



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

JULIANA DE CARVALHO GAETA

**COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DAS POPULAÇÕES DE LAGOSTAS DO ATOL
DAS ROCAS**

FORTALEZA

2014

JULIANA DE CARVALHO GAETA

**COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DAS POPULAÇÕES DE LAGOSTAS DO ATOL
DAS ROCAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Oceanografia Biológica. Subárea: Ecologia de Recursos Pesqueiros.

Orientador: Prof. Dr. Raúl Cruz Izquierdo

FORTALEZA

2014

JULIANA DE CARVALHO GAETA

**COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DAS POPULAÇÕES DE LAGOSTAS DO ATOL
DAS ROCAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Oceanografia Biológica. Subárea: Ecologia de Recursos Pesqueiros.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raúl Cruz Izquierdo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

PhD. Ana Carolina Oliveira de Meirelles
Associação de Pesquisa e Preservação de Ecossistemas Aquáticos (AQUASIS)

Prof. Dr. Vicente Vieira Faria
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico a todos que sempre acreditaram no meu potencial, em especial aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Raúl Cruz Izquierdo, meu orientador e pai científico, por todos os ensinamentos e por acreditar no meu potencial. Foi fundamental seu apoio e colaboração no desenvolvimento desta pesquisa. Obrigada por nem sequer pensar em desistir da nossa proposta inicial de mestrado mesmo sabendo que não seria fácil executar o trabalho que nos propusemos sem financiamento. Obrigada por ser o pesquisador e professor que és e compartilhar todo o conhecimento e experiência comigo e outros alunos.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade acadêmica fornecida através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Agradeço pelo corpo docente e estrutura física disponibilizada durante os dois anos de Mestrado no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR).

À Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) pela concessão de bolsa de estudos no Mestrado, permitindo que a formação acadêmica e execução da pesquisa fossem executadas com êxito.

À Reserva Biológica do Atol das Rocas em especial à Chefe Maurizélia de Brito Silva e a toda a equipe envolvida (Jarian, Zeca, Ceará, Thaís e todos os demais), por todo apoio logístico nas expedições e por fornecer a todos os pesquisadores que ali trabalham uma excelente estrutura física da base científica e apoio psicológico e logístico para execução das pesquisas. É um prazer imenso poder trabalhar em um lugar maravilhoso e com uma equipe fantástica como essa.

Aos meus pais, Antonio Carlos Gaeta e Marilene de Carvalho Gaeta, que são os principais responsáveis pela pessoa que sou hoje, pois através da dedicação e educação que me deram foi possível que eu me tornasse a pessoa e profissional que sou hoje. Eu amo vocês e sou imensamente grata por tudo que fizeram e fazem por mim.

Aos meus amigos (antigos e recentes) que acompanharam de perto ou à distância a minha trajetória de vida até aqui. A vida é muito mais alegre com a “presença” de vocês.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma me auxiliaram durante esses dois anos de mestrado, seja academicamente ou não, sem vocês nada disso seria possível.

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas” (Claude Lévi-Strauss).

RESUMO

A perda do habitat natural devido ao aumento da atividade humana nos ecossistemas acarreta na degradação dos mesmos, causa descontroles e afeta o equilíbrio das populações de organismos e, portanto, é considerada a causa principal da taxa de declínio de espécies e extinções de populações. As populações de lagostas vêm sofrendo um declínio evidente nas últimas décadas devido à sobreexploração de seus estoques na costa do Brasil. Uma ferramenta que vem ganhando cada vez mais força para preservar e recompor ambientes degradados é a criação de áreas protegidas. A Reserva Biológica do Atol das Rocas foi a primeira Unidade de Conservação marinha criada no Brasil em 1979 com a finalidade de preservar e evitar maiores danos à biodiversidade e beleza cênica que este ambiente apresenta. As coletas de dados foram realizadas em abril e outubro de 2013 nas piscinas que se formam na baixa-mar no Atol das Rocas durante o período diurno. A amostragem foi realizada através de mergulhos livres (apneia) nos quais era feita uma busca ativa pelas lagostas em seus refúgios percorrendo a área total interna de cada piscina amostrada, mensurando o tempo necessário para a coleta dos dados. Foram encontradas três espécies de lagostas *Panulirus argus* (Latreille, 1804), *Panulirus echinatus* Smith, 1869 e *Parribacus antarcticus* (Lund, 1793). Houve dominância de *P. echinatus* sobre as demais espécies e a abundância desta espécie foi de 0,02 lagostas/m². Estima-se que o potencial máximo de lagostas que podem ocorrer nas piscinas amostradas do Atol das Rocas é de 6.603 lagostas desta espécie. A espécie *P. argus* ocorreu em baixas abundâncias variando entre 0,00035 e 0,001 lagostas/m² nas águas do Atol das Rocas. Os dados ecológicos coletados *in situ* no mês de abril se ajustaram ao modelo proposto neste trabalho para avaliar populações de lagostas, porém, os dados do mês de outubro apresentaram um padrão indefinido e que não se ajusta ao modelo. São necessárias mais amostragens para verificar se algum fator não mensurado no momento pode estar influenciando a aplicação do modelo. A Reserva Biológica do Atol das Rocas atua como concentrador de pós-larvas puerulus, juvenis e adultos de lagostas devido à restrição imposta pela batimetria com profundidades próximas de 4000 m e ao sistema de correntes local. Sugere-se que estudos sejam realizados a respeito dos padrões de recrutamento larval, das correntes oceânicas localmente e da conectividade de populações de lagostas no Brasil para avaliar se o Atol das Rocas está atuando como exportador de larvas de lagostas, ou apenas fornecendo larvas para o autorecrutamento dessas populações.

Palavras-chave: Lagosta. *Panulirus*. Reserva Biológica do Atol das Rocas. Brasil.

ABSTRACT

The loss of natural habitat due to increased human activity on ecosystems causes the degradation of the same, cause upsets and affects the balance of populations of organisms and thus is considered the main cause of the decline rate of species extinctions and population. Lobster populations have suffered a noticeable decline in recent decades due to overexploitation of its stocks offshore Brazil. A tool that is gaining more strength to preserve and restore degraded environments is the creation of protected areas. The Rocas Atoll was the first Marine Conservation Unit created in Brazil in 1979 with the aim to preserve and prevent further damage to biodiversity and scenic beauty within this environment. The data collections were held in april and october 2013 in the pools formed during low tide in the Rocas Atoll at daytime. Sampling was carried out through free diving (apnea) in which the researcher actively sought by lobsters in their refuges covering a total internal area of each sampled pool, measuring the time required for this procedure. Three species of lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804), *Panulirus echinatus* Smith, 1869 e *Parribacus antarcticus* (Lund, 1793) were found. *P. echinatus* was dominant on the other species and the abundance of this species was 0.02 lobsters/m². It is estimated that the maximum potential of lobsters that can occur in the pools sampled in Rocas Atoll is 6,603 lobsters of this species. *Panulirus argus* specie was found in low abundances and varied between 0,00035 and 0,001 lobsters/m² in the Rocas Atoll waters. The ecological data collected *in situ* in april adjust to the proposed model to evaluate lobsters populations, however, the data for october showed an undefined pattern and that does not fit the proposed model. More samples are needed to verify if some factor not measured may influence the application of the model. The Atol das Rocas acts as a concentrator of puerulus postlarvae, juveniles and adults lobsters due to the restriction imposed by the local bathymetry with near 4000 m depth and to the local current system. It is suggested that studies have to being conducted regarding the patterns of larval recruitment, patterns of locally ocean current and populations connectivity in Brazilian lobsters populations to assess whether Atol das Rocas is acting as exporter of lobster larvae, or just providing larvae to self-recruitment of these populations.

Keywords: Lobsters. *Panulirus*. Rocas Atoll Biological Reserve. Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapa do Brasil com limites geográficos dos Estados, com as siglas dos Estados costeiros e das ilhas oceânicas Atol das Rocas (AR) e Fernando de Noronha (FN).....16
- Figura 2A – Cadeia de Montes Submarinos do Norte/Nordeste do Brasil, com destaque para a Cadeia de Fernando de Noronha representada pela linha vermelha A-D. Perfil batimétrico da Cadeia de Fernando de Noronha seguindo a linha vermelha A-D, onde A-B é a plataforma continental do Estado do Ceará, B-C é o talude com montes submarinos que não afloram com destaque para o *Guyot* Ceará e C-D é a Cadeia de Fernando de Noronha com destaque para o Atol das Rocas e para o Arquipélago de Fernando de Noronha.....19
- Figura 2B – Ilustrações esquemáticas da Curva de nível (a) e do Perfil batimétrico (b) do *Guyot* que suporta o Atol das Rocas (PEREIRA *et al.*, 2010 modificado).....20
- Figura 3 – Lagosta espinhosa *Panulirus echinatus* (CL = 58,01 mm) ao lado da escala (40 mm) utilizada para posterior estimativa do comprimento do cefalotórax através do programa Axio Visio.....21
- Figura 4 – Mapa com características geomorfológicas e áreas amostradas no Atol das Rocas (PEREIRA *et al.*, 2013 modificado).....23
- Figura 5 – Mapa do Atol das Rocas com destaque em azul para áreas amostradas nos meses de abril ou outubro de 2013 (PEREIRA *et al.*, 2013 modificado).....26
- Figura 6 – Profundidade máxima das piscinas amostradas com a respectiva média (\bar{x}) e intervalo de confiança.....29
- Figura 7 – Temperatura média das piscinas amostradas com a respectiva média (\bar{x}) e intervalo de confiança.....30
- Figura 8 – Medição do comprimento do cefalotórax (CL) em milímetros da lagosta *Parribacus antarcticus* através do programa Axio Vision.....31

Figura 9 – Média do número de lagostas por área amostrada com os respectivos intervalos de confiança ($p < 0.05$) das espécies <i>Panulirus echinatus</i> e <i>Panulirus argus</i> para os meses de abril e outubro de 2013 no Atol das Rocas.....	33
Figura 10 – Correlação do número de lagostas nos meses de abril e outubro. As duas bolas sem preenchimento representam os pontos que destoam dos demais.....	34
Figura 11 – Variação do nº de lagostas por piscinas nos meses de abril e outubro. Os espaços descontínuos no gráfico foram locais não amostrados.....	34
Figura 12 – Relação entre a Abundância ($\ln N$) e Intensidade de amostragem (I_{merg}) dos dados do mês de abril com destaque para P15 representada pelo quadrado vazio indicando que este é um ponto <i>outlier</i>	35
Figura 13 – Relação entre a Abundância ($\ln N$) e Intensidade de amostragem (I_{merg}) dos dados do mês de outubro com possíveis tendências dos dados, as quais foram calculadas manualmente.....	36
Figura 14 – Tendências das abundâncias (N) da lagosta pintada (<i>Panulirus echinatus</i>) em relação à intensidade de amostragem (I_{merg}) através de censo visual na Reserva Biológica do Atol das Rocas para o mês de abril ($n_p = 12$, $P < 0.001$, $R^2 = 0.7246$).....	37
Figura 15 – Representação esquemática de dois sistemas prováveis da circulação da corrente do Atol das Rocas na região oceânica em grande escala. Mostra-se que uma grande parcela de água pode ficar retida, o que facilita a entrada dos puerulus no Atol. Esquema A: circulação fechada e B: sistema de microcorrentes (pequenos redemoinhos).....	45
Figura 16 – Imagem ilustrativa das Correntes Oceânicas que podem dispersar amplamente as larvas de lagostas de outros locais do Oceano Atlântico para o Atol das Rocas. AR – Atol das Rocas em destaque com um ponto com círculo; ASPSP – Arquipélago de São Pedro e São Paulo; CV – Cabo Verde; FN – Fernando de Noronha; TR – Ilha da Trindade; CB – Corrente do Brasil; CNB – Corrente Norte do Brasil; CSE – Corrente Sul Equatorial; CCSE – Contra Corrente Sul Equatorial; SCEA – Subcorrente Equatorial Atlântica. Modificado de Teschima (2012); Macedo-Soares <i>et al.</i> (2012) e Silveira <i>et al.</i> (2000).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das piscinas amostradas. Área calculada para cada uma das piscinas (m^2), profundidade máxima de cada área, temperatura média das piscinas no mês de outubro e sedimento predominante nas áreas.....27

Tabela 2 – Abundância média (indivíduos/ m^2) de lagostas de diferentes espécies em diferentes locais do mundo. (*) aproximação dos valores, já que no trabalho não há especificação do método empregado com detalhes da largura do transecto.....40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	15
	2.1 Objetivo geral.....	15
	2.2 Objetivos específicos.....	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
	3.1 Área de estudo.....	16
	3.2 Metodologia.....	20
	3.2.1 Coleta de dados.....	20
	3.2.2 Método empregado para calcular a extensão das áreas amostradas (piscinas).....	22
	3.3 Modelo para avaliação de populações de lagostas <i>in situ</i>	23
4	RESULTADOS.....	26
	4.1 Distribuição espacial das piscinas e extensão das áreas amostradas.....	26
	4.2 Profundidade e temperatura das piscinas.....	29
	4.3 Populações de lagostas.....	30
	4.4 Abundância das populações de lagostas.....	32
	4.5 Modelo para avaliação de populações de lagostas.....	35
5	DISCUSSÃO.....	38
	5.1 Comportamentos ecológicos das lagostas.....	38
	5.2 Distribuição e abundância de <i>Panulirus echinatus</i>	39
	5.3 Modelo para avaliação de populações de lagostas <i>in situ</i>	43
	5.4 Padrões de conectividade. Transporte e retenção.....	44
	CONCLUSÕES.....	48
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Não há dúvidas de que nossos oceanos precisam ser protegidos, no entanto, a conservação da biodiversidade é na verdade um processo complexo que exige muito mais atenção (ANÔNIMO, 2011). O reconhecimento recente do aumento das demandas antrópicas e sua influência sobre os recursos e ecossistemas marinhos levou a um forte impulso para a ativa conservação marinha (LUBCHENCO, 1997), no entanto, o conhecimento científico ainda é insuficiente e a necessidade de preservação e gerenciamento dos recursos pesqueiros é urgente.

A perda do habitat natural devido ao aumento da atividade humana nos ecossistemas acarreta na degradação dos mesmos e perda da biodiversidade, causa descontroles e afeta o equilíbrio das populações de organismos e, portanto, é considerada a causa principal da taxa de declínio de espécies e extinções de populações (PAULY *et al.*, 2002; FAHRIG, 2003; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; HALPERN *et al.*, 2008; MACE *et al.*, 2010).

O reconhecimento da importância do ecossistema marinho e das Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) atualmente é mais evidente e o estabelecimento destas áreas é uma das prioridades mais urgentes na conservação e manejo de ecossistemas. Esta prática vem sendo realizada de forma lenta e gradual no Brasil desde 1937 quando foram estabelecidos as primeiras Áreas Protegidas (RYLANDS & BRANDON, 2005). Logo, ressalta-se a necessidade de demonstrar e quantificar as vantagens da conservação dessas AMPs (PANDE *et al.*, 2008).

A primeira Unidade de Conservação (UC) marinha do Brasil foi a Reserva Biológica do Atol das Rocas (ReBioAR) criada através do Decreto de Lei Nº 83.549 em 5 de Junho de 1979 (BRASIL, 1979). Nesta época, a criação de Áreas Protegidas era realizada sem muito planejamento estratégico e sem consultar a sociedade do entorno das áreas. Atualmente, existe um Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que planeja, regulamenta e categoriza as UCs de acordo com o propósito de gestão do ambiente a ser preservado (BRASIL, 2000).

O Atol das Rocas apresenta beleza cênica ímpar e possui altíssima relevância ecológica, portanto deve ser incorporado a programas de monitoramento ecológico de longo prazo para avaliar possíveis mudanças ambientais e verificar por quais motivos estas vêm sendo causadas (MMA-ICMBio, 2007). Além disso, a área possui importância para a política

territorial da Federação devido a sua localização oceânica afastada da costa, o que acarreta em um acréscimo de área ao mar territorial brasileiro. Todas as características citadas anteriormente tornam este local um ambiente de extrema relevância para a conservação e preservação local.

O Atol das Rocas é banhado pela Corrente Sul Equatorial, com direção constante para Oeste (EKAU & KNOPPERS, 1996; GÓES, 2006) e velocidade média de 30 cm/s no paralelo de 4°, determinada por Richardson & Walsh (1986). Estudos geológicos foram desenvolvidos no local enfocando aspectos da granulometria, constituintes bióticos e mecanismos de distribuição dos sedimentos nas zonas recifais (DUARTE, 1938; OTTMAN, 1963; TINOCO, 1966; COUTINHO & MORAIS, 1970; TINOCO, 1972; KIKUCHI, 1994; GHERARDI, 1996; PEREIRA *et al.*, 2008; SOARES *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2013).

A ReBioAR é considerada um santuário ecológico por abrigar e por representar local de reprodução para milhares de espécimes animais, como peixes e crustáceos de alto valor econômico que se encontram na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção de acordo com a International Union for Conservation of Nature (IUCN) e outros estudos (KIKUCHI, 1999; MMA-ICMBio, 2007; AMARAL *et al.*, 2008).

Uma das espécies responsáveis pela criação da ReBioAR foi *Panulirus echinatus* Smith, 1869, que há poucas décadas era alvo intensivo da pesca na região. O primeiro espécime a ser descrito foi encontrado em Recife (PE) (HOLTHUIS, 1991) e a espécie distribuiu-se geograficamente no Nordeste do Brasil (Ceará, Rio Grande do Norte e Pernambuco) e nas ilhas centrais do Atlântico onde é predominante (Ilhas Canárias, Ilha de Cabo Verde, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Arquipélago de Fernando de Noronha, Atol das Rocas, Ilha da Trindade, Ilha Ascensão e Ilha Santa Helena) (HOLTHUIS, 1991).

Panulirus echinatus é comumente encontrada em fendas rochosas e entre pedras no intervalo de profundidade de 0 a 35 metros, mas geralmente não mais profundo do que 25 metros (HOLTHUIS, 1991). Assim como outras espécies de lagostas, possuem hábitos noturnos, saindo neste período para alimentação e reprodução. O comprimento da carapaça varia de 30 a 190 mm nos machos e de 20 a 150 mm nas fêmeas. Nas Ilhas de Santa Helena e Cabo Verde é considerada espécie de importância comercial. No Brasil é pescada juntamente com *P. argus* e *P. laevicauda* (HOLTHUIS, 1991).

Esta espécie possui poucas informações biológicas, sendo que aspectos populacionais, como a proporção sexual e mensuração de comprimento total (CT) da espécie na Reserva Biológica do Atol das Rocas foram publicados por Silva *et al.* (2001). Os demais trabalhos

existentes foram realizados em outras localidades e de forma pontual. Pinheiro e colaboradores (2003) contribuíram a respeito da proporção sexual e mensuração do comprimento total (CT ou do inglês a sigla TL - total length) de populações de *P. echinatus* do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Barreto *et al.* (2009) colaboraram com dados biométricos dessa espécie em Pernambuco.

Ainda foram estudados para a espécie os aspectos da biologia reprodutiva como as características macroscópicas e microscópicas, o comprimento médio da primeira maturação gonadal em fêmeas (PINHEIRO & LINS-OLIVEIRA, 2006), o desenvolvimento dos ovários baseados nas análises microscópicas e macroscópicas e a relação gonadossomática (BARRETO *et al.*, 2008), e os estádios de desenvolvimento dos órgãos reprodutivos dos machos (BARRETO & KATSURAGAWA, 2008). Estudos sobre estágios larvais da espécie foram descritos por Abrunhosa *et al.* (2008).

