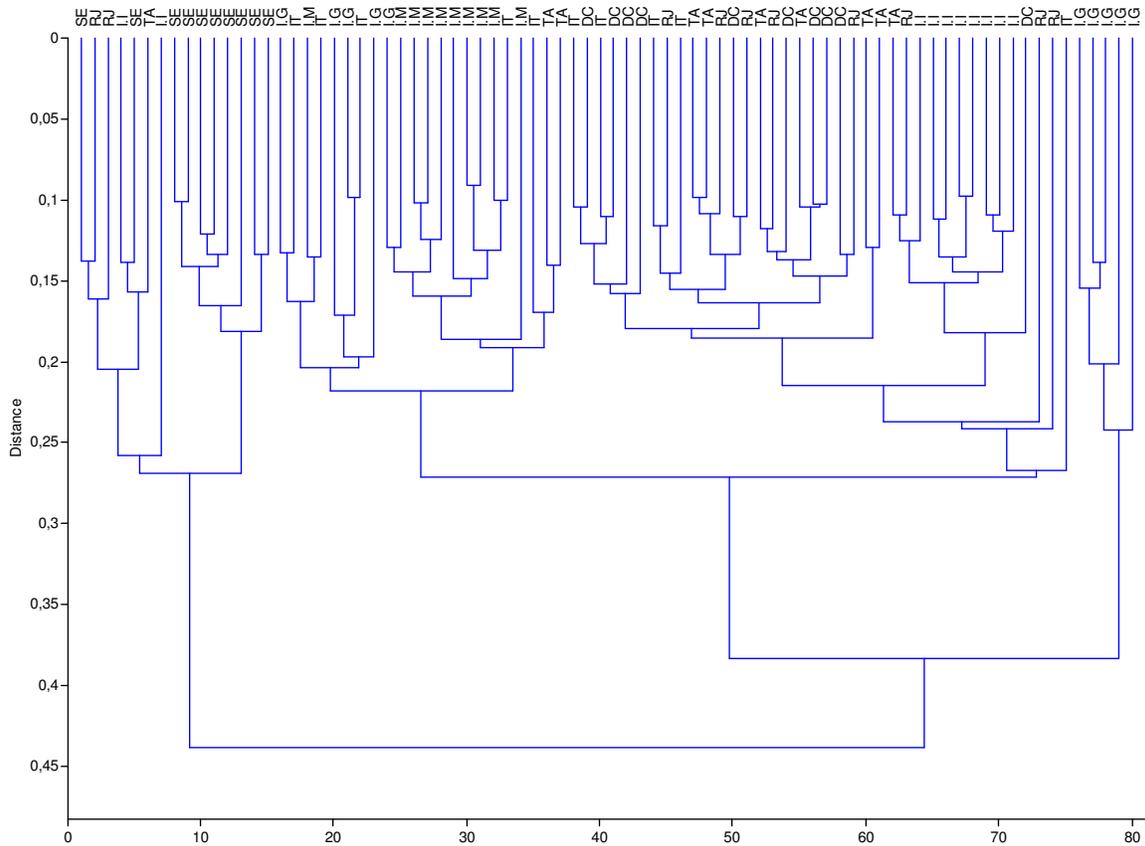


Figura 12. Análise de *Cluster* utilizando uma sub-amostra de 10 indivíduos por população, através do algoritmo Paired Group com similaridade Euclidiana. Coeficiente de Correlação Cofenético = 0,7301. (DC) Duque de Caxias, (I. I.) Ilha de Itacuruçá, (I.G) Ilha Grande, (I. M) Ilha da Marambaia, (It) Itaguaí, (RJ) Rio de Janeiro, (Ta) Tanguá, (SE) Seropédica.

Quando analisamos apenas as localidades continentais, também é observada diferença significativa no tamanho (Anova, $F = 24,603$; $gl = 4, 82$; $p < 0,001$; Figura 11D) e na forma (Wilks' Lambda = 0,2889; $gl = 4, 82$; $p < 0,001$) das populações. O teste GT2 indicou que a população de Seropédica difere em tamanho de todas as outras áreas continentais, e indivíduos de Itaguaí também difere em tamanho daqueles pertencentes à população do Rio de Janeiro (Tabela 4).

Tabela 4. Teste Hochberg's GT2 ($m_{0,05;8,169}$) de comparação par a par do tamanho do corpo de *Rhinella ornata*, empregando os *scores* do primeiro componente principal gerado através da Análise dos Componentes Principais, entre localidades continentais. (*) difere significativamente.

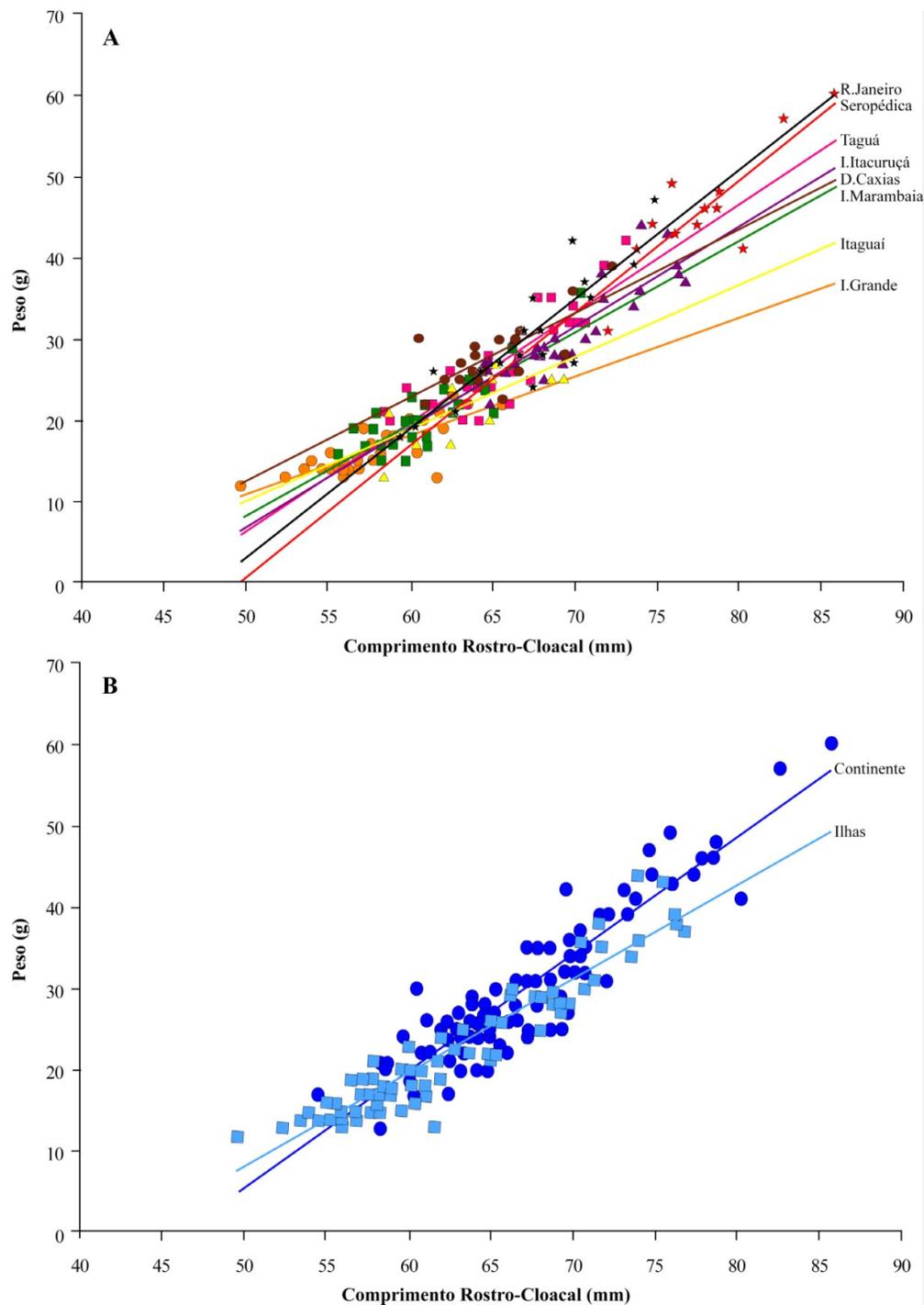
	Itaguaí	Seropédica	Tanguá	D. Caxias
Seropédica	2.159*			
Tanguá	0.458	-1.701*		
D. Caxias	0.239	-1.92*	-0.219	
Rio de Janeiro	0.717*	-1.442*	0.259	0.478

