

**UFRRJ**

INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

BIOLOGIA MARINHA

DISSERTAÇÃO

Influência de Esponjas no Processo de Aglutinação de  
Rodólitos e Formação de Recifes Consolidados

Ivan Pierozzi Junior

2015



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

Influência de Esponjas no processo de Aglutinação de Rodolitos e Formação de  
Recifes Consolidados

Ivan Pierozzi Junior

Sob orientação do Professor

**Guilherme Henrique Pereira-Filho**

e Co-orientação do Professor

**Fernando Coreixas de Moraes**

Dissertação apresentada como  
requisito parcial para a obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências**, no  
Programa de Pós Graduação em  
Biologia Animal

Seropédica, RJ

Novembro de 2015

578.7789098134

P619i

T

Pierozzi Junior, Ivan, 1980-

Influência de esponjas no processo de aglutinação de rodólitos e formação de recifes consolidados / Ivan Pierozzi Junior. - 2015.

38 f.: il.

Orientador: Guilherme Henrique Pereira-Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal, 2015.

Bibliografia: f. 26-30.

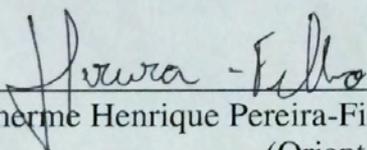
1. Recifes - Fernando de Noronha, Arquipélago (PE) - Teses. 2. Alga - Fernando de Noronha, Arquipélago (PE)- Teses. 3. Esponja - Fernando de Noronha, Arquipélago (PE) - Teses. 4. Corais - Fernando de Noronha, Arquipélago (PE) - Teses. 5. Biologia marinha - Fernando de Noronha, Arquipélago (PE) - Teses. I. Pereira Filho, Guilherme Henrique, 1982-II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal. III. Título.

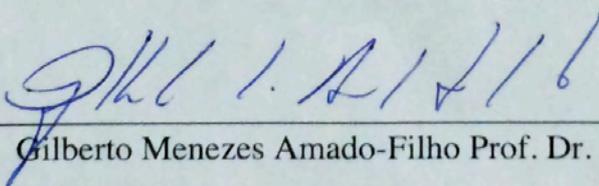
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL**

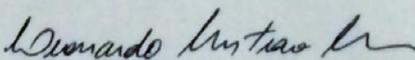
**IVAN PIEROZZI JUNIOR**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**,  
no programa de Pós-Graduação em Biologia Animal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/11/2015

  
\_\_\_\_\_  
Guilherme Henrique Pereira-Filho Prof. Dr. IMar/UNIFESP  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Gilberto Menezes Amado-Filho Prof. Dr. IPJBRJ

  
\_\_\_\_\_  
Leonardo Mitrano Neves Prof. Dr. ITR/UFRRJ

## DEDICATÓRIA

Dedico esse mestrado aos meus pais, Ivan e Clemilda, pelo apoio e crença incondicional.

Meu muito obrigado especial ao meu padrinho, Ivo, que talvez não imaginasse que um antigo microscópio me traria até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Dr. Guilherme H. Pereira-Filho pela valiosa oportunidade de retornar à atividade acadêmica, pelo aprendizado, por acreditar e insistir nesse retorno, enfim, obrigado especialmente pela grande amizade.

Meu especial agradecimento à Leticia, pelo companheirismo, paciência, incentivo e compreensão nos momentos de ausência.

Meus agradecimentos ao Dr. Fernando C. de Moraes pela co-orientação e pela auxílio nas identificações dos poríferos e espero aprender ainda mais sobre esses animais tão peculiares. Ao Dr. Gustavo Muito obrigado, Priscila, Jaqueline, Gustavo e Marília pela imensurável ajuda nas atividades de triagem, identificação e principalmente pelas novas amizades. Ao Edicarlos por me acolher gentilmente em sua casa, sem esse apoio o caminho teria sido muito mais difícil. Ao José Paulo e Tailan pelas tardes no LEP, cedendo um cantinho no laboratório durante minhas passagens pela “Rural”.

Obrigado ao Diego e Mônia por me receberem em sua casa durante minhas idas ao campo, à Zaira pelo apoio nas coletas e ao Ismael e Atlantis operadora de mergulho pelo suporte e colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudos.

PIEROZZI-JR, Ivan. **Influência de Esponjas no processo de Aglutinação de Rodolitos e Formação de Recifes Consolidados**. 2015 39p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

## Resumo

Os bancos de rodolitos tem despertado interesse cada vez maior da comunidade científica, não sendo diferente para o Arquipélago de Fernando de Noronha (AFN). No AFN os bancos de rodolitos ocorrem em profundidades de 10 a 100m e são habitat peculiares que aumentam a complexidade estrutural, propiciando um aumento da diversidade associada quando comparados com substratos não consolidados. A interação entre os rodolitos e poríferos é o foco desse estudo. Nos bancos do AFN as esponjas desempenham um importante papel no mecanismo de estabilização dos rodolitos, sendo responsáveis por aglutinar nódulos próximos, o que pode apontar para um estágio inicial de um processo permanente de estabilização, na forma de um recife consolidado. A presença de recifes coralíneos no costão rochoso adjacente também podem ter relação com os bancos de rodolitos já que esqueletos de pólipos foram encontrados nucleando rodolitos. Neste estudo foram identificados quais organismos foram responsáveis pela aglutinação de nódulos do banco de rodolitos do Cabeço da Sapata (45m de profundidade) e se existe relação entre características físicas do banco e a ocorrência de aglutinados. Também foi descrita a estrutura física e a frequência de ocorrência de aglutinados de rodolitos. Porífero foi o principal grupo da fauna sésil encontrado aglutinando rodolitos e esse processo aponta para uma relação entre tamanho dos nódulos e a variação de tamanho entre os nódulos. A importância das esponjas nos bancos de rodolitos, e potencialmente no processo de formação de recifes consolidados, é reforçada pelo presente estudo,

**Palavras-chave:** rodolitos, corais, esponjas, recifes consolidados.

PIEROZZI-JR, Ivan. **Influence of sponges on agglutinating process of rhodoliths and consolidated reef formation.** 2015 39p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

### Abstract

Rhodolith bed has aroused growing interest of the scientific community, not being different to the Fernando de Noronha Archipelago (FNA). FNA rhodolith banks occur at depths of 10 to 100m and are peculiar habitat that increases structural complexity, providing increased associated diversity compared to unconsolidated substrates. The interaction between rhodoliths and sponges is the focus of this study. On the banks of AFN sponges play an important role in the stabilization mechanism of rhodoliths, accounting for coalescing neighbour nodules, which may point to an early stage of an on going process of stabilization in the form of a consolidated reef. The presence of reef-building corals in the adjacent rocky shore can also be related to the rhodolith banks as polyp's skeletons were found nucleating rhodoliths. This study identified which organisms were agglutinating rhodolith nodules at Cabeço da Sapata (45m deep) and if is there any relationship between physical characteristics of the bank and the occurrence of agglutinated complex. It was also described the physical structure and the frequency of occurrence of agglutinated rhodolith. Sponges was the main group of sessile fauna found coalescing rhodoliths and this process points to a relationship between size of the nodules and the variation in size between the nodes. The importance of sponges to the rhodoliths beds and potentially to the process of consolidated reefs formation is reinforced by this study.

**Keyword:** rhodoliths, corals, sponges, reef

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>7</b>
2.1. <b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>7</b>
2.2. <b>AMOSTRAGEM .....</b>	<b>9</b>
2.3. <b>ANALISE DAS IMAGENS.....</b>	<b>10</b>
2.4. <b>ANALISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>24</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>

## 1. Introdução

A velocidade de degradação dos sistemas marinhos tem sido muito maior do que aquela das iniciativas para a conservação de sua biodiversidade e para o uso sustentável dos recursos naturais (Norse & Crowder, 2005). No Brasil, a carência de dados ecológicos consistentes é um dos principais fatores determinantes desse descompasso (e.g. Marchioro et al., 2006). A determinação dos padrões estruturais e dinâmicos das populações marinhas, juntamente com a avaliação das vias e da abrangência da conectividade entre sistemas adjacentes, ainda apresentam lacunas de conhecimento que são de fundamental importância para o planejamento sistematizado e para a implementação de regimes de manejo em escala compatível com a biodiversidade e o potencial de uso sustentável.

As ilhas oceânicas, devido ao seu isolamento geográfico, são ambientes que geralmente abrigam uma biodiversidade peculiar (Serafini et al. 2010), servindo como excelentes laboratórios para a compreensão de processos ecológicos (Sadler, 1999). O percentual de espécies endêmicas em geral é alto e a vulnerabilidade destas espécies é maior em relação às dos continentes devido ao espaço geográfico restrito e único, à especificidade de suas interações com o ambiente biótico e abiótico específico, e da menor variabilidade genética (Fonseca et al., 2006; Walter, 2004). Atributos das ilhas como tamanho relativo, isolamento, história geológica, diversidade taxonômica, endemismo, os padrões de colonização e de diferentes níveis de contato humano, tornam as ilhas oceânicas diferentes das regiões continentais (Sadler, 1999).

O Arquipélago de Fernando de Noronha (AFN) e Atol das Rocas são as únicas porções emersas da cadeia vulcânica na falha Fernando de Noronha da Cordilheira Mesoatlântica (Lima, et al., 2001). Localizado a 345 Km da costa nordeste do Brasil, o AFN

(3°50'S e 32°24'W) é formado por 21 ilhas e ilhotas (Eston et al., 1986; Szechy et al., 1989) que estão inseridas nas áreas do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PARNAMAR) e da Área de Proteção Ambiental Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo. O PNMFN foi criado em 1988 (decreto federal 96.693), abrange uma área de 112,7 Km<sup>2</sup> e atinge a isóbata de 50 m. A APA foi criada em 1986 (decreto federal 92.755) e abrange 8.841,6 Km<sup>2</sup>.