Os efeitos que AMPs podem produzir se mantêm incertos e se desconhecem os impactos nas populações de lagostas fora dessa área protegida. Isso porque as lagostas são animais que possuem um longo período larval que representa um obstáculo enorme para a investigação dos benefícios dessas áreas para o recrutamento e manutenção das populações de lagostas fora das UCs. Além disso, o extravasamento (spill over) de adultos de áreas protegidas para não protegidas é muito questionável (BUTLER *et al.*, 2006). No entanto, diversos trabalhos observaram o aumento na abundância de lagostas e tamanho dos animais nas áreas protegidas, o que favorece um maior recrutamento larval e número de novos indivíduos que darão origem a novas gerações de lagostas (KELLY *et al.*, 2000; DAVIDSON *et al.*, 2002; COX & HUNT, 2005; GOÑI *et al.*, 2006; EGGLESTON & PARSONS, 2008).

No Brasil, a maioria das pesquisas sobre lagostas advém de dados pesqueiros e estudos de cultivos (COELHO *et al.*, 1996; FONTELES-FILHO, 1997; CARVALHO & OGAWA, 2001; FONTELES-FILHO, 2005, 2007) com enfoque principal nas espécies *Panulirus argus* e *P. laevicauda*. Os estudos com abordagem ecológica sobre populações de lagostas no Brasil são realizados através da captura de animais para realização de biometria, observação do conteúdo estomacal e das características sexuais (PINHEIRO *et al.*, 2003; PINHEIRO & LINS-OLIVEIRA, 2006; GÓES & LINS-OLIVEIRA, 2009). Trabalhos sobre estrutura do habitat e abundância das populações de lagostas *in situ* no Brasil são escassos e incipientes (OLIVEIRA *et al.*, 2008; GAETA, 2011). Portanto, há muito que se pesquisar para entender como as populações de lagostas se comportam em nossa costa e ilhas oceânicas.

O conhecimento *in situ* das populações de lagostas é fundamental para o melhor entendimento da biologia, da dinâmica populacional e das relações ecológicas com o

ecossistema, características que facilitam o entendimento da ecologia desses animais e que podem indicar mudanças populacionais causadas por impactos humanos. E ainda, o conhecimento ecológico pode auxiliar e aumentar a eficiência das medidas de gestão de áreas para preservação, monitoramento e conservação dos estoques brasileiros de lagostas.

Estudos recentes forneceram evidências de que as populações de *Panulirus argus* do mar do Caribe e da plataforma continental Brasileira são ecológica e geneticamente diferentes (DINIZ *et al.*, 2005). Em outras palavras, as populações brasileiras não dependem das migrações estrangeiras de larvas e isso pode acontecer com populações de *P.laevicauda*, de *P.echinatus* e das lagostas sapateiras da costa brasileira (CRUZ *et al.*, 2013). Cruz *et al.* (2011) hipotetizaram que a retroflexão da Corrente no Atlântico Ocidental (KRELLING, 2008) pode transportar larvas por centenas de quilômetros das áreas de desova para áreas mais afastadas e profundas habitadas por lagostas mais velhas, misturando assim as populações de larvas. E o longo período larval da larva phyllosoma dos panulídeos pode permitir que elas retornem como pueruli para a costa brasileira carregadas pela corrente, garantindo assim um auto-recrutamento anual. Se isto ocorrer, as populações brasileiras de lagostas podem ser consideradas metapopulações fechadas, sem intercâmbio com outras populações de lagostas do Atlântico (CRUZ *et al.*, 2013).

Desta forma é possível que sejam estabelecidas medidas de controle eficientes para recuperar, incrementar e sustentar as populações de lagosta em nossa costa. Basta que sejam estipuladas algumas metas e que as medidas propostas sejam cumpridas com a finalidade de que as populações de lagostas sejam conservadas no presente momento para que o estoque brasileiro de lagostas possa se reestabelecer e prosperar.

É notório o uso disseminado de modelos para avaliação de estoques de recursos marinhos para estimar o tamanho das populações, sua biomassa e outros parâmetros, mas muitas vezes as variáveis levadas em consideração no modelo contêm erros e imprecisões nas medições, como a intensidade de pesca, o esforço pesqueiro, a seletividade e outras variáveis que acarretam diferenças essenciais no resultado das estimativas (MUNRO, 1980).

Considerando o importante valor ecológico que as lagostas exercem no habitat bentônico e a atual sobreexploração dos estoques pesqueiros de lagostas espinhosas, o presente trabalho propõe avaliar ecologicamente as populações de lagostas da Reserva Biológica do Atol das Rocas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar ecologicamente as populações de lagostas da Reserva Biológica do Atol das Rocas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 - Descrever características ecológicas do habitat das lagostas.

2 - Avaliar a abundância das espécies de lagostas.

3 - Construir um modelo para avaliação de populações de lagostas com dados ecológicos coletados *in situ*.

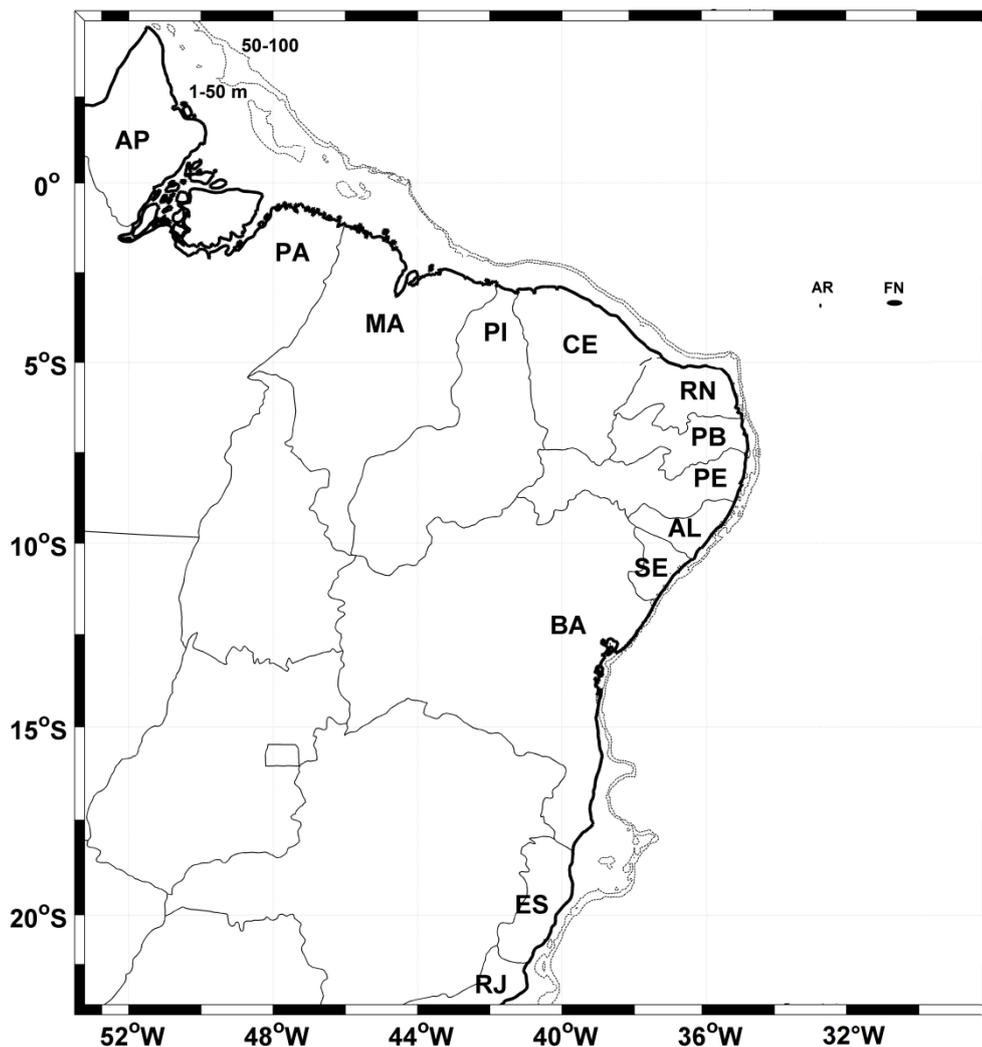
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A Reserva Biológica Atol das Rocas ($3^{\circ}51' S$, $33^{\circ}48' W$) foi a primeira reserva marinha a ser criada no Brasil e possui uma área de 360 km^2 que compreende o atol em si e as águas circundantes até a isóbata de 1000 m (SALES, 1991). Esta dista 267 km da cidade de Natal (RN) e 148 km do Arquipélago de Fernando de Noronha (SILVA *et al.*, 2001).

O Atol das Rocas é o único atol do Atlântico Sul e um dos menores do mundo e representa um sítio geológico de natureza carbonática (KIKUCHI, 1999; SOARES *et al.*, 2009; GROSSMAN *et al.*, 2012) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa do Brasil com limites geográficos dos Estados, com as siglas dos Estados costeiros e das ilhas oceânicas Atol das Rocas (AR) e Fernando de Noronha (FN).



O Atol das Rocas é uma ilha oceânica de região tropical que de acordo com Chown *et al.* (1998) é um ambiente vulnerável aos impactos humanos devido à baixa capacidade de resiliência. Ilhas oceânicas de maneira geral são ambientes notáveis devido a sua diversificação (MARGALEF, 1980), tendo geralmente um endemismo maior quando comparada com ambientes próximos. De acordo com a teoria de biogeografia de ilhas essas áreas costumam apresentar baixos níveis de riqueza de espécies devido ao seu isolamento geográfico (McARTHUR & WILSON, 1967).

Entretanto, é importante ressaltar que os atóis de maneira geral são ecossistemas altamente produtivos, apesar de possuírem águas oligotróficas (PEREIRA *et al.*, 2008). Baird e Atkinson (1997) explicaram esse fato por meio de processos hidrodinâmicos de pequena escala, os quais promovem a renovação da água no interior do atol e conseqüentemente a ciclagem de nutrientes e gases dissolvidos. O sistema de circulação interna de um atol possui considerável influência na sua conformação morfológica e na distribuição dos organismos vivos em seu interior (PEREIRA *et al.*, 2008).

O platô recifal do Atol das Rocas é constituído por um anel elíptico circular que mede 3,7 km no eixo leste-oeste e 2,5 km no eixo norte-sul, por um depósito de areia carbonática biogênica e uma laguna de pequenas dimensões, a Nordeste, com área de 36 km² (SOARES *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2010). O recife é predominantemente formado por algas vermelhas coralíneas, moluscos vermetídeos e foraminíferos incrustantes, o que diverge da maioria dos atóis do mundo que têm sua formação basicamente constituída por corais (GHERARDI & BOSENCE, 2001).

O regime de marés na área é semidiurno e mesotidal, com altura máxima de 3,8 m (GHERARDI & BOSENCE, 2001). A parte superior do anel recifal incluindo blocos encontrados na parte oriental do anel emergem 0,5 m durante a baixa-mar, quando surgem na área interna várias piscinas naturais. Na preamar, a superfície do anel fica submersa dois ou mais metros (SOARES *et al.*, 2009).

A salinidade da superfície do mar varia de 36 a 37 podendo oscilar de acordo com o regime de marés e a exposição solar. A temperatura média da água do mar varia de 26°C em setembro para 28,3°C em abril (HÖFLICH, 1984; SERVAIN *et al.*, 1987), aumentando até 42°C no interior das piscinas do atol (KIKUCHI & LEÃO, 1997; GHERARDI & BOSENCE, 1999; SOARES *et al.*, 2009).

O clima é equatorial com ventos alísios de direção e velocidade variando sazonalmente. No verão, 50% dos ventos é de sudeste e 35% de leste. Durante o inverno, a

frequência de ventos de sudeste aumenta para 70%, enquanto que os ventos de leste diminuem para 25% e a velocidade máxima dos ventos é de 11m/s (HÖFLICH, 1984).

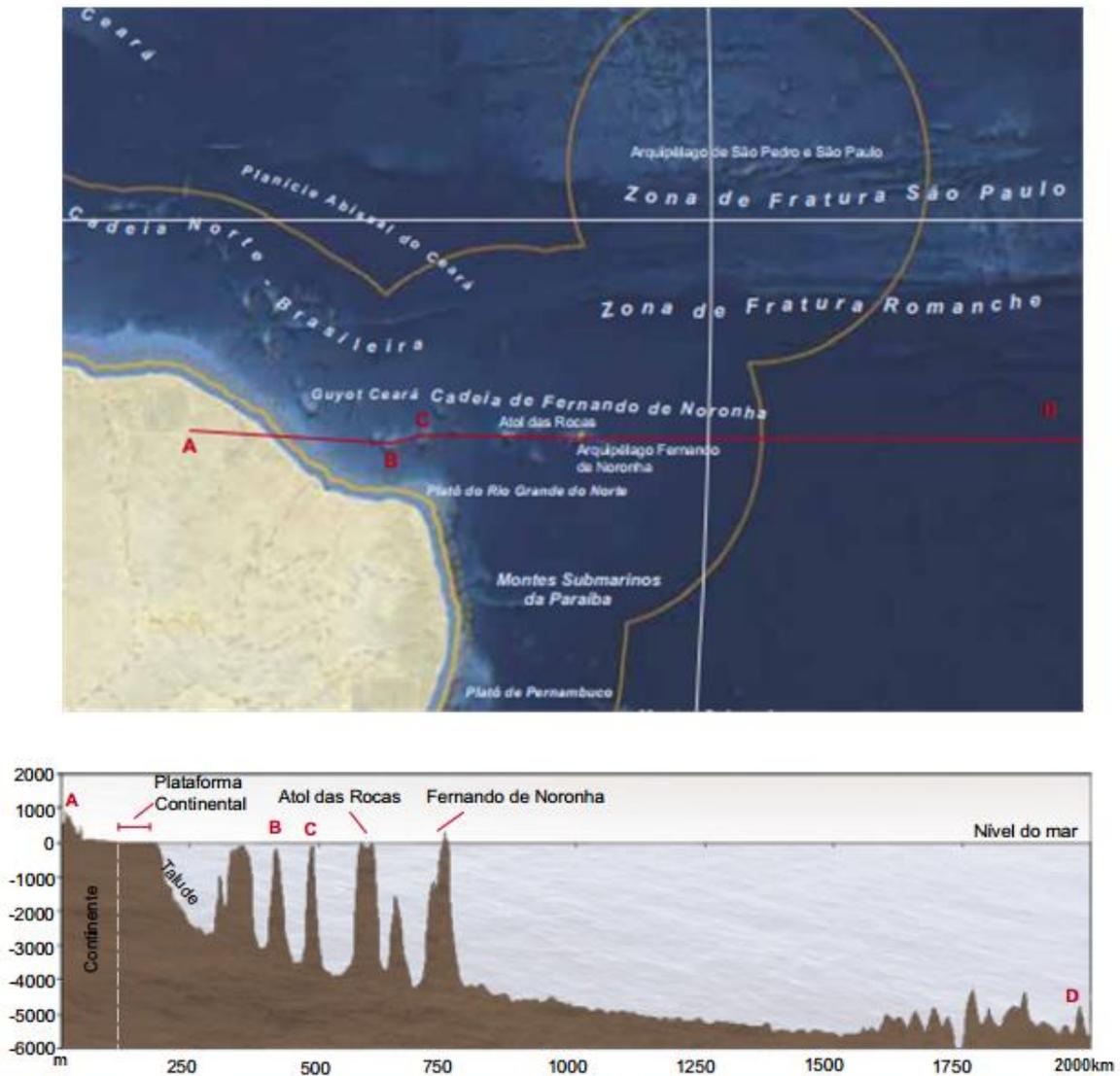
A ação das ondas é concentrada na parte Sudeste do atol, embora a refração das ondas causadas pela montanha submarina que suporta Rocas produza ondas de travagem que atuam também nas porções oeste e sudoeste (GHERARDI & BOSENCE, 2001).

O Atol das Rocas localiza-se sobre um topo aplainado de um monte submarino vulcânico (*Guyot*) o qual está inserido na margem continental brasileira e que integra a cadeia de montanhas submarinas de Fernando de Noronha, a qual se localiza na Zona de Fratura de Fernando de Noronha (PEREIRA *et al.*, 2013) (Figura 2A).

Essa cadeia é composta por um segmento de montes submarinos com direção leste-oeste (GORINI & BRYAN, 1976) que tem origem no sopé continental indo até a costa do Ceará (PALMA, 1984) (Figura 2B).

Este atol cresce na porção oeste do *Guyot* que tem seu topo próximo da superfície do mar, o qual cresce a partir de profundidades próximas a 4000 m (PEREIRA *et al.*, 2010) (Figura 2B).

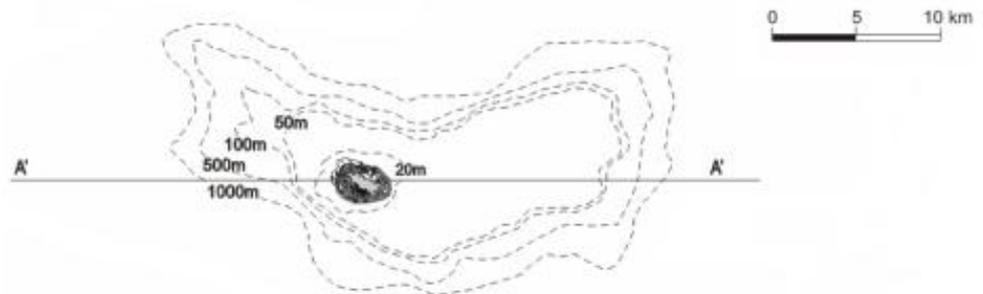
Figura 2A – Cadeia de Montes Submarinos do Norte/Nordeste do Brasil com destaque para a Cadeia de Fernando de Noronha representada pela linha vermelha A-D. Perfil batimétrico da Cadeia de Fernando de Noronha seguindo a linha vermelha A-D, onde A-B é a plataforma continental do Estado do Ceará, B-C é o talude com montes submarinos que não afloram com destaque para o *Guyot* Ceará e C-D é a Cadeia de Fernando de Noronha com destaque para o Atol das Rocas e para o Arquipélago de Fernando de Noronha.



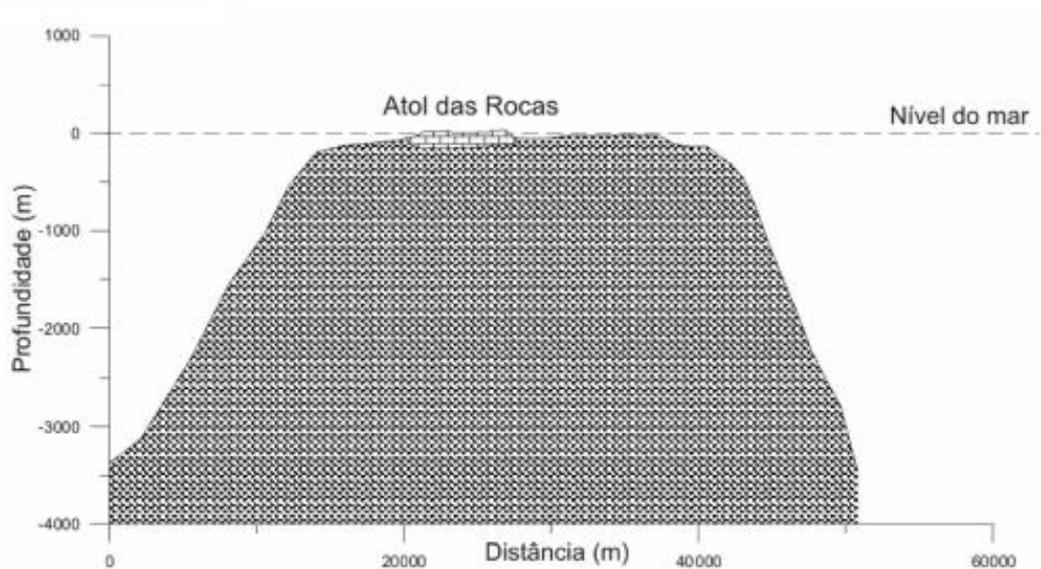
Fonte: Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação, Centro de Hidrografia da Marinha; NASA's Earth Observatory; U.S. Geological Survey, Earth Resources Observation and Science; e Sandwell, Smith e Becker (2008) * os perfis batimétricos tem um exagero vertical de 900 vezes em relação ao horizontal.