Por fim, já sabendo que as populações diferem significativamente entre si, uma regressão linear simples comparando CRC e peso foi realizada para cada população. A partir dessa análise, é possível observar se todas as populações acumulam massa corpórea na mesma proporção. Com base no gráfico gerado, se nota que a população da Ilha Grande possui a menor inclinação na reta, o que indica que estes indivíduos acumulam menos peso à medida que crescem, ou seja, acumulam menor massa corpórea. Ao contrário, os indivíduos de Seropédica e Rio de Janeiro são aqueles que apresentam o maior acúmulo de massa corpórea (Tabela 5, Figura 13A). Em outras palavras, os indivíduos das populações Seropédica e do Rio de Janeiro são proporcionalmente mais robustos do que qualquer outra população analisada.

Quando a regressão linear simples é realizada comparando populações insulares e continentais em conjunto, é possível observar que as populações continentais acumulam massa corpórea mais velozmente em relação ao comprimento do corpo do que as populações insulares (Tabela 5, Figura 13B).

Tabela 5. Equação da reta gerada pela Análise de Regressão Linear entre comprimento rostro-cloacal e peso, calculado para todas as localidades estudadas, separadamente, e envolvendo dois grupos (ilhas e continente), com valores de R² e p.

Localidade	Equação da reta	R²	p
Ilha de Itacuruçá	$y = -54.684 + 1.232x$	0.7254	< 0.001
Ilha Grande	$y = -25.229 + 0.724x$	0.6733	< 0.001
Ilha da Marambaia	$y = -47.813 + 1.126x$	0.7156	< 0.001
Itaguaí	$y = -33.958 + 0.884x$	0.4637	0.015
Seropédica	$y = -80.410 + 1.625x$	0.7691	< 0.001
Tanguá	$y = -60.358 + 1.338x$	0.7382	< 0.001
Duque de Caxias	$y = -38.694 + 1.028x$	0.6597	< 0.001
Rio de Janeiro	$y = -76.218 + 1.589x$	0.7234	< 0.001
Ilhas	$y = -49.500 + 1.152x$	0.8849	< 0.001
Continente	$y = -66.307 + 1.435x$	0.8379	< 0.001



13. Ganho de massa corpórea observado para (A) cada população de *Rhinella ornata* estudada: Duque de Caxias (círculo marrom), Ilha Grande (círculo laranja), Ilha de Itacuruçá (triângulo roxo), Ilha da Marambaia (quadrado verde), Itaguaí (triângulo amarelo), Rio de Janeiro (estrela preta), Seropédica (estrela vermelha), Tanguá (quadrado rosa); e (B) para populações insulares (quadrado azul claro) e continentais (círculo azul escuro) envolvidas em dois grupos.

Discussão

Os indivíduos das populações insulares de *Rhinella ornata* da costa sul fluminense são menores e apresentam menor massa que os indivíduos das populações continentais (corroborando a Hipótese 1; Figuras 6C, 11B e 13B). Esses resultados indicam que, pelo menos para essa espécie, o isolamento nas ilhas resultou em uma tendência diferente daquelas apresentadas para outras duas espécies de anfíbios em ilhas na Itália e na China, que apresentaram tamanho corporal e peso maiores que as populações continentais [*Bufo viridis* na Itália (Castellano *et al.* 1999) e *Rana limnocharis* na China (Wu *et al.* 2006)]. Para os anfíbios insulares da China, o aumento de tamanho foi atribuído à maior disponibilidade de recursos alimentares, que permite maior densidade de indivíduos nas ilhas. Entretanto, é importante ressaltar que essas espécies são do hemisfério norte, onde os invernos são mais rigorosos e o período reprodutivo mais curto. Castellano *et al.* (1999) relatam que os machos insulares estudados são reprodutivamente ativos em temperaturas mais baixas, e que isto está relacionado ao maior tamanho corporal. Estas temperaturas não são toleradas por indivíduos continentais, que apresentam menor tamanho corporal, sendo menos resistentes ao frio. Isto permite o início do período reprodutivo mais cedo nessas populações insulares, determinando uma estação reprodutiva mais longa. No entanto, esta hipótese não se aplica ao caso das populações de sapos das ilhas da Costa Verde, que se enquadra no macroclima tropical, com invernos secos e chuvas concentradas no verão (Barbière & Kronemberger 1994), quando o período de reprodução está concentrado para a maioria das espécies (Duellman & Trueb 1994).

Em uma revisão recente, Meiri *et al.* (2011) observaram que diferentes grupos de mamíferos, aves e lagartos podem exibir padrões distintos de variação no tamanho do

corpo quando sujeitos à regra de ilha. Os autores afirmam que as diferenças observadas foram resultados de múltiplos fatores relacionados às características das ilhas que os organismos ocupam, como sua área, nível de isolamento, clima, e geologia, além de atributos ecológicos dos diferentes taxa, tais como guilda ou grupo funcional que eles fazem parte, dieta, preferência de micro-habitat, e comportamento. Entretanto, Meiri *et al.* (2011) não incluem casos envolvendo anfíbios em suas análises. A compilação dos dados apresentados aqui, quando comparados àqueles reportados por Wu *et al.* (2006) e Castellano *et al.* (1999), sugerem a existência de um efeito inverso da regra insular em populações de anuros de áreas tropicais, com verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos, quando comparados com aquelas de áreas temperadas, com verões amenos e invernos rigorosos. Considerando que apenas dois estudos dedicados à regra insular associados com anuros são considerados aqui, é clara a necessidade de maximizar as amostragens taxonômicas e geográficas para testar adequadamente esta hipótese. Espécies que têm tamanho corporal maior em suas comunidades tendem a reduzir de tamanho nas ilhas. Com isso, visto que *Rhinella ornata* está entre as maiores espécies de sapos encontrados na Ilha Grande e Ilha da Maramabaia, a variação do tamanho registrada para esta espécie se ajusta à predição original da regra de ilhas, conforme estabelecido por Foster (1964).

Em outros estudos, alguns ainda não publicados, verifica-se que nas ilhas da Costa Verde ocorre redução de riqueza de espécies de sapos (*e.g.*, Silva *et al.* 2008), lagartos (*e.g.*, Carvalho *et al.* 2007), serpentes (R. Lamônica, comunicação pessoal), aves (*e.g.*, Alves & Vecchi 2009), e morcegos (*e.g.*, Esbérard *et al.* 2006). É possível, com isso, supor que também exista redução do número de espécies de artrópodes que compõe a dieta de *Rhinella ornata*. Assim, seria vantajoso para esta espécie diminuir de tamanho nas ilhas, visto que indivíduos menores gastam menos energia e,

consequentemente, necessitam de menos recursos, tornando-se mais especializados (Lomolino 2005).

