

Ian dos Santos Freitas Caçonia Fortes

**Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para  
caracterização de um ambiente recifal raso.**

**Recifes do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta - BA.**

**Trabalho Final de Curso**

**(Geologia)**

**Ian dos Santos Freitas Caçonia Fortes**

**Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para caracterização de um ambiente recifal raso.**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane

FORTES, Ian dos Santos Freitas Caçonia

**Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para caracterização de um ambiente recifal raso.: Recifes do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta - BA.** / Ian Dos Santos Freitas Caçonia Fortes - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2015.

xvi, 56 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Orientador: D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane

1. Geologia. 2. Geologia Regional e Econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Jose Carlos Sicoli Seoane, Sobrenomes do orientador da UFRJ. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. **Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para caracterização de um ambiente recifal raso: Recifes do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta – BA.**

Ian dos Santos Freitas Caçonia Fortes

**Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para caracterização de um ambiente recifal raso.**

**Recifes do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta - BA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane UFRJ

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_

Por:

---

Orientador: D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane – UFRJ

---

D. Sc. Fábio Ferreira Dias (UFF)

---

D. Sc. Arthur Ayres Neto (UFF)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2015

Aos meus pais Ana e Roberto, cujo amor pela vida sempre me inspirou.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao projeto Coral Vivo, patrocinado pelo programa Petrobras Ambiental, pelo suporte logístico e infraestrutura, sem o qual o presente trabalho não seria possível.

Agradeço ao amigo e orientador D.Sc. José “Cainho” Sícoli Seoane pelo apoio, orientação e por se tornar um exemplo, não apenas no mundo acadêmico.

Agradeço à Bia Sabino, amor e companheira que escolhi para a vida, por toda ajuda durante os trabalhos de campo, pela revisão do trabalho e pela parceria durante todos os anos de faculdade.

Aos amigos Jhone Araújo, Fernando Duarte e Márcio pela companhia e ajuda durante os trabalhos de campo, a melhor sala de aula.

“ Todas as ideias verdadeiramente grandes são concebidas enquanto se caminha. ”

Friedrich Nietzsche

## Resumo

Caçonia Fortes, Ian S. F. **Sonar de Varredura Lateral como ferramenta para caracterização de um ambiente recifal raso.: Recifes do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta - BA.** 2015. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O Parque Municipal Marinho da Coroa Alta, localizado a nordeste da cidade de Santa Cruz de Cabralia no sul do estado da Bahia, constitui uma área de grande biodiversidade ainda pouco estudada. Os recifes são produto de uma complexa interação entre processos geológicos e biológicos, apresentando feições morfológicas bastante dinâmicas. Considerando a gestão de áreas de proteção ambiental e com o objetivo de incluir o sonar de varredura lateral como ferramenta útil para o detalhamento de zonas recifais e testar a sua aplicabilidade em águas rasas, este trabalho apresenta os resultados de uma aquisição feita por toda a extensão do parque e propõe caracterizar os diferentes substratos que compõem a plataforma recifal, a partir de suas características de reflexão acústica.

Afim de manter um baixo custo operacional, a técnica de levantamento foi adequada a equipamentos disponíveis no mercado. Com um transdutor instalado diretamente no casco de uma embarcação de pequeno porte, foram levantados aproximadamente 800 quilômetros de linhas batimétricas e de varredura lateral. Após visualização, mostram detalhes da estrutura e composição do recife que possibilitam um maior entendimento das dinâmicas de áreas específicas, como bancos de corais isolados, piscinas recifais, naufrágios ou a linha de interface do platô recifal com os sedimentos que o circundam.

Palavras chave: Sonar de varredura lateral, recifes costeiros, gestão ambiental

## Abstract

Caçonia Fortes, Ian S. F. **Side-scan as a tool for the characterization of shallow reef área: Reefs of the Coroa Alta Municipal Marine Park - BA.** 2015. Final Project of the Geology course – Geology Department, Geosciences Institute, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Located at northeast of the city of Santa Cruz Cabrália – BA, northeast Brazil, the Coroa Alta Marine Municipal Park is an area of great biodiversity still poorly studied. The park is consisted of three main coral reefs, Araripe, Angaba and Coroa Alta. The reefs are the product of a complex interaction between geological and biological processes, presenting a very dynamic morphology. In order to include the side-scan sonar as a useful tool for the detailing of the reef structure and test it's applicability in shallow waters, this paper presents the results of an acquisition covering the entire length of the park and proposes the characterization of the different substrates that compose the reef platform, using the sonar.

In order to maintain low operating costs, the survey technique was developed to suit the equipment available. With a transducer installed directly on the hull, 800 kilometers of bathymetric and side-scan survey lines were conducted. The results show detailed views of the reef structure and composition, enabling a greater understanding of the dynamics of specific areas such as isolated coral colonies, reef lagoons, shipwrecks and the reef interface with the surrounding sediments.

Keywords: Side-scan, fringing reef, environmental management

## **Lista de figuras**

Figura 1: Recifes no Brasil classificados quanto ao nível de ameaça. (Pg. 3)

Figura 2: Esquema ilustrativo de uma gestão ecossistêmica. (Pg. 4)

Figura 3: Localização. (Pg. 6)

Figura 4: Mapa geológico. (Pg. 8)

Figura 5: Mapa esquemático da bacia de Cumuruxatiba. (Pg. 9)

Figura 6: Sentido e intensidade das correntes de deriva litorânea. (Pg. 10)

Figura 7: Desenho esquemático de reflexão difusa. (Pg. 11)

Figura 8: Representação de diferentes objetos e texturas pelo SVL. (Pg. 12)

Figura 9: Diferença no ângulo/direção dos feixes de onda. (Pg. 13)

Figura 10: Fotos do equipamento. (Pg. 13)

Figura 11: Imagem criada por sonar de varredura lateral. (Pg. 17)

Figura 12: Iamany e Simrad NSS7. (Pg. 18)

Figura 13: Imagem do PMMCA. (Pg. 20)

Figura 14: Linhas batimétricas georreferenciadas. (Pg. 23)

Figura 15: Localização e caracterização de pontos de interesse. (Pg. 25)

Figura 16: Imagens SVL de construções recifais de alto relevo. (Pg. 26)

Figura 17: Imagens SVL de construções recifais de baixo relevo. (Pg. 28)

Figura 18: Imagens SVL da interface entre o recife e o fundo arenoso. (Pg. 29)

Figura 19: Mapa de máxima verossimilhança. (Pg. 30)

Figura 20: Fundo de areia com marcas de onda e banco de algas. (Pg. 31)

Figura 21: Fundo de areia e lama. (Pg. 32)

Figura 22: Linha de levantamento destacada para área de interesse. (Pg. 33)

Figura 23: Estruturas recifais medidas utilizando tamanho das “sombras”. (Pg. 34)

Figura 24: Imagem do SVL mostrando formas de "caixotes". (Pg. 35)

Figura 25: Perfil vertical mostrando "rachadura" dentro da estrutura recifal. (Pg. 36)

Figura 26: Seções verticais. (Pg. 37)

Figura 27: Seção vertical e varredura lateral, região do recife do Araripe. (Pg. 38)

## **Lista de tabelas**

Tabela 1: Esforço de campo.