Figura 2B – Ilustrações esquemáticas da Curva de nível (a) e do Perfil batimétrico (b) do *Guyot* que suporta o Atol das Rocas (Pereira *et al.*, 2010 modificado).

a) Curva de Nível



b) Perfil Batimétrico A'-A'



3.2 Metodologia

3.2.1 Coleta de dados

As coletas de dados foram realizadas em abril e outubro de 2013 nas piscinas que se formam durante a baixa-mar no Atol das Rocas durante o período diurno.

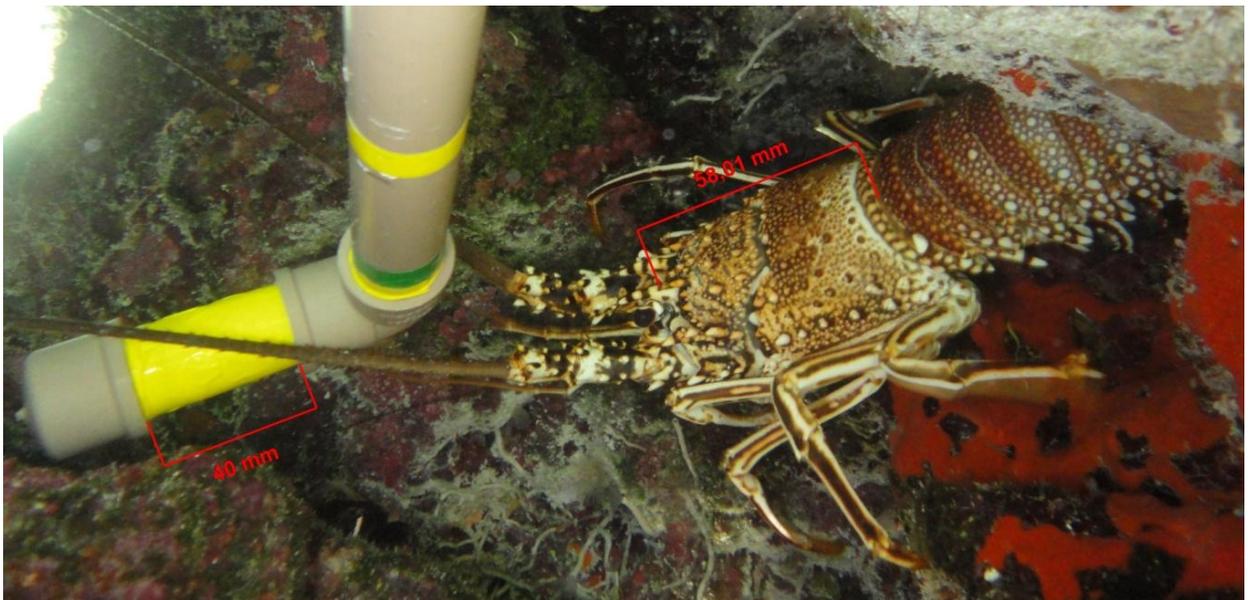
A amostragem foi realizada através de mergulhos livres (apneia) nos quais era realizada uma busca ativa pelas lagostas em seus refúgios/tocas percorrendo a área total interna de cada piscina amostrada, mensurando o tempo necessário para tal procedimento.

Ao encontrar um animal, este era identificado de acordo com Holthuis (1991) e Melo (1999) e posteriormente era fotografado ao lado de uma escala amarela para posterior

medição do comprimento do cefalotórax em mm (CL – sigla do termo em inglês Carapace Length) no programa Axio Vision SE64 Rel. 4.9.1.

Uma ferramenta metodológica foi construída de forma a ser colocada mais próxima possível do animal para estimar seu tamanho com maior precisão. A escala mede 40 mm de comprimento e está em destaque com fita adesiva amarela contínua (Figura 3). No programa Axio Vision, para realizar as medições primeiramente dá-se o valor de um comprimento conhecido na fotografia na qual foi utilizada a escala presente em todas as fotos. Em seguida, estima-se o tamanho do CL que é a distância em linha reta entre o entalhe dos espinhos supraorbitais e o extremo posterior do cefalotórax (Figura 3).

Figura 3 – Lagosta espinhosa *Panulirus echinatus* (CL = 58,01 mm) ao lado da escala (40 mm) utilizada para posterior estimativa do comprimento do cefalotórax através do programa Axio Vision.



Foram coletados no mês de outubro, através de computador de mergulho, dados da profundidade máxima em que a pesquisadora observou as lagostas e da temperatura média da água durante o mergulho.

Densidade ou abundância é um parâmetro definido como o número de indivíduos por unidade de área. Muitas vezes a contagem de todos os indivíduos de uma população é impraticável ou impossível. Para tanto, criaram-se alternativas para estimar populações como o índice de abundância que representa o tamanho relativo de uma população (BEGON *et al.*, 2008).

A abundância foi calculada ao final de cada mergulho para cada área amostrada através da fórmula de Seber (1982) $S = n / A$, onde S é a abundância (nº de lagostas/m²), n é o número de indivíduos contados (nº de lagostas) e A é a área (m²). Além disso, a Intensidade de amostragem foi definida como o tempo de mergulho por unidade de área necessário para que o mergulhador cobrisse a área em que as lagostas estavam presentes. As equações utilizadas para calcular a intensidade de amostragem (I_{merg}) e o índice de abundância (N) foram:

$$I_{merg} = A * t \quad e \quad N = n / I_{merg}$$

, onde A é a área amostrada, t o tempo de mergulho, n é o número de lagostas e I_{merg} é a intensidade de amostragem (tempo em horas de mergulho por unidade de área).

A equação anterior foi formulada a partir do trabalho desenvolvido por Cruz e Borda (2013) em refúgios artificiais e jaulones (armadilhas utilizadas nas migrações de lagosta em Cuba), onde a intensidade de pesca (f_{int}) é esta: $f_{int} = \sum_i^n f_i / A$.

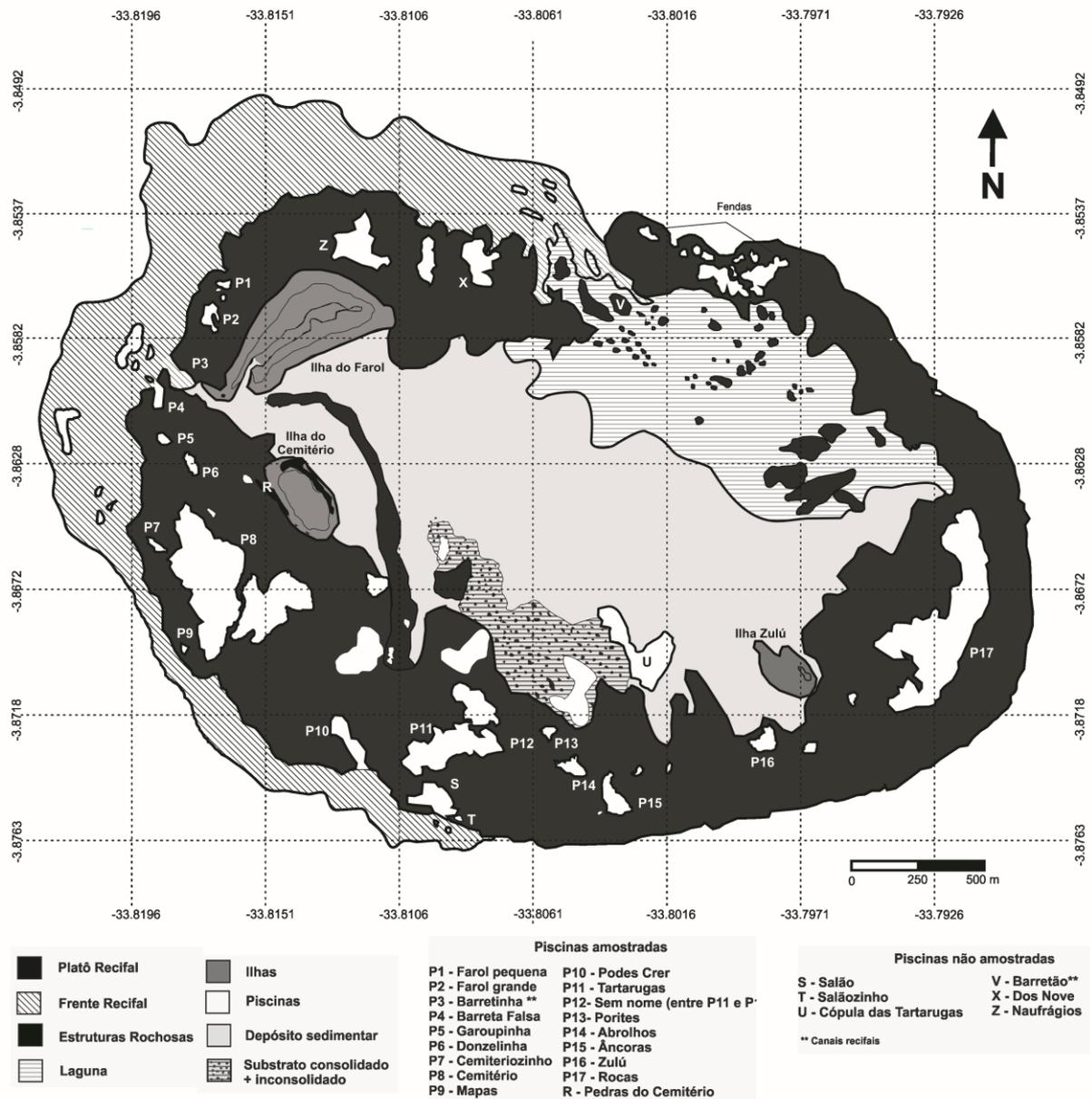
O modelo utilizado para calcular a abundância concorda com o princípio enunciado por Laurec e Le Guen (1981), onde expressam que um modelo consiste essencialmente em uma aproximação de modo que uma entidade matemática venha a substituir a realidade sendo uma simplificação do real absoluto que não deve esgotar a realidade, e sim manter o essencial e ser pequeno para que possa ser manuseado de forma simplificada.

Além disso, utilizou-se a fórmula $De = Ne \times 100 / Nt$ para calcular a dominância (De em %) de espécies, onde Ne é o número de indivíduos de uma determinada espécie e Nt é o número de indivíduos de todas as espécies (KREBS, no prelo).

3.2.2 Método empregado para calcular a extensão das áreas amostradas (piscinas)

O mapa foi desenvolvido inicialmente através de Global Positioning System (GPS) e os dados de posição geográfica foram processados no *software* TrackMaker versão 13.6 (PEREIRA *et al.*, 2010). Posteriormente este foi editado no *software* CorelDraw X5 de ilustração gráfica, para obter uma imagem de alta qualidade e precisão (PEREIRA *et al.*, 2013). Após, a imagem (Figura 4) foi corrigida geometricamente para aperfeiçoar a precisão através da seleção de quatro pontos geográficos e com a utilização da projeção geocêntrica WGS84 (Brasil) para georreferenciamento da imagem. Por fim, calculou-se as áreas amostradas através do *software* MapInfo Professional 9.5.

Figura 4 – Mapa com características geomorfológicas e áreas amostradas no Atol das Rocas (PEREIRA *et al.*, 2013 modificado).



3.3 Modelo para avaliação de populações de lagostas *in situ*

O uso de modelos é bem disseminado atualmente para avaliação de estoques pesqueiros. Faz-se uso de modelos empíricos que se utilizam de regressões lineares e logarítmicas da Captura Por Unidade de Esforço (CPUE) e do Esforço para estimar o tamanho das populações que são alvo da exploração pesqueira (MUNRO, 1980; KREBS, 2009; KREBS, no prelo). Foi primeiramente utilizado para estimar populações de ratos que estavam sendo exterminadas por armadilhas (LESLIE & DAVIS, 1939).

Existem algumas premissas a serem cumpridas, tais como: ser uma população fechada, ter a mesma probabilidade de encontrar um indivíduo e que esta seja constante durante toda a pesquisa (KREBS, 2009; KREBS, no prelo). Um dos pré-requisitos deste tipo de modelo é que diferentes áreas sejam ecologicamente similares e que originalmente as comunidades suportadas neste ambiente tenham semelhantes biomassa e composição de espécies (MUNRO, 1980). Para utilização do modelo ainda é necessária uma constância na abundância, não movimentação significativa dos animais e mortalidade próxima de zero (GAUDIEN *et al.*, 1995).

Munro e Thompson (1983) utilizaram um modelo semelhante ao de Leslie e Davis, (1939) para estimar a produtividade das zonas de pesca na Jamaica. Tal modelo se ajustou bem aos peixes recifais na Jamaica e permitiu uma estimativa das populações de peixes em regiões de pesca de poucos quilômetros quadrados naquele país. Cruz e Borda (2013) aplicaram o modelo utilizado por Munro e Thompson (1983) para populações de lagostas e observaram que este se aplicava aos diferentes métodos e artes de pesca de áreas mais extensas que as da Jamaica. Para compreensão do modelo precisamos esclarecer alguns conceitos utilizados por Cruz e Borda (2013) que foram os primeiros a aplicar o modelo para populações de lagostas.

Estoque, por definição, é o conjunto de animais explorados (LAUREC & LE GUEN, 1981). Biomassa do pescado (produção) por unidade de área e por unidade de tempo foi descrito por Ricker (1975), Minns (1997) e Randall e Minns (2002) e é normalmente calculado como a relação entre o produto da pesca comercial e a área da zona de pesca (MUNRO & THOMPSON, 1983).

No modelo utilizado por Cruz e Borda (2013), foi denominada índice de produtividade do estoque (S) a relação entre o produto da pesca comercial e a área da zona de pesca e a equação para seu cálculo é $S = C / A$, onde C é o peso dos animais capturados e A é a área (km²). A intensidade de pesca (f_{int}) foi definida como o esforço de pesca, por unidade de área por unidade de tempo. Por isso, é igual à área efetiva coberta pelo barco por unidade de tempo como uma fração da área ocupada pelo estoque (SANDERS & MORGAN, 1976; MUNRO & THOMPSON, 1983). Para examinar a correlação entre S e f_{int} , foi utilizada a regressão polinomial de segunda ordem, onde o eixo x é a série temporal de f_{int} , e o eixo y é o valor de S por ano.

Neste trabalho propõe-se desenvolver um modelo ecológico para calcular a abundância ótima das populações de lagostas *in situ*, baseado nos princípios e conceitos analisados anteriormente.

A fórmula adaptada para calcular a intensidade de amostragem (I_{merg}) foi a seguinte:

$$I_{\text{merg}} = \sum t * n / A$$

, onde t é o tempo em horas de mergulho necessário para percorrer toda a área da piscina, n é o número de mergulhadores que amostraram a área, que neste trabalho foi constante e igual a um, e A é a área (m^2) percorrida pelo mergulhador para realização da amostragem.

A abundância da população (N) foi calculada através da fórmula:

$$N = n_{\text{merg}} / I_{\text{merg}}$$

, onde n_{merg} é o número de lagostas amostradas e I_{merg} é a intensidade de amostragem.

Para a aplicação do modelo foi necessária a utilização da equação que matematicamente representa a reta linear $y = a + b * x$. Neste caso, y é a variável $\ln N$ (logaritmo neperiano da abundância), a é o coeficiente linear da reta que corta o eixo y , x é a variável I_{merg} e b é o coeficiente angular que é calculado através da tangente do ângulo de inclinação da reta. Através dessa relação será possível estimar uma curva parabólica que possui um ponto máximo que representa o valor máximo de lagostas existentes no Atol das Rocas e a intensidade de amostragem necessária para tal.

E a principal premissa a ser cumprida para aplicação do modelo é que a variável b diminua à medida que a I_{merg} aumente. A variável a é o valor de $\ln N$ que se obtém imediatamente após a primeira amostragem, portanto deve ser positivo. Assim, $-a / b$ é positivo e $\ln N$ é igual à zero para $I_{\text{merg}} = -a / b$. Visto que um valor negativo para $\ln N$ é impróprio, logo o modelo só pode ser aplicado para valores de I_{merg} inferiores a $-a / b$.

Baseado neste modelo, as equações utilizadas foram:

Equação linear da reta: $\ln N = a + b * I_{\text{merg}}$

Equação da parábola: $N_{(i)} = a * I_{\text{merg}(i)} + b * (I_{\text{merg}(i)})^2$

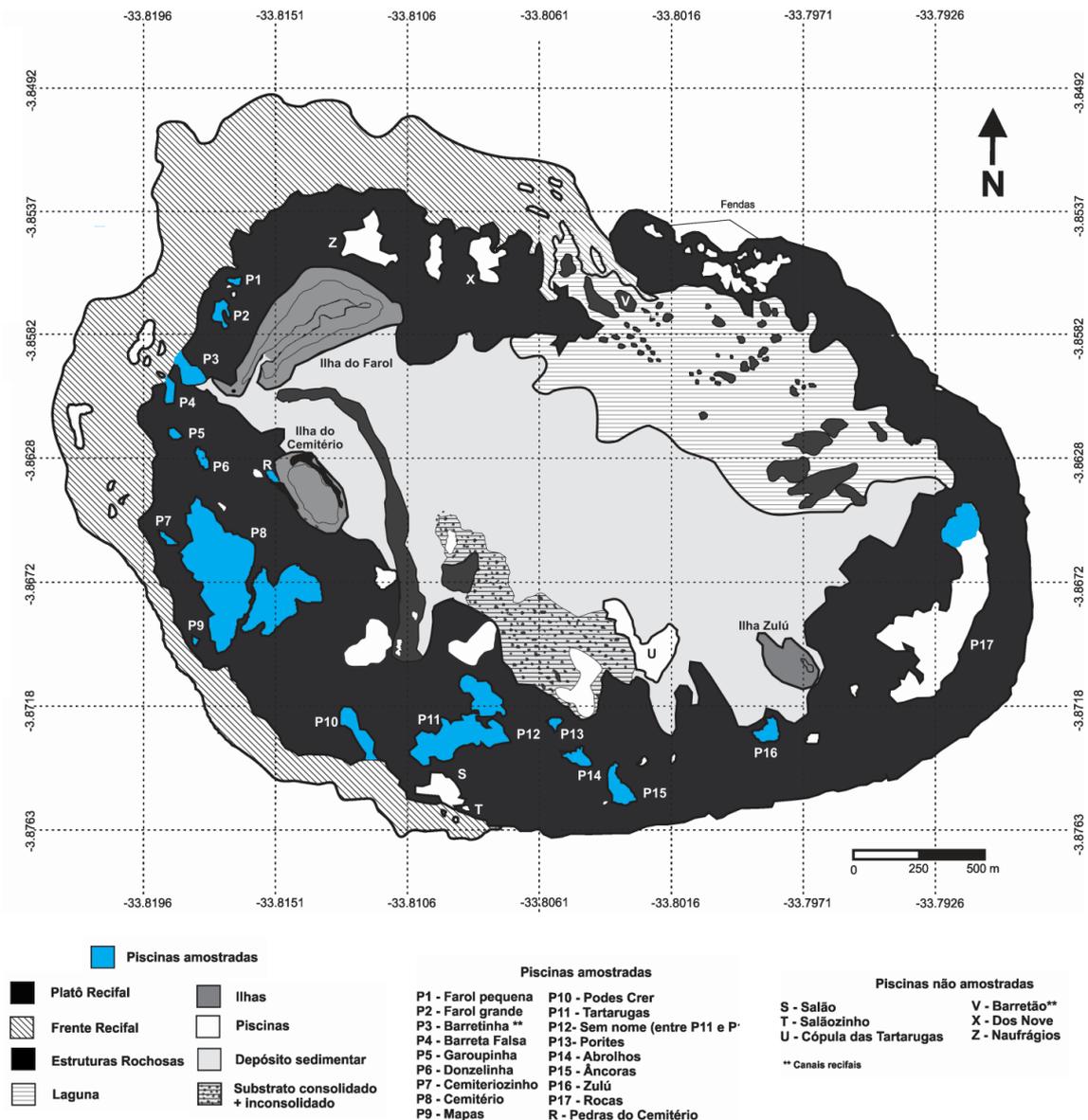
4 RESULTADOS

4.1 Distribuição espacial das piscinas e extensão das áreas amostradas

A maioria das áreas amostradas foram piscinas que se formam na baixa-mar no interior do anel recifal do Atol das Rocas. Elas podem ser consideradas abertas, quando possuem conexão direta com o Oceano (P3, P4, P10, S, V) ou fechadas, quando existe conexão indireta com o Oceano (demais piscinas) (Figura 5).