Apesar da existência de um Parque Nacional Marinho abrangendo o AFN há mais de 20 anos, o estado atual do conhecimento das comunidades bentônicas do AFN é apontado como insuficiente pelo “Atlas da Biodiversidade do Estado de Pernambuco” publicado pela Secretaria de Ciências e Tecnologia do Estado (2002). Essa publicação aponta a face Norte da Ilha de Fernando de Noronha e as demais ilhas do AFN como prioritárias para o conhecimento da biodiversidade bentônica. Já Pereira (2006) em publicação do Ministério do Meio Ambiente, aponta a compreensão da estrutura e dinâmica dessas comunidades como a principal demanda científica na compreensão da biodiversidade bentônica do AFN. A compreensão da distribuição e conectividade dos organismos do AFN e de outras regiões oceânicas pertencentes ao Brasil como Trindade e Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e o continente é outro aspecto ainda não discutido na literatura e essencial para complementação das políticas de conservação marinha brasileira.

Além da demanda científica na compreensão da estrutura e dinâmica das comunidades bentônicas apontadas por Pereira (2006), observa-se que o conhecimento sobre as comunidades da zona mesofótica (abaixo dos 30 m de profundidade) é praticamente inexistente para o AFN. Amado-Filho et al. (2012), constataram a presença de bancos de algas calcárias não-articuladas (rodolitos) entre 10 e 100m de profundidades ao redor de todo o arquipélago.

Rodolitos são nódulos de vida livre formados principalmente por algas calcárias incrustantes (Rhodophyta: Corallinales e Sporolithales) (Foster, 2001) que em grandes concentrações formam habitats peculiares conhecidos como bancos de rodolitos. Normalmente esses bancos ocorrem sobre sedimento, aumentando a heterogeneidade local e, conseqüentemente, a diversidade de organismos associados, especialmente quando comparados aos fundos de substrato não consolidado (Steller & Foster, 1995). O rodolito promove uma estrutura consolidada e tridimensional que constitui micro-habitats para uma gama de invertebrados associados, algas e peixes, muitos destes de interesse comercial (Foster 1997, Steller et al. 2003, Littler & Littler 2008, Foster et al. 2013). Rodolitos, como nódulos livres, não se desenvolvem se o hidrodinamismo é alto o suficiente para promover taxas de quebra insustentáveis ao crescimento do nódulo, no entanto, também não se desenvolvem se o hidrodinamismo é insuficiente para promover a movimentação do nódulo, viabilizando incidência luminosa em todas as faces do rodolito (Hinojosa-Arango et al., 2009) Dessa forma, a movimentação do nódulo é fator chave na determinação das comunidades associadas aos nódulos, por exemplo, Amado-Filho et al. (2010) descreveram comunidades de algas associadas a rodolitos completamente depauperadas em épocas do ano nas quais os nódulos estavam sujeitos a grandes movimentações promovidas pelo alto hidrodinamismo.

Até a segunda metade da década de 1990, bancos de rodolitos eram estudados sob o enfoque sedimentar e de potencial para explorações comerciais dos carbonatos (ver Amado-Filho & Pereira-Filho, 2012). Estimativas desse período sugeriram a costa brasileira como detentora de um depósito de carbonato de cálcio de  $2 \times 10^{11}$  toneladas (Milliman & Amaral 1974), levando pesquisadores a supor que o Brasil abriga a maior distribuição latitudinal de bancos de rodolitos do mundo (Foster, 2001). De fato, a maior área contínua de fundo dominada por algas calcárias do mundo foi detalhadamente mapeada na plataforma

continental brasileira entre o Sul da Bahia e o Norte do Espírito Santo (Banco dos Abrolhos), ocupando uma área estimada de 20 mil km<sup>2</sup> (Amado-Filho et al., 2012a).

Apenas na última década intensificaram-se os estudos com enfoque biológico-ecológico nos bancos de rodolitos e em suas comunidades associadas. Em um curto período de tempo esses estudos têm resultado em importantes achados para o conhecimento da flora marinha bentônica: uma nova espécie de alga (*Lithophyllum depressum*) (Villas-Boas et al., 2009), três novas ocorrências para o Oceano Atlântico (*Scinaia aborealis*, *Sporolithon ptychoides* e *Hydrolithon rupestris*) (Amado-Filho et al., 2010; Bahia et al., 2010; Pereira-Filho et al., 2012), duas novas ocorrências para o Oceano Atlântico Ocidental (*Mesophyllum engelhartii* e *Reticulocaulis mucosissimus*) (Amado-Filho et al., 2010; Guimarães & Amado-Filho, 2009), cinco novas ocorrências para o sudoeste do Oceano Atlântico (*Acrosymphyton caribaeum*, *Dudresnaya crassa*, *Naccaria corymbosa*, *Platoma* sp. e *Predaea feldmannii*) (Guimarães & Amado-Filho, 2008) e quatro novas ocorrências para a costa brasileira (*Dasya ramosissima*, *Halymenia elongate*, *Udotea abbottiorum* e *Lithothamnion muelleri*) (Amado-Filho et al., 2010; Riul et al., 2009). Ainda assim, a fauna associada aos bancos de rodolitos brasileiros constitui uma importante lacuna no conhecimento. Dos Santos et al. (2011) a partir de material coletado em bancos de rodolitos do nordeste brasileiro, descreveram uma nova espécie de Polychaeta (*Sabellaria corallinea*) além de registrarem uma nova ocorrência para o Atlântico Ocidental. A diversidade de outros grupos taxonômicos (ex. Porifera, Echinodermata, Urochordata e Actinopterygii) que podem estar associados aos rodolitos é praticamente desconhecida. Com base na diversidade atualmente conhecida de organismos associados aos bancos de rodolitos, Amado-Filho e Pereira-Filho (2012) apontam esses ambientes como de grande potencial para a prospecção de produtos com interesse econômico para o Brasil.

A produção de  $\text{CaCO}_3$  por organismos marinhos é um processo essencial no ciclo global do Carbono (Vecsei, 2004) que é, por sua vez, largamente influenciado por variações no pH do meio (Doney et al., 2009). Portanto, a acidificação dos oceanos como consequência do aumento do  $\text{CO}_2$  atmosférico tem sido apontada como uma ameaça real e global para a estruturação dos bancos de rodolitos e, conseqüentemente, para os organismos associados. Além disso, e em escala local/regional, esses bancos têm sido alvos de interesses na exploração direta do  $\text{CaCO}_3$ . Apesar dos estudos da última década ressaltarem a diversidade de táxons e a importância das algas calcárias vivas na produção do  $\text{CaCO}_3$  (ver Nelson, 2009; Amado-Filho e Pereira-Filho, 2012; Foster et al., 2013), o Brasil ainda vem tratando esses ambientes como recursos minerais; como prova disso o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) registrou, em 2010, cerca de 270 títulos minerários para exploração de calcário na zona econômica exclusiva brasileira (Cavalcanti 2011).

Devido às controvérsias na interpretação quanto à condição do material extraído, se recursos vivos ou sedimentos não vivos, o IBAMA constituiu em 2001 um grupo de trabalho para a revisão da Portaria IBAMA nº 147/1997 que versava sobre a permissão de exploração de campos naturais de algas. Em 2004, essa portaria foi substituída pela Instrução Normativa (IN) IBAMA nº46 de 13/08/2004 e posteriormente, pela IN nº89 de 2/02/2006. A IN definiu critérios para a exploração, comercialização e transporte de algas marinhas (vivas), no entanto, não acrescentou nenhuma determinação em relação à mineração de nódulos não vivos (Cavalcanti 2011). Ao mesmo tempo, controvérsias sobre a qualidade (Viva vs. Não viva) dos fundos dominados por algas calcárias se mantém atual, especialmente por ainda existirem lacunas importantes no conhecimento científico sobre esses ambientes. Por exemplo, quais são os organismos associados aos nódulos de algas calcárias (rodolitos) e a sua abundância; como as características de estrutura da comunidade são dependentes do percentual de superfície viva dos nódulos formados por algas calcárias e das características

físicas dos nódulos. Bahia et al. (2010) compararam características estruturais dos nódulos (diâmetro, abundância e vitalidade) em diferentes regiões da costa brasileira (BA, PB e ES) sugerindo que características da largura da plataforma continental e sedimentação são fatores que influenciam fortemente o padrão estrutural dos bancos. No entanto, como esses padrões interferem na diversidade associada aos rodolitos constitui ainda uma lacuna no conhecimento sobre esses sistemas.

Além do papel direto dos bancos de rodolitos no incremento da complexidade e, portanto da diversidade associada, recentes publicações tem demonstrado que os rodolitos podem estar relacionados a processos de formação de recifes. Um processo recém descrito é a aglutinação e estabilização de rodolitos por intermédio de organismos como esponjas e ascídias. Essa associação tem sido sugerida como uma etapa importante para a formação de recifes carbonáticos consolidados (Ávila & Riosmena-Rodriguez, 2011; Pereira-Filho et al., 2015). Os tipos de interação que esses organismos estabelecem com os rodolitos para promover a aglutinação não é completamente conhecido. Em geral, é sugerido que esponjas e outros organismos crescendo sobre os rodolitos podem reduzir a movimentação natural e alterar sua esfericidade (Steller & Foster, 1995). Essa redução da movimentação pode culminar na coalescência de nódulos de rodolitos adjacentes e levar a formação de recifes consolidados. Dois diferentes processos que levam a aglutinação foram recentemente publicados, sendo um parte resultante dessa dissertação: i) uma longa exposição subaérea em regiões entre-mares, decrescendo a possibilidade de outros organismos produtores de  $\text{CaCO}_3$  e favorecendo o crescimento de CCAs que cresce na forma de rodolitos coalescidos (Richards and O'Leary 2015); ii) aglutinação de rodolitos promovida por esponjas com conseqüente crescimento de algas calcárias incrustantes (CCA) e outros produtores de  $\text{CaCO}_3$  (Pereira-Filho et al., 2015). Neste trabalho serão identificados os principais organismos da epibiota responsáveis pela aglutinação dos nódulos de rodolitos e descrita a estrutura do banco de

rodolitos localizado na zona mesofótica do Cabeço da Sapata, apontando identificando quais características do banco podem potencialmente estarem relacionadas a formação de complexos aglutinados.