Outra questão importante relaciona-se ao tamanho relativo das áreas de baixada, onde ocorrem os sítios reprodutivos de *Rhinella ornata* (Pombal & Gordo 2004), que possui modo reprodutivo 1, com ovos depositados em águas lânticas e girinos exotróficos (Haddad & Prado 2005). Em geral, a reprodução dessa espécie ocorre em áreas menos elevadas, sujeitas a inundações e propícias à formação de brejos e poças temporárias. Nas ilhas, áreas de baixada são mais restritas, com a maioria dos rios desaguando direto no oceano, sem formar rios de ordens maiores ou meandros, percorrendo um curto trecho nas baixadas. Como resultado, as áreas de brejos ou alagados nas ilhas são mais curtas e, conseqüentemente, a duração dos mesmos deve ser menor. Com a redução desses ambientes, a disponibilidade de sítios para reprodução também é reduzida, aumentando a competição por este recurso, quando comparada à competição por estes sítios em áreas continentais. Somado à redução das áreas de baixada e sítios reprodutivos, devido à baixa complexidade fluvial (número e volume de rios e riachos) que corta as áreas de baixada presentes nas ilhas, as planícies de inundação, onde se formam os ambientes de brejos e poças, devem durar relativamente menos tempo que em ambientes semelhantes no continente. Isso poderia favorecer que a reprodução nas ilhas ocorra em indivíduos relativamente mais jovens e, conseqüentemente, menores.

Essa hipótese poderia ser testada de pelo menos dois modos. Primeiramente, através de estudos comparados de marcação e recaptura de juvenis no continente e nas ilhas. A expectativa seria observar que os indivíduos nas ilhas entrariam nos agregados reprodutivos mais rapidamente que seus parentes do continente. Outra forma de se testar tal hipótese envolveria o uso de estudos da morfologia dos ossos, no qual se espera que

o grau de ossificação dos ossos endocondriais (*e.g.* fêmur, falanges, etc.) de indivíduos insulares deve ser menor naqueles indivíduos oriundos de populações insulares, que alcançariam maturidade reprodutiva com menor tamanho corporal e possuindo mais cartilagens devido à menor idade óssea relativa. Esses estudos deveriam ser acompanhados por uma análise da disponibilidade de ambientes para reprodução nas diferentes localidades. Em se confirmando a segunda hipótese apresentada, documentar-se-ia o primeiro caso relacionando seleção natural e heterocronia como modelo para explicar diferenças de tamanho de animais insulares.

Com base na análise combinada da batimetria das Baías de Sepetiba-Ilha Grande e da variação das oscilações do nível médio marinho (ver Figura 4), é possível estabelecer que o isolamento das ilhas aqui investigadas ocorreu em escalas temporais diferentes. Assim, a Ilha Grande se isolou primeiro, há cerca de 10.000 anos, seguida pela Ilha da Marambaia e Ilha de Itacuruçá, esta última tendo sido isolada há aproximadamente 7.000 anos. Esses períodos diferenciados de isolamento podem ter tido implicações profundas na dinâmica genética das populações dessas ilhas e também no tempo para que os efeitos do isolamento se manifestem. Além disso, o tamanho da ilha parece ser negativamente correlacionado com o tamanho do corpo, visto que os indivíduos da ilha maior (Ilha Grande) possuem os menores tamanhos corporais e os da menor ilha (Ilha de Itacuruçá) apresentam os maiores tamanhos. A distância da ilha em relação ao continente parece não influenciar o tamanho do corpo, já que a Ilha da Marambaia é a mais afastada do continente e não possui os menores indivíduos. Entretanto, para se confirmar estas hipóteses, seria necessária a análise de populações oriundas de um número maior de ilhas, o que não é possível devido à ausência de *R. ornata* nas demais ilhas da Costa Verde.

Entre as populações insulares de *R. ornata*, a da Ilha de Itacuruçá foi a que menos se diferenciou morfometricamente das populações continentais. Aqui, duas hipóteses alternativas podem ser utilizadas para explicar a baixa diferenciação. A ilha de Itacuruçá é a única das três estudadas que possui a espécie *Rhinella icterica*, uma espécie co-genérica de porte maior e que utiliza praticamente os mesmos ambientes de *R. ornata* (Izecksohn & Carvalho-e-Silva 2001). Sabe-se que a redução da competição interespecífica é um fator importante para o relaxamento das pressões seletivas, promovendo o aumento ou a redução do tamanho do corpo (Lomolino 2005), e este pode ser um fator que favoreceu a variação de tamanho das populações da Ilha Grande e Ilha da Marambaia. A presença de *R. icterica* na Ilha de Itacuruçá estabelece pressões seletivas semelhantes às encontradas no continente, sendo este um fator possivelmente associado à não variação de tamanho apresentada pela população de *R. ornata* em relação às populações do continente.

Hipóteses alternativas que podem explicar a semelhança em tamanho da população da Ilha de Itacuruçá em relação às populações continentais associam-se à proximidade da ilha com o continente e a baixa profundidade do canal entre eles (aproximadamente 5 metros). A proximidade do continente estaria associada ao menor tempo de isolamento desta ilha quando comparada à Ilha Grande e à Ilha da Marambaia e, associada à baixa profundidade do canal que a separa do continente, poderiam favorecer a dispersão de indivíduos para esta ilha, carreados através de inundações. Measey *et al.* (2007) observaram que o aporte de água dos rios Niger e Congo, na África, influencia a salinidade da água do oceano onde estes desembocam, que varia em função dos períodos de seca e de chuva. No mês de fevereiro, estação chuvosa, a salinidade da água do oceano reduziu consideravelmente em relação ao mês de julho, estação seca. Com isso, as ilhas Bioko, Príncipe e São Tomé, localizadas no Golfo da

Guiné, permanecem circundadas por água salobra durante os períodos chuvosos e, com o grande aporte de água doce, os anfíbios do continente podem ser carreados até as ilhas através de *rafting*. É importante ressaltar que a ilha mais próxima ao continente, Ilha Bioko, dista do mesmo 32 km e é separada por um canal de aproximadamente 60 m de profundidade. (Measey *et al.* 2007). Embora as ilhas africanas sejam separadas do continente por uma distância muito superior àquela que separa a Ilha de Itacuruçá do continente, e a vazão do rio Guandu seja menor que a dos rios Niger e Congo, é grande a possibilidade deste rio influenciar a salinidade das águas oceânicas mais próximas ao continente, principalmente no entorno da ilha de Itacuruçá, que dista aproximadamente 8 km da foz do rio Guandu (Figura 14). Com isso, em grandes enxurradas, mesmo indivíduos intolerantes à água salgada, como os anfíbios, poderiam ser carreados através dessas “pontes” de água doce. Além disso, girinos de *Rhinella ornata* já foram observados em águas salobras (Pombal & Gordo 2004; Silva, comunicação pessoal). Portanto, a proximidade da ilha em relação ao continente, a baixa profundidade do canal que os separam e a baixa salinidade da água que circunda a ilha podem facilitar eventos de dispersão e, conseqüentemente, promover o fluxo gênico entre as populações da Ilha de Itacuruçá e do continente, homogeneizando-as.

Além da variação morfométrica entre populações insulares e continentais, também foi observada variação de tamanho entre as populações amostradas no continente. Uma possível explicação para essa diversidade morfométrica também estaria associada às variações do nível marinho. Algumas das amostras do continente são oriundas de localidades de baixadas relativamente próximas ao mar (Duque de Caxias e Tanguá). Já as amostras da Floresta da Tijuca, no Rio de Janeiro e Cachoeira de Itingussú, Coroa Grande, em Itaguaí, são oriundas de localidades mais elevadas. Portanto, essas últimas populações, provavelmente, também estiveram isoladas do continente, há 5.200 anos,

quando o nível do mar estava aproximadamente cinco metros acima do nível atual. Em contrapartida, a população de Seropédica, possivelmente, não sofreu as conseqüências das oscilações marinhas e manteve o fluxo genético constante com populações que ocupavam áreas contínuas relativamente maiores. As oscilações climáticas durante o Pleistoceno, combinadas com sua complexidade geológica e topográfica, produziram uma extrema heterogeneidade dos habitats ao longo da costa Atlântica brasileira, cada um deles com histórias distintas (Suguio *et al.* 2005). Esta heterogeneidade deve ter resultado em modificações da diversidade biológica, com extinções locais (Carnaval *et al.* 2009) ou subdivisões das populações, como o caso investigado aqui, provocando o aumento da diversidade morfológica e/ou molecular (Almeida *et al.* 2005; Fitzpatrick *et al.* 2009). Já as populações de baixada podem representar re-colonizações mais recentes. Carnaval *et al.* (2009) sugerem um processo semelhante para explicar a diversidade genética de populações de *Hypsiboas albomarginatus*, *H. faber* e *H. semilineatus*, que ocorrem ao longo da costa brasileira.