Foram amostradas 17 piscinas (P1 a P17) e um prolongamento de origem rochosa (R) das quais foram calculadas as áreas para obtenção da abundância das lagostas (Figura 5).

Figura 5 – Mapa do Atol das Rocas com destaque em azul para áreas amostradas nos meses de abril ou outubro de 2013 (Pereira *et al.*, 2013 modificado).



O platô recifal representa uma área de 3836619 m² (3,83 km²) sujeita ao alto hidrodinamismo do Atol das Rocas, pois esta região fica emersa ou submersa conforme a variação de maré.

A laguna possui 978800 m² (0,98 km²) e é uma das poucas áreas do Atol das Rocas a não ficar emersa durante a baixa-mar. Neste local o hidrodinamismo é intenso tanto na maré cheia quanto na baixa-mar.

O depósito sedimentar e o substrato consolidado e inconsolidado juntos representam uma área de 2221000 m² (2,22 km²) que fica completamente emersa na baixa mar. É um ambiente habitado por animais que vivem nos interstícios do sedimento como anélidos, pequenos crustáceos e moluscos.

As piscinas formadas no interior do anel recifal do Atol das Rocas que foram amostradas variam em profundidade de 0,3 a 4,1 m, possuem áreas que variam aproximadamente de 532 a 151.000 m². Há o predomínio de sedimentos compostos por areia e cascalho e suas combinações e o hidrodinamismo varia de uma piscina para outra, sendo maior nas piscinas que possuem abertura para o Oceano (Tabela 1).

Tabela 1 – Características das piscinas amostradas. Área calculada para cada uma das piscinas (m²), profundidade máxima de cada área, temperatura média das piscinas no mês de outubro e sedimento predominante nas áreas.

Áreas amostradas	Área (m ²)	Profundidade máxima (m)	Temperatura média (°C)	Sedimento predominante
Farol pequena - P1	1.033	2,1	26,5	areia e cascalho
Farol grande - P2	4.035	2,1	26,5	areia e cascalho
Barretinha - P3	8.255	3,1	26,5	areia
Barreta Falsa - P4	3.329	3,7	29	areia
Garoupinha - P5	1.410	3,3	26	areia
Donzelinha - P6	2.309	2,1	29	areia
Cemiteriozinho - P7	1.414	4,1	27	cascalho e areia
Cemitério - P8	150.800	2	27,5	areia e cascalho
Mapas - P9	532,3	-	-	cascalho
Podes Crer - P10	11.420	2,1	30	cascalho
Tartarugas - P11	57.480	2,8	29	cascalho e areia
Sem nome - P12	-	2	27,5	areia e cascalho
Porites - P13	1.512	1,7	29	areia e cascalho
Abrolhos - P14	4.292	2,3	29	areia e cascalho
Âncoras - P15	9.092	3,8	28	areia e cascalho
Zulú - P16	5.914	1,7	29,5	areia e cascalho
Rocas - P17	9.995	1,5	29,7	areia
Pedras do Cemitério - R	764,1	0,3	28	cascalho
TOTAL	273586,4	-	-	-

A maioria das piscinas é pequena e com o interior dominado por sedimento sem que haja recifes isolados. P1 e P2 são piscinas próximas e localizadas na borda do anel recifal. A primeira possui o lado mais externo formado por um paredão com reentrâncias e cavernas grandes e possui locais mais profundos do que P2. P2 tem como características ser predominantemente rasa, com cavernas recortadas e parte dela possui construção recifal pouco complexa pela pouca profundidade e presença de área arenosa.

P3 e P4 são conectadas com o oceano aberto e possuem áreas com maior hidrodinamismo nos locais por onde a água entra e sai durante as variações de maré. Possuem alta complexidade na construção recifal com cavernas e fendas grandes adequadas para refúgio de animais.

P5 e P6 são piscinas de pequena extensão e com características semelhantes. Possuem construção recifal com média complexidade. P7 é uma piscina que apresenta paredes com reentrâncias em forma de prateleiras que vão decaindo suavemente com a profundidade. Em alguns locais essas reentrâncias são tão extensas que não é possível observar o final da parede devido à baixa luminosidade e à impossibilidade de chegar por ser muito estreita.

P8 é uma piscina de longa extensão com grande parte arenosa e rasa. A parte mais complexa é recortada, porém com poucas fendas e cavernas. No interior da piscina existem recifes isolados com cavernas e fendas de médio e grande porte.

P9 é uma piscina pequena com complexidade recifal média com algumas fendas e cavernas. P10 é uma piscina aberta e com complexidade recifal grande com uma diversidade de cavernas e fendas de todos os tamanhos. A parte mais profunda é próxima da abertura para o oceano aberto e na mais rasa há predomínio de areia. Na P11 há o predomínio de áreas com construções elaboradas e em alguns locais isoladas da borda recifal e há outra parte que é muito rasa e arenosa.

P12 foi uma piscina amostrada em ambos os períodos e que não consta no mapa base utilizado neste trabalho sobre o Atol das Rocas. Esta área possui uma característica interessante que é a de ser aterrada ou desenterrada conforme a circulação do sedimento no interior do Atol. Logo, quando foram tiradas as fotos por satélite, esta piscina não apareceu e, por conseguinte, não foi possível calcular a área e a abundância de lagostas para esta piscina (Tabela 1).

P13 é uma piscina rasa com complexidade recifal média, com algumas reentrâncias e recortes no recife que abrigam diversos animais. P14 e P15 são semelhantes e apresentam a borda com poucas reentrâncias, mas com uma parede recortada que possibilita o refúgio dos

animais. P16 é uma piscina que tem paredes grandes e prolongadas com fendas nas bordas e possui grande extensão arenosa no seu interior.

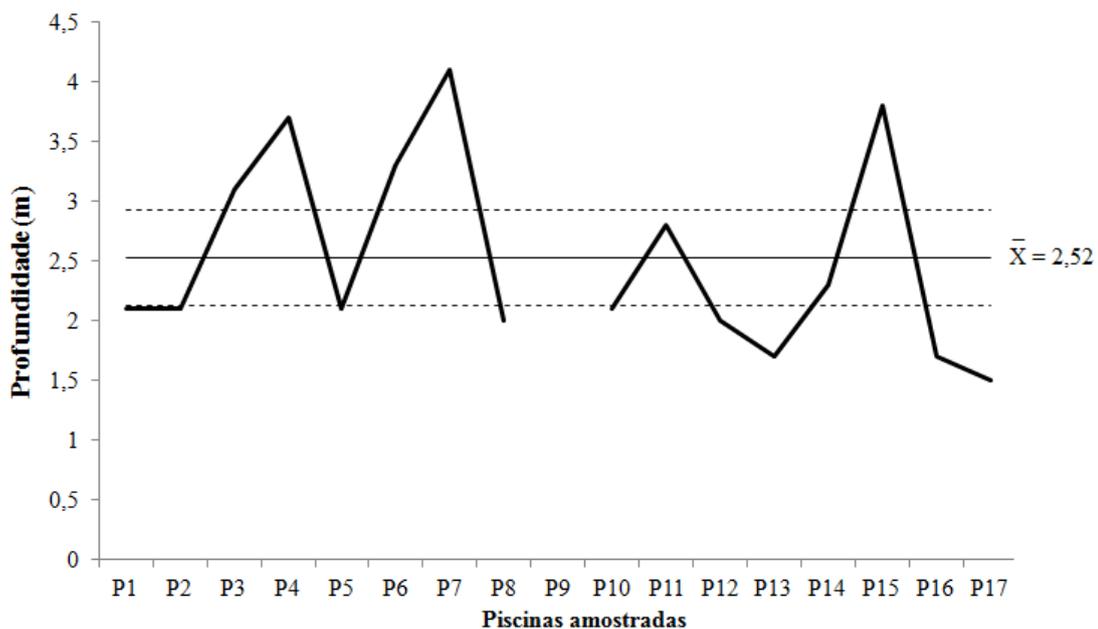
P17 é a maior piscina do anel recifal, mas é extremamente rasa com locais com menos de 0,30 m de profundidade. Apesar de ser rasa, possui complexidade na construção recifal com pequenos refúgios elaborados.

O prolongamento rochoso (R) é uma das pouquíssimas estruturas do Atol que apresenta na composição rochosa condições que a torna diferente das demais áreas amostradas. É um ambiente raso (0,30 m) na baixa-mar e com baixo hidrodinamismo que consiste em um cordão rochoso de 764 m² que se encontra em forma de prateleira, o que possibilita que as lagostas se refugiem embaixo dessa estrutura rochosa. Foi amostrada por ser considerada uma área interessante, onde a abundância de lagostas é grande em uma área pequena (Tabela 1, Figura 5).

4.2 Profundidade e temperatura das piscinas

A média de profundidade das piscinas foi 2,52 m e o intervalo de confiança de $\pm 0,4$ m ($p < 0,05$). As áreas amostradas que apresentaram maior profundidade foram P7 e P15 e as de menor profundidade foram P13, P15 e P16 (Figura 6).

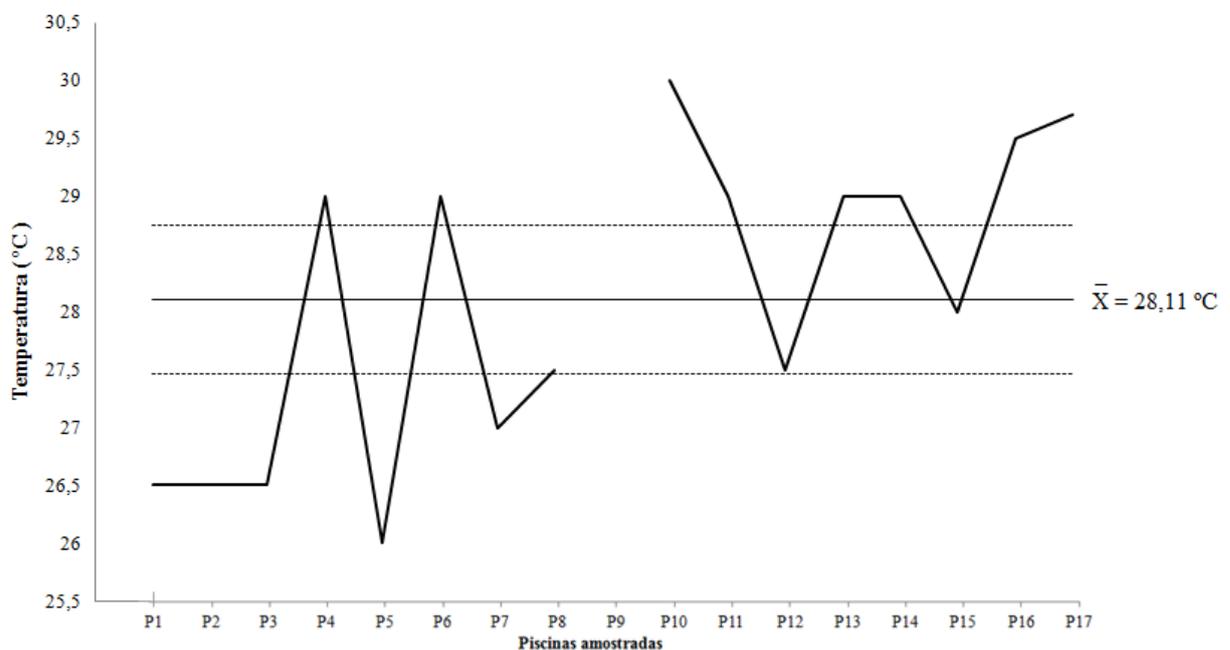
Figura 6 – Profundidade máxima das piscinas amostradas com a respectiva média (\bar{x}) e intervalo de confiança.



A média de temperatura foi de 28,11°C com intervalo de confiança de $\pm 0,65^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$). As áreas amostradas que apresentaram maiores temperaturas foram P10 e P17 e as menores temperaturas foram encontradas em P1, P2, P3 e P5 (Figura 7).

As temperaturas mais baixas foram encontradas nas piscinas amostradas nas primeiras horas da manhã enquanto que as mais altas foram próximas das 12h00 quando o sol está mais quente devido à angulação com que os raios solares incidem na superfície da Terra.

Figura 7 – Temperatura média das piscinas amostradas com a respectiva média (\bar{x}) e intervalo de confiança.



4.3 Populações de lagostas

Durante as amostragens observou-se um total de 2009 lagostas, sendo que houve dominância de 96,32% de *Panulirus echinatus* Smith, 1869, com 1935 indivíduos desta espécie, seguido de *Panulirus argus* (Latreille, 1804) (3,58%) com 72 indivíduos e de *Parribacus antarticus* (Lund, 1793) com dois espécimes (0,10%).

Verificou-se a presença rara da lagosta sapateira, *P. antarticus*, nas águas do interior do Atol das Rocas. Um espécime foi observado na borda da piscina P2 (Figura 5) no período noturno, quando foi realizada uma caminhada noturna para observações de comportamento das espécies de lagostas, e esta era uma fêmea com 86 mm de CL que foi medida com paquímetro com precisão de 0,05 mm. Ainda foi encontrada na piscina Podes Crer (P10) uma

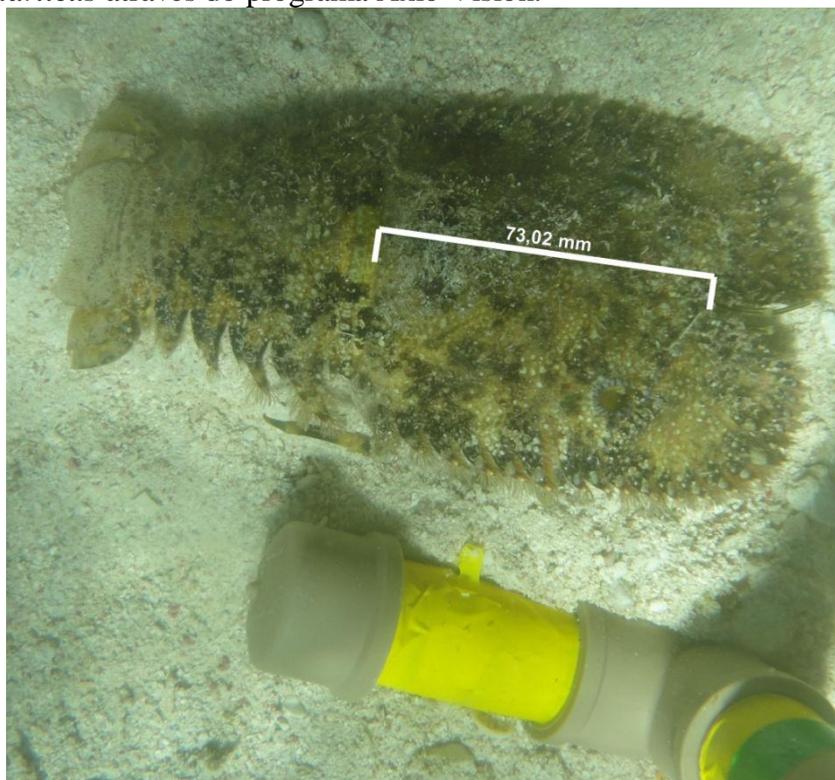
ecdisse de um indivíduo macho com CL medindo 73,02 mm através do programa Axio Vision (Figura 8).

O comprimento do cefalotórax (CL) das lagostas (*P. echinatus*) variou de 13 a 132 mm, mas a medição do CL através do programa Axio Vision apresentou um erro variável por foto devido ao posicionamento da escala em plano diferente da lagosta a ser medida. Isto acarreta em uma subestimação do tamanho do animal, se a escala estiver num plano anterior à lagosta ou mais próximo da câmera; ou uma superestimação, no caso da escala localizar-se em um plano posterior ao da lagosta ou mais afastado da câmera.

A situação ideal seria de padronização da posição da escala em relação à lagosta e do posicionamento deste no mesmo plano que o animal (Figura 8), mas devido à localização dos animais em refúgios recortados e não facilmente alcançáveis, torna este método impossível. Até o presente momento não foi possível avaliar e nem corrigir o erro apesar de alguns experimentos metodológicos terem sido feitos durante esta pesquisa.

Embora não tenha sido possível avaliar o tamanho dos animais pelo programa Axio Vision. Por experiência do mergulhador sabe-se que durante as amostragens foram observados espécimes pré-adultos e adultos das espécies *P. echinatus* e *P. argus*. Animais de tamanho diminuto, considerados juvenis, não foram avistados durante a pesquisa.

Figura 8 – Medição do comprimento do cefalotórax (CL) em milímetros da lagosta *Parribacus antarticus* através do programa Axio Vision.



4.4 Abundância das populações de lagostas

A abundância média de lagostas (*P. echinatus* e *P. argus*) no Atol das Rocas no mês de abril foi de 0,02 lagostas/m² com intervalo de confiança (IC) de 0,0087 lagostas/m² ($p < 0.05$) e no mês de outubro foi de 0,017 lagostas/m² e IC de 0,0091 lagostas/m² ($p < 0.05$).

As lagostas pintadas (*P. echinatus*) foram observadas em todas as piscinas amostradas exceto na P1 no mês de outubro. Foram observados adultos em período reprodutivo (durante o cortejo) e fêmeas carregando ovos (cinco fêmeas observadas na caminhada para observação de comportamentos das lagostas).

Altas abundâncias desta espécie foram observadas em todas as áreas amostradas, com destaque para P5 (0,051 *P. echinatus*/m²) e P6 (0,033 *P. echinatus*/m²) no mês de abril. A abundância média de *P. echinatus* no mês de abril foi de 0,02 lagostas/m² e IC de 0,0083 lagostas/m² ($p < 0.05$) e no mês de outubro foi de 0,016 lagostas/m² e IC de 0,0091 lagostas/m² ($p < 0.05$).

A lagosta vermelha (*P. argus*) ocorreu em menores abundâncias e apenas em poucas piscinas do Atol das Rocas. A abundância média para esta espécie foi de 0,00035 lagostas/m² e IC de 0,0007 lagostas/m² em abril e 0,001 lagostas/m² com IC de 0,0016 lagostas/m² no mês de outubro. As maiores abundâncias dessa espécie foram observadas nas piscinas P2 (0,013 *P. argus*/m²) e P4 (0,002 *P. argus*/m²) no mês de outubro. A P2 é uma piscina localizada na borda do anel recifal e a P4 é uma piscina que possui contato com o mar aberto. Acredita-se que na maré alta deve haver um fluxo de entrada e saída dos animais dependendo das condições adversas do ambiente.