#### Objetivos específicos

- I) Descrever a estrutura do banco de rodolitos da região mesofótica do AFN;
- II) Identificar os organismos responsáveis pela aglutinação dos rodolitos no AFN;
- III) Quantificar os organismos responsáveis pela aglutinação dos rodolitos no AFN;
- IV) Identificar as principais características estruturais dos bancos de rodolitos relacionados ao processo de aglutinação dos nódulos, usando o banco mesofótico do AFN como modelo.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

O Arquipélago de Fernando de Noronha situa-se a 345km a leste da porção continental do território brasileiro nas coordenadas 3° 50' S e 32° 24' L. Categorizado como Parque Nacional Marinho (PARNAMAR) pelo decreto 96.693/1989, sua área protegida cobre 112,7 km<sup>2</sup> se estendendo abaixo da linha d'água até a isóbata de 50m. Juntos a Reserva Biológica do Atol das Rocas e o PARNAMAR de Fernando de Noronha são as únicas duas porções emersas da cadeia montanhosa da falha vulcânica de Fernando de Noronha da cordilheira Mesoatlântica (Lima et al 2001). A porção emersa do AFN posa como uma barreira aos

ventos alísios que sopram predominantemente do quadrante sudeste e leste (Gouveia et al 2009) e dividindo o arquipélago em duas regiões conhecidas popularmente como “mar de dentro”, voltado para oeste, e “mar de fora”, voltado para leste.

Em outubro de 2010 foi realizada uma expedição ao AFN na qual o emprego de um Veículo de Operação Remota (ROV, do inglês Remotely Operated Vehicle) e operações de mergulho constataram a presença e os locais de ocorrência dos bancos de rodolitos no AFN [seis espécies de algas calcárias são as principais formadoras de rodolito em AFN: *Hydrolithon rupestre* (Foslie) Penrose, *Lithophyllum corallinae* (P.L. Crouan & H.M. Crouan) Heydrich, *Lithothamnion crispatum* Hauck, *Sporolithon episporum* (M.A. Howe) E.Y. Dawson, *Sporolithon ptychoides* Heydrich e *Mesophyllum engelhartii* (Foslie)] (Amado-Filho et al., 2012b). A partir dessa informação, foram planejadas e executadas duas novas expedições (Julho de 2012 e Janeiro de 2013) nas quais foram empregadas técnicas de mergulho técnico para acessar a região mesofótica onde se deu a amostragem; i.e. 45 m.

A região na qual está inserida o local de amostragem está localizada na extremidade Oeste da ilha de Fernando de Noronha, na zone limítrofe entre “mar de fora” e o “mar de dentro”, e é localmente conhecida como Cabeço da Sapata (CS), um afloramento rochoso situado nas coordenadas 3°52'40.92"S e 32°29'3.78"O (Fig. 1A) distante 150m, aproximadamente, da ilha principal. Sua formação rochosa, que se eleva dos 45 m de profundidade e quase aflora na superfície, é predominantemente recoberta por algas calcárias incrustantes e corais (principalmente *Montrastraea cavernosa* (Linnaeus, 1767)). No entorno deste afloramento estende-se um platô mais ou menos homogêneo recoberto por bancos de rodolitos que se estendem até pelo menos 100m de distancia do recife rochoso (Fig 1B). Esse banco de rodolitos constituiu o sitio de amostragem deste trabalho e o modelo para compreensão dos processos de aglutinação de rodolitos intermediados por esponjas.

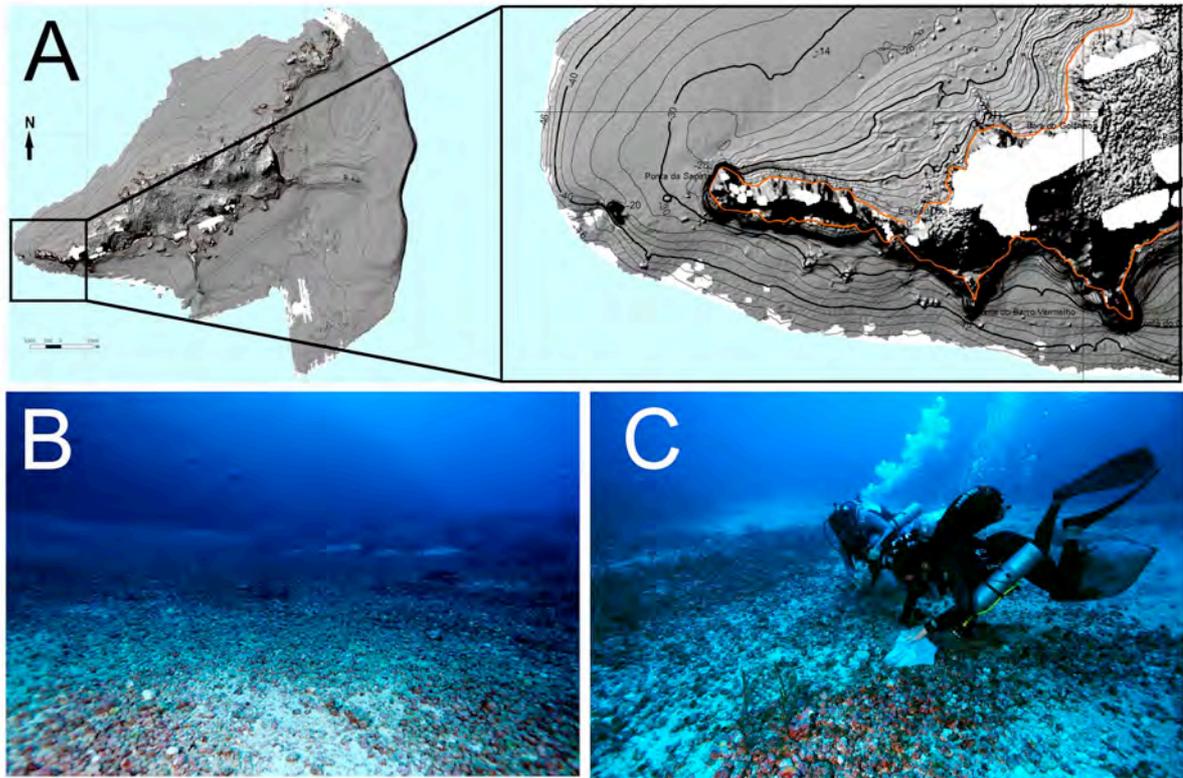


Fig. 1. Banco de rodolitos do AFN e método de amostragem. A- Cabeço da Sapata, B- Banco de rodolitos do Cabeço da Sapata, C- Mergulho técnico descompressivo para coleta de individualizada de rodolitos.

## 2.2. Amostragem

Técnicas de mergulho técnico descompressivo com múltiplos gases (Trimix) foram aplicadas para que os mergulhadores pudessem, de maneira eficiente, amostrar a área de estudo. Para quantificar a frequência de ocorrência de estruturas de rodolitos aglutinados amostramos 6 vídeos transects ( $n = 6$ ) (três em cada expedição). Cada transecto foi obtido a partir de filmagens em alta resolução (full HD), com comprimento de 50m e largura de 1 m (i.e., 50 m<sup>2</sup>). Para auxiliar no pós processamento das imagens um cartão para balanço de branco foi utilizado em cada quadro de imagem obtido a partir dos vídeos. De modo

complementar, 20 nódulos livres (n=20) e 15 complexos aglutinados de rodolitos (n=15) foram coletados de modo aleatório, cuidadosamente coletados do banco e acondicionados individualmente em sacolas de nylon com malha de 500  $\mu\text{m}$  (Fig. 1C). Imediatamente após a chegada do material à superfície cada um dos nódulos e dos complexos aglutinados foram individualmente fotografados afim de registrar as cores originais dos epibiontes sésseis e só então foram fixados em formaldeído 10% e transportados para o laboratório do IMar/Unifesp. Para cada nódulo e complexo aglutinados foram tomadas 2 foto, uma por plano, num total de 50 imagens (n=50)

Foram tomadas as medidas dos diâmetros (maior, intermediário e menor) de cada nódulo livre com o uso de um paquímetro, sendo este procedimento também realizado nos nódulos presentes nos complexos aglutinados após a desaglutinação mecânica dos mesmos. Estas medidas foram utilizadas para classificar os nódulos quanto à sua forma, utilizando a planilha TRI-PLOT v.1.3 (Graham & Midgley, 2000) adaptada por Bassi et al (in press) e a frequência de ocorrência de cada forma (i.e., discoide, subdiscoide, elíptico, subelíptico, esférico, subesférico) apresentada na forma de porcentagem. Foi estimado, individualmente, o volume dos nódulos livres e dos aglutinados, e os nódulos que os compunham, por meio do volume de água deslocado em um Becker graduado (Amado-Filho et al., 2007). Este procedimento foi repetido após a remoção da epibiota.