## **Lista de siglas e abreviaturas**

PMMCA – Parque Municipal Marinho da Coroa Alta.

SONAR – Sound Navigation and Ranging (Navegação e Determinação da Distância pelo Som).

SVL – Sonar de Varredura Lateral.

WVII – World View II (classe de satélite da Digital Globe).

# Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	vii
Abstract .....	viii
Lista de figuras .....	ix
Lista de tabelas .....	x
Lista de siglas e abreviaturas .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Apresentação .....	1
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivos principais .....	5
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
2. Caracterização da área de estudo .....	6
2.1. Localização e Acessos .....	6
2.2. Geologia Regional .....	7
2.3. Clima e Oceanografia .....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1. Sonar de Varredura Lateral (SVL) .....	12
3.1.1. Funcionamento .....	12
3.1.2. Usos e aplicações .....	15
4. METODOLOGIA .....	17
4.1. Equipamento .....	17
4.2. Aquisição / Etapa de Campo .....	18
4.3. Processamento .....	22

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5.1. Caracterização de fundo .....	26
5.1.1. Morfologia Recifal .....	26
5.1.2. Estruturas não-consolidadas e planícies de deposição .....	29
5.2. Estruturas de interesse .....	33
5.2.1. Construções coralíneas .....	33
5.2.2. Objetos antropogênicos .....	35
5.3. Estruturas soterradas (Downscan).....	36
6. CONCLUSÕES.....	39
6.1. Sugestões de trabalhos futuros.....	40
7. REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Recifes de corais apresentam imensa variedade de estruturas biogênicas, tornando-se pontos de grande importância para a biodiversidade dos oceanos como um todo (Adey, 2000). O intercrescimento de colônias de corais, forma estruturas muito complexas com enorme superfície de contato, abrigando inúmeras espécies animais e vegetais.

Tais estruturas são de grande interesse geológico uma vez que formam construções calcárias capazes de preservar sua morfologia original no registro sedimentar. Recifes fósseis podem, em alguns casos, servir como análogos de formações onde hoje se localizam importantes reservatórios de hidrocarbonetos, incluindo o sistema pre-sal brasileiro.

No intuito de entender as bioconstruções carbonáticas é necessário que se conduza um estudo detalhando sua estrutura e ambiente, assim como a estrutura e ambiente de seus depósitos vizinhos, tanto carbonáticos quanto siliciclásticos.

A distribuição dos sedimentos na plataforma recifal é bastante dinâmica e pode variar tanto horizontal quanto verticalmente, fazendo com que métodos sísmicos e de imageamento de fundo sejam os mais úteis para compreender o recife em toda a sua complexidade. Entretanto, a aquisição de dados sísmicos costuma ser cara, pois se faz necessário o uso de equipamentos especializados. Outro problema da utilização dos métodos de pesquisa sísmica tradicionais nas áreas recifais costeiras é o espaço operacional dos navios, as estruturas dos recifes atuais são bastante rasas, uma vez que o platô no topo do recife tem uma média de 2m de profundidade, impossibilitando a navegação de embarcações de grande porte.

Mapas morfológicos e estruturais das plataformas carbonáticas e recifes modernos do litoral brasileiro são bastante escassas, dificultando a elaboração do plano de manejo dessas áreas.

O monitoramento de espécies e condições ambientais, feita por voluntários, por meio de projetos de educação e conservação ambiental, vem aumentando ao longo dos anos. Em consequência dos recursos limitados de tais projetos, o barateamento e maior disponibilização de ferramentas de sensoriamento remoto, tornam os dados cada vez mais completos e confiáveis, assim como os obtidos por especialistas

(Forrester, *et al.*, 2015). No caso de estudos feitos em áreas de recifes submersos, onde são necessários mergulhos (SCUBA) para coleta, são grandes as dificuldades em se manter uma padronização na qualidade das amostras (Gillet, *et al.*, 2012). Portanto, a utilização de métodos de sensoriamento remoto na determinação dos pontos de amostragem torna-se vantajosa.

As consequências de ações antropogênicas sobre os recifes em todo o mundo, como a pesca, poluição e mudanças climáticas, têm afetado enormemente a saúde e diversidade dos animais construtores dos recifes (Knowlton & Jackson, 2008). De acordo com a Global Coral Reef Monitoring Network, em 2008 a área efetiva do planeta coberta por recifes correspondia a 81% da cobertura original e a perspectiva é de que nos próximos 30 a 40 anos, 60% dessa área seja, de alguma forma, degradada (Wilkinson, 2008).

Os principais recifes de corais do Atlântico Sul estão localizados na costa Nordeste do Brasil estendendo-se por aproximadamente 3000 km, do sul da Bahia até o Maranhão (Maida & Ferreira, 1997).

Segundo a *World Resources Institute* todos os recifes costeiros do nordeste brasileiro encontram-se em alto risco de degradação (Figura 1). A falta de estudos é um problema geral na elaboração do plano de manejo e conservação dos recifes brasileiros, porém atividades como a pesca e o turismo tornam os recifes costeiros especialmente sensíveis (Castro, 1999).