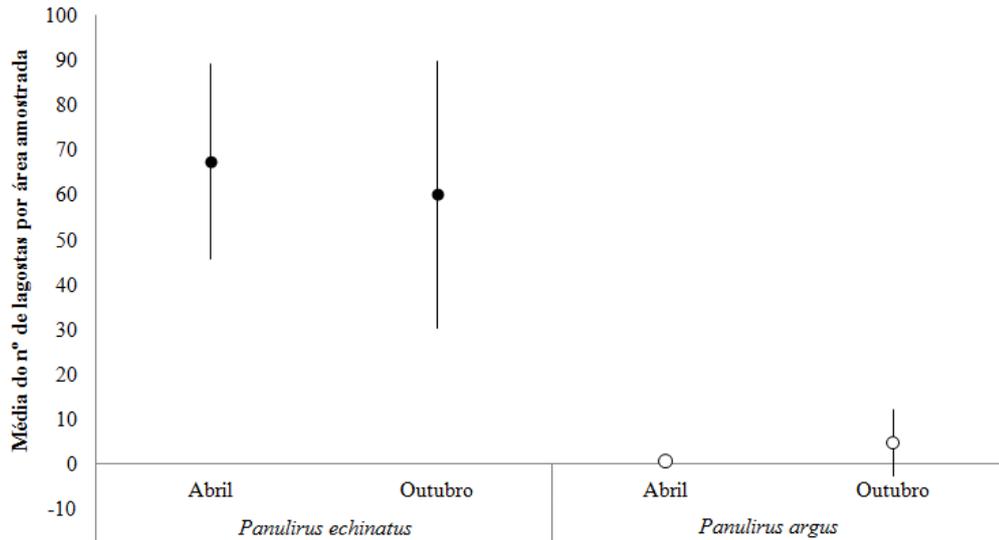
O interior do anel recifal do Atol das Rocas possui populações de lagostas com médias do número de lagostas altas para a espécie *Panulirus echinatus* e baixas para *P. argus*. Dentro das piscinas, as lagostas apresentaram um padrão agregado de distribuição condicionado à complexidade da construção recifal que disponibilizam uma variedade de refúgios de diversos tamanhos que são habitats ideais para estes animais.

Não houve relação entre a abundância por piscina (o número de lagostas por piscina) e a profundidade da mesma. E tampouco a abundância e a temperatura mostraram alguma relação.

A média do número de lagostas das espécies *P. echinatus* e *P. argus* não variou significativamente de abril para outubro, sendo que a média do número de lagostas (\bar{x}) e intervalo de confiança (IC) ($p < 0.05$) de *P. echinatus* em abril foi $\bar{x} = 67,5$ e IC = 21,81 e em

outubro foi $\bar{x} = 60,00$ e $IC = 29,86$ e para *P. argus* em abril foi $\bar{x} = 0,57$ e $IC = 0,76$ e em outubro foi $\bar{x} = 4,57$ e $IC = 7,41$ (Figura 9).

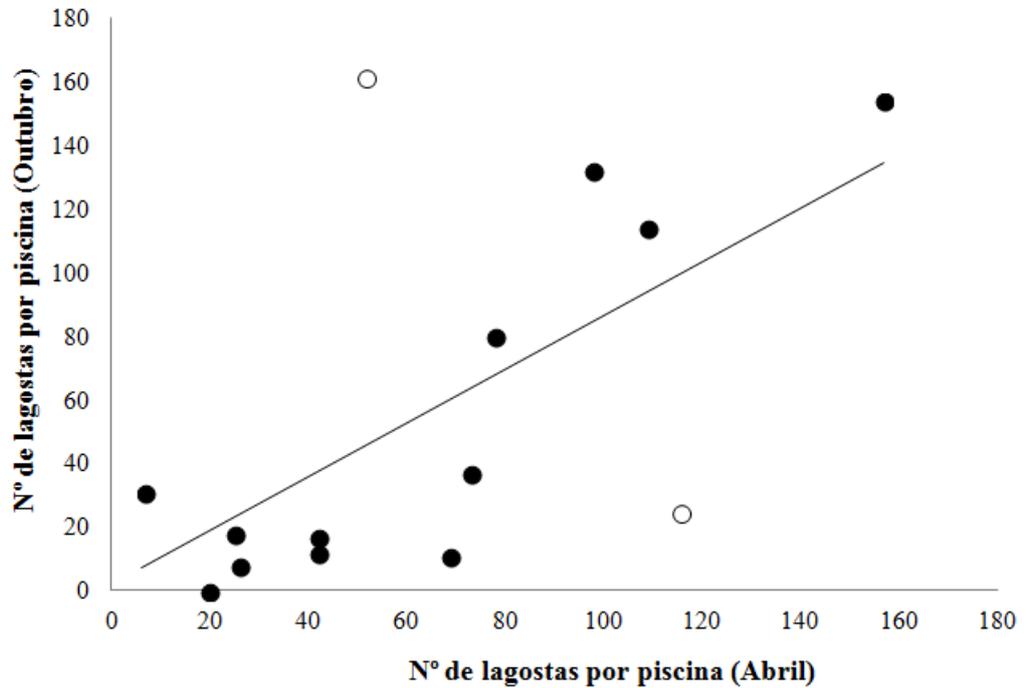
Figura 9 – Média do número de lagostas por área amostrada com os respectivos intervalos de confiança ($p < 0.05$) das espécies *Panulirus echinatus* e *Panulirus argus* para os meses de abril e outubro de 2013 no Atol das Rocas.



Nota-se uma tendência positiva entre a quantidade de lagostas nos meses de abril e de outubro. Houve dois pontos que destoaram dos demais pontos (*outlier*) e estão representados por bola vazia na figura. Este fato pode ser devido a um erro de amostragem ou outro fator que não foi possível identificar no presente estudo, mas trataremos de excluí-los do conjunto de dados (Figura 10).

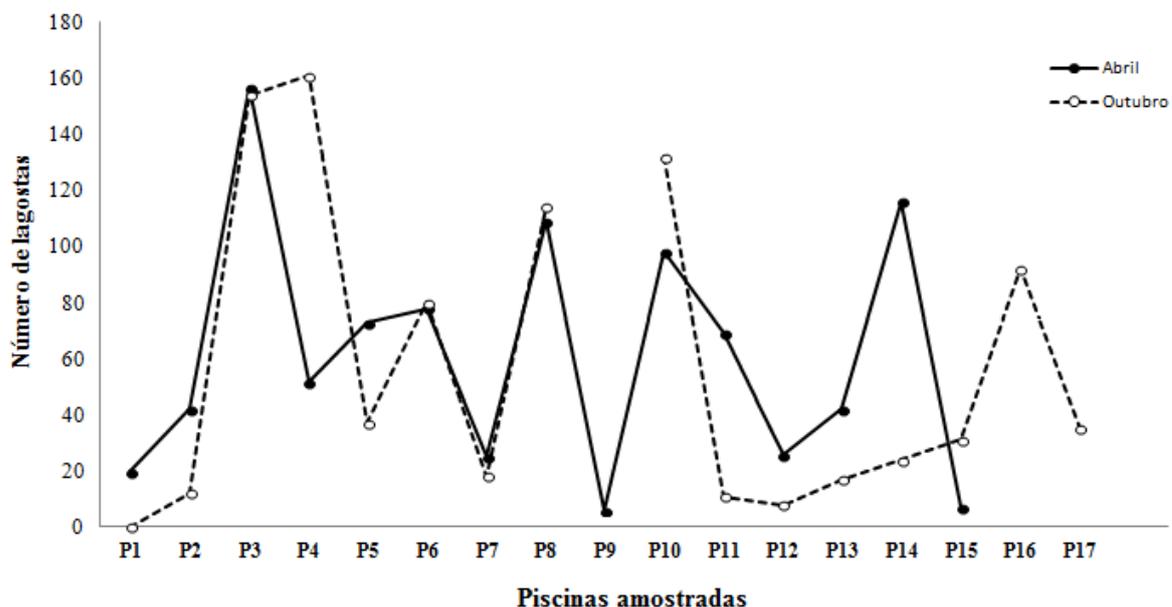
A equação da reta que correlaciona a quantidade de lagostas nos dois meses é $n^{\circ} \text{lagostas outubro} = -16,724 + 1,0921 * n^{\circ} \text{lagostas abril}$ (np (número de piscinas) = 12, $P < 0.05$, $R^2 = 0,7809$).

Figura 10 – Correlação do número de lagostas nos meses de abril e outubro. As duas bolas sem preenchimento representam os pontos que destoam dos demais.



O número de lagostas nas piscinas variou em ambos os períodos, mas percebe-se um padrão no qual podemos observar picos em algumas piscinas em ambos os meses, como por exemplo, maior número de lagostas em P3, P8, P10 e P14 e menor número de lagostas em P1, P2, P12 e P15 (Figura 11).

Figura 11 – Variação do nº de lagostas por piscinas nos meses de abril e outubro. Os espaços descontínuos no gráfico foram locais não amostrados.



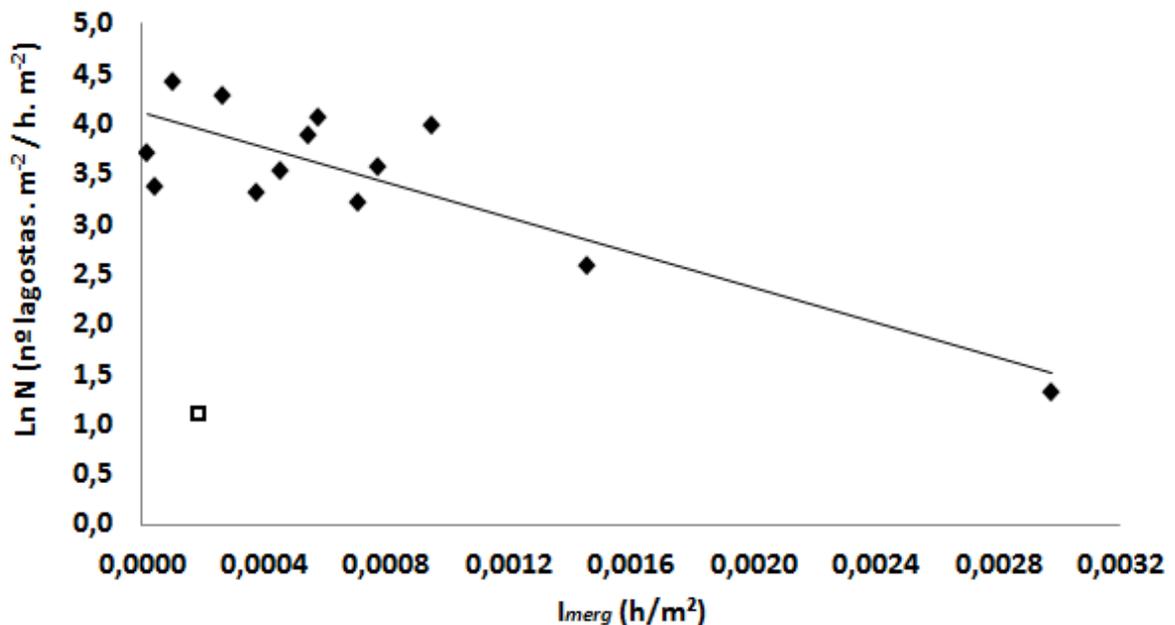
4.5 Modelo para avaliação de populações de lagostas

O modelo proposto se ajustou aos dados de abril e um ponto que é a piscina P15 apresentou-se de forma destoante dos demais pontos o que o caracteriza estatisticamente como um ponto *outlier*. As amostragens foram feitas exatamente da mesma forma e pela mesma coletora de dados em ambos os meses. Para obtenção da equação da reta e do coeficiente de correlação a fim de minimizar as distorções causadas por este ponto, retiramos P15 do conjunto de dados (Figura 12).

Logo, a equação que representa a reta linear dos dados de abril é:

$$\ln N = 4,1136 - 876,97 I_{\text{merg}} \quad (np = 13, P < 0,001, R^2 = 0,7246)$$

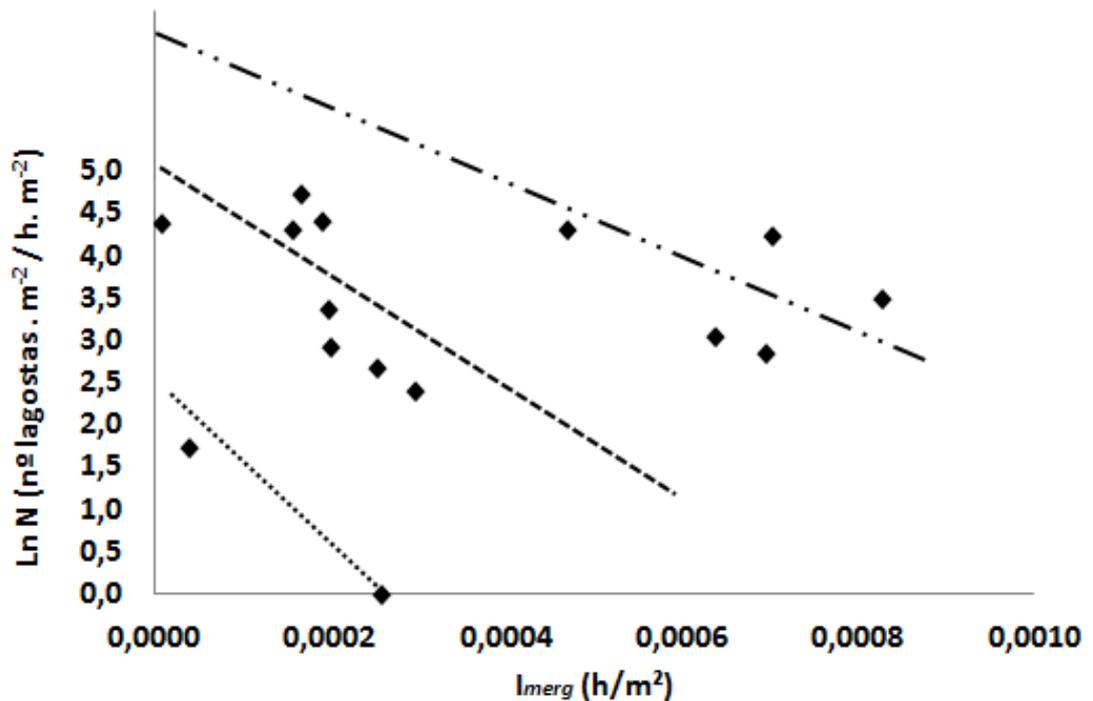
Figura 12 – Relação entre a Abundância ($\ln N$) e Intensidade de amostragem (I_{merg}) dos dados do mês de abril com destaque para P15 representada pelo quadrado vazio indicando que este é um ponto *outlier*.



Observa-se que os dados de outubro não mostraram uma tendência negativa como conjunto de dados. Isto implica na impossibilidade de dar continuidade ao modelo com esse conjunto de dados, pois a tendência negativa é um dos requisitos necessários para a aplicação deste modelo. Logo, este não pode ser aplicado. Entretanto, nota-se que existem algumas possíveis tendências dos dados (Figura 13). Acredita-se que isso pode ocorrer por diversos fatores, entre eles a dinâmica populacional, a distribuição espacial e outros mais. Neste momento não será possível elucidar a questão que necessita de mais amostragens para

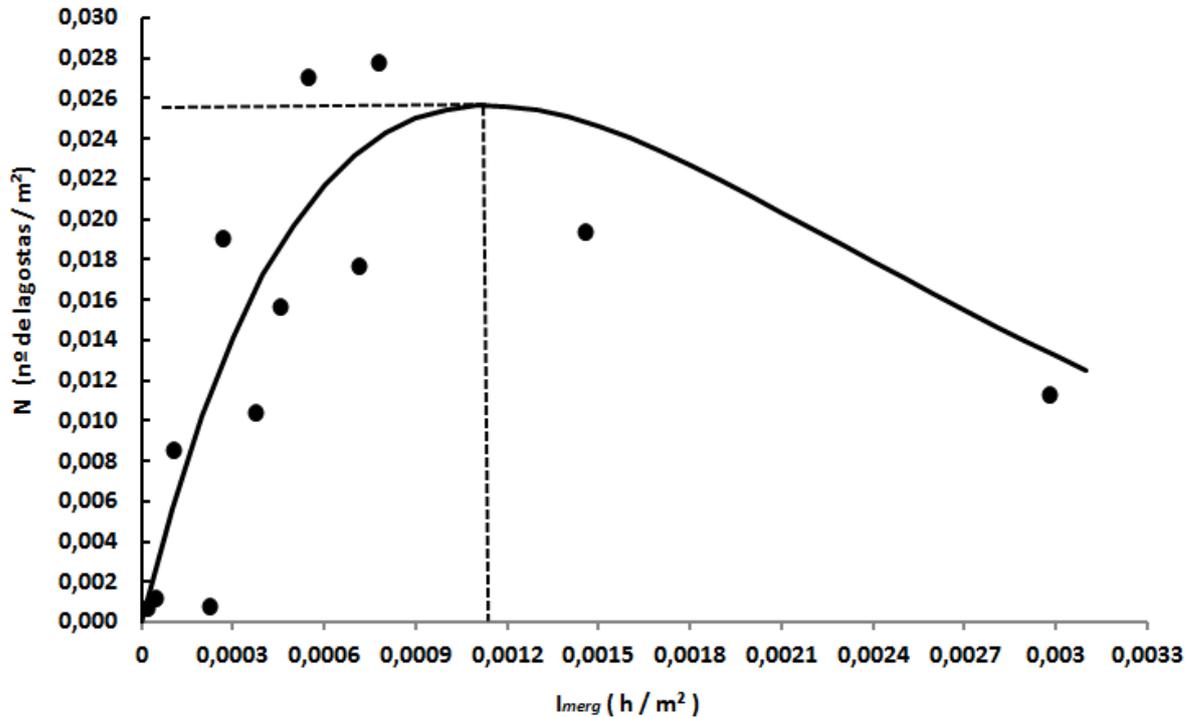
verificar se essas tendências se mantêm ao longo do tempo ou se foi um caso particular desta amostragem.

Figura 13 – Relação entre a Abundância ($\ln N$) e Intensidade de amostragem (I_{merg}) dos dados do mês de outubro com possíveis tendências dos dados, as quais foram calculadas manualmente.



A abundância de lagostas por piscina foi altamente variável em relação à intensidade de amostragem (Figura 14). A tendência desta relação mostra uma curva parabólica com um valor máximo de N de 0,0257 lagostas/ m^2 , atingido com uma intensidade de amostragem ótima de 0,0011 h/m^2 . Desta forma, pode-se estimar que o potencial máximo de lagostas que podem ser avistadas nas piscinas amostradas é de 6.603 lagostas da espécie *Panulirus echinatus*. Esse dado foi estimado através da multiplicação da área de todas as piscinas amostradas (256.913,3 m^2) pelo valor ótimo de N de 0,0257 lagostas/ m^2 ($p < 0.01$).

Figura 14 – Tendências das abundâncias (N) da lagosta pintada (*Panulirus echinatus*) em relação à Intensidade de amostragem (I_{merg}) através de censo visual na Reserva Biológica do Atol das Rocas para o mês de abril ($n_p = 12$, $P < 0.001$, $R^2 = 0.7246$).



O peso total foi estimado através da multiplicação do número total de lagostas (6.603) pelo valor do peso médio de 0,30 kg por lagosta da espécie *Panulirus echinatus* como descrito por Pinheiro e colaboradores (2003), visto que não foram obtidos neste estudo dados a respeito do peso dos animais. Logo, estima-se que haja um peso total de 1.981 toneladas baseado no peso médio relatado para outra localidade, mas este pode ser menor dependendo do peso médio das lagostas pintadas do Atol das Rocas que ainda precisa ser avaliado.