### 2.3. **Análise das imagens**

Cada um dos vídeos transectos obtidos foi transformado em 50 imagens estáticas subsequentes, sendo 1 imagem por metro (i.e., 50 imagens de  $1\text{m}^2$  cada), e destas foram aleatoriamente selecionadas 20 imagens para análise, perfazendo um total de 120 imagens (n=120). Os fotoquadrados gerados a partir dos vídeo transectos e as 50 imagens dos nódulos

e aglutinados foram processadas e catalogadas com o auxílio do pacote Adobe CC (Lightroom CC e Photoshop CC), especialmente para ajustes de nitidez e balanço de branco. Para análise foi utilizado o programa photoQuad (Trygonis & Sini, 2012).

No PhotoQuad os fotoquadrados foram analisados e cada rodolito livre foi visualmente identificado e individualizado na imagem a partir do contorno manual deste nódulo utilizando-se uma mesa digitalizadora (Adesso Z12 Slim). Também foram identificados os complexos aglutinados. Nessa etapa o pesquisador, observando as imagens de alta resolução desenhou o contorno dos nódulos um a um até que não mais houvessem nódulos, ou complexos aglutinados, que não tivessem sido delimitados. (Vou incluir uma figura) Dessa forma o software foi utilizado para gerar as seguintes informações: diâmetro médio dos rodolitos livres, área do substrato recoberta por rodolitos livres e densidade de rodolitos livres por  $m^2$ . Além disso, a análise das imagens também nos permitiu mensurar a densidade de estruturas de rodolitos aglutinados, a frequência em que essas estruturas ocorrem em  $1m^2$ ; e a área do substrato recoberta por estruturas de rodolitos aglutinados.

As imagens obtidas dos nódulos livres e dos aglutinados coletados também foram analisadas com o uso do photoQuad. A área de cada nódulo e aglutinado foi determinada pelo contorno da sua imagem. A partir daí cada táxon da epibiota sésil possível de ser individualmente identificado foi então contornado para se obter as informações de recobrimento dos nódulo e aglutinados.

#### 2.4. **Análise estatística dos dados**

Como o método de amostragem por imagem nos permite ter acesso apenas a informações bidimensionais sobre o banco de rodolitos, foi utilizado o coeficiente de variação para minimizar esse gargalo. Esse coeficiente foi calculado pela razão entre o desvio padrão e o diâmetro médio dos nódulos identificados em cada imagem.

Para detectar quais variáveis do banco podem ter relação à ocorrência de estruturas aglutinadas foi realizada um análise de regressão múltipla.

### 3. Resultados

A ilha principal do AFN e o afloramento rochoso do Cabeço da Sapata encontram-se distantes entre si por aproximadamente 150m e os banco de rodolitos se distribuem, entremeados por manchas de sedimento inconsolidado, por este espaço a uma profundidade média de 40m. A densidade média de nódulos livres apurada para o banco foi de  $320,83 \pm 248,87$  rod.m<sup>-2</sup>, sendo a maior densidade encontrada de 823 rod.m<sup>-2</sup> e menor de 33 rod.m<sup>-2</sup>. Os nódulos apresentaram diâmetro médio de  $3,09 \pm 1,54$  cm (média  $\pm$  DP), sendo 56% menores do que 3cm e 32% entre 3 a 5cm. No que tange a classificação quanto sua forma, os nódulos ficaram distribuídos entre esferoidal e subesferoidal, 40% e 55% respectivamente, conforme planilha TRIPLLOT de Graham & Midgley (2000) adaptado por Bassi *et al* (in press) (Fig.2a). Quanto ao volume a média encontrada foi de  $83,2 \pm 51,41$  ml, obtidos a partir dos 20 nódulos livres coletados.

Um total de 1290 complexos aglutinados foram identificados nas 120 imagens analisadas, perfazendo uma densidade média de  $51,61 \pm 20,25$  ag.m<sup>-2</sup>, onde a maior densidade foi de 106 ag.m<sup>-2</sup> e a menor de 9 ag.m<sup>-2</sup>. As estruturas aglutinadas recobriram 36% da área do banco presente nas imagens analisadas. Foram encontrados em média  $13,25 \pm 7,14$  nod.ag<sup>-2</sup> nos aglutinados analisados (n=15), com um diâmetro médio de  $3,41\text{cm} \pm 1,16$  cm. Esses nódulos também foram classificados quanto sua forma – 16,66% esferoidal, 13,32% subdiscoidal e subelipsoidal e 70% subesforoidal (Fig.2b). O volume médio das estruturas aglutinadas antes remoção da epibiota foi de  $368,75 \pm 197,33$  ml e após a triagem e remoção

da epibiota o volume médio encontrado foi de  $303,5 \pm 139,84$  ml, apontando para uma participação da epibiota no volume do aglutinado de aproximadamente 18%. Os nódulos que compunham as estruturas aglutinadas apresentaram um volume médio de  $22,9 \pm 20,44$  ml. As principais espécies observadas aglutinando nódulos de rodolitos foram as esponjas: *Hyattella cavernosa* (Pallas 1766) e *Agelas dispar* (Duchassaing & Michelotti, 1864). Todas as informações referentes ao volume dos aglutinados e de seus nódulos foram obtidos a partir dos 15 complexos coletados.

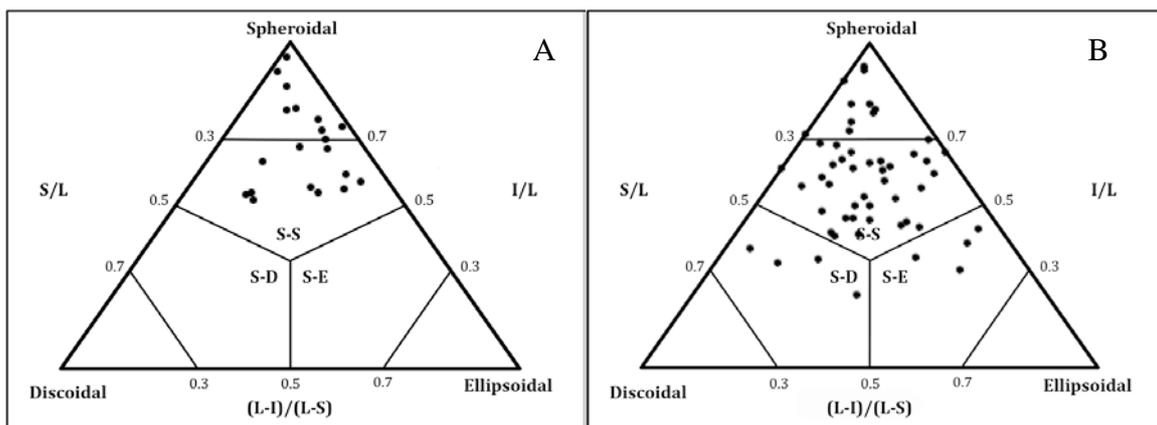


Fig. 2. Classificação gráfica da forma dos rodolitos utilizando planilha Triplot (Graham & Midgley 2000) adaptada de acordo com Bassi et al (*in press*). A – plotagem das medidas dos nódulos livres; B – plotagem das medidas dos nódulos presentes nas estruturas aglutinadas.

Os organismos da epibiota sésil foram identificados até o nível taxonômico mais específico possível e quantificados quanto sua cobertura através da análise das imagens tomadas tanto dos aglutinados como dos nódulos livres coletados. Porífero foi o grupo mais expressivo em termos de recobrimento da superfície nos aglutinados ( $20,8\% \pm 0,06$ ) – *H.*

*cavernosa* foi a principal espécie promotora de aglutinação, recobrando em média  $9,56\% \pm 0,095$  da área, em  $\text{cm}^2$ , dos aglutinados nas imagens analisadas no photQuad (Fig. 3. a-e). Já nos nódulos livres a matriz de algas epilíticas (MAE) foi a mais representativa, recobrando  $13,91\% \pm 0,036$  da superfície dos nódulos seguida por ascídias (Didemnidae) e briozoários,  $4,64\% \pm 0,016$  e  $3,75\% \pm 0,036$  respectivamente. A principal espécie de porífero foi *Clathria* sp, recobrando  $2,50\% \pm 0,031$ . A pouca biomassa disponível e o provável estado inicial de assentamento dos grupos não permitiu um aprofundamento taxonômico maior no nódulos livres. A superfície recoberta pelas CCA foi maior nos nódulos livres ( $69,41\% \pm 0,049$ ) ( $63,71\% \pm 0,128$ ) do que nos aglutinados ( $69,41\% \pm 0,049$ )( $63,71\% \pm 0,128$ ). Em apenas um dos nódulos livres foi encontrado recobrimento por coral ( $2,72\% \pm 0,128$ )(Fig.3 F). As informações de recobrimento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Média do percentual de recobrimento  $\pm$  Desvio Padrão dos organismos sésseis em nódulos livres e aglutinados.