Figura 14. Imagem de satélite mostrando a proximidade entre a foz do rio Guandu e a Ilha de Itacuruçá. Fonte: Google maps.

Entre as populações estudadas, os indivíduos de Seropédica foram aqueles que apresentaram os maiores valores médios, sendo aproximadamente 25% maiores e 60% mais pesados que os indivíduos da Ilha Grande (Figura 9; Anexo 2). Estes valores mostram uma grande discrepância em relação a qualquer outra população analisada, gerando dúvidas sobre a natureza taxonômica desta amostragem. Para testar se a população de Seropédica representa uma espécie distinta de *Rhinella ornata*, estudos moleculares e morfológicos, incluindo osteologia e miologia, seriam necessários.

Considerações finais

Embora as variações morfométricas encontradas aqui possam ser indicativas de que as populações insulares da Costa Verde poderiam ser reconhecidas como espécies distintas, essa possibilidade deve ser avaliada com cautela e o reconhecimento de que, pelo menos neste caso, a regra insular se aplica, torna a questão ainda mais delicada. Na Ilha da Marambaia existe uma espécie reconhecidamente endêmica, *Leptodactylus marambaiae*. Embora nenhum autor tenha tentado explicar sua distribuição tão restrita, duas hipóteses são possíveis. Uma delas é que esta espécie se diferenciou *in loco* associada aos eventos de variação do nível marinho. A segunda possibilidade é que esta espécie apresenta distribuição relictual. Neste caso, as variações do nível médio marinho teriam causado extinções em todos os seus locais de ocorrência, exceto na Ilha da Marambaia. Uma hipótese semelhante é utilizada para explicar a distribuição atual de *Liolaemus lutzae* (Vanzolini e Ab'Saber 1968). Além disso, uma filogenia para as espécies do gênero *Leptodactylus* indica que *L. marambaiae* é mais proximamente relacionada à *L. jolyi* (Ponssa 2008), uma espécie com distribuição no Rio Grande do Sul, rejeitando em parte a primeira hipótese, que dependeria de encontrar a espécie irmã mais próxima geograficamente. Para as populações de anfíbios insulares do Estado de São Paulo, as espécies recentemente descritas são *Scinax alcatraz* (Lutz 1973), *Scinax peixotoi* (Brasileiro *et al.* 2007a), *Scinax faivovichii* (Brasileiro *et al.* 2007c) e *Cycloramphus faustoi* (Brasileiro *et al.* 2007b), que representam espécies endêmicas destas ilhas, as hipóteses para explicar esses endemismos seriam as mesmas apresentadas acima.

Duas espécies recentemente descritas só são conhecidas para a Ilha Grande, *Procerathophrys tupinamba* (Prado & Pombal 2008) e *Hylodes fredii* (Canedo &

Pombal 2007) embora não se saiba ainda se são endêmicas ou não. Em ambos os casos há grande semelhança com espécies continentais (*Procerathophrys appendiculata* e *Hylodes phyllodes*, respectivamente) e o tamanho está entre as variáveis que mais distinguem essas espécies das formas continentais. Embora não se deva, por esta razão, propor que estas espécies sejam sinônimas das formas continentais, novos estudos devem buscar evidências adicionais que possam corroborar ou refutar o status taxonômico atual. Avaliações morfológicas mais refinadas, análises do canto e de biomoléculas dessas populações podem ajudar na busca de mais informações.

Casos que confirmam esta idéia são descritos para roedores (Almeida *et al.* 2005) e serpentes (Grazziotin *et al.* 2006). Para o roedor semi-aquático, *Nectomys squamipes*, Almeida *et al.* (2005) atribuem que a variabilidade genética entre as populações da Ilha da Marambaia e Ilha Grande acumularam diferenças das populações continentais ao longo do tempo de isolamento, entretanto tais diferenças não são suficientes para descrever novas espécies destas ilhas. Para as jararacas insulares do Estado de São Paulo (*Bothrops insularis* e *B. alcatraz*), no entanto, embora sejam reconhecidas como espécies distintas ecológica e morfológicamente, uma análise filogeográfica utilizando citocromo B indica que seu status taxonômico de espécie é questionável (Grazziotin *et al.* 2006). Portanto, estudos de populações insulares são importantes e a regra insular deve sempre ser levada em consideração para a descrição de novas espécies.

Especiação ou variação por isolamento não ocorre apenas em áreas insulares típicas. Espécies que sobrevivem em áreas fragmentadas habitam um ambiente modificado caracterizado pela redução de área e aumento do isolamento, em relação ao seu hábitat não alterado. Essas características são semelhantes às encontradas em ambientes insulares, e podemos esperar que mudanças morfológicas em resposta à

fragmentação sejam similares às mudanças sofridas por espécies insulares (Millien 2006). Para *Rhinella ornata*, Dixo *et al.* (2009) avaliaram a redução da diversidade genética e a conectividade entre habitats fragmentados, comparando fragmentos florestais pequenos e médios, conectados ou não à áreas florestais através de corredores. Os resultados de Dixo *et al.* (2009) apontaram que o tamanho do fragmento é positivamente correlacionado com a diversidade genética. Além disso, áreas descontínuas representam uma barreira maior para o fluxo gênico entre fragmentos pequenos e médios do que entre populações de áreas contínuas, inclusive para espécies com alta capacidade de dispersão (Dixo *et al.* 2009).

Sabe-se que as espécies possuem uma capacidade intrínseca de mudar rapidamente quando submetidas a uma rápida mudança em seu ambiente e, com isso, sugere-se que o estudo de espécies insulares possa prover conhecimento sobre as adaptações das espécies em condições ambientais alteradas. Portanto, o estudo de ilhas é de fundamental importância, já que muitas espécies constantemente convivem com uma extensiva fragmentação de habitats naturais, principalmente com a acelerada mudança do clima global (Jones *et al.* 2001).

Literatura citada

- Addad, J. & Martins-Neto, M. A. 2000. Deforestation and Coastal Erosion: A Case from East Brazil. *Journal of Coastal Research* 16 (2): 423 – 431.
- Almeida, F. C.; Maroja, L. S.; Moreira, M. A. M.; Seuánez, H. N. & Cerqueira, R. 2005. Population structure and genetic variability of mainland and insular populations of Neotropical water rat, *Nectomys squamipes* (Rodentia, Sigmodontinae). *Genetics and Molecular Biology* 28 (4): 693 – 699.
- Alves M. A. S. & Vecchi, M. B. 2009. Birds, Ilha Grande, state of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Check List* 5: 300 – 313.
- Anderson, R. P. & Handley, C. O. Jr. 2002. Dwarfism in insular sloths: biogeography, selection, and evolutionary rate. *Evolution* 56: 1045 – 1058.
- Barbière, E. B. & Kronemberger, D. M. P. 1994. Climatologia do Litoral Sul-Sudeste do Estado do Rio de Janeiro. *Caderno de Geociências*, Rio de Janeiro 12: 57 – 73.
- Belo, W. C.; Dias, G. T. M. & Dias, M. S. 2002. O fundo marinho da Baía da Ilha Grande, RJ: O relevo submarino e a sedimentação do canal central. *Revista Brasileira de Geofísica* 20 (1): 5-15
- Berry, R. J. 1964. The evolution of an island population of the house mouse. *Evolution* 18: 468 – 483.
- Boback, S. M. 2006. A morphometric comparison of island and mainland Boas (*Boa constrictor*) in Belize. *Copeia* 2006 (2): 261 – 267.
- Branner, J. C. 1904. The stome reefs of Brazil, their geological and geographical relations. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College* 44 (Geological Series 7): 1 – 285.