5 DISCUSSÃO

5.1 Comportamentos ecológicos das lagostas

A elevada abundância (0,02 lagostas/m²) de *Panulirus echinatus* no interior do anel recifal do Atol das Rocas corrobora com o relato de Holthuis (1991) e Lipcius e Eggleston (2000) de que a espécie é preferencialmente distribuída em ilhas oceânicas e regiões continentais, em águas rasas e geralmente claras até um máximo de 35 m. Nas piscinas do atol a espécie não ultrapassou 4,5m e foi encontrada em habitats de formação recifal complexa, contendo fendas profundas no recife e tocas embaixo de grandes pedras formadas pela retirada do sedimento.

Nas profundidades exploradas (0,30 a 4,10 m) a espécie *P. argus* mostrou baixa abundância variando entre 0,000026 e 0,013 lagostas/m² nas piscinas. Na plataforma continental do Brasil, a espécie habita diferentes gradientes de profundidade, identificando dois estoques distintos, um em águas rasas (<50 m) e outro em águas mais profundas entre 50 e 100 metros (CRUZ *et al.*, 2013).

A lagosta sapateira *Parribacus antarcticus* é um animal geralmente encontrado em águas rasas (0 a 20 m) de recifes de coral e recifes rochosos com fundo arenoso (HOLTHUIS, 1991). É uma espécie pouco abundante nos locais de ocorrência. Foi uma espécie raramente encontrada no Atol das Rocas, sendo que um indivíduo foi observado em uma caminhada noturna para observação de comportamentos ecológicos alimentares de lagostas nas bordas das piscinas (quase fora da água). E o outro avistamento foi da muda de outro espécime encontrada no fundo arenoso de uma piscina.

As características preferenciais de *P. argus* por habitat mais profundos (0 a 90 m com ocorrências em maiores profundidades) que *P. echinatus* (0 a 35 m) (HOLTHUIS, 1991) pode ser um fator natural para explicar as baixas abundâncias de *P. argus* nas áreas rasas do Atol das Rocas. No entanto, para afirmar tal situação é necessário avaliar as populações externas do anel recifal para verificar as abundâncias populacionais das espécies neste ambiente mais fundo que as áreas amostradas neste estudo.

Durante esta pesquisa notou-se que as lagostas no Atol das Rocas estão condicionadas às piscinas e nestas apresentaram um padrão agregado de distribuição. Os animais foram encontrados nos mesmo locais nas diversas áreas amostradas e em ambos os meses de amostragem. Isso corrobora com o comportamento residente (HERRNKIND, 1980; CHILDRESS & JURY, 2006; WYNNE & CÔTÉ, 2007) que as lagostas apresentam quando

os habitats são de alta qualidade, proporcionando alimento e demais recursos necessários disponíveis nas proximidades dos refúgios.

Esse comportamento residente foi predominante em ambientes protegidos dentro das piscinas que eram locais com menor intensidade de correnteza e embate de ondas e com construção recifal complexa. Logo, observou-se uma maior quantidade de refúgios ideais e que apresentaram um número de lagostas maior que ambientes expostos que não são adequados para a proteção dos animais de predadores e do hidrodinamismo (LIPCIUS *et al.*, 1997; CHILDRESS & JURY, 2006).

Trabalhos sobre o comportamento do movimento de lagostas relatam que estes animais muitas vezes apresentam um comportamento residente (CHITTLEBOROUGH, 1974; HERRNKIND *et al.*, 1975; KELLY & MacDIARMID, 2003; WITHY-ALLEN & HOVEL, 2013) e que em média realizam movimentos de até 300 m por dia (CHILDRESS & JURY, 2006) em busca de recursos necessário para sobreviverem. Essa característica pode ter servido para aperfeiçoar as habilidades de localização de presas, de evitar predadores e de retornar para abrigos de alta qualidade (HERRNKIND, 1980).

Não obstante, acredita-se que estes animais possam realizar movimentos em busca de alimento e refúgio migrando de uma área para outra conforme suas necessidades por recursos. De acordo com Cruz *et al.* (1986b) as lagostas realizam movimentos nômades, caracterizados por serem individuais, aleatórios e sem direção definida com distância média percorrida de 11,3 km no Golfo de Batabanó do Arquipélago Cubano. Esta movimentação dos animais pode ser devida a fatores ambientais como precipitação, aumento de temperatura, aumento de ventos e outras variáveis abióticas. Ou ainda mudanças fisiológicas, de tipo de refúgio e de hábito alimentar dos animais conforme vão se desenvolvendo, fazendo com que estes saiam em busca de diferentes habitats que sejam mais propícios para seu crescimento e reprodução (CRUZ *et al.*, 1986b), podendo afetar a distribuição espacial dos animais (Huang *et al.*, 2013).

No entanto, sugere-se a realização de pesquisa específica para verificar se o tamanho dos refúgios e os locais com menor hidrodinamismo realmente favorecem maior abundância de lagostas e avaliar a ocorrência de migrações e qual a causa desta movimentação.

5.2 Distribuição e abundância de *Panulirus echinatus*

As lagostas pintadas estão distribuídas de forma agregada dentro das piscinas que se formam na baixa-mar no Atol das Rocas e as abundâncias dentro das piscinas variaram tanto em abril quanto em outubro.

Os elevados dados de abundância de *Panulirus echinatus* entre 0,0002 e 0,052 lagostas/m² encontrados neste estudo indicam que o Atol das Rocas é um ecossistema que apresenta alta biomassa de lagostas por área. Este resultado corrobora a teoria de Baird e Atkinson (1997) de que atóis são ecossistemas altamente produtivos apesar de possuírem águas oligotróficas. Processos hidrodinâmicos de pequena escala promovem renovação de água no interior do atol e, conseqüentemente, ocorre ciclagem de nutrientes e gases dissolvidos que favorecem um acúmulo de biomassa no local.

Estudos de campo com metodologias semelhantes a respeito de populações de lagostas espinhosas indicam que a abundância aqui relatada para o Atol das Rocas é análoga às de estudos feitos em áreas protegidas e não protegidas (Tabela 2).

Tabela 2 – Abundância média (indivíduos/m²) de lagostas de diferentes espécies em diferentes locais do mundo. (*) aproximação dos valores, já que no trabalho não há especificação do método empregado com detalhes da largura do transecto.

Local	Abundância	Espécie	Autoria
Brasil – Atol das Rocas	0,02	<i>Panulirus echinatus</i>	Atual Estudo
Brasil – Abrolhos	0,0002	<i>Panulirus echinatus</i>	Gaeta, 2011
Brasil – Porto de Galinhas	0,02	<i>Panulirus echinatus</i>	Giraldes <i>et al.</i> , 2012 (*)
Belize – Atol Glovers Reef	0,009	<i>Panulirus argus</i>	Acosta & Robertson, 2003
Belize – Atol Glovers Reef	0,0055	<i>Panulirus guttatus</i>	Acosta & Robertson, 2003
Cuba – Isla de la Juventud	0,0055	<i>Panulirus argus</i>	Cruz <i>et al.</i> , 1986a
Flórida – Lower Keys	0,2	<i>Panulirus argus</i>	Eggleston <i>et al.</i> , 2008
Flórida – Upper Keys	0,0063	<i>Panulirus argus</i>	Eggleston <i>et al.</i> , 2008
Flórida – Marathon Keys (antes da pesca em recife costeiro e isolado)	0,019 e 2	<i>Panulirus argus</i>	Eggleston <i>et al.</i> , 2003
Flórida – Marathon Keys (após a pesca em recife costeiro e isolado)	0,001 e 1	<i>Panulirus argus</i>	Eggleston <i>et al.</i> , 2003
Nova Zelândia (Ilha Norte)	0,04	<i>Jasus edwardsii</i>	Kelly <i>et al.</i> , 2000
Nova Zelândia (Ilha Sul)	0,013	<i>Jasus edwardsii</i>	Davidson <i>et al.</i> , 2002

Verifica-se que a abundância média de *Panulirus echinatus* de 0,02 lagostas/m² encontrada no Atol das Rocas é superior às encontradas em outros locais do Brasil como na área protegida do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (BA) com média de 0,0002 lagostas/m² (GAETA, 2011; FARIA JR *et al.*, 2013). Assemelha-se, porém, à de populações

de locais não protegidos como Porto de Galinhas (PE) com média estimada de 0,02 lagostas/m², pois não é especificada a largura dos transectos amostrados no estudo (GIRALDES *et al.*, 2012).

Em Belize, na área protegida do Atol Glover's Reef comparando *Panulirus argus* e *P. guttatus* foram observadas abundâncias de 0,0091 lagostas/m² e 0,0055 lagostas/m², respectivamente (ACOSTA & ROBERTSON, 2003). Estas foram obtidas através de censos visuais semelhantes aos utilizados nesta pesquisa.

Em diferentes regiões de pesca do Caribe foram observadas diferenças significativas entre os valores calculados para cada área dependendo da proteção e das características de cada localidade. No Golfo de Batabanó (arquipélago cubano), Cruz *et al.* (1986a) observaram uma média de 0,005 lagostas /m² da espécie *P. argus*. Na Flórida as abundâncias médias para a espécie *Panulirus argus* em áreas protegidas (adjacentes às áreas de pesca) variaram, sendo de 0,2 lagostas/m² em Lower Keys e 0,0063 lagostas/m² em Upper Keys (EGGLESTON *et al.*, 2008). Já em Marathon Keys observou-se abundância média de 0,019 lagostas/m² nos recifes costeiros e de 2,0 lagostas/m² nos recifes isolados antes do início da pesca. Após o início da pesca dentro da área protegida esta abundância sofreu uma queda acentuada para 0,001 lagostas/m² e 1,0 lagostas/m², respectivamente (EGGLESTON *et al.*, 2003).

Em espécies de águas mais temperadas, encontrou-se uma abundância média para a espécie *Jasus edwardsii* de 0,04 lagostas /m² nas áreas protegidas localizadas no Norte da Ilha Norte da Nova Zelândia (KELLY *et al.*, 2000) e de 0,013 lagostas/m² nas reservas ao Norte da Ilha Sul do mesmo país (DAVIDSON *et al.*, 2002).

Os trabalhos de censo visual através de mergulhos no período noturno (CRUZ *et al.*, 1986a e b; GAETA, 2011) são escassos devido à dificuldade logística e de segurança que envolve esta atividade. Em diversos locais do mundo onde há pesquisa com censo visual de lagostas, é priorizado e amplamente utilizado o período diurno (KELLY *et al.*, 2000; EGGLESTON *et al.*, 2003, 2008; COX & HUNT, 2005; GIRALDES *et al.*, 2012) para amostragem visto que é feita uma busca ativa dos animais em seus refúgios durante o dia.

Nesta pesquisa ainda deve-se considerar o fato de que o Atol das Rocas por diversas características é um ambiente inóspito no qual não convém correr riscos desnecessários como mergulhar ou realizar qualquer atividade noturna que possa colocar em risco a vida das pessoas. Realizar qualquer atividade no Atol já requer atenção máxima porque é um ambiente que a variação de maré é intensa e ocorre de forma rápida, que muitas vezes existe correnteza no local a ser amostrado, que se deve atentar para não entrar em contato com animais que possam causar avarias aos seres humanos, entre outras situações corriqueiras do ambiente.

As áreas protegidas são consideradas ferramentas importantes para recuperação e conservação de habitats e da biodiversidade, principalmente de espécies sobreexploradas, incluindo as lagostas espinhosas (KELLY *et al.*, 2000; DAVIDSON *et al.*, 2002; EGGLESTON & PARSONS, 2008; EGGLESTON *et al.*, 2008). A proteção oferecida pode aumentar a biomassa do estoque desovante dentro dessas áreas e conseqüentemente aumentar a produção larval e o recrutamento de metapopulações (HANSKI, 1998). A efetividade dessas áreas para que ocorram esses efeitos depende em parte da história de vida da espécie alvo (ALLISON *et al.*, 1998); da dinâmica *source-sink* da metapopulação (LIPCIUS *et al.*, 1997); do sistema de gestão da área (GARDNER *et al.*, 2000); de aspectos como o tamanho da reserva, configuração geométrica e localização (BUECHNER, 1987; STAMPS *et al.*, 1987; ROBERTS & HAWKINS, 2000, HALPERN, 2003); da hidrodinâmica de transporte e de processos envolvidos no recrutamento (ACOSTA, 2002; LIPCIUS *et al.*, 2008; EHRHARDT & FITCHETT, 2010).

Para avaliar a efetividade de uma unidade de conservação marinha, é necessário mensurar e refletir sobre diversas variáveis que podem influenciar as espécies que se encontram nessas áreas protegidas (ACOSTA, 2002). Acosta e Robertson (2003) alegaram que a principal característica para que uma área seja efetiva na conservação é uma extensa área contendo habitats críticos para suportar e amparar as diferentes fases do ciclo de vida das espécies-alvo.

O acúmulo e a persistência de uma população dentro de uma reserva pode ser uma função complexa da distribuição de habitats críticos (ACOSTA, 1999; McCLANAHAN & ARTHUR, 2001; PADDACK & ESTES, 2000), da geometria das fronteiras (BUECHNER, 1987; STAMPS *et al.*, 1987), do tipo de habitats circundantes (JANZEN, 1983; KARIEVA, 1985) e da dinâmica de dispersão específica da espécie (TURCHIN, 1986; WITH *et al.*, 1999).

Withy-Allen e Hovel (2013) ressaltaram a necessidade de que a área marinha protegida seja maior que a área de vida dos organismos alvo de proteção e que consista em um ambiente com uma variedade de tipos de habitats. E acrescentaram que se deve levar em consideração a interação predador-presa antes e depois da implementação da área.

A presença abundante da espécie *P. echinatus* nas águas rasas das piscinas formadas na baixa-mar, a observação de recursos alimentares suficientes, a disponibilidade de abrigos adequados para proteção das lagostas, a extensão da área da ReBioAR e a grande variedade de habitats encontrados no local indicam que esta área esteja sendo eficaz na proteção e conservação das lagostas pintadas (*P. echinatus*). Entretanto, para avaliar a efetividade dessa

Reserva Biológica serão necessários estudos para verificar o padrão de recrutamento larval das lagostas, a dinâmica populacional, a dieta alimentar, a distribuição espacial das diferentes fases do ciclo de vida, a disponibilidade de refúgios e recursos e outras variáveis importantes. Porém, ressalta-se que a observação de animais de tamanhos diversos, de adultos reprodutivos em cópula e de fêmeas carregando ovos são bons indicativos de que esta área protegida está sendo favorável para estes animais. E ainda, a alta abundância das lagostas nas áreas internas do Atol é um indicador de eficácia desta área para a conservação desta espécie.

5.3 Modelo para avaliação de populações de lagostas *in situ*

Os resultados deste estudo sugerem que é factível avaliar as populações de lagostas *Panulirus echinatus* que habitam áreas de pequena extensão como as do interior do anel recifal do Atol das Rocas através de um modelo proposto para utilização de dados ecológicos coletados *in situ*.

O modelo ajustou-se aos dados do mês de abril e não pôde ser aplicado para o mês de outubro devido ao comportamento dos dados das abundâncias que não apresentaram um padrão definido. Pode ser que haja algum efeito não avaliado até então devido à aplicação de um modelo com base em modelos propostos inicialmente para avaliar populações antropicamente exploradas (LESLIE & DAVIS, 1939; MUNRO, 1979; MUNRO & THOMPSON, 1983; CLARKE & YOSHIMOTO, 1990; PARKES *et al.*, 1996; CRUZ & BORDA, 2013; CRUZ *et al.*, 2013) e que neste caso especial a pesca é aparentemente muito baixa na área da reserva e inexistente dentro do anel recifal do Atol das Rocas.

O modelo fundamenta-se na Abundância (N) e Intensidade de Amostragem (I_{merg}) e poderá ser utilizado para uma melhor gestão e manejo dos recursos marinhos sem que seja necessária a captura dos animais.

O modelo proposto aplicado no mês de abril mostrou características semelhantes aos modelos utilizados anteriormente para avaliar populações de peixes (MUNRO, 1979; MUNRO & THOMPSON, 1983; GAUDIEN *et al.*, 1995; PARKES *et al.*, 1996) e de lagostas (CLARKE & YOSHIMOTO, 1990; CRUZ & BORDA, 2013; CRUZ *et al.*, 2013) através de dados estatísticos pesqueiros. No entanto, a não adequação dos dados de outubro ao modelo proposto tem que ser avaliada e para tal, é necessário manter as amostragens a fim de verificar se o modelo é aplicável e apenas houve um problema na adequação do modelo com os dados do mês de outubro. A dinâmica populacional, a ecologia natural da espécie, a imigração e

emigração de animais, e outros aspectos que se pretende entender, podem estar relacionadas com essa não adequação dos dados do mês de outubro ao modelo proposto.

Os dados ecológicos coletados *in situ* são dados mais fidedignos que os advindos das estatísticas pesqueiras, visto que não há uso de artefatos pesqueiros para capturar, atrair ou aprisionar os animais. A amostragem consiste em procurar ativamente pelos animais em seus refúgios para estimar a abundância real (nº de animais/m²) das áreas amostradas o que é favorecido no caso de populações de lagostas porque estes animais não se amedontram a ponto de fugir da presença de seres humanos.

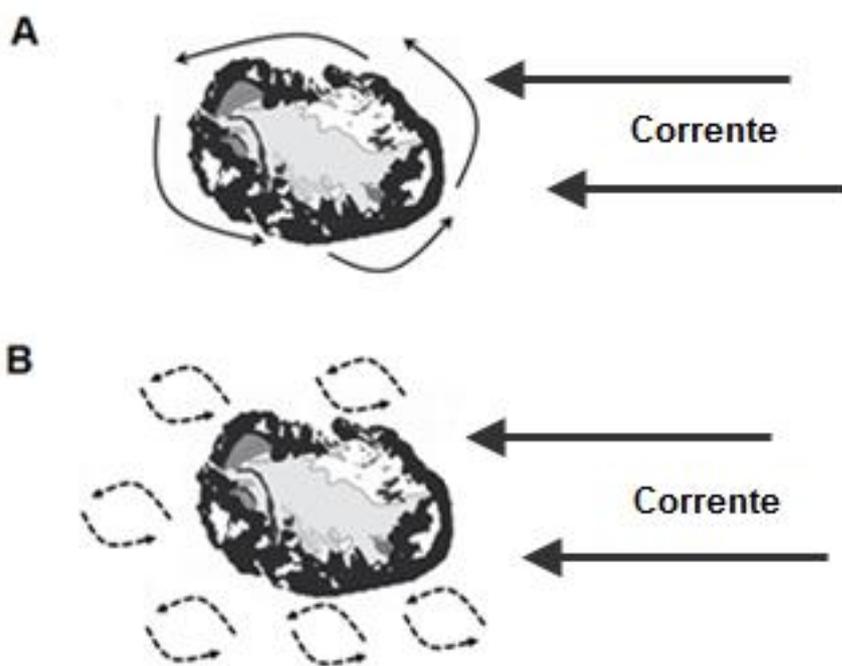
De acordo com Herrnkind (1980) a coleta *in situ* de dados permite que o pesquisador observe outras condições específicas dessas populações como a sociabilidade, a estrutura dos habitats, cópulas e outros atributos comportamentais sem a necessidade de manuseio e traumas por captura. Além disso, acredita-se que a metodologia de censo visual possa ser um ponto-chave na avaliação de populações de espécies sobreexploradas para obtenção de dados ecológicos destes recursos, visto que pode ser utilizada tanto em áreas estritamente protegidas como áreas não protegidas sem causar danos às populações marinhas. O censo visual é indicado principalmente na realização de pesquisa em áreas marinhas protegidas, onde se subentende que os animais devem ser mantidos “intocados” para que variações populacionais sejam estudadas e entendidas pela ciência. Esta metodologia possui algumas desvantagens, mas que podem ser eliminadas através de um bom desenho amostral e treinamento dos coletores de dados.