Táxons	Aglutinados	Nódulos livres
<i>Hyatella cavernosa</i>	$9,56\% \pm 0,095$	-
<i>Agelas dispar</i>	$3,54\% \pm 0,079$	-
<i>Clathria</i> sp	$3,19\% \pm 0,038$	$2,50\% \pm 0,031$
Demospongiae	$2,76\% \pm 0,034$	$1,41\% \pm 0,02$
<i>Xestopongia muta</i>	$1,75\% \pm 0,039$	-
Calcarea	-	$0,25\% \pm 0,002$
Algas (MAE)	$6,4\% \pm 0,107$	$13,91\% \pm 0,036$
Bryozoa	$6,15\% \pm 0,076$	$3,75\% \pm 0,036$
Ascídias	$2,94\% \pm 0,045$	$4,64\% \pm 0,016$
Scleractinia	-	$2,72\% \pm 0,105$
CCA	$63,71\% \pm 0,128$	$69,41\% \pm 0,049$

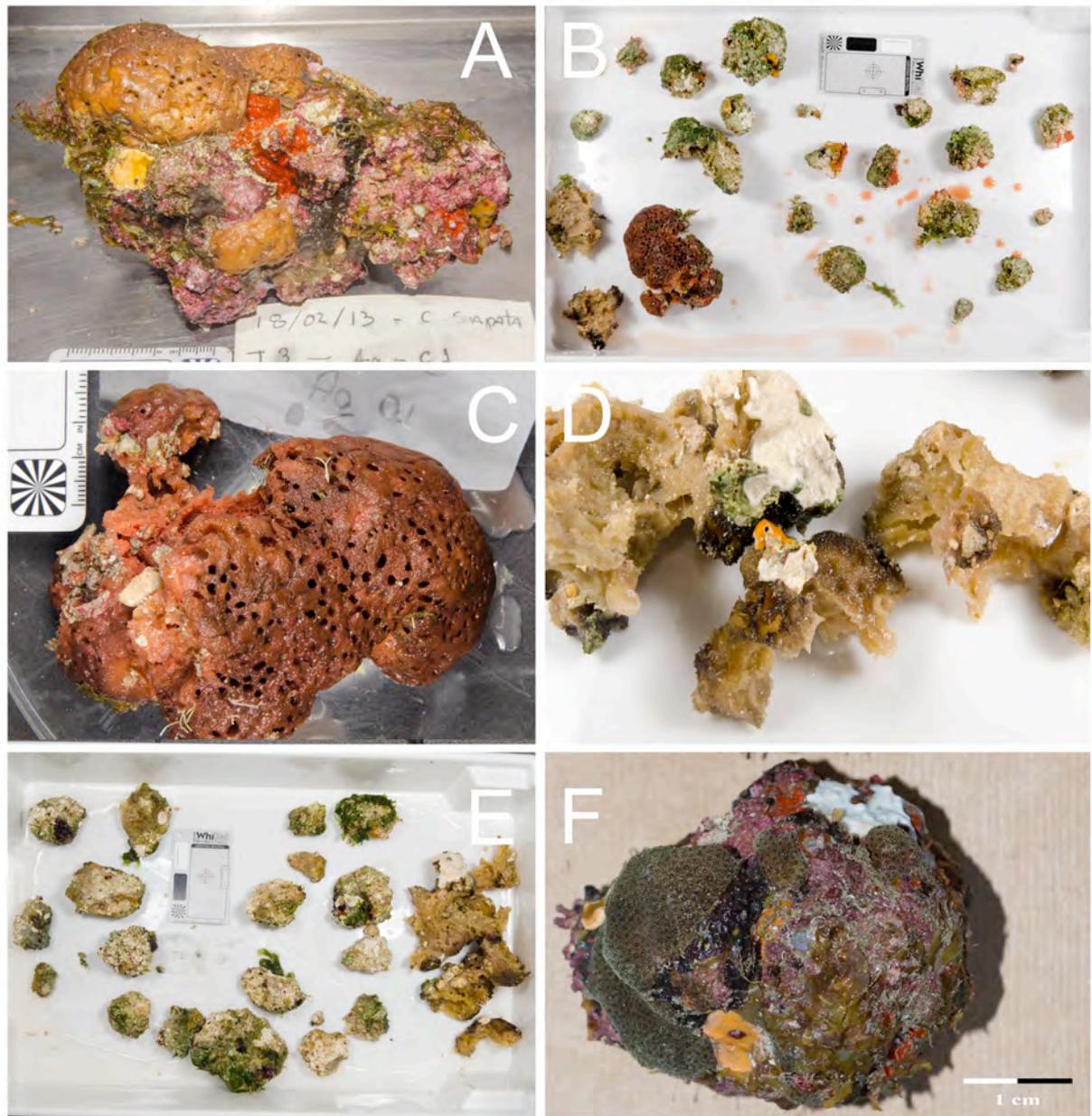


Fig. 3. Estruturas de rodolitos aglutinados. A – Estrutura aglutinada recoberta por *Agelas dispar*; B – Estrutura retratada em “A” após desmembramento; C – Detalhe de *A. dispar*; D – Detalhe de *H. cavernosa*, encontrada mais internamente na estrutura, também em “A”, aglutinando os nódulos; E – Rodolitos exclusivamente aglutinados por *H. cavernosa*; F – nódulo livre apresentando recobrimento por coral.

O diâmetro médio dos nódulos apresentou uma correlação negativa significativa ( $p < 0,5$ ) apontando para tendência de maior ocorrência de aglutinados na presença de uma alta densidade de nódulos menores. Já o coeficiente de variação apresentou uma correlação

positiva ( $p < 0,001$ ) com a ocorrência de aglutinados (Fig.4). Esse coeficiente foi calculado dividindo-se o diâmetro médio dos nódulos (DiamMed\_nod) pelo seu desvio padrão em cada imagem no intuito de contornar o gargalo de bi-dimensionalidade imposto pelo método de amostragem e análise.

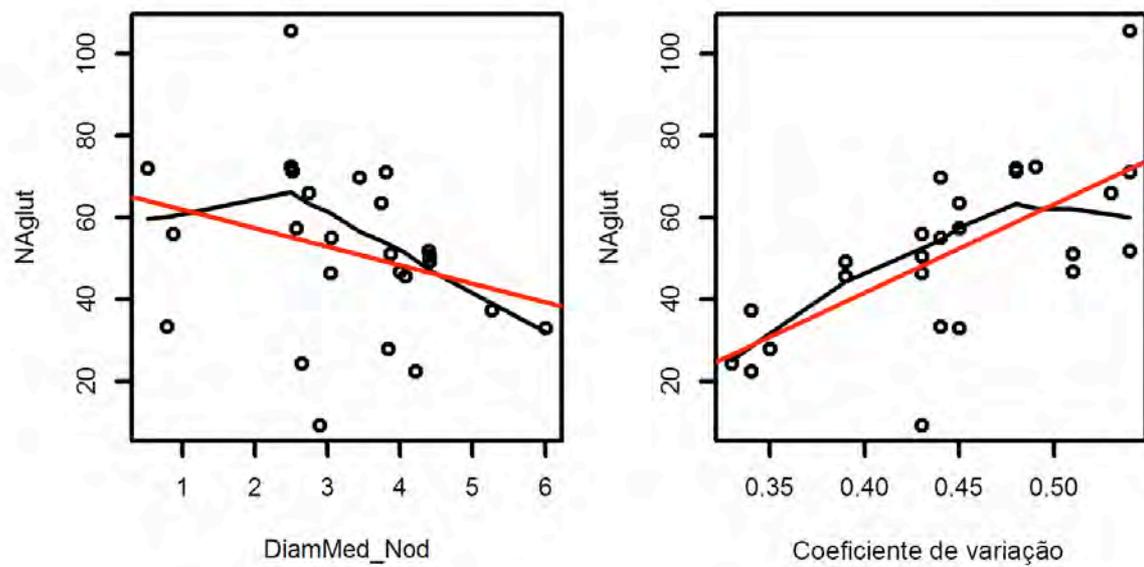


Fig.4. Regressão múltipla das duas variáveis significativamente correlacionadas à ocorrência de estruturas aglutinadas (NAglut), diâmetro médio dos nódulos (DiamMed\_nod) e coeficiente de variação.

Além da descrição e quantificação do processo de aglutinação dos nódulos livres pelas esponjas também observou-se, tanto no Cabeço da Sapata como em outros locais e profundidades ao longo de todo o AFN, a presença de placas carbonáticas consolidadas e coalescidas de rodolitos. Uma dessas placas foi coletada na 2<sup>a</sup> expedição e após secção da mesma foi possível identificar claramente a presença de rodolitos em seu arcabouço (Fig.5). Essa observação gerou uma nota na seção “Portrait of Marine Science” do Bulletin of Marine Science”, presente como anexo a esta dissertação (Pereira-Filho et al., 2015).