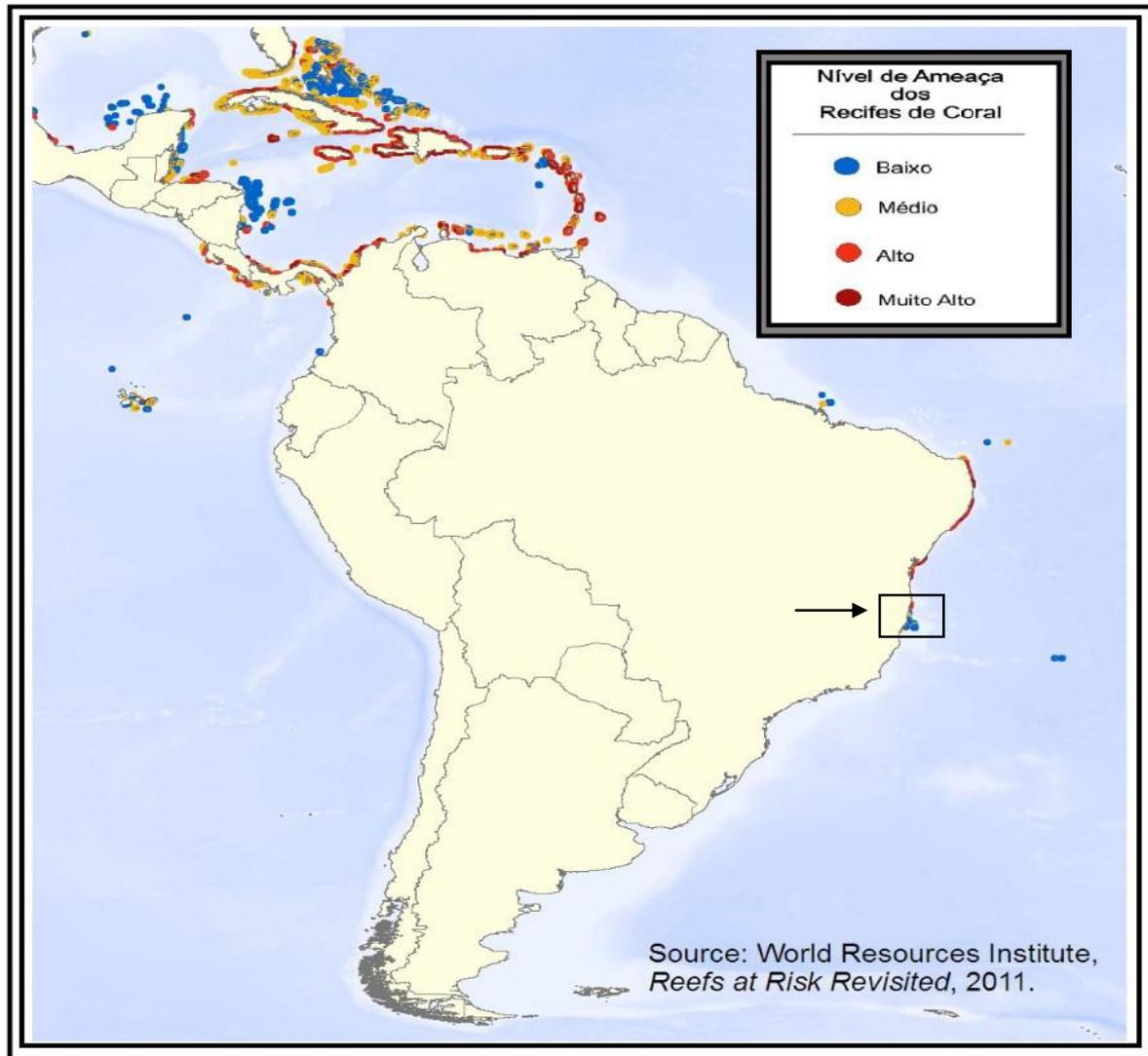


Figura 1: Distribuição dos recifes de coral no Brasil classificados quanto ao nível de ameaça. Destaque para o quadro mostrando os recifes do sul do estado da Bahia, em situação de alto risco.

O mapeamento de habitats é fundamental para a implantação e manejo de Áreas de Proteção Ambiental (Figura 2). Temas relevantes como; variedade e distribuição de peixes, seres bentônicos e incrustantes, correntes e qualidade da água, dependem diretamente do tipo de substrato. Nesse contexto, a integração de técnicas de geoprocessamento, como o Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ao mapeamento físico dessas áreas, tem se fortalecido como maneira efetiva de estudar, modelar e monitorar recifes de coral por todo o mundo (Xavier da Silva et al., 2001).

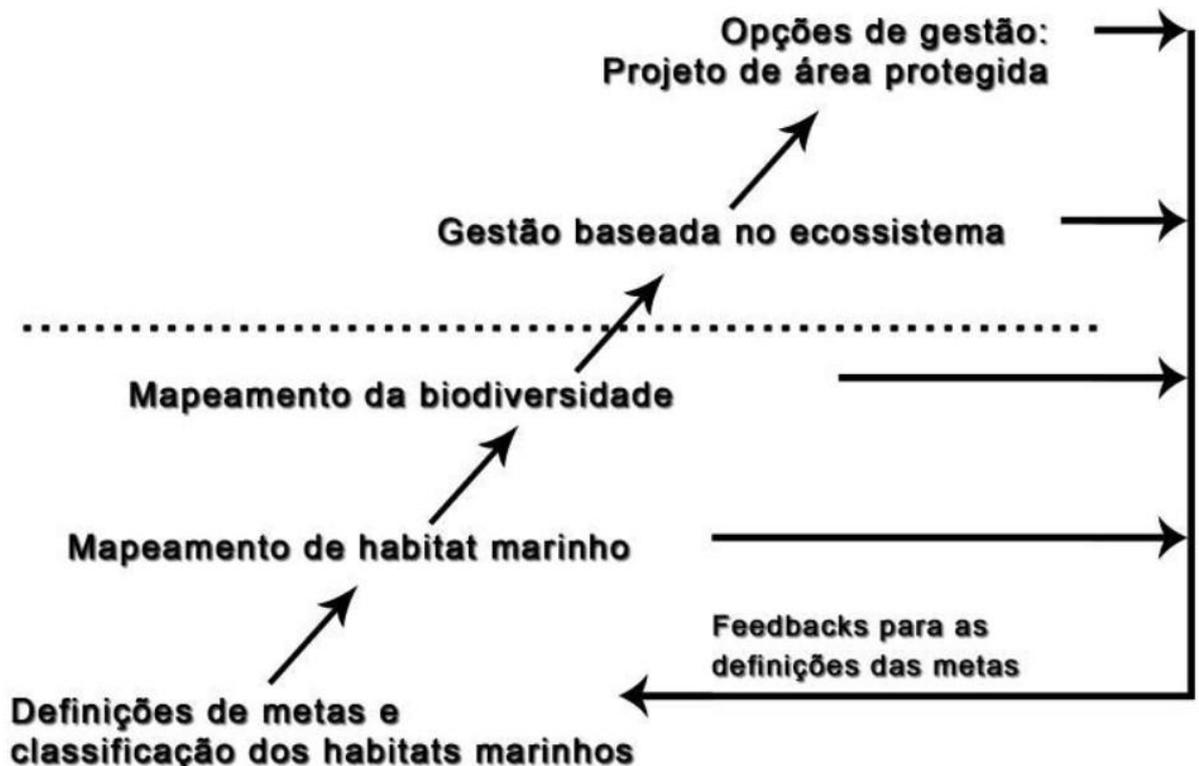


Figura 2: Esquema ilustrativo de uma gestão ecossistêmica a partir de um mapeamento de habitats. Evidenciando a importância do mapeamento (Modificado de Cogan & Noji - 2007).