5.4 Padrões de conectividade. Transporte e retenção

As lagostas espinhosas têm um ciclo de vida muito complexo, que inclui uma fase larval planctônica oceânica de vários meses de duração (LEWIS *et al.*, 1952; FARMER *et al.*, 1987; KITAKA, 1994). Depois da metamorfose da última larva para o estágio de puerulus, que possui capacidade natatória, ocorre a migração em direção à costa (PHILLIPS *et al.*, 1980). Depois do assentamento, ocorre a metamorfose dos puerulus que se convertem no estágio pós-puerulus ou fase algal que permanecem isolados e ocultos na vegetação segundo Butler *et al.* (1997). Depois surge a fase juvenil com características gregárias e que se refugiam em cavernas fornecidas por rochas, arrecifes coralíneos, esponjas e octocorais (CRUZ *et al.*, 1986a; HERRNKIND & BUTLER, 1994; CRUZ *et al.*, 2001). A fase adulta se inicia uma vez que as lagostas começam a reprodução.

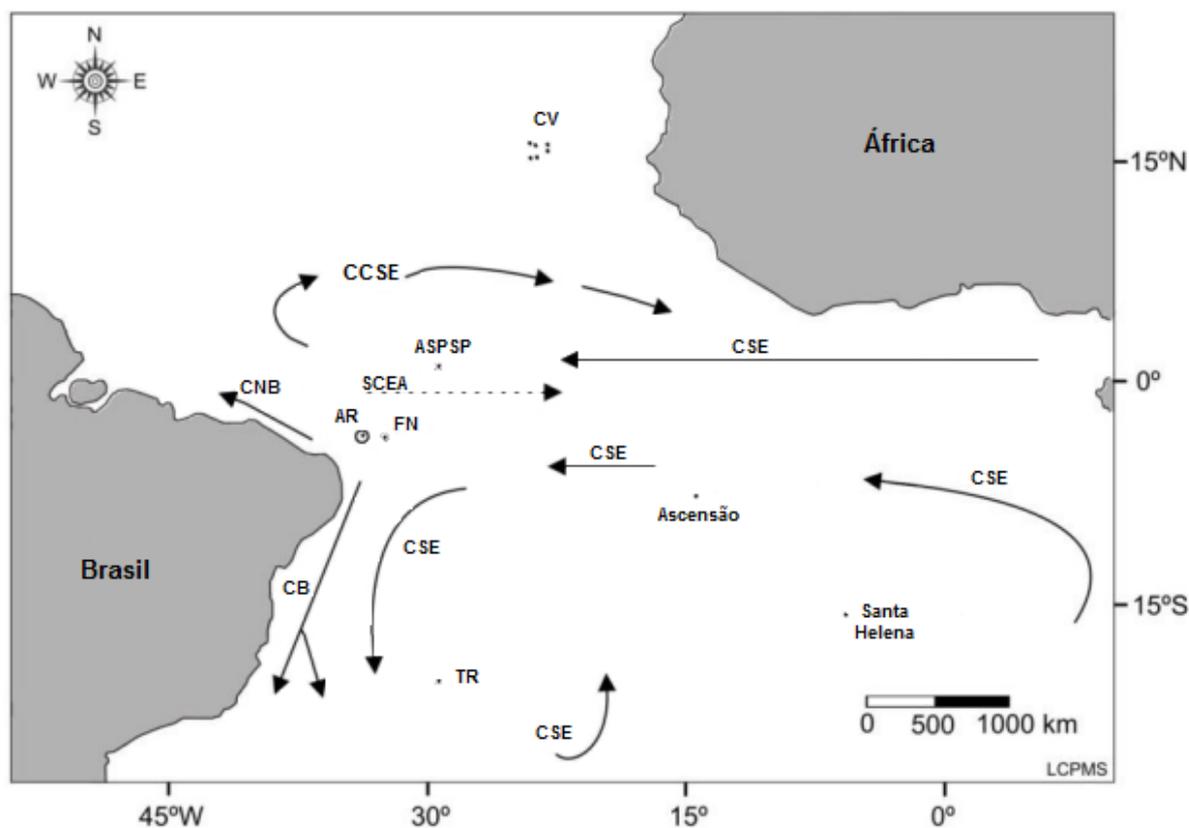
Para a espécie *P. echinatus* não existem estudos descritivos sobre as diferentes fases de vida desses animais, mas o ciclo de vida é longo e muito semelhante às espécies da família Palinuridae. Os adultos de *P. echinatus* que habitam o Atol das Rocas, durante o período de reprodução incubam seus ovos na região recifal e suas larvas eclodem e migram para a região oceânica. Hipotetiza-se que as larvas possam ficar retidas no oceano se houver giros da corrente (Figura 15) que retenham uma elevada quantidade de larvas nascida no Atol, enquanto que os puerulus com capacidade natatória podem migrar para a zona do recife.

Figura 15 – Representação esquemática de dois sistemas provais da circulação da corrente do Atol das Rocas na região oceânica em grande escala. Mostra-se que uma grande parcela de água pode ficar retida, o que facilita a entrada dos puerulus no Atol. Esquema A: circulação fechada e B: sistema de microcorrentes (pequenos redemoinhos).



Além disso, existe a probabilidade que outras larvas mais distantes, provenientes do Arquipélago de Fernando de Noronha, Arquipélago de São Pedro e São Paulo e de Cabo Verde (África) possam ser trazidas pela corrente e assim, fiquem retidas no sistema do Atol das Rocas (Figura 16).

Figura 16 – Imagem ilustrativa das Correntes Oceânicas que podem dispersar amplamente as larvas de lagostas de outros locais do Oceano Atlântico para o Atol das Rocas. AR – Atol das Rocas em destaque com um ponto com círculo; ASPSP – Arquipélago de São Pedro e São Paulo; CV – Cabo Verde; FN – Fernando de Noronha; TR – Ilha da Trindade; CB – Corrente do Brasil; CNB – Corrente Norte do Brasil; CSE – Corrente Sul Equatorial; CCSE – Contra Corrente Sul Equatorial; SCEA – Subcorrente Equatorial Atlântica. Modificado de Teschima (2012); Macedo-Soares *et al.* (2012) e Silveira *et al.* (2000).



Desta forma, o Atol das Rocas está atuando como concentrador de biomassa de pós-larvas (puerulus), juvenis e adultos de lagostas, sendo eles residentes desta área porque após o assentamento da pós-larva puerulus, os animais ficam restritos ao anel recifal e entorno onde assentaram. Isso acontece para as populações de lagostas porque são animais que apresentam pouca capacidade natatória (utilizada para fuga de predadores) e quando realizam movimentos esses são de curtas distâncias (CHILDRESS & JURY, 2006).

Logo, as populações de lagostas que habitam o Atol das Rocas podem estar contribuindo apenas geneticamente com as populações de lagostas de outras localidades através do fornecimento de larvas (Phyllosoma e puerulus) que são dispersas pelas correntes oceânicas. Ou podem estar atuando apenas como fornecedoras de larvas para autorecrutamento populacional. Para elucidar essa hipótese são necessários estudos sobre o padrão de recrutamento das larvas, sobre o padrão local de correntes, sobre a conectividade de

populações de lagostas e sobre a dinâmica populacional para verificar de que forma o Atol está atuando.

Nada se sabe a respeito dos movimentos realizados pelas lagostas que habitam o Atol das Rocas. Mas, sabe-se que o perfil batimétrico de Rocas pode alcançar até 4000 m de profundidade e que por ser uma ilha oceânica encontra-se afastada da costa (267 km) e de outras ilhas sendo Fernando de Noronha o arquipélago mais próximo (148 km) (SILVA *et al.*, 2001; PEREIRA *et al.*, 2010; 2013). O desconhecimento de movimentações de lagostas por longas distâncias, tanto verticais (4000 m de profundidade) quanto horizontais (150 km), causa o aprisionamento das lagostas nas águas do Atol das Rocas. Para comprovar esse aprisionamento sugere-se a realização de um estudo com captura e recaptura de lagostas para avaliar quais e como são os movimentos realizados pelas lagostas neste local.

CONCLUSÕES

1- As lagostas apresentaram um padrão agregado de distribuição dentro das piscinas formadas na baixa-mar no Atol das Rocas, pois estas disponibilizam recursos necessários para sobrevivência das lagostas como alimento e refúgios que possibilitam proteção contra o hidrodinamismo e contra predadores. Locais no interior dessas piscinas onde o hidrodinamismo é menor e o número de abrigos é grande favorece o estabelecimento das lagostas de forma agregada e abundante.

2- O Atol das Rocas apresentou altas abundâncias (0,02 lagostas/m²) nas piscinas formadas na baixa-mar. Este ambiente é um concentrador de pós-larvas puerulus, juvenis e adultos de lagostas, sendo eles residentes desta área porque após o assentamento da pós-larva puerulus, os animais ficam restritos ao anel recifal devido à impossibilidade de saída por causa das grandes profundidades (4000 m) desta região.

3- O modelo proposto neste trabalho mostrou-se eficaz no mês de abril para avaliação de populações de lagostas *in situ*, mas os dados de outubro não apresentaram um padrão definido e não foi possível a aplicação do modelo neste caso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fato de o Atol das Rocas ser uma Unidade de Conservação da categoria mais restritiva há mais de 30 anos é de fundamental importância, porque caso contrário esta área estaria completamente devastada devido aos inúmeros impactos antrópicos e por ser uma ilha oceânica tropical. De acordo com Chown *et al.* (1998) é um ambiente vulnerável de baixa capacidade de resiliência.

A pesca de lagostas na região seria catastrófica como já se observou em um passado recente, porque todos os animais seriam capturados de forma rápida por estarem concentrados nas piscinas rasas que se formam durante a baixa-mar e as populações demorariam muitos anos para se reestruturar, pois o ciclo de vida das lagostas é complexo e longo.

Sabe-se que a sobreexploração dos estoques de lagostas causa prejuízos imensuráveis e até irreversíveis ao ambiente bentônico. O impacto causado pelas lagostas nas comunidades bentônicas é profundo e principalmente conhecido para ecossistemas rochosos de regiões temperadas (BUTLER *et al.*, 2006). Estudos sobre a responsabilidade das lagostas pela manutenção dos níveis tróficos em ambientes tropicais são escassos e no Brasil inexistem.

Portanto, sugere-se que o Atol das Rocas permaneça como área protegida e com as restrições de Reserva Biológica para que este local que apresenta beleza cênica e imensa importância biológica se mantenha conservado. Desta forma, mantém-se possível a realização de pesquisas em um ambiente que pode ser considerado quase prístino e servir de comparação com ambientes impactados. Além disso, o fato de ser um ambiente preservado pode permitir estudos para avaliar qual a importância ecológica das lagostas no ambiente recifal bentônico. Dessa forma, possibilita-se a proposição de medidas de gestão e de recuperação de populações de animais sobreexplorados.

Para melhor compreensão da distribuição da espécie *Panulirus echinatus* nas águas do Atol das Rocas e na zona costeira do Brasil, é necessário estudar os padrões de recrutamento das larvas, os processos oceânicos (padrões locais de corrente, temperatura superficial do oceano, influência do *El Niño*) e a conectividade entre os adultos de lagostas de diferentes localidades para avaliar o que pode estar influenciando a abundância e a distribuição espacial das populações de lagostas.

REFERÊNCIAS

- ABRUNHOSA, F.A.; SANTIAGO, A.P.; ABRUNHOSA, J.P. The early phyllosoma stages of spiny lobster *Panulirus echinatus* Smith, 1869 (Decapoda: Palinuridae) reared in the laboratory. **Brazilian Journal of Biology**, 68(1): 179-186, 2008.
- ACOSTA, C. A. Benthic dispersal of Caribbean spiny lobsters among insular habitats: implications for the conservation of exploited marine species. **Conservation Biology**, 13: 603–612, 1999.
- ACOSTA, C.A. Spatially explicit dispersal dynamics and equilibrium population sizes in marine harvest refuges. **ICES Journal of Marine Science**, 59: 458–468, 2002.
- ACOSTA, C.A.; ROBERTSON, D.N. Comparative spatial ecology of fished spiny lobsters *Panulirus argus* and an unfished congener *P. guttatus* in an isolated marine reserve at Glover's Reef Atoll, Belize. **Coral Reefs**, 22: 1–9, 2003.
- ALLISON, G.; LUBCHENCO, J.; CARR, M. Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation. **Ecological Applications**, 8(1): S79–S92, 1998.
- AMARAL, A.C.Z.; RIBEIRO, C.V.; MANSUR, M.C.D.; SANTOS, S.B.; AVELAR, W.E.P.; MATTHEWS-CASCON, H.; LEITE, F.P.P.; MELO, G.A.S.; COELHO, P.A.; BUCKUP, G.B.; BUCKUP, L.; VENTURA, C.R.R.; TIAGO, C.G. A Situação de Ameaça dos invertebrados Aquáticos no Brasil. In: Machado, A.B.M.; Drumond, G.M.; Paglia, A.P. (Eds.) **Livro vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**, MMA (vol. 1, Série Biodiversidade 19), Brasília, 157-165, 2008.
- ANÔNIMO. Troubled Waters - Protected areas are only the start of the road to reforming our relationship with the seas. **Nature**, 780: 151-152, 2011.
- BAIRD, M.E.; ATKINSON M.J. Measurement and prediction of mass transfer to experimental coral reef communities. **Limnology and Oceanography**, 42: 1685-1693, 1997.
- BARRETO, A.V.; KATSURAGAWA, M. Estádios de desenvolvimento dos órgãos reprodutivos dos machos de *Panulirus echinatus* Smith (Decapoda: Palinuridae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 25: 74–82, 2008.
- BARRETO A.V.; SILVA J.R.F.; KATSURAGAWA, M.; RAPOSO, M.C.F. Desenvolvimento dos ovários da lagosta *Panulirus echinatus* (Crustacea: Palinuridae) baseados nas análises macroscópica, microscópica e relação gonadossomática (RGS). **Revista Brasileira de Zoologia**, 25: 689–695, 2008.
- BARRETO, A.V.; ZANI-TEIXEIRA, M.L.; IVO, C.T.C.; KATSURAGAWA, M. Biometric relationships of the spotted lobster, *Panulirus echinatus*, from Tamandaré coastal reefs, Pernambuco State, Brazil. **Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom**, 89(8): 1601-1606, 2009.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**, Artmed 4ª Ed., Porto Alegre: 752pp, 2007.

BRASIL. Decreto de lei Nº 83.549, de 5 de Junho de 1979, que cria a Reserva Biológica do Atol das Rocas. **Diário oficial da União**, Brasília, 1979.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2000.

BUECHNER, M. Conservation in insular parks: simulation models of factors affecting the movement of animal across park boundaries. **Biological Conservation**, 41: 57-76, 1987.

BUTLER IV, M.J.; HERRNKIND, W.F.; HUNT, J.H. Factors affecting the recruitment of juvenile Caribbean spiny lobsters dwelling in macroalgae. **Bulletin of Marine Science**, 61: 3-19, 1997.

BUTLER IV, M.J.; STENECK, R.S.; HERRNKIND, W.F. Juvenile and Adult Ecology. In: PHILLIPS, B.F., **Lobsters: biology, management, aquaculture and fisheries**. Blackwell Publishing, Oxford: 506p, 2006.

CARVALHO, R.C.A.; OGAWA, M. Viabilidade econômica de engorda de agosta em viveiro no mar na comunidade de Ponta Grossa, Município de Icapuí, Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, 32(2): 176-183, 2001.

COELHO, A.M.G.; DIAS, A.F.; FERREIRA, C.R.C.; VASCONCELOS, J.A.; RAPOSO, L.L.; OLIVEIRA, M.Y.S. Caracterização sócio-cultural dos produtores de lagostas no Nordeste brasileiro. **Boletim Técnico Científico do CEPENE**, 4(1): 197-232, 1996.

COX, C.; HUNT, J.H. Change in size and abundance of Caribbean spiny lobsters *Panulirus argus* in a marine reserve in the Florida Keys National Marine Sanctuary, USA. **Marine Ecology Progress Series**, 294: 227–239, 2005.

CHILDRESS, M.J.; JURY, S.H. Chapter 3: Behaviour. In: Phillips, B.F. (Ed.) **Lobsters: Biology, Management, Aquaculture and Fisheries**, Blackwell Publishing Ltd, Oxford: 506 pp, 2006.

CHITTLEBOROUGH, R.G. Home range, homing and dominance in juvenile western rock lobsters. **Australian Journal of Marine and Freshwater Research.**, 25: 227–234, 1974.

CHOWN, S.L.; GREMMEN, N.J.M.; GASTON, K.J. Ecological biogeography of southern ocean islands: species-area relationships, human impacts, and conservation. **American Naturalist**, 152(4): 562-575, 1998.

CLARKE, R.P.; YOSHIMOTO, S.S. Application of the Leslie Model to Commercial Catch and Effort of the Slipper Lobster, *Scyllarides squammosus*, Fishery in the Northwestern Hawaiian Islands. **Marine Fisheries Review**, 52(2): 1-7, 1990.

COUTINHO, P.N.; MORAIS, J.O. Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte y nordeste del Brasil. **Arquivo de Ciências do Mar**, 10(1): 79-90, 1970.

CRUZ, R.; BORDA, C.A. Estimation of abundance and spatial distribution of *Panulirus argus* using different methodologies in artificial shelter, trap and coral reef fisheries. **Crustaceana**, 86(2): 158-181, 2013.

CRUZ, R.; BRITO, R.; DÍAZ, E.; LALANA, R. Ecología de la langosta (*Panulirus argus*) al SE de la Isla de la Juventud. I. Colonización de arrecifes artificiales. **Revista de Investigaciones Marinas**, 7(3): 3-17, 1986a.

CRUZ, R.; BRITO, R.; DÍAZ, E.; LALANA, R. Ecología de la langosta (*Panulirus argus*) al SE de la Isla de la Juventud. II. Patrones de movimiento. **Revista de Investigaciones Marinas**, 7(3): 19-35, 1986b.

CRUZ, R.I., DÍAZ, E.; BÁEZ, M.; ADRIANO, R. Variability in recruitment of multiple life stages of the Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*, in the Gulf of Batabanó. **Cuban Marine and Freshwater Research**, 52: 1263-1270, 2001.

CRUZ, R.I.; CONCEIÇÃO, R.N.L.; MARINHO, R.A.; BARROSO, J.C.; HOLANDA, J.S.; FÉLIX, C.S.; MARTINS, M.E.O.; SANTOS, F.S.; SILVA, K.C.A.; FURTADO NETO, M.A.A. **Metodologias de amostragem para avaliação das populações de lagosta: plataforma continental do Brasil**. Labomar (Coleção Habitat 6), Fortaleza: 142 pp, 2011.

CRUZ, R.; SILVA, K.C.A.; CINTRA, I.H.A. Assessment of wild spiny lobster stocks on the brazilian continental shelf. **Crustaceana**, 86(3): 336-356, 2013.

DAVIDSON, R.J.; VILLOUTA, E.; COLE, R.G.; BARRIER, R.G.F. Effects of marine reserve protection on spiny lobster (*Jasus edwardsii*) abundance and size at Tonga Island Marine Reserve, **New Zealand Aquatic Conservation**, 12: 213–227, 2002.

DINIZ, F.M.; MacLEAN, N.; OGAWA, M.; CINTRA, I.H.A.; BENTZEN, P. The hypervariable domain of the mitochondrial control region in Atlantic spiny lobsters and its potencial as a marker for investiganting phylogeographic structuring. **Marine Biotechnology**, 7: 462-473, 2005.

DUARTE, P.J. O Atol das Rocas. Recife, **Arquivo de Pesquisas Agrônômicas**, 1: 61-70, 1938.