- Brasileiro, C. A.; Haddad, C. F. B.; Sawaya, R. J. & Martins, M. 2007a. A new and threatened species of *Scinax* (Anura: Hylidae) from Queimada Grande Island, southeastern Brazil. *Zootaxa* 1391: 47 – 55.
- Brasileiro, C. A.; Haddad, C. F. B.; Sawaya, R. J. & Sazima, I. 2007b. A new and threatened island-dwelling species of *Cycloramphus* (Anura: Cycloramphidae) from southeastern Brazil. *Herpetologica* 63: 501 – 510.
- Brasileiro, C. A.; Oyamaguchi, H. M. & Haddad, C. F. B. 2007c. A new island species of *Scinax* (Anura; Hylidae) from southeastern Brazil. *Journal of Herpetology* 41: 271 – 275.
- Brochu, C. A. 2006. A New Miniature Horned Crocodile from the Quaternary of Aldabra Atoll, Western Indian Ocean. *Copeia* 2006 (2): 149 – 158.
- Brown, J. H. & Lomolino, M. V. 1998. Biogeography, 2^a ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA.
- Brown, P.; Sutikna, T.; Morwood, M. J.; Soejono, R. P.; Jatmiko, Saptomo, W. W. & Due, R. A. 2004. A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature* 431: 1055 – 1061.
- Caccone, A.; Gibbs, J. P.; Ketmaier, V.; Suatoni, E. & Powell, J. R. 1999. Origin and evolutionary relationships of giant Galapagos tortoises. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences* 96: 13226 – 13228.
- Caccone, A.; Gentile, G.; Gibbs, J. P.; Fritts, T. H.; Snell, H. L.; Betts, J. & Powell, J. R. 2002. Phylogeography and History of Giant Galápagos Tortoises. *Evolution* 56 (10): 2052 – 2066.
- Canedo, C. & Pombal Jr., J. P. 2007. Two new species of torrent frog of the genus *hylodes* (Anura, Hylodidae) with nuptial thumb tubercles. *Herpetologica* 6 (2): 224 – 235.

- Carnaval, A. C.; Hickerson, M. J.; Haddad, C. F. B.; Rodriguez, M. T. & Moritz, C. 2009. *Science* 323: 785 – 789.
- Carvalho, A. L. G.; Araujo, A. F. B. & Silva, H. R. 2007. Lagartos da Marambaia, um remanescente insular de Restinga e Floresta Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotropica* 7 (2): 221 – 226.
- Case, T. J. 1978. A General Explanation for Insular Body Size Trends in Terrestrial Vertebrates. *Ecology* 59 (1): 1 – 18.
- Case, T. J. & Schwaner, T. D. 1993. Island/mainland body size differences in Australian varanid lizards. *Oecologia* 94: 102 – 109.
- Castellano, S.; Rosso, A.; Doglio, S. & Giacoma, C. 1999. Body size and calling variation in the Green toad (*Bufo viridis*). *Journal of Zoology, London* 248: 83-90.
- Colinvaux, P. A. 1997. An arid Amazon? *Trends in Ecology and Evolution* 12: 318 – 319.
- Corrêa, I. C. S. 1990. Analyse morphostructurale et évolution paléogéographique de la plate-forme continentale Atlantique Sud Brésiliense (Rio Grande do Sul, Brésil). Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 314pp.
- Costa, R. N. L. T. R. 1992. Pensar o mar para poder pescar: o espaço da pesca de litoral na Baía de Sepetiba, RJ. Tese de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Univ. Fed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 181p.
- Darwin, C. 1859. On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. Jogn Murray, London.
- Dias, G. T. M.; Pereira, M. de A. A. & Dias, I. de M. 1990. Mapa geológico: geomorfológico da Baía da Ilha Grande e Zona Costeira adjacente, esc. 1:80000. Universidade Federal Fluminense. Relatório Interno LAGEMAR.

- Dixo, M.; Metzger, J. P.; Morgante, J. S. & Zamudio, K. R. 2009. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. *Biological Conservation* 142: 1560 – 1569.
- Duellman, W. E. 1970. The hylid frogs of Middle America. *Monograph of the Museum of Natural History, University of Kansas* 1: 753pp.
- Duellman, W. E. & Trueb, L. 1994. *Biology of Amphibians*. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 670p.
- Esbérard, C. E. L.; Nogueira, T.J.; Luz, J.L.; Melo, G.G.; Mangolin, R.; Jucá, N.; Raíces, D.S.L.; Enrici, M.C. & Bergallo, H.G. 2006. Morcegos da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoociências* 8: 147-153.
- Fitzpatrick, S. W.; Brasileiro, C. A.; Haddad, C. F. B. & Zamudio, K. R. 2009. Geographic variation in genetic structure of an Atlantic Coastal Forest frog reveals regional differences in habitat stability. *Molecular Ecology* 18: 2877 – 2896.
- Foster, J. B. 1963. The evolution of native land mammals of the Queen Charlotte Islands and the problem of insularity. PhD. Thesis, University of Columbia, Vancouver.
- Foster, J. B. 1964. The evolution of mammals of island. *Nature* 202: 234 – 235.
- Foster J. B. 1965. The evolution of mammals on the Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Occasional Papers of the British Columbia Provincial Museum* 14: 1 – 130.
- Goes, H. A. 1942. A baixada de Sepetiba. 355pp.
- Gordon, K. R. 1986. Insular evolutionary body size trends in *Ursus*. *Journal of Mammalogy* 67: 395 – 399.

- Grant, P. R. 1965. The adaptive significance of some size trends in island birds. *Evolution* 19: 355 – 367.
- Grazziotin, F. G.; Monzel, M.; Echeverrigaray, S. & Bonatto, S. L. 2006. Phylogeography of the Bothrops jararaca complex (Serpentes: Viperidae): past fragmentation and island colonization in the Brazilian Atlantic Forest. *Molecular Ecology* 15: 3969 – 3982.
- Greenway, J. C. Jr. 1967. Extinct and vanishing birds of the world. Dover Publications, New York.
- Haddad, C. F. B. & Prado, C. P. A. 2005. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55 (3): 207 – 217.
- Hayes, F. E.; Beaman, K. R. Hayes, W. K.; Harris Jr., L. E. 1988. Defensive behavior in the Galapagos tortoise (*Geochelone elephantopus*), with comments on the evolution of insular gigantism. *Herpetologica* 44 (1): 11 – 17.
- Heaney, L. R. 1978. Island area and body size of insular mammals: evidence from the tri-colored squirrel (*Calliosciurus prevosti*) of Southwest Africa. *Evolution* 32: 29 – 44.
- Herczeg, G.; Gonda, A. & Merilä, J. 2009. Evolution of gigantism in nine-spined sticklebacks. *Evolution* 63 (12): 3190 – 3200.
- Hewitt, G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405: 907 – 913.
- Izecksohn, E. & Carvalho-e-Silva, S. P. 2001. Anfíbios do município do Rio de Janeiro. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 148pp
- Jones, P. D.; Osborn, T. J. & Briffa, K. R. 2001. The evolution of climate over the last millennium. *Science* 292: 662 – 667.