No Brasil, com a criação do projeto “Estudos nos Recifes de Coral Brasileiros”, uma parceria do Ministério do Meio Ambiente, INPE e IBAMA, técnicas de mapeamento e sensoriamento remoto vem sendo utilizados com o intuito de se mapear as áreas recifais pertencentes às diversas unidades de conservação da costa brasileira (Ferreira & Maida, 2006). No presente trabalho, um sonar de varredura lateral (SVL) é utilizado para ilustrar a morfologia e textura dos recifes coralíneos e campos algais do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA), mantido pela cidade de Santa Cruz Cabrália, localizado na bacia de Cumuruxatiba, sul da Bahia.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivos principais

- Apresentar o Sonar de Varredura Lateral (SVL) como ferramenta útil para o detalhamento de zonas recifais, criando imagens de locais com alta relevância para o manejo apropriado de áreas de proteção ambiental.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Testar a aplicabilidade do sonar em águas rasas e condições específicas dos recifes costeiros do sul da Bahia.
- Caracterizar os *padrões de reflexão* encontrados em uma plataforma recifal costeira de margem passiva, através da identificação de construções recifais, estruturas em sedimentos inconsolidados e suas respectivas interfaces.

## **2. Caracterização da área de estudo**

### **2.1. Localização e Acessos**

Criado em 1998 pela Lei nº 140/98 do município de Santa Cruz de Cabrália, o Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA) fica localizado ao largo da vila de Santo André no Sul do estado da Bahia. Com uma área demarcada de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>, o parque é constituído por dois conjuntos de formações recifais principais; o recife da Coroa Alta e o recife do Araripe. Os recifes encontram-se à aproximadamente 3,5 km da praia (Figura 3C). Possuem ilhas arenosas no topo da plataforma recifal principal, podendo ser classificados, de uma forma geral, como recifes em franja (Wilson, 1974).

A principal via de acesso ao município de Santa Cruz de Cabrália é a BR-367, que é ligada a BR-101 na altura de Eunápolis, sendo rota para quem vem do norte ou do sul do país (Figura 3B). Já o acesso por via aérea é feito através do Aeroporto Internacional de Porto Seguro (BA), que está localizado 25 km ao sul de Santa Cruz de Cabrália.

O acesso turístico ao recife é feito através de escunas, que saem diariamente do cais de Santa Cruz de Cabrália, que levam até 500 turistas por dia, durante alta temporada (verão), à ilha arenosa do recife da Coroa Alta. O acesso tanto às ilhas quanto ao restante do parque pode ser feito também por intermédio de embarcações locais de pequeno porte.

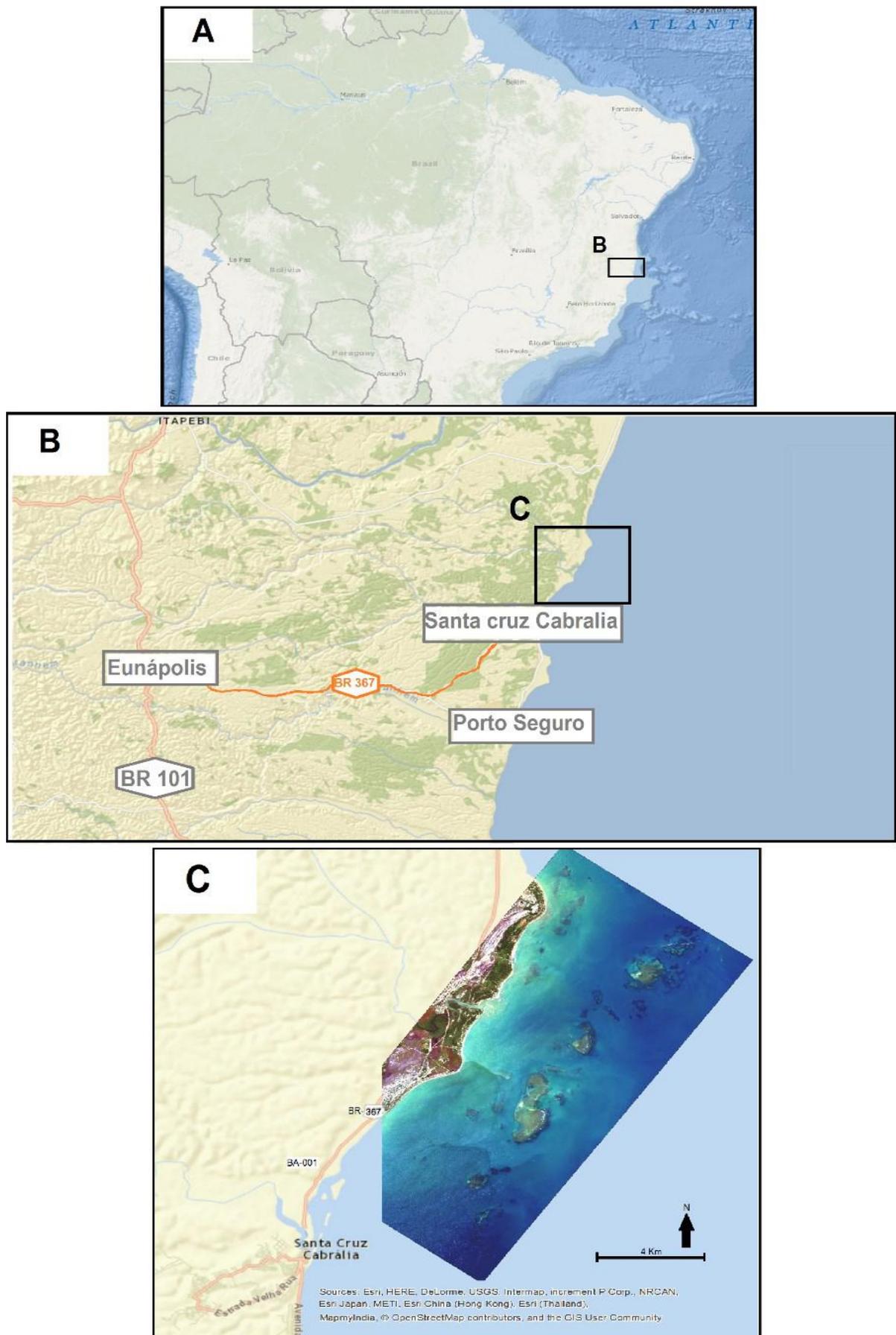


Figura 3: Localização e acessos do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta. A) Área de estudo localizada no sul da Bahia; B) Principal rota de acesso; C) Recifes do PMMCA. (IBGE 2013, Basemap ESRI, Imagem Worldview II (2013) - Digital Globe).