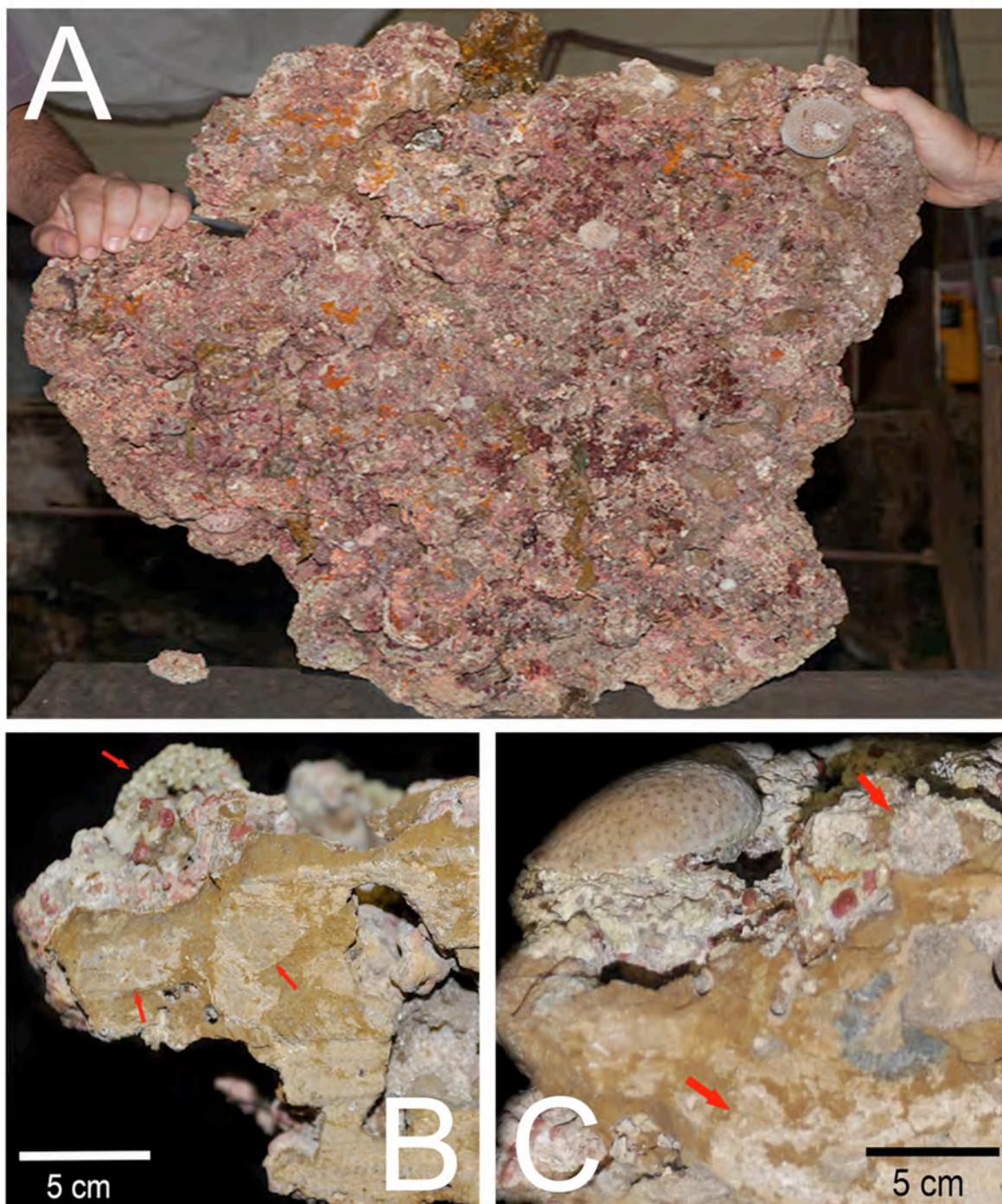


Fig.5. Exemplo de recife aglomerado sustentado por matriz, com rodolitos como estruturas do arcabouço. A- placa carbonática encontrada nos bancos do AFN. B e C – detalhe da seção da placa evidenciando a presença de rodolitos (setas vermelhas) em seu arcabouço e a grande quantidade de matriz de suporte (PEREIRA-FILHO et al., 2015).

#### 4. Discussão

Os recifes coralíneos são conhecidos como um dos mais importantes ecossistemas em nosso planeta, em diversidade e produtividade. No entanto, as ameaças que enfrentam são cada vez maiores e mais intensas (Knowlton & Jackson, 2008; Mumby & Steneck, 2008) e o prognóstico para as próximas décadas é ainda mais desfavorável para a saúde destes ecossistemas (Bell et al., 2013; Francini-Filho et al., 2008). A elevação da temperatura dos oceanos apresenta um sério risco à saúde e sobrevivência dos recifes, interferindo na relação simbiótica coral-dinoflagelados (zooxantela), aumentando a incidência de doenças, promovendo acidificação dos oceanos e comprometendo a produção e retenção do carbonato de cálcio (redução da saturação de aragonita no meio marinho), componente primário do “esqueleto” dos corais e beneficiando bioerosores que atuam fragilizando o arcabouço do recife (Anthony et al., 2008; Bell et al., 2013; Francini-Filho et al., 2008; Freeman, 2015; Pandolfi et al., 2011; Wisshak et al., 2012).

A expressiva perda dos recifes de corais das Ilhas Santa Fé, arquipélago das Galápagos documentados antes e após o *El Niño* de 1982/1983 (Glynn, 1994; Wellington & Glynn, 1983) e 1997/1998 (Glynn & Ault, 2000; Glynn et al., 2001), ocasião em que a totalidade dos recifes dessa ilha foi virtualmente destruída e seus esqueletos branqueados despedaçados é um exemplo dos efeitos do aquecimento. Essa fragmentação é atribuída ao aumento da densidade do ouriço *Eucidaris thouarsii*, não afetado pelos efeitos do aquecimento, e conseqüentemente do efeito erosivo de seu hábito de vida, que excedeu à capacidade de acreção de carbonato pelo recife já debilitado resultando em sua fragmentação (Glynn, 1994).

Entretanto, os mecanismos que regem os processos ecológicos possuem diversas vias e aquilo que, num primeiro momento, parece ser uma perda irrecuperável torna-se a base para o

estabelecimentos de um novo e promissor ecossistema. Nesse sentido, alguns organismos possuem a capacidade de gerar alterações no meio em que vivem e essas alterações podem manter, modificar ou criar novos habitats, podendo ser eles mesmo parte desses novos habitats ou apenas um veículo que realiza a alteração, química ou mecanicamente (Lawton, 1994). Esse é o conceito de engenheiros de ecossistemas, apresentado por Jones et al. (1994). Diversos são os exemplos da ação de organismos atuando como engenheiros de ecossistemas – castores, (Jones et al 1994); conchas de moluscos (Gutierrez et al., 2003); bivalves e rodólitos (Teichert, 2014).

Foi exatamente o que Halfar & Riegl (2013) constataram ao observar que o antigo recife de coral, após sua morte decorrente dos efeitos de eventos ENOS, teve seu esqueleto completamente fragmentado e reduzido a pequenos pedaços. A disponibilidade de substrato, e consequentemente de carbonato, decorrente da fragmentação desses recifes de corais permitiu que as algas calcárias incrustantes proliferassem e aumentassem sua biomassa num curto período de tempo utilizando os fragmentos de corais como núcleos para formação dos nódulos de rodólitos, acumulando-se em extensos bancos.

De modo distinto ao processo observado por Halfar & Riegl (2013), o que pôde ser observado nos bancos de rodólitos do AFN foi a presença de nódulos coalescidos no arcabouço de placas carbonáticas, no que poderia ser considerado um estágio prematuro de uma formação recifal de origem não coralínea, ou, um estágio avançado da sucessão de um banco de rodólitos originados de um recife coralíneo fragmentado. Pereira-Filho et al. (2015) hipotetizaram que esse processo de coalescência é catalisado tanto pela ação do peixe *Malacanthus plumieri* (Bloch, 1786) como pela aglutinação de nódulos adjacentes por intermédio de componentes da epibiota sésil do banco (i.e., poríferos). Ambos os catalizadores reduzem a mobilidade dos rodólitos, quer seja pelo aumento em pequena escala

da densidade de nódulos (i.e., *M. plumieri*), quer seja pela aglutinação de dois ou mais nódulos adjacentes em estruturas cada vez mais complexas, volumosas e menos susceptíveis a movimentação por parte das correntes locais.

Na área estudada (Cabeço da Sapata) *Montastraea cavernosa* (Linnaeus, 1767) e *Madracis decactis* (Lyman, 1859) recobriram 30% da superfície do recife rochoso a partir dos 31m de profundidade (Matheus, 2013). A presença dessas espécies de corais pode indicar que a formação do banco de rodolitos no local de estudo tenha relação com os corais, assim como apresentado por Halfar & Riegl (2013). O indício que leva à esta afirmação foi a presença de esqueleto coralíneo no interior de nódulo de rodolitos coletado no Cabeço da Sapata (Fig.6). Esses fragmentos nucleadores podem ter sua origem em uma expressiva fragmentação no passado, criando condições para o estabelecimento do banco. Contudo é necessário uma avaliação quantitativa da nucleação dos nódulos por esqueletos coralíneos para responder essa questão de maneira mais assertiva.