- King, R. B. 1989. Body size variation among island and mainland snake populations. *Herpetologica* 45 (1): 84 – 88.
- Klauber, L. M. 1949. Some new and revived subspecies of rattle-snakes. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 11: 61 – 116.
- Krzanowski, A. 1967. The magnitude of islands and the size of bats (Chiroptera). *Acta Zoologica Cracoviensia* 15 (11): 281 – 348.
- Lack, D. 1947. Darwin's finches. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lawlor, T. E. 1982. The evolution of body size in mammals: evidence from insular populations in Mexico. *American Naturalist* 119: 54 – 72.
- Lister, A. M. 1989. Rapid dwarfing of red deer on Jersey in the last interglacial. *Nature* 342: 539 – 542.
- Lomolino, M. V. 1985. Body size of mammals on islands: the island rule re-examined. *American Naturalist* 125: 310 – 316.
- Lomolino, M. V. 2005. Body size evolution in insular vertebrates: generality of the island rule. *Journal of Biogeography* 32: 1683 – 1699.
- Lomolino, M. V.; Sax, D. F.; Riddle, B. R. & Brown, J. H. 2006. The island rule and a research agenda for studying ecogeographical patterns. *Journal of Biogeography* 33: 1503 – 1510.
- Lutz, B. 1973. New Brazilian forms of *Hyla*. I. Two new races of *H. catharinae*. *Boletim do Museu Nacional. Nova Série, Zoologia. Rio de Janeiro* 288: 1 – 7.
- Marquet, P. A. & Taper, M. L. 1998. On size and area: Patterns of mammalian body size extremes across landmasses. *Evolutionary Ecology* 12: 127 – 139.
- Martin, L. & Dominguez, M. L. 1995. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years along the central Brazilian coast. *Proceedings of the International Conference "Coastal Change"* 95: 443 – 445.

- Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J. M.; Dominguez, J. M. L. & Bittencourt, A. C. S. P. 1996. Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central Brazilian coast: Consequences on coastal plain construction. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 68: 303-354.
- Martin, L.; Dominguez, J. M. L. & Bittencourt, A. C. S. P. 2003. Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. *Journal of Coastal Research* 19 (1): 101 – 124.
- McArthur, R. H. & Wilson, J. W. 1967. The theory of island biogeography. *Monographs in Population Biology* 1. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- McNab, B. K. 1994. Resource use and the survival of land and freshwater vertebrates on oceanic island. *American Naturalist* 144: 643 – 660.
- Measey, G. J.; Vences, M.; Drewes, R. C.; Chiari, Y.; Melo, M. & Bourles, B. 2007. Freshwater paths across the ocean: molecular phylogeny of the frog *Ptychocheilichthys newtoni* gives insights into amphibian colonization of oceanic islands. *Journal of Biogeography* 34: 7 – 20.
- Meiri, S.; Dayan, T. & Simberloff, D. 2004. Body size of insular carnivores: little support for the island rule. *American Naturalist* 163: 469 – 479.
- Meiri, S. 2007. Size evolution in island lizards. *Global Ecology and Biogeography* 16: 702 – 708.
- Meiri, S.; Raia P. & Phillimore A. B. 2011. Slaying dragons: limited evidence for unusual body size evolution on islands. *Journal of Biogeography* 38: 89–100.
- Mendelson, J. R. 1994. A new species of toad (Anura: Bufonidae) from the lowlands of Eastern Guatemala. *Occasional Papers of Museum of Natural History, University of Kansas* 166: 1 – 21.

- Menezes, L. F. T. & Araújo, D. S. D. 2005. Formações vegetais da Restinga da Marambaia. In História Natural da Marambaia (L.F.T. Menezes, A.L. Peixoto & D.S.D. Araujo, orgs.). Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, p.67-120.
- Millien, V. 2006. Morphological evolution is accelerated among island mammals. *PLOS Biology* 4 (10): 1863 – 1868.
- Morwood, M. J. Soejono, R. P.; Roberts, R. G.; Sutikna, T.; Turney, C. S. M.; Westaway, K. E.; Rink, W. J.; Zhao, J. X.; Van den Bergh, G. D.; Due, T. A.; Hobbs, D. R.; Moore, M. W.; Bird, M. I. & Fifield, L. K. 2004. Archaeology and age of a new hominin from Flores in eastern Indonesia. *Nature* 431: 1087 – 1091.
- Moura, J. A.; Dia-Brito, D.; Brönnimann, P. 1982. Modelo ambiental de laguna costeira clástica – Baía de Sepetiba, RJ. *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil*: 135-152.
- Oliveira, R. R. 2002. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. *Rodriguésia* 53 (82): 33 – 58.
- Pereira, S. D. 1998. Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba – RJ. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, xii + 120 pp.
- Petren, K. & Case, T. J. 1997. A phylogenetic analysis of body size evolution and biogeographic in chuckwallas (*Sauromalus*) and other iguanines. *Evolution* 51:206 – 219.
- Pombal Jr., J. P. & Gordo, M. 2004. Anfíbios anuros da Juréia, pp 243 – 256. In: Marques, O. A. V. & Dulepa, W. (eds.). Estação Ecológica Juréia-Itatins. Ambiente Físico, Flora e Fauna. Ribeirão Preto, Holos Editora.

- Ponssa, M. L. 2008. Cladistic analysis and osteological descriptions of the frog species in the *Leptodactylus fuscus* species group (Anura, Leptodactylidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 46 (3): 249 – 266.
- Prado, G. M. & Pombal Jr., J. P. 2008. Espécies de *Proceratophrys* Miranda-Ribeiro, 1920 com apêndices palpebrais (Anura; Cycloramphidae). *Arquivos de Zoologia* 39 (1): 1 – 85.
- Redfield, J. A. 1976. Distribution, abundance, size, and genetic variation of *Peromyscus maniculatus* on the Gulf Islands of British Columbia. *Canadian Journal of Zoology* 54: 463 – 474.
- Ribeiro, R. S.; Egito, G. T. B. T. & Haddad, C. F. B. 2005. Chave de identificação: anfíbios anuros da vertente de Jundiá da Serra do Japi, Estado de São Paulo. *Biota Neotropica* 5 (2): 235 – 247.
- Rohling, E. J.; Fenton, M.; Jorissen, F. J.; Bertrand, P.; Ganssen, G. & Caulet, J. P. 1998. Magnitudes of sea-levels lowstands of the past 500,000 years. *Nature* 394: 162 – 165.
- Roncarati, H. & Menezes, L.F.T. 2005. Marambaia, Rio de Janeiro: origem e evolução. In: Menezes, L.F.T.; Peixoto; A.L. & Araujo, D.S.D. (Orgs.). *História Natural da Marambaia*, pp. 15-38. Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- Schillaci, M. A.; Meijaard, E. & Clark, T. 2009. The effect of island area on body size in a primate species from the Sunda Shelf Islands. *Journal of Biogeography* 36: 362 – 371.
- Schoener, T. 1970. Size patterns in West Indian *Anolis* lizards. II. Correlation with the sizes of particular sympatric species – displacement and convergence. *American Naturalist* 104: 155 – 174.