## 2.2. Geologia Regional

Em termos regionais, o litoral sul da Bahia é caracterizado pela presença de granitoides e gnaisses migmatíticos Paleoproterozóicos, rochas supracrustais e granitos Neoproterozóicos e uma cobertura superficial cenozoica, representada pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras e os sedimentos do Quaternário (Figura 4) (Moraes Filho & Saadi, 1999).

Situada entre as províncias estruturais do São Francisco e da Mantiqueira, a região é composta por três unidades morfoestruturais: Superfície pré-litorânea, Tabuleiros costeiros e Planícies flúvio-marinhas (Dantas et al., 2002). Os recifes costeiros estão situados no domínio das Planícies flúvio-marinhas, formadas sobre o Grupo Barreiras. Portanto a cobertura Cenozoica, que recobre a área de estudo é representada principalmente por arenitos imaturos, areias e argilas do Grupo Barreiras (Moraes Filho & Saadi, 1999; Silva et al., 2001) e sedimentos quaternários.

Os recifes são feições geralmente formadas a partir de um substrato rígido no fundo marinho, fixando-se sobre afloramentos rochosos (Leão, 1996). Entretanto, ainda não se tem informações sobre a composição do embasamento dos recifes do PMMCA.

As direções preferenciais das drenagens que chegam à costa refletem alinhamentos, observados em todo o domínio morfoestrutural, que variam entre NW-SE, NE-SW e E-W (Moraes Filho & Saadi, 1999).

Rochas de praia (beachrocks), também são feições bastante marcantes na área de estudo, com uma orientação quase paralela à linha de costa e localizadas preferencialmente na desembocadura dos rios, formando ilhas-barreira e influenciando o regime de deriva litorânea (Dantas et al., 2002).

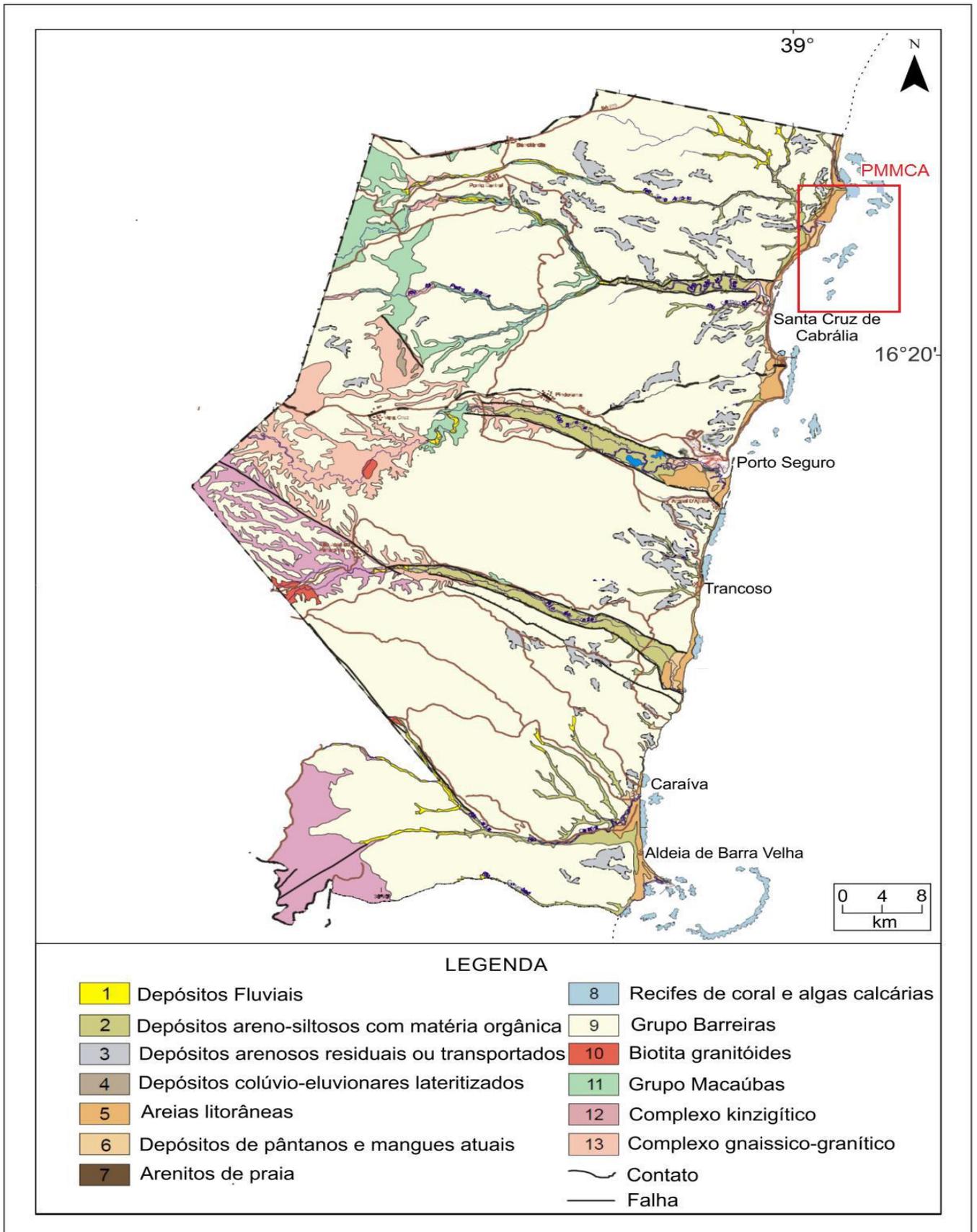


Figura 4: Mapa geológico simplificado do sul da Bahia. (Reproduzido de Moraes Filho & Saadi, 1999).

Observa-se, tanto na composição das *beachrocks* quanto na composição dos sedimentos ao redor do recife, a coexistência de tipologias sedimentares muito variadas. A proximidade com a costa faz com que exista uma presença considerável de sedimentos siliciclásticos intercalados com bioclastos e sedimentos carbonáticos. De uma forma geral, as variações do nível do mar são os principais agentes na evolução geológica dos bancos recifais do sul da Bahia. De modo que são responsáveis pela variedade de habitats encontrados (canais, buracas e etc.) e conseqüentemente pela variedade na tipologia dos sedimentos (Leão e Ginsburg, 1997).