EGGLESTON, D.B.; PARSONS, D.M. Disturbance-induced ‘spill-in’ of Caribbean spiny lobster to marine reserves. **Marine Ecology Progress Series**, 371: 213-220, 2008.

EGGLESTON, D.; JOHNSON, E.; KELLISON, G.; NADEAU, D. Intense removal and non – saturating functional responses by recreational divers on spiny lobster *Panulirus argus*. **Marine Ecology Progress Series**, 257: 197-207, 2003.

EGGLESTON, D.; PARSONS, D.; KELLISON, G.; PLAYA, G.; JOHNSON, E. Functional response of sport divers to lobsters with application to fisheries management. **Ecological Applications**, 18(1): 258-272, 2008.

EHRHARDT, N.M.; FITCHETT, M.D. Dependence of recruitment on parent stock of the spiny lobster, *Panulirus argus*, in Florida. **Fisheries Oceanography**, 19(6): 434–447, 2010.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters off East and Northeast Brazil. Cruise Report and first results of the Brazilian

German project JOPS-II (Joint Oceanographic Projects), **Center for Tropical Marine Ecology**, Bremen, Alemanha: 139-147, 1996.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation biodiversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 34: 487-515, 2003.

FARIA-JR, E.; GAETA, J.C.; FREIRE, A.S. An update on the lobster species (*Panulirus* White, 1847) from the Abrolhos Marine National Park, Northern Brazil. **Revista de Investigações Marinhas**, 33 (2): 37-42, 2013.

FARMER, M. W.; WARD, J. A.; LUCKHURST, B. E. Development of spiny lobster (*Panulirus argus*) phyllosoma larvae in the plankton near Bermuda. **Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute**, 39: 289–301, 1987.

FONTELES-FILHO, A.A. Spatial distribution of the lobster species *Panulirus argus* and *P. laevicauda* in northern and northeastern Brazil in relation to the distribution of fishing effort. **Ciência e Cultura**, 49 (3): 172-176, 1997.

FONTELES-FILHO, A.A. **Síntese sobre distribuição, abundância, potencial pesqueiro e biologia da Lagosta vermelha *Panulirus argus* (Latreille) e a Lagosta verde *Panulirus laevicauda* (Latreille) do Nordeste do Brasil**. Relatório de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva. MMA – Revizee. Análise/Refinamento dos Dados Pretéritos Sobre Prospecção Pesqueira, 2005.

FONTELES-FILHO, A.A. Síntese sobre a lagosta-vermelha (*Panulirus argus*) e a lagosta-verde (*Panulirus laevicauda*) do Nordeste do Brasil. In: HAIMOVICI, M. A. **Prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: levantamento de dados e avaliação crítica**, 2007.

GAETA, J.C. **Estrutura de populações de lagostas de espinho (Palinuridae) no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Bahia**. 2011. 51pp. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GARDNER, C., FRUSHER, S.; IBBOTT, S. Preliminary modelling of the effect of marine reserves on the catch, egg production, and biomass of rock lobster in Tasmania. Tasmanian Aquaculture and Fisheries Institute, University of Tasmania, **Technical Report Series**, 12, 38 pp., 2000.

GAUDIAN, G.; MEDLEY, P.A.H.; ORMOND, R.F.G. Estimation of the size of a coral reef fish population. **Marine Ecology Progress Series**, 122: 107-113, 1995.

GHERARDI, D.F.M. **Recent carbonate sedimentation on the coralline-algal Atol das Rocas, Equatorial South Atlantic, Brazil**. 1996. 352pp. Dissertação de Mestrado, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey, 1996.

GHERARDI, D.F.M.; BOSENCE, D.W.J. Modeling of the ecological succession of encrusting organisms in recent corallinealgal frameworks from Atol das Rocas, Brazil. **Palaios**, 14(2): 145-158, 1999.

GHERARDI, D.F.M.; BOSENCE, D.W.J. Composition and community structure of the coralline algal reefs from Atol das Rocas, South Atlantic, Brazil. **Coral Reefs**, 19: 205-219, 2001.

GIRALDES, B.W.; COELHO FILHO, P.A.; COELHO, P.A. Composition and spatial distribution of subtidal Decapoda on the “Reef Coast”, northeastern Brazil, evaluated through a low-impact visual census technique. **Nauplius**, 20(1): 187-201, 2012.

GÓES, C. A. **Análise da dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Tropical a partir de correntes geostróficas superficiais derivadas por satélites**. 2006. 89pp. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 89pp., 2006.

GÓES, C.A.; LINS-OLIVEIRA, J.E. Natural diet of the spiny lobster, *Panulirus echinatus* Smith, 1869 (Crustacea: Decapoda: Palinuridae), from São Pedro and São Paulo Archipelago, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 69(1): 143-148, 2009.

GOÑI, R.; QUETGLAS, A.; REÑONES, O. Spillover of spiny lobsters *Palinurus elephas* from a marine reserve to an adjoining fishery. **Marine Ecology Progress Series**, 308: 207-219, 2006.

GORINI, M.A.; BRYAN, G.M.. The tectonic fabric of the equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 48 (Suplemento): 101-119, 1976.

GROSSMAN, A.; AGUIA, L.; GRANVILLE, M.; MATHEUS, Z. **Atol das Rocas: 3°51’S 33°48’W**, Beñ Comunicação, São Paulo: 226pp, 2012.

HALPERN, B.S. The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter? **Ecological Applications**, 13(1): S117–S137, 2003.

HALPERN, B.S.; WALBRIDGE, S.; SELKOE, K.A.; KAPPEL, C.V.; MICHELI, F.; D’AGROSA, C.; BRUNO, J.F.; CASEY, K.S.; EBERT, C.; FOX, H.E.; FUJITA, R.; HEINEMANN, D.; LENIHAN, H.S.; MADIN, E.M.P.; PERRY, M.T.; SELIG, E.R.; SPALDING, M.; STENECK, R.; WATSON, R. A global map of human impact on marine ecosystems. **Science**, 319: 948–952, 2008.

HANSKI, I. Metapopulation dynamics. **Nature** 396: 41–49, 1998.

HERRNKIND, W. F. Spiny lobsters: patterns of movement. In: COBB, J.S., PHILLIPS, B.F. (eds) **The Biology and Management of Lobsters** (Academic: New York) 1: 349–407, 1980.

HERRNKIND, W.F.; BUTLER, M.J. Settlement of spiny lobster, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), in Florida: pattern without predictability? **Crustaceana**, 67: 46-64, 1994.

HERRNKIND, W. F.; VAN DER WALKER, J. A.; BARR, L. Population dynamics, ecology and behavior of spiny lobsters, *Panulirus argus*, of St John, USVI: (IV) Habitation, Patterns of Movement and General Behavior. **Science Bulletin of the Museum of Natural History of Los Angeles County**, 20: 31–45, 1975.

HOLTHUIS, L.B. Marine lobsters of the world: An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries known to date. In: **FAO species catalogue**, FAO fisheries synopsis 125, volume 13, FAO, Rome: 292 pp., 1991.

HÖFLICH, O. Climate of the South Atlantic Ocean. In: Van Loon, H. (Ed), **Climates of the oceans**. Elsevier, Amsterdam: 1-192, 1984.

HUANG, Z.; BROOKE, B.P.; HARRIS, P.T. A new approach to mapping marine benthic habitats using physical environmental data. **Continental Shelf Research**, 31: S4-S16, 2011.

JANZEN, D.H. No park is an island: increase interference from outside the park as park size decreases. **Oikos**, 41: 402–410, 1983.

KARIEVA, P. Finding and losing host plants by Phyllotreta: patch size and surrounding habitat. **Ecology**, 66: 1809–1816, 1985.

KELLY, S.; MacDIARMID, A.B. Movement of mature spiny lobsters, *Jasus edwardsii*, from a marine reserve. New Zealand. **Journal of Marine and Freshwater Research**, 37: 149–158, 2003.

KELLY, S.; SCOTT, D.; MacDIARMID, A.B.; BABCOCK, R.C. Spiny lobster, *Jasus edwardsii*, recovery in New Zealand marine reserves. **Biological Conservation**, 92: 359-369, 2000.

KIKUCHI, R.K.P. **Geomorfologia, Estratigrafia e Sedimentologia do Atol das Rocas (Rebio-IBAMA/RN)**. 1994. 144p. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1994.

KIKUCHI, R.K.P. Atol das Rocas, Atlântico sul equatorial ocidental, Brasil. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M. (Eds), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 1999.

KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N. Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. In: 8th **INT. CORAL REEF SYM**, Panama 1: 731-736, 1997.

KITTAKA, J. Larval rearing. In: Phillips, B.F.; Cobb, J.S.; Kittaka, J. (Eds.) **Spiny Lobster Management**. Fishing News Books: Oxford: 402–423, 1994.

KREBS, C.J. **Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance**. 6th Ed. Benjamin Cummings, San Francisco: 655pp., 2009.

KREBS, C.J. **Ecological Methodology**, 3rd ed., no prelo.

KRELLING, A.P.M. **Caracterização dos vórtices oriundos da retroflexão da Corrente Norte do Brasil através de análise de resultados de simulação numérica do modelo hycom**. 2008. 59pp. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Oceanografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

LAUREC, J.C.; LE GUEN, A. Dynamique des populations marines exploitées. Tome I concepts et modèles. Centre National Pour L'Exploitation des Océans. **Rapports Cientifiques et Techniques**, 45: 1-113, 1981.

LESLIE, P.H.; DAVIS, D.H.S. An attempt to determine the absolute number of rats on a given area. **Journal of Animal Ecology**, 8:94-113, 1939.

LEWIS, J.B.; MOORE, H.B.; BABIS, W. The post-larval stages of the spiny lobster *Panulirus argus*. **Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean**, 2: 324-37, 1952.

LIPCIUS, R.N.; EGGELSTON, D.B. Ecology and fishery biology of spiny lobsters. In: Phillips, B.F. & Kittaka, J. (Eds.). **Spiny Lobsters: Fisheries and Culture**. Fishing News Books, Oxford. pp. 1-41, 2000.

LIPCIUS, R.; STOCKHAUSEN, W.; EGGLESTON, D.; HICKEY, B. Hydrodynamic decoupling of spawning stock, habitat quality and recruitment in the Caribbean spiny lobster: source-sink dynamics? **Journal of Marine and Freshwater Research**, 48: 807-815, 1997.

LIPCIUS, R.N.; EGGLESTON, D.B.; SCHREIBER, S.J.; SEITZ, R.D.; SHEN, J.; SISSON, M.; STOCKHAUSEN, W.T.; WANG, H.V. Importance of Metapopulation Connectivity to Restocking and Restoration of Marine Species. **Fisheries Science**, 16(1-3): 101-110, 2008.

LUBCHENCO, J. Developing the theory of marine reserves. In: Lubchenco, J. (Ed.) **Working group web projects report**. National Centre for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS), University of California, Santa Barbara, 1997.

MacCLANAHAN, T.R.; ARTHUR, R. The effect of marine reserves and habitat on populations of East African coral reef fishes. **Ecological Applications**, 11: 559-569, 2001.

MACE, G.M.; CRAMER, W.; DÍAZ, S.; PAITH, D.P.; LARIGAUDERIE, A.; LE PRESTRE, P.; PALMER, M.; PERRINGS, C.; SCHOLE, R.J.; WALPOLE, M.; WALTHER, B.A.; WATSON, J.E.M.; MOONEY, H.A. Biodiversity targets after 2010. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 2: 1-6, 2010.

MACEDO-SOARES, L.C.P.; FREIRE, A.S.; MUELBERT, J.H. Small-scale spatial and temporal variability of larval fish assemblages at an isolated oceanic island. **Marine Ecology Progress Series**, 444:207-222, 2012.

McARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. **The theory of island biogeography**. New Jersey: Princeton University Press. 203p, 1967.

MMA-ICMBio. **Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas**. Brasília, 241pp., 2007.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Omega. Barcelona: 951p., 1980.

MELO, G. A. S. **Manual de Identificação dos Crustacea Decapoda do Litoral Brasileiro: Anomura, Thalassinidea, Palinuridea, Astacidea**. Ed. Plêiade/FAPESP, São Paulo: 551p., 1999.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT **Ecosystems and human well-being: wetlands and water: synthesis**. World Resources Institute, Washington DC: 80pp., 2005.

MINNS, C. K. Quantifying 'no net loss' of productivity of fish habitats. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 54: 2463-2473, 1997.

MUNRO, J.L. Stock Assessment Models: Applicability and Utility in Tropical Small-Scale Fisheries. In: Saila, S.B., Roedel, P.M. (Ed.) **Stock Assessment for Tropical Small-Scale Fisheries**. International Center for Marine Resource Development, University of Rhode Island, Kingston, R.I., USA, pp. 35-47, 1980.

MUNRO, J.L.; THOMPSON, R. The Jamaican fishing industry. **ICLARM Stud. Rev.**, 7: 10-14, 1983.

OLIVEIRA, G.; FREIRE, A.S.; BERTUOL, P.R.K. Reproductive biology of the slipper lobster *Scyllarides deceptor* (Decapoda: Scyllaridae) along the southern Brazilian coast. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 88: 1-8, 2008.

OTTMAN, F. "L'atol das Rocas" dans l'Atlantique sud tropical. **Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique**, Paris, 2: 101-107, 1963.

PADDACK, M.J.; ESTES, J.A. Kelp forest fish populations in marine reserves and adjacent exploited areas of central California. **Ecological Applications**, 10: 855-870, 2000.

PALMA, J.J.C. Fisiografia da área oceânica. In: Schobbenhares, C. (Ed.) **Geologia do Brasil**, 501p. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, DF, Brasil, 1984.

PANDE, A.; MacDIARMID, A.B.; SMITH, P.J.; DAVIDSON, R.J.; COLE, R.G.; FREEMAN, D.; KELLY, S.; GARDNER, J.P.A. Marine reserves increase the abundance and size of blue cod and rock lobster. **Marine Ecology Progress Series**, 366: 147-158, 2008.

PARKER, G.; MORENO, C.A.; PILLING, G.; YOUNG, Z. Use of the leslie stock depletion model for the assessment of local Abundance of Patagonian toothfish (*Dissosticeus eleginoides*). **CCAMLR Science**, 3: 55-77, 1996.

PAULY, D.; CHRISTENSEN, V.; GUÉNETTE, S.; PITCHER, T.J.; RASHID SUMAILA, U.; WALTERS, C.J. Towards sustainability in world fisheries. **Nature**, 418: 689-695, 2002.

PEREIRA, N.S.; MARINS, Y.O.; SILVA, A.M.C; OLIVEIRA, P.G.V.; SILVA, M.B. Influência do ambiente sedimentar na distribuição dos organismos meiobentônicos do Atol das Rocas. **Estudos Geológicos (UFPE)**, 18(2): 67-80, 2008.

PEREIRA, N.S.; MANSO, V.A.V.; SILVA, A.M.C. Mapeamento geomorfológico e morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Itajaí, 10: 331-345, 2010.

PEREIRA, N.S.; PEREIRA, N.S.; MANSO, V.A.V.; SILVA, A.M.C. Detrital carbonate sedimentation of the Rocas Atoll, South Atlantic. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 85(1): 57-72, 2013.

PHILLIPS, B.F.; COBB, J.S.; GEORGE, C.R.W. General biology. In: COBB, J.S.; PHILLIPS, B.F. (Eds). **The Biology and Management of Lobsters**, Academic Press, New York, USA. Vol. I, pp. 1-82, 1980.

PINHEIRO, A.P.; LINS-OLIVEIRA, J.E. Reproductive Biology of *Panulirus echinatus* (Crustacea: Palinuridae) from São Pedro and São Paulo Archipelago, Brazil. **Nauplius**, 14(2): 89-97, 2006.

PINHEIRO, A.P. ; FREIRE, F.A.M. ; OLIVEIRA, J.E.L. Population biology of *Panulirus echinatus* Smith, 1869 (Decapoda : Palinuridae) from São Pedro and São Paulo archipelago, Northeastern Brazil. **Nauplius**, 11(1): 27- 35, 2003.

RANDALL, R.G.; MINNS, C.K. Comparison of a habitat productivity index (HPI) and an index of biotic integrity (IBI) for measuring the productive capacity of fish habitat in nearshore areas of the Great Lakes. **Journal of Great Lakes Research**, 28(2): 240-255, 2002.

RICHARDSON, P.L.; WALSH, D. Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the tropical Atlantic using ship drifts. **Journal of Geophysical Research**, 91: 10537-10550, 1986.

RICKER, W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. **Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada**, 191: 1-382, 1975.

ROBERTS, C.M.; HAWKINS, J.P. **Fully-protected marine reserves: a guide**. WWF Endangered Seas Campaign, Washington, DC, USA and Environment Department, University of York, UK, 132 pp., 2000.

RYLANDS, A.B.; BRANDON, K. Unidades de conservação brasileiras. **Megadiversidade**, 1(1): 27-35, 2005.

SALES, G. **Plano de implantação da Reserva Biológica do Atol das Rocas – RN**. Natal, 13 pp., 1991.

SANDERS, M.J.; MORGAN, A.J. Fishing power, fishing effort, density, fishing intensity and fishing mortality. **Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer**, 37(1): 36-40, 1976.

SEBER, G.A.F. **The estimation of animal abundance and related parameters**. 2nd ed. Blackburn Press, 654 pp., 1982.

SERVAIN, J.; SEVA, M.; LUKAS, S.; ROUGIER, G. Climatic atlas of the tropical Atlantic, wind stress and sea surface temperature: 1980-1984. **Ocean-Air Interact**, 1: 109-182, 1987.

SILVA, M.B.; CAMPOS, C.E.C.; TARGINO, S.G.; MELO, C.E.D.C.A. Aspectos populacionais da lagosta *Panulirus echinatus* Smith, 1869 na Reserva Biológica do Atol das Rocas – Brasil. **Holos Environment**, 1: 187-198, 2001.

SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D. The Brazil Current off the Eastern Brazilian Coast. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 48:171-183, 2000.

SOARES, M.O.; LEMOS, V.B.; KIKUCHI, R.K.P. Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial: considerações sobre a classificação do recife biogênico. **Revista Brasileira de Geociências**, 39(2): 238-243, 2009.

SOARES, M.O.; MEIRELLES, C.A.O.; LEMOS, V.B. Reef bioconstructors of Rocas Atoll, Equatorial South Atlantic. **Biotemas**, 24(2): 37-46, 2011.

STAMPS, J.A.; BUECHNER, M.; KRISHNAN, V.V. The effects of edge permeability and habitat geometry on emigration from patches of habitat. **American Naturalist**, 129: 533–552, 1987.

TESCHIMA, M.M. **Conectividade do caranguejo *Grapsus grapsus* (Linnaeus, 1758) em Ilhas Oceânicas brasileiras**. 2012. 60pp. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TINOCO, I.M. Foraminíferos do Atol das Rocas. **Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco**, 7: 91-114, 1966.

TINOCO, I.M. Foraminíferos dos bancos da costa nordestina, Atol das Rocas e Arquipélago de Fernando de Noronha. **Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco**, 13: 49-60, 1972.

TURCHIN, P. Modelling the effect of host patch size on Mexican bean beetle emigration. **Ecology**, 67: 124–132, 1986.

WITH, K.A.; CADARET, S.J.; DAVIS, C. Movement responses to patch structure in experimental fractal landscapes. **Ecology**, 80: 1340–1353, 1999.

WITHY-ALLEN, K.R.; HOVEL, K.A. California spiny lobster (*Panulirus interruptus*) movement behaviour and habitat use: implications for the effectiveness of marine protected areas. **Marine and Freshwater Research**, 64: 359-371, 2013.

WYNNE, S.P.; CÔTÉ, I.M. Effects of habitats quality and fishing on Caribbean spotted spiny lobster populations. **Journal of Applied Ecology**, 44: 488-494, 2007.