- SEMADS/RJ 1998. Macroplano de Saneamento e Gestão Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba. Consórcio ETEP/ECOLOGUS/SM GROUP, Rio de Janeiro.
- Silva, H. R.; Carvalho, A. L. G. & Bittencourt-Silva, G. B. 2008. Frogs of Marambaia: a naturally isolated Restinga and Atlantic Forest remnant of southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 8 (4): 167 – 174.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J., 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3^a Ed. W. H. Freeman and Co., New York.
- Suguio, K. 1999. Recent progress in Quaternary geology of Brazil. *Episodes*, 22 (3): 217-220.
- Suguio, K. & Martin, L. 1976. Presença de tubos fósseis de *Callianassa* nas formações quaternárias do litoral paulista e sua utilização na reconstrução paleoambiental. *Boletim IG, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo* 7: 17-26.
- Suguio, K. & Tessler, M. G. 1992. Depósitos quaternários da planície costeira de Cananéia-Iguape (SP). *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, São Paulo* 9: 1-33.
- Suguio, K.; Rodrigues, S. A.; Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M. & Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências* 15 (4): 273-286.
- Suguio, K.; Martin, L. & Flexor, J. M. 1988. Quaternary sea levels of the Brazilian coast: recent progress. *Episodes* 11 (3): 203 – 208.
- Suguio, K.; Angulo, R. J.; Carvalho, A. M.; Corrêa, I. C. S.; Tomazelli, L. J.; Vilwock, J. A. & Vital, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Orgs). Quaternário do Brasil, pp. 114–129. Ribeirão Preto: ABEQUA / Holos Editora, 382p.

- Tessler, M. G. & Mahiques, M. M. (orgs.) 1996. Levantamento bibliográfico sobre a Geologia Marinha no Brasil (1841-1992). Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), 320pp.
- Van Andel, T. H. & Laborel, J. 1964. Recent high sea-level stand near Recife, Brasil. *Science*, 145: 580-581.
- Van Couvering, J. A. 1997. Preface: the new Pleistocene. In: J. A. Van Couvering (ed.). The Pleistocene boundary and the beginning of the Quaternary. World and Regional Geology, 9. Cambridge University Press: 296 pp.
- Van Valey, L. 1973. A new evolution law. *Evolutionary Theory* 1: 1 – 33.
- Vanzolini, P. E. & Ab'Saber, A. N. 1968. Divergence rate in South American lizards of the genus *Liolaemus* (Sauria, iguanidae). *Papéis Avulsos de Zoologia* 21: 205-208.
- Vartanyan, S. L.; Arslanov, K. A.; Tertychnaya, T. V. & Chernov, S. B. 1995. Radiocarbon dating evidence for mammoths on Wrangel Island, Arctic Ocean, until 2000 B.C. *Radiocarbon* 37: 1- 6.
- Vidal, M. A.; Veloso, A. & Méndez, M. A. 2006. Insular morphological divergence in the Lizard *Liolaemus pictus* (Liolaemidae). *Amphibia-Reptilia* 27: 103 – 111.
- Vilas-Boas, G. S.; Bittencourt, A. C. S. P & Martin, L. 1985. Leques aluviais pleistocênicos da região costeira do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências* 15 (3): 255-258.
- Wallace, A. R. 1857. On the natural history of the Aru Islands. *Annals and Magazine of Natural History* 20 (Suppl.): 473 – 485.
- Wassersug, R. J.; Yang, H.; Sepkoski Jr., J. J. & Raup, D. M. 1979. The evolution of body size on islands: a computer simulation. *American Naturalist* 114: 287 – 295.

Wu, Z.; Li, Y. & Murray, B. R. 2006. Insular shifts in body size of rice frogs in the Zhoushan Archipelago, China. *Journal of Animal Ecology* 75: 1071 – 1080.

Anexos

Anexo I. Lista de espécimes de *Rhinella ornata* analisadas no presente trabalho. Todos os espécimes estão depositados na Coleção Herpetológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RU) ou na Coleção Herpetológica do Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ).

Localidade	Vouchers
Duque de Caxias	MNRJ 53072, 53310, 53712, 54155, 54156, 54157, 54158, 54159, 54160, 54161, 54162, 54163, 54164, 54165, 54166, 54167, 54168, 54169.
Ilha Grande (Angra dos Reis)	RU 3495, 5224, 5226, 5227, 5228, 5230, 5231, 5232, 5235, 5236, 5240, 5141, 5242, 5244, 5246, 5247, 5249, 5250, 5251, 5254, 5257, 5259, 5260, 5429, 5430, 5560, 6973, 6974, 6975.
Ilha de Itacuruçá (Mangaratiba)	RU 4300, 3489, 3490, 3491, 3492, 3753, 3888, 3889, 3890, 4299, 4301, 4302, 4303, 4305, 4309, 4310, 4311, 4312, 4313, 4314, 4315, 4316, 4317, 4967, 4968, 4969, 4970, 4971, 5419, 5421, 6066.
Ilha da Marambaia (Mangaratiba)	RU 162, 164, 165, 166, 168, 169, 467, 469, 470, 3646, 3760, 3761, 4837, 4840, 4842, 4843, 4844, 4845, 4846, 4848, 4850, 4852, 4853, 4854, 4855, 4856, 4858, 4860, 4881, 4891.
Itaguaí	RU 5963, 5965, 5967, 5968, 6016, 6017, 6051, 6052, 6068, 6095, 6096, 6169.
Rio de Janeiro	MNRJ 2537, 11558, 22021, 22022, 22037, 22038, 34023, 34024, 34025, 39075, 45443, 45444, 45445, 45446, 45447, 45448, 45505, 49136.
Seropédica	RU 3437, 3438, 3439, 3440, 3441, 3442, 3443, 3444, 3445, 5424, 5433, 5434, 5435.
Tanguá	MNRJ 32828, 32829, 32830, 32831, 32832, 32833, 32834, 32835, 43497, 51251, 51252, 51253, 51254, 51255, 51256, 51257, 51258, 51259, 51260, 51261, 51262, 51264, 51265, 51266, 51267, 51268.

Anexo II. Média \pm Desvio Padrão (DP), máximo (Máx) e mínimo (Mín) de todas as variáveis tomadas das populações de *Rhinella ornata* de localidades continentais e insulares no Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil.

	Continente					Ilha		
	Itaguaí (n 12)	Seropédica (n 13)	Tanguá (n 26)	Duque de Caxias (n 18)	Rio de Janeiro (n 21)	Marambaia (n 30)	Itacuruçá (n 31)	Ilha Grande (n 29)
	Média \pm DP (Máx-Mín)							
CRC	63,51 \pm 3,453 (69,28 - 58,23)	77,124 \pm 4,269 (85,7 - 69,82)	65,636 \pm 3,926 (73,02 - 58,33)	64,321 \pm 3,928 (72,1 - 54,44)	67,447 \pm 3,919 (74,57 - 60,03)	60,651 \pm 3,287 (70,29 - 55,48)	69,512 \pm 3,698 (76,66 - 64,46)	57,812 \pm 3,677 (65,45 - 49,6)
LCa	22,786 \pm 1,563 (25,09 - 19,57)	29,539 \pm 1,992 (33,44 - 26,70)	24,158 \pm 1,587 (28,06 - 20,97)	22,938 \pm 1,853 (27,14 - 18,81)	24,969 \pm 1,878 (29,02 - 22,22)	22,034 \pm 1,566 (27,94 - 19,93)	24,623 \pm 1,473 (27,25 - 21,55)	20,067 \pm 1,451 (22,40 - 17,70)
CCa	19,326 \pm 0,865 (20,44 - 17,45)	23,546 \pm 1,039 (25,74 - 22,12)	19,859 \pm 1,288 (23,32 - 17,93)	19,164 \pm 1,270 (21,67 - 16,82)	20,495 \pm 1,292 (22,83 - 18,75)	19,093 \pm 1,009 (21,73 - 17,66)	21,063 \pm 1,037 (23,06 - 18,87)	17,944 \pm 0,997 (20,53 - 16,38)
DIN	2,606 \pm 0,412 (3,18 - 1,95)	3,508 \pm 0,395 (4,11 - 2,71)	3,019 \pm 0,392 (4,02 - 2,19)	2,874 \pm 0,418 (3,56 - 2,18)	3,133 \pm 0,392 (3,80 - 2,42)	2,930 \pm 0,454 (3,85 - 2,27)	3,784 \pm 0,446 (4,7 - 2,99)	2,685 \pm 0,510 (3,94 - 2,10)
DON	4,177 \pm 0,180 (4,45 - 3,81)	5,198 \pm 0,397 (5,93 - 4,69)	4,681 \pm 0,465 (5,70 - 3,60)	4,517 \pm 0,433 (5,33 - 3,71)	4,681 \pm 0,338 (5,37 - 4,17)	4,046 \pm 0,317 (4,95 - 3,47)	4,762 \pm 0,417 (5,70 - 4,05)	3,933 \pm 0,487 (4,64 - 2,75)
DOF	7,470 \pm 0,422 (8,32 - 6,75)	9,125 \pm 0,382 (9,81 - 8,68)	7,734 \pm 0,639 (8,87 - 6,57)	7,571 \pm 0,637 (8,73 - 6,53)	8,133 \pm 0,503 (9,37 - 7,40)	7,178 \pm 0,483 (8,69 - 6,38)	8,465 \pm 0,551 (9,43 - 7,32)	7,125 \pm 0,491 (8,35 - 6,28)

Anexo II. Continuação.