Localizada na bacia sedimentar de Cumuruxatiba, a região de estudo é circundada por bancos coralíneos a norte, leste e sul, respectivamente Royal Charlotte, Sulphur Minerva e Abrolhos (Figura 5) (Mohriak, 2003).

### 2.3. Clima e Oceanografia

Caracterizado por um clima tropical quente e úmido, a região do parque tem médias anuais de 24°C e um índice pluviométrico superior a 60 mm/mês. As direções de vento predominante são de NE a SE, entretanto, frentes frias vindas de Sul são comuns e influenciam fortemente o índice pluviométrico da região (Aouad, 1998).

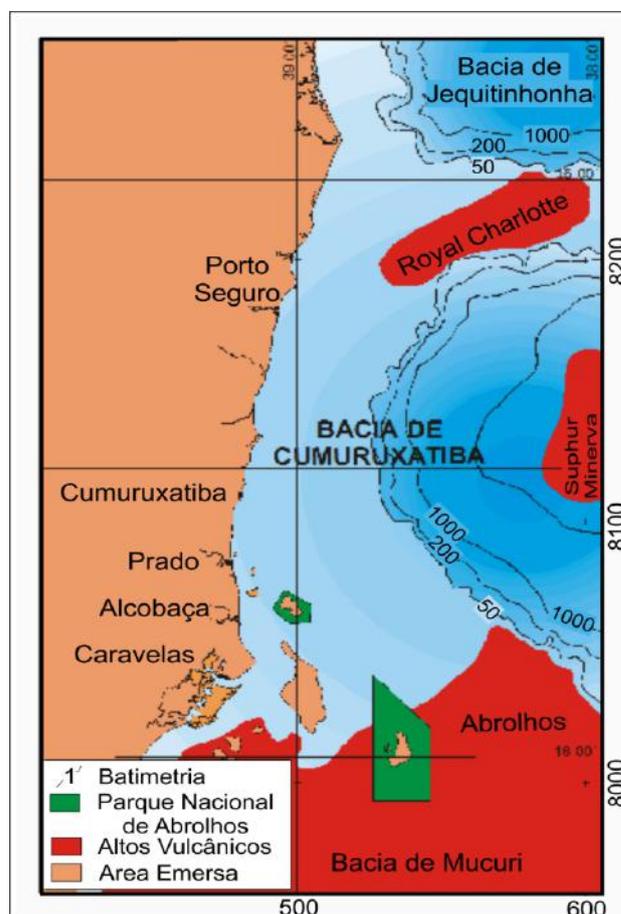


Figura 5: Mapa esquemático da bacia de Cumuruxatiba (Rep. de Rodvalho et al., 2003).

A dinâmica principal de frentes de onda que chegam à costa é diretamente relacionada aos ventos predominantes na região. As ondas formadas pelo vento são refratadas pelas paredes do recife e acabam por reorganizar o sedimento ao redor da construção recifal. O fluxo das marés e deriva litorânea afunilam-se entre as paredes recifais e a praia criando grandes bancos e ondulações no fundo arenoso (Figura 6) (Silva, 2008).

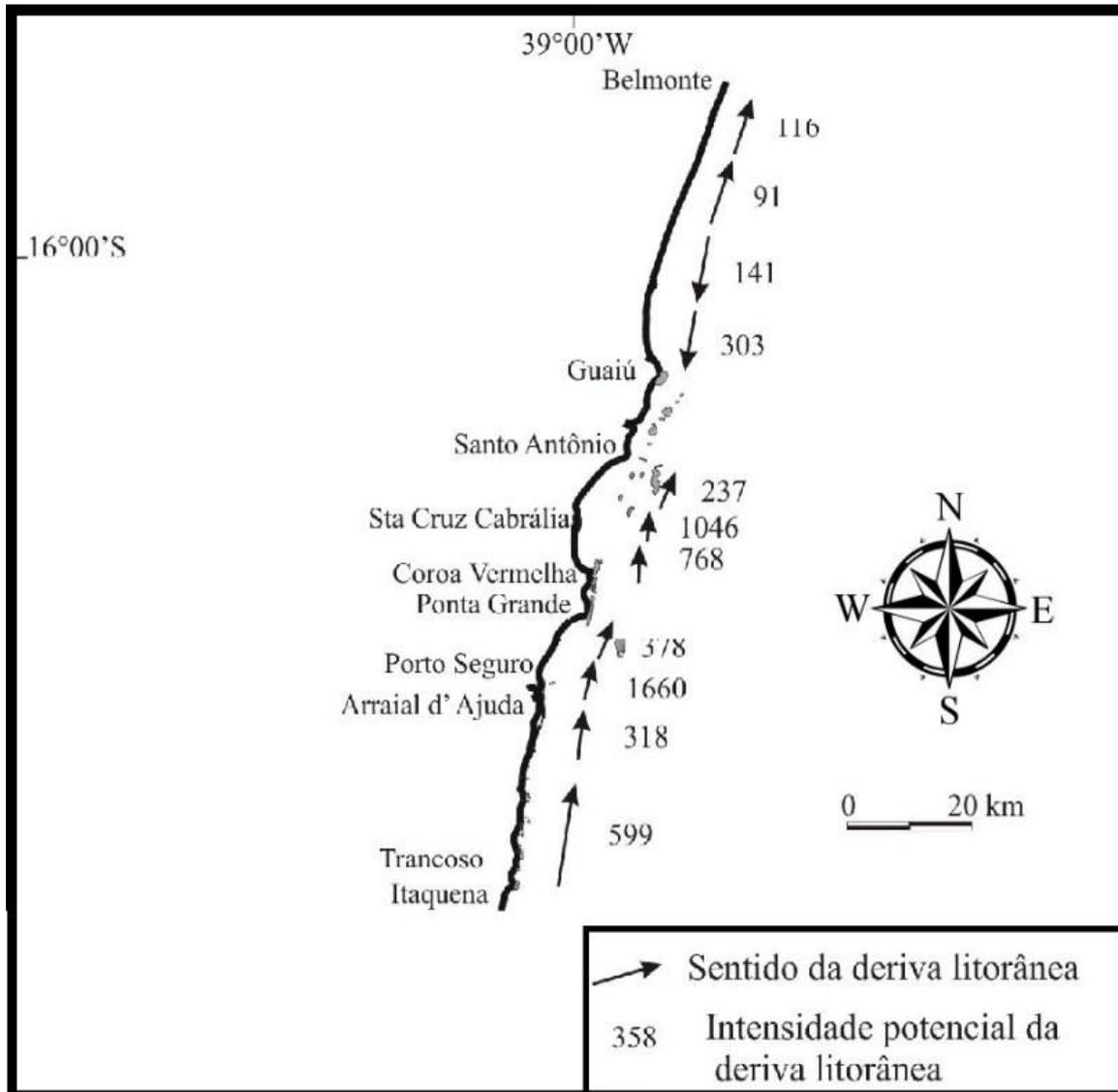


Figura 6: Sentido e intensidade das correntes de deriva litorânea na região estudada, mostrando que os recifes se encontram em uma região de convergência de correntes vindas de norte e sul (Silva, 2008).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sonar de Varredura Lateral (SVL)

##### 3.1.1. Funcionamento

À intensidade de energia acústica captada pelo sonar, após uma complexa interação (reflexão difusa) com o fundo, dá-se o nome de “*backscattering*” (retroespalhamento) (Figura 7). Quando a reflexão acontece em uma superfície irregular, a intensidade da energia refletida é diretamente proporcional à rugosidade da superfície, devido a diminuição do ângulo de incidência da onda (Goff et al., 2000).