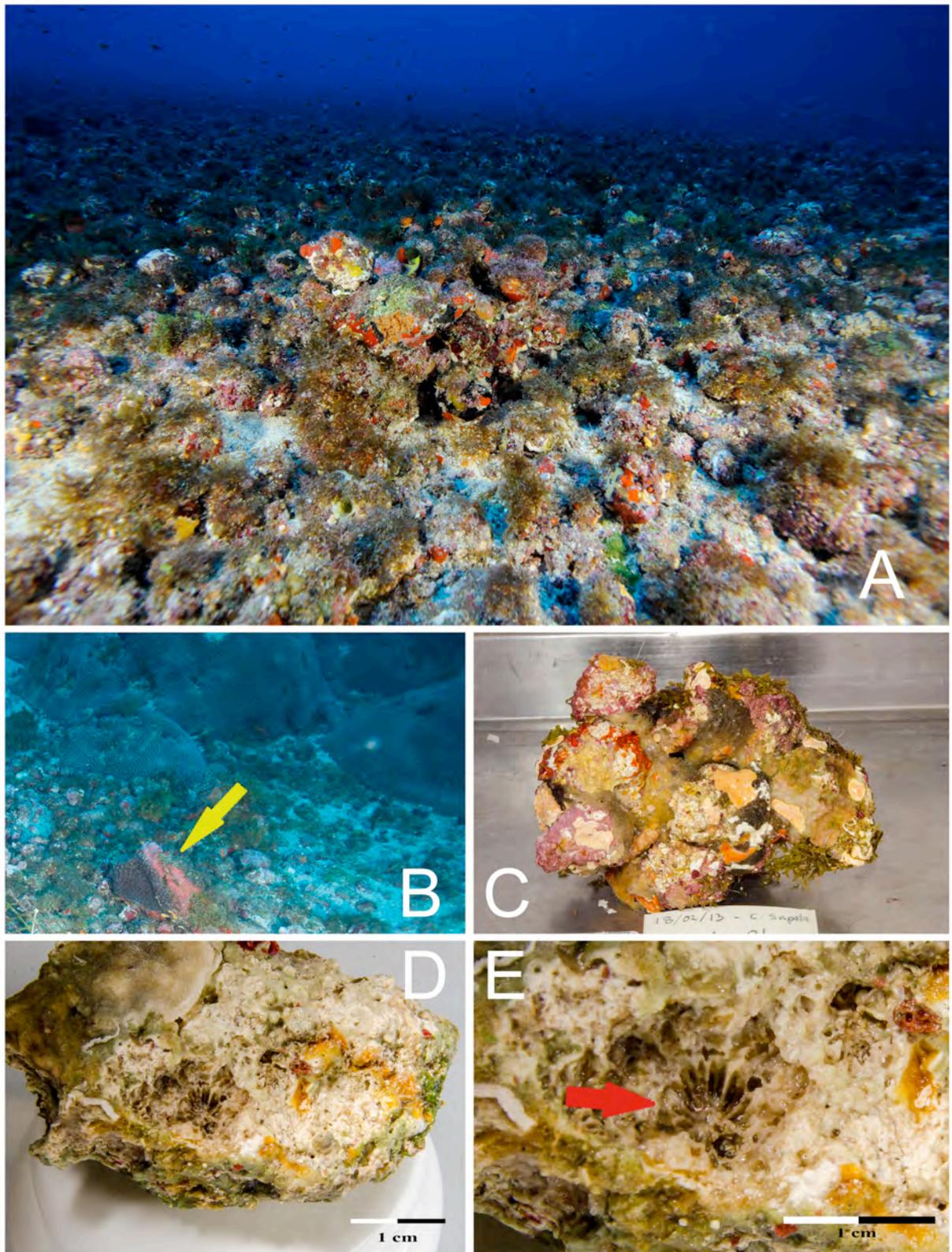


Fig.6. Rodolitos aglutinados e corais escleractíneos no CS. A – Complexo de rodolitos aglutinados do CS. B – Colônia de *M. cavernosa* recobrimo provável formação carbonática (seta amarela) e ao fundo recobrimo o

recife rochoso do CS. C – Complexo aglutinado coletado no CS. D e E – nódulo presente no aglutinado (C) apresentando esqueleto de *M. cavernosa* em seu núcleo (seta vermelha)

Os recifes orgânicos são depósitos calcários criados *in situ* por organismos sésseis, com o intuito de manterem-se acima do sedimento que os circunda e com resistência suficiente para suportar o movimento d'água (Riding, 2002). A presença dos complexos aglutinados nos bancos do AFN aponta para um estágio inicial de um processo para a formação de recifes carbonáticos consolidados. Recifes compostos por rodolitos estão presentes nos registros fósseis e são classificados como recifes aglomerados sustentados por matriz (do inglês Closed Cluster Reef Matrix-supported). Nesses recifes carbonáticos os esqueletos formadores do arcabouço estão bem próximos mas não necessariamente em contato (< que uma unidade de distância) e conseguem aprisionar uma elevada quantidade de matriz (Riding, 2002). Se comparamos o exemplo fóssil de banco de rodolitos transformado em um pavimento crostoso, apresentado por Riding (2002), e o encontrado por (Pereira-Filho et al., 2015) (Fig. 5) é possível perceber os nódulos aglutinados e coalescidos dentro de uma matriz de sedimentos enrijecidos.

Poríferos foram os principais organismos responsáveis pela aglutinação de rodolitos nos complexos coletados nesse estudo, sugerindo uma importante participação no estágio inicial de estabilização e quiçá no desenvolvimento do processo de formação de recifes consolidados. Estes animais são componentes abundantes tanto de recifes de corais como bancos de rodolitos (Ávila et al., 2013; Bell et al., 2013; López-Victoria & Zea, 2005; Pawlik, 2008; Steller et al., 2003; Wulff & Buss, 1979; Wulff, 2001), sendo representados por mais de 70 espécies no AFN (Moraes, 2011). As duas principais espécies encontradas durante este estudo efetuando a aglutinação dos nódulos, *H. cavernosa* e *A. dispar* apresentam características estruturais que podem explicar sua dominância nos nódulos coletados. Ambas

apresentam elevada quantidade de fribrina , o que confere grande resistência e, possivelmente, uma melhor capacidade de manter os nódulos aglutinados.

A abundância e riqueza de poríferos estão positivamente correlacionadas à densidade de nódulos nos bancos (Ávila et al., 2013) e sua presença parece favorecer a estabilização dos nódulos ao crescerem sobre mais de um desses simultaneamente (Marrack, 1999). Conforme o desaglutinamento dos complexos era realizado, foi possível observar uma grande quantidade de nódulos muito pequenos junto a outros maiores, o que nos leva a pensar que os poríferos iniciam seu assentamento em nódulos maiores e vão crescendo e aglutinando principalmente os de menor tamanho que estão próximos. A resistência estrutural característica das duas principais espécies aglutinadoras reforça essa ideia, já que muito provavelmente os nódulos menores, e conseqüentemente mais leves, dificilmente seria desaglutinados da estrutura principal apenas pela energia hidrodinâmica do local. As características morfológicas dos nódulos encontrados compondo os aglutinados também reforçam essa ideia, já que conforme apresentam uma maior frequência (13,32%) de rodolitos com as formas subesferoidais e subelipsoidais.

Amado-Filho et al. (2010) observaram que a diversidade de algas associada ao banco estudado era maior quando a estabilidade também era maior, já que a movimentação causa uma abrasão mecânica entre os nódulos e resulta na remoção de organismo epibiontes. Contudo, não está claro na literatura se os poríferos são de fato um dos fatores promotores de estabilização inicial dos rodolitos ou se necessitam de nódulos previamente estabilizados para seu assentamento para, só então, reforçarem essa estabilização. Realizar uma investigação das características hidrodinâmicas do banco, identificando quais as condições de corrente que propiciam, ou não, a movimentação dos nódulos e relacionar essas informações àquelas do momento do assentamento de poríferos (e de outros componentes da biota sésil) ajudará a

esclarecer qual o real papel da epibiota sésil nas etapas iniciais da formação de recifes carbonáticos.

A realização de análises paleoecológicas e a datação dos esqueletos coralíneos nucleando os rodolitos podem fornecer informações importantes para compreender a interação dos recifes de coral do CS e o banco que o circunda, e a mutualidade no provimento de substrato para desenvolvimento tanto dos corais como dos rodolitos.

## **5. Considerações finais**

Estudos para identificar e compreender as interações entre os rodolitos e sua biota associada precisam ser realizados e aprofundados, especialmente se considerarmos a função dos rodolitos na formação de recifes carbonáticos consolidados. Os bancos de rodolitos do AFN devem perdurar entre áreas focais de estudos para compreensão desses sistemas, em especial àqueles pertencentes à zona mesofótica.

A relação entre os mais bem estudados formadores de recifes carbonáticos (corais escleractíneos), um dos mais abundantes organismos associados ao recifes (poríferos) e os bancos de rodolitos, interagindo e colaborando para manterem sucessão cíclica entre as fases de um recife carbonático, precisa ser melhor detalhada.

As esponjas registradas no presente estudo representaram uma pequena fração da biodiversidade total deste grupo conhecida para o AFN e interagem de maneira importante junto aos bancos de rodolitos do AFN, se não causando, ao menos reforçando o processo de

estabilização dos nódulos permitindo o desenvolvimentos de outros componentes da biota com capacidade de tornar esse processo cada vez mais estável. Essa interação deve ser melhor compreendida e estudos para detalhar e aprofundar o entendimentos dessa relação devem ser realizados, tanto para os bancos do AFN quanto para o restante do litoral brasileiro.

Investigações devem ser conduzidas em vias recíprocas, procurando entender o papel dos recifes de corais na formação dos bancos e o papel dos bancos na formação de recifes de corais.

## 6. Referencias bibliográficas

- AMADO-FILHO, G. et al. Seaweed diversity associated with a Brazilian tropical rhodolith bed. *Ciencias Marinas*, v. 36, n. 4, p. 371–391, 2010.
- AMADO-FILHO, G. M. et al. Estructura de los mantos de rodolitos de 4 a 55 metros de profundidad en la costa sur del estado de Espírito Santo, Brasil. *Ciencias Marinas*, v. 33, n. 4, p. 399–410, 2007.
- AMADO-FILHO, G. M. et al. Rhodolith beds are major CaCO<sub>3</sub> bio-factories in the tropical South West Atlantic. *PloS one*, v. 7, n. 4, p. e35171, jan. 2012a.
- AMADO-FILHO, G. M. et al. Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. *Aquatic Botany*, v. 101, p. 41–45, ago. 2012b.
- AMADO-FILHO, G. M.; PEREIRA-FILHO, G. H. Rhodolith beds in Brazil: A new potential habitat for marine bioprospection. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 22, n. 4, p. 782–788, 2012.
- ANTHONY, K. R. N. et al. Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 105, n. 45, p. 17442–17446, 2008.
- ÁVILA, E.; RIOSMENA-RODRIGUEZ, R. A preliminary evaluation of shallow-water rhodolith beds in Bahia Magdalena, Mexico. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 59, n. 4, p. 365–375, dez. 2011.
- ÁVILA, E.; RIOSMENA-RODRÍGUEZ, R.; HINOJOSA-ARANGO, G. Sponge–rhodolith interactions in a subtropical estuarine system. *Helgoland Marine Research*, v. 67, n. 2, p. 349–357, 25 ago. 2013.
- BAHIA, R. G. et al. RHODOLITH BED STRUCTURE ALONG A DEPTH GRADIENT ON THE NORTHERN COAST OF BAHIA STATE , BRAZIL. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, n. 4, p. 323–337, 2010.
- BASSI D., SIMONE L., NEBELSICK J.H. Re-sedimented rhodoliths in channelized depositional systems. In Riosmena-Rodriguez R, Nelson W, Aguirre J (eds), *Rhodolith/maerl beds: a global perspective*. Springer-Verlag, Berlin, special volume (in press).
- BELL, J. J. et al. Could some coral reefs become sponge reefs as our climate changes? p. 1–12, 2013.
- DONEY, S. C. et al. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual review of marine science*, v. 1, p. 169–92, 25 jan. 2009.