	Continente					Ilha		
	Itaguaí (n 12)	Seropédica (n 13)	Tanguá (n 26)	Duque de Caxias (n 18)	Rio de Janeiro (n 17)	Marambaia (n 30)	Itacuruçá (n 31)	Ilha Grande (n 29)
	Média ± DP (Máx-Mín)							
EIO 1	7,773 ± 0,670 (9,06 - 6,89)	9,136 ± 0,432 (9,80 - 8,48)	8,207 ± 0,511 (9,13 - 7,17)	7,795 ± 0,621 (8,89 - 6,63)	8,401 ± 0,567 (9,87 - 7,43)	7,192 ± 0,446 (8,31 - 6,56)	7,787 ± 0,501 (8,79 - 6,78)	6,855 ± 0,506 (7,93 - 5,21)
EIO 3	18,116 ± 0,773 (19,03 - 16,34)	22,055 ± 1,343 (24,27 - 19,88)	19,250 ± 1,150 (21,9 - 17,37)	18,343 ± 1,265 (20,79 - 15,70)	19,637 ± 1,262 (21,88 - 17,96)	18,106 ± 0,987 (21,66 - 16,34)	19,511 ± 1,030 (22,18 - 18,07)	16,741 ± 0,943 (18,57 - 14,82)
DO	10,558 ± 0,484 (11,64 - 9,83)	11,900 ± 0,510 (12,75 - 10,95)	11,117 ± 0,657 (12,47 - 9,96)	10,626 ± 0,572 (11,63 - 9,24)	11,156 ± 0,567 (12,17 - 10,06)	10,752 ± 0,511 (11,85 - 9,77)	11,107 ± 0,577 (12,48 - 10,05)	10,125 ± 0,568 (11,23 - 9,11)
DTi 1	3,753 ± 0,404 (4,64 - 3,12)	4,720 ± 0,323 (5,19 - 4,16)	3,888 ± 0,361 (4,44 - 3,26)	3,776 ± 0,396 (4,84 - 2,95)	4,122 ± 0,291 (4,55 - 3,44)	3,656 ± 0,327 (4,47 - 3,09)	3,930 ± 0,256 (4,34 - 3,02)	3,304 ± 0,325 (3,86 - 2,62)
DTi 2	4,301 ± 0,407 (5,08 - 3,76)	5,341 ± 0,409 (6,08 - 4,76)	4,433 ± 0,406 (5,35 - 3,68)	4,472 ± 0,395 (4,99 - 3,44)	4,738 ± 0,421 (5,35 - 3,92)	4,469 ± 0,218 (4,89 - 4,10)	4,656 ± 0,313 (5,20 - 3,98)	3,829 ± 0,458 (4,71 - 2,77)
GLP 1	11,998 ± 1,924 (16,68 - 9,49)	14,097 ± 1,372 (17,12 - 12,21)	12,259 ± 1,325 (14,28 - 10,01)	11,660 ± 1,118 (13,03 - 8,30)	12,089 ± 1,070 (13,49 - 9,93)	11,753 ± 1,095 (14,06 - 9,92)	12,680 ± 1,780 (15,66 - 9,05)	10,906 ± 1,115 (12,97 - 8,71)
GLP 2	4,413 ± 0,596 (5,41 - 3,23)	5,992 ± 0,928 (7,05 - 3,93)	4,636 ± 0,686 (6,16 - 3,51)	5,069 ± 0,756 (6,95 - 3,86)	4,644 ± 0,769 (5,92 - 3,28)	4,204 ± 0,699 (6,34 - 3,08)	4,173 ± 0,625 (5,59 - 3,40)	3,607 ± 0,518 (4,90 - 2,64)

Anexo II. Continuação.

	Continente					Ilha		
	Itaguaí (n 12)	Seropédica (n 13)	Tanguá (n 26)	Duque de Caxias (n 18)	Rio de Janeiro (n 17)	Marambaia (n 30)	Itacuruçá (n 31)	Ilha Grande (n 29)
	Média ± DP (Máx-Mín)							
CMa	15,994 ± 0,849 (17,35 - 14,58)	18,092 ± 0,699 (19,49 - 17,08)	16,052 ± 0,968 (18,00 - 14,40)	15,765 ± 1,169 (17,65 - 13,42)	15,879 ± 0,991 (18,33 - 14,63)	15,220 ± 0,584 (16,38 - 14,10)	16,779 ± 0,913 (18,57 - 15,08)	14,615 ± 0,942 (15,91 - 11,76)
CFe	27,886 ± 1,241 (29,77 - 25,61)	35,115 ± 1,683 (37,92 - 32,09)	28,203 ± 1,980 (31,99 - 23,68)	28,059 ± 2,198 (32,38 - 23,78)	29,316 ± 2,435 (34,26 - 26,16)	27,021 ± 1,449 (31,54 - 23,87)	29,489 ± 1,625 (32,61 - 26,54)	24,477 ± 2,106 (29,72 - 20,21)
CTi	28,439 ± 1,592 (31,1 - 25,45)	33,585 ± 1,222 (35,8 - 31,85)	28,706 ± 1,413 (31,41 - 26,41)	28,234 ± 1,717 (31,57 - 24,51)	29,411 ± 1,999 (35,65 - 26,37)	26,692 ± 1,218 (31,56 - 25,24)	29,766 ± 1,329 (32,86 - 27,12)	25,624 ± 1,623 (29,12 - 22,00)
CTa	15,568 ± 1,178 (17,61 - 13,75)	18,364 ± 1,124 (20,49 - 16,72)	15,943 ± 1,201 (17,95 - 13,92)	14,923 ± 1,045 (16,98 - 13,14)	16,251 ± 1,046 (19,11 - 14,82)	14,162 ± 0,654 (16,55 - 13,13)	16,130 ± 0,750 (18,19 - 14,83)	14,051 ± 0,884 (15,89 - 11,94)
CPe	26,509 ± 1,497 (29,07 - 24,14)	29,675 ± 1,671 (32,94 - 26,75)	25,846 ± 1,902 (28,88 - 20,68)	26,412 ± 2,290 (30,20 - 21,81)	26,658 ± 1,853 (31,94 - 24,02)	25,143 ± 1,159 (28,34 - 23,08)	26,985 ± 1,855 (30,55 - 23,07)	23,785 ± 1,624 (27,02 - 19,91)
Peso	22,083 ± 4,481 (27,00 - 13,00)	44,923 ± 7,911 (60,00 - 31,00)	27,462 ± 6,114 (42,00 - 20,00)	27,444 ± 4,973 (39,00 - 17,00)	30,944 ± 7,320 (47,00 - 19,00)	20,500 ± 4,377 (36,00 - 15,00)	30,935 ± 5,347 (44,00 - 22,00)	16,690 ± 3,263 (23,00 - 12,00)