Derivado das palavras *back* = “retorno” e *scatter* = “dispersão”, o termo define a essência do funcionamento de um sonar, onde uma fonte de energia sonora emite um feixe de ondas que reflete em uma superfície, estes registros contêm medidas da energia acústica, que é captada pelo transdutor eletroacústico e interpretada por um computador, de forma a produzir uma imagem da superfície refletora. (Stuart, 2015).

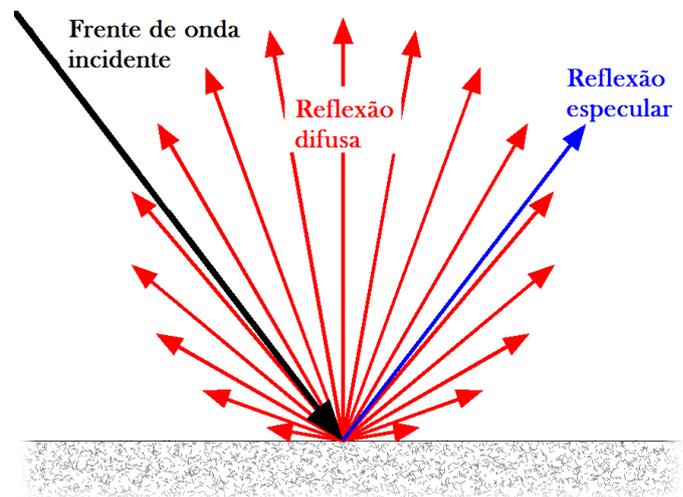


Figura 7: Desenho esquemático de reflexão difusa (retroespalhamento) em uma superfície regular. Demonstrando o que ocorre com a energia das ondas emitidas pelo sonar.

O Sonar de Varredura Lateral (SVL) é um tipo especial de sonar, projetado para produzir imagens de uma determinada área do fundo marinho; o tamanho da área levantada e a resolução das imagens são diretamente ligados à amplitude e frequência das ondas emitidas.

Os fatores que afetam diretamente o *backscattering* são, em ordem decrescente de importância, (1) a geometria do sistema sensor-alvo, (2) o ângulo de incidência de cada feixe, declive local, etc., (3) as características físicas da superfície,

como rugosidade e (4) a natureza intrínseca da superfície, como composição, densidade e importância relativa entre o volume *versus* a dispersão de energia sonora pela superfície em uma dada frequência (Blondel & Murton, 1997).

A informação obtida pode então ser utilizada para caracterizar a superfície refletora. Tipos de fundo diferentes “dispersam” os feixes de onda de formas diferentes (Figura 8). Uma superfície mais macia, como um fundo lamoso irá retornar um sinal mais fraco ao receptor se comparado a um fundo rochoso, mais duro. Processo mais complexo que, por exemplo, em um sonar batimétrico, onde o que importa é o tempo que a onda demora para retornar à fonte e não a intensidade do retorno (Blondel, 2010) (Figura 9).

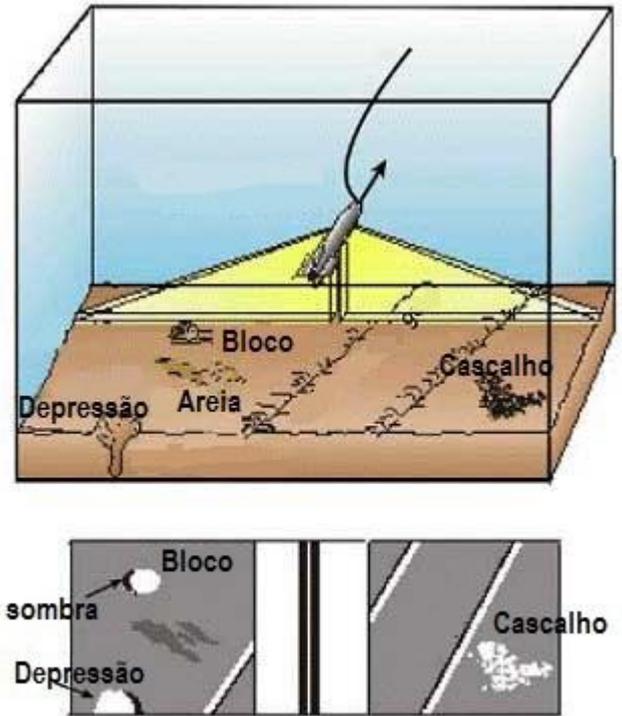


Figura 8: Desenho esquemático representando o cone de abertura em um SVL e como diferentes objetos e texturas são representados. (USGS, vetorizado por Mysid-Wikipedia)