- DOS SANTOS, A. S. et al. Encrusting Sabellariidae (Annelida: Polychaeta) in rhodolith beds, with description of a new species of Sabellaria from the Brazilian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 91, n. 02, p. 425–438, 6 mar. 2011.
- ESTON, V. R. et al. Vertical distribution of benthic marine organisms on rocky coasts of the Fernando de Noronha archipelago (Brazil). *Boletim do Instituto Oceanografico*, v. 34, p. 37–53, 1986.
- FONSECA, D.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. Conservation of island biodiversity: importance, challenges, and opportunities. Conservation International, Washington, DC, 2006.
- FOSTER, M. S. MINIREVIEW RHODOLITHS: BETWEEN ROCKS AND SOFT PLACES. *Journal of Phycology*, v. 37, p. 659–667, 2001.
- FOSTER, M. S. et al. Rhodoliths and rhodolith beds. *Smithsonian contributions to the Marine Sciences*, v. 39, p. 143 – 155, 2013.
- FRANCINI-FILHO, R. B. et al. Diseases leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, eastern Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, v. 56, n. 5, p. 1008–1014, 2008.
- FREEMAN, L. A. Robust Performance of Marginal Pacific Coral Reef Habitats in Future Climate Scenarios. *Plos One*, v. 10, n. 6, p. e0128875, 2015.
- GLYNN, P. W. State of Coral Reefs in the Gal pagos Islands : Natural vs Anthropogenic Impacts. v. 29, n. 94, 1994.
- GLYNN, P. W. et al. Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 el nino-southern oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science*, v. 69, n. 1, p. 79–109, 2001.
- GLYNN, P. W.; AULT, J. S. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs*, v. 19, n. 1, p. 1–23, 18 abr. 2000.
- GOUVEIA, S. E. M., PESSENDA, L. C. R., MARIE-PIERRE, L., BRANCO, F. S. R. T., ARAVENA, R., RIBEIRO, A. S., SAIA, S. E. M. G., SIFEDDINE, A., MENOR, E. A., OLIVEIRA, S. M. B., CORDEIRO, R. C., FREITAS, A. M. M., BOULET, R. G. L. & FILIZOLA, H. F. Estudos interdisciplinares e a reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no holoceno em Fernando de Noronha. In: MHOR, L. V., CASTRO, J. W. A., COSTA, P. M. S., & ALVES, R. J. V. (Eds.) *Ilhas Oceânicas Brasileiras: da pesquisa ao manejo*. Vol. II. MMA Brasília. 542. 2009.
- GRAHAM, D. J.; MIDGLEY, N. G. Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: An excel spreadsheet method. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 25, n. 13, p. 1473–1477, 2000.
- GUIMARÃES, S.; AMADO-FILHO, G. First record of *Reticulocaulis mucosissimus* i. a.

- abbott (naccariaceae, rhodophyta) for the western Atlantic Ocean. *Brazilian Journal of Botany*, v. 32, n. 4, p. 671–675, 2009.
- GUIMARÃES, S. M. P. B.; AMADO-FILHO, G. M. Deep-water gelatinous rhodophytes from southern Espírito Santo State, Brazil. *Botanica Marina*, v. 51, n. 5, p. 378, 1 jan. 2008.
- GUTIERREZ, J. L. et al. Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, v. 101, n. 1, p. 79–90, 2003.
- HALFAR, J.; RIEGL, B. From coral framework to rhodolith bed: sedimentary footprint of the 1982/1983 ENSO in the Galápagos. *Coral Reefs*, v. 32, n. 4, p. 985–985, 26 jun. 2013.
- HINOJOSA-ARANGO, G.; MAGGS, C. A; JOHNSON, M. P. Like a rolling stone: the mobility of maerl (Corallinaceae) and the neutrality of the associated assemblages. *Ecology*, v. 90, n. 2, p. 517–28, fev. 2009.
- JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, v. 69, p. 373–386, 1994.
- KNOWLTON, N.; JACKSON, J. B. C. Shifting Baselines, Local Impacts, and Global Change on Coral Reefs. *PLoS Biology*, v. 6, n. 2, p. e54, 2008.
- LAWTON, J. H. What do species do in ecosystems ? *Oikos*, v. 71, n. 3, p. 367–374, 1994.
- LIMA, R. P., SCARDUA, F., SILVA JR., J. M., PALAZZO JR., J. T. & MULLER, R. R. Fernando de Noronha Archipelago / Rocas Atol Tropical insular complex. Nomination for inclusion as an UNESCO World Heritage Natural Site. 2001.
- LÓPEZ-VICTORIA, M.; ZEA, S. Current trends of space occupation by encrusting excavating sponges on Colombian coral reefs. *Marine Ecology*, v. 26, n. 1, p. 33–41, 2005.
- MARCHIORO, G.B.; NUNES, M.A.; DUTRA, G.F.; MOURA, R.L. & PEREIRA, P.G.P. Avaliação dos impactos da exploração e produção de hidrocarbonetos no Banco dos Abrolhos e adjacências. *Megadiversidade*, 1(2): 225-310. 2006.
- MARRACK, E. C. The Relationship Between Water Motion and Living Rhodolith Beds in the Southwestern Gulf of California , Mexico. *Palaios*, v. 14, n. 2, p. 159–171, 1999.
- MATHEUS, ZA. Caracterização da Estrutura da Comunidade Bentônica do Infralitoral do Arquipélago de Fernando de Noronha. 2013. 99p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Pesquisas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- MILLIMAN JD, AMARAL CAB. Economic potential of Brazilian continental margin sediments. *An Congr Brasil Geo* 28: 335-344. 1974
- MUMBY, P. J.; STENECK, R. S. Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. n. August, 2008.
- NELSON, W. A. Calcified macroalgae - critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: a review. *Marine and Freshwater Research*, v. 60, n. 8, p. 787, 2009.

- NORSE, E. A.; CROWDER, L. B. *Marine Conservation Biology: The Science of Maintaining the Sea's Biodiversity*. [s.l.: s.n.]. v. 57
- PANDOLFI, J. M. et al. Projecting coral reef futures under global warming and ocean acidification. *Science*, v. 333, n. 6041, p. 418–422, 2011.
- PAWLIK, S. E. M. Æ. J. E. B. Æ. J. R. Redwood of the reef: growth and age of the giant barrel sponge *Xestospongia muta* in the Florida Keys. p. 159–171, 2008.
- PEREIRA, S.M.B. Algas Marinhas Bentônicas do Arquipélago de Fernando de Noronha (PE) e Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: ALVES, R. J.V. & CASTRO, J.W.A. (Orgs.) *Ilhas oceânicas brasileiras da pesquisa ao manejo*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 113-126. 2006.
- PEREIRA-FILHO, G. H. et al. Extensive Rhodolith Beds Cover the Summits of Southwestern Atlantic Ocean Seamounts. *Journal of Coastal Research*, v. 279, p. 261–269, jan. 2012.
- PEREIRA-FILHO, G. H. et al. Sponges and fish facilitate succession from rhodolith beds to reefs. *Bulletin of Marine Science*, v. 91, n. 1, p. 45–46, 2015.
- RIDING, R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, v. 58, n. 1-2, p. 163–231, jul. 2002.
- RIUL, P. et al. Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment. *Aquatic Botany*, v. 90, n. 4, p. 315–320, maio 2009.
- SADLER, J. P. Biodiversity on oceanic islands: a palaeoecological assessment. *Journal of Biogeography*, v. 26, n. 1, p. 75–87, 1 jan. 1999.
- SERAFINI, T.Z; FRANCA, G.B; ANDRIGUETTO-FILHO, J.M. Ilhas oceânicas brasileiras: biodiversidade conhecida e sua relação com o histórico de uso e ocupação humana. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10(3): 281-30. 2010.
- STELLER, D. L. et al. Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 13, n. S1, p. S5–S20, jan. 2003.
- STELLER, D. L.; FOSTER, M. S. Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahia Concepcion, B.C.S., Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 194, n. 2, p. 201–212, 1995.
- SZECHY, M. DE et al. *Contribuição ao inventário das algas marinhas bentônicas de Fernando de Noronha*. Rodriguesia, 1989.
- TEICHERT, S. Hollow rhodoliths increase Svalbard's shelf biodiversity. *Scientific Reports*, v. 4, 2014.
- TRYGONIS, V.; SINI, M. photoQuad: A dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *Journal of Experimental Marine*

- Biology and Ecology, v. 424-425, p. 99–108, ago. 2012.
- VECSEI, A. A new estimate of global reefal carbonate production including the fore-reefs. *Global and Planetary Change*, v. 43, n. 1-2, p. 1–18, ago. 2004.
- VILLAS-BOAS, A. B. et al. Rhodolith-forming Species of *Lithophyllum* (Corallinales; Rhodophyta) from Espírito Santo State, Brazil, Including the Description of *L. depressum* sp. nov. *Phycologia*, v. 48, n. 4, p. 237–248, 2009.
- WALTER, H. S. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. *Journal of Biogeography*, v. 31, n. 2, p. 177–197, 2004.
- WELLINGTON, G. M.; GLYNN, P. W. Environmental Influences On Skeletal Banding in Eastern Pacific Panama Corals. *Coral Reefs*, v. 1, n. 4, p. 215–222, 1983.
- WISSHAK, M. et al. Ocean acidification accelerates reef bioerosion. *PloS one*, v. 7, n. 9, p. e45124, 2012.
- WULFF, J. L. Assessing and monithoring coral reef sponges: why and how? *Bull. Mar. Sci.*, v. 69, n. 2, p. 831–846, 2001.
- WULFF, J. L.; BUSS, L. W. Do sponges help hold coral reefs together? *Nature*, 1979.