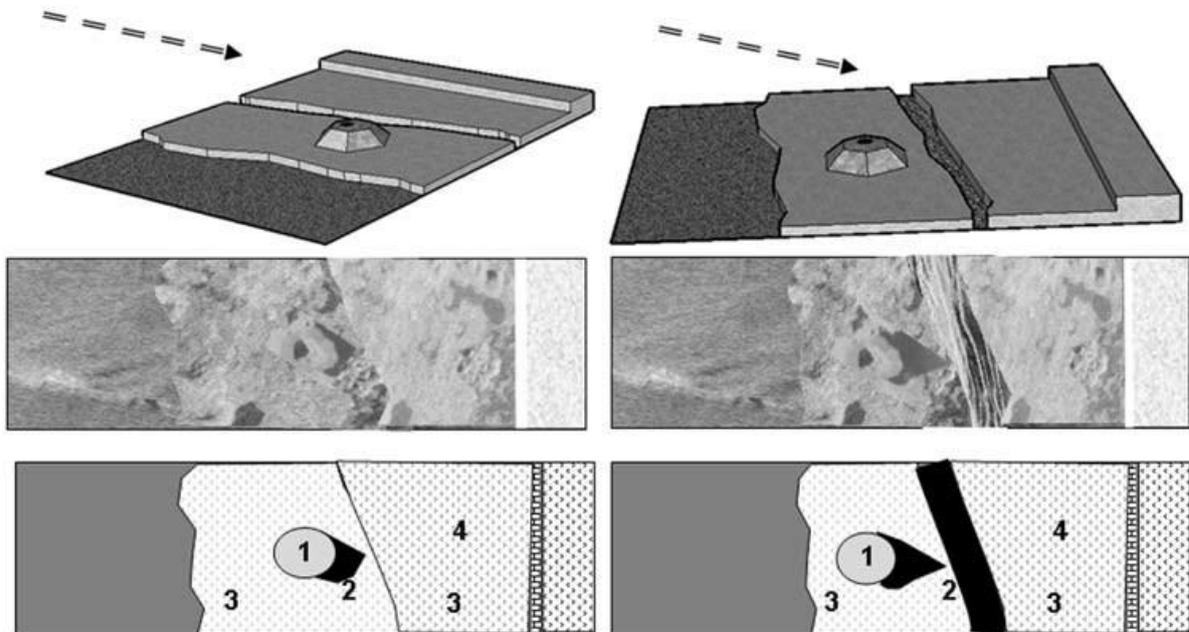


Figura 9: Diagrama mostrando a diferença causada pelo ângulo/direção dos feixes de onda gerados pelo transdutor. (1) Pináculo, (2) Trincheira, (3) Plano, (4) Cascalho. Fica claro a importância da escolha da direção das linhas de aquisição (Modificado de Blondel et al, 2010).

O SVL pode ser instalado de forma fixa no casco da embarcação ou pode ser rebocado, instalado em um dispositivo hidrodinâmico (tow-fish), projetado para manter uma profundidade estável.

A configuração de reboque possibilita uma manobrabilidade muito maior, o que faz com que os dados produzidos sejam menos afetados pelo declive do fundo, uma vez que a distância em relação ao fundo pode ser ajustada, geralmente produzindo imagens mais “limpas” e com uma cobertura mais estável que quando instalado diretamente no casco da embarcação (Figura 10). Entretanto, a configuração de reboque é impraticável em um ambiente recifal tão raso quanto o levantado no presente trabalho, uma vez que baixas velocidades podem resultar em uma perda de tensão no cabo, mudando a posição do aparelho em relação à embarcação e ao fundo, dificultando ainda mais o georreferenciamento correto dos dados além da possibilidade de danificar o equipamento.

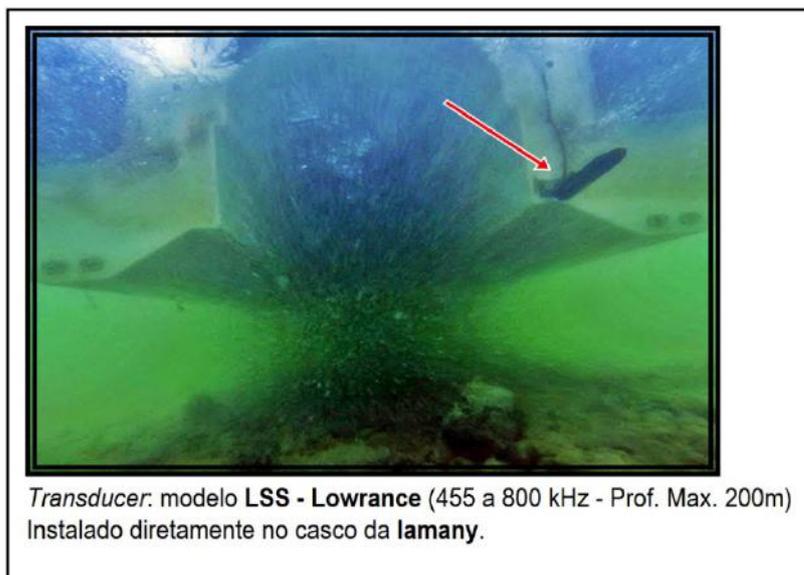


Figura 10: (Acima) Foto mostrando a instalação da antena (transducer) utilizada em campo no presente trabalho. (Abaixo) Exemplo de equipamentos em configuração de reboque.

A velocidade de navegação é um fator crucial na condução do trabalho de varredura. O tempo de retorno da onda sonora, principalmente da frente de onda mais afastada da linha de trajetória da fonte, deve ser considerado quando calculamos a velocidade de cruzeiro ideal, que assegure não somente uma cobertura satisfatória, mas também otimize a qualidade da resposta captada pelo aparelho.

### 3.1.2. Usos e aplicações

O SVL apresenta aplicações variadas, tanto nos ramos comerciais, científicos e militares. Assim como a maior parte dos sistemas de sonar, foi desenvolvido inicialmente para fins militares (Hagemann, J., 1958).

Atualmente o SVL é usado tanto por entidades públicas quanto privadas, com fins variados e em colunas d'água que variam de poucos metros a milhares de metros de profundidade.

Na região do sul da Bahia foi utilizado para mapear e definir os diferentes tipos de substratos no fundo do Canal de Abrolhos, caracterizando os diferentes tipos de habitats. Sendo definido como um método efetivo para a compreensão das estruturas de leito marinho e ferramenta necessária e eficaz na definição e avaliação de habitats importantes. (Bourguignon, 2010)

Concluindo-se que o mapeamento de habitats do fundo marinho, como o realizado no Arquipélago dos Abrolhos, é uma ferramenta necessária para o gerenciamento científico de comunidades marinhas e fundamental para o monitoramento de mudanças ambientais e para a avaliação de impactos aos organismos bentônicos (Vieira, 2013).

O sonar também tem sido utilizado para caracterização de construções recifais no Mar do Norte, onde apresentou uma superioridade considerável, em relação a outros sistemas de varredura, principalmente devido ao fato de que a espessura de varredura do SVL é independente da profundidade da coluna d'água (Degraer, 2008).

Em águas profundas utilizam-se sistemas de SVL com amplitudes de varredura capazes mapear grandes áreas, como por exemplo o *Gloria Mk II*, um SVL de longo alcance, com uma amplitude de varredura de até 30 km para cada lado da fonte,

utilizado na zona de falhas de Romanche, no atlântico equatorial, em profundidades de até 4000 m (Belderson, 1984).

Foi também empregado para o reconhecimento de padrões de fundo e feições geológicas na porção sul da Baía de Guanabara – RJ (Quaresma et al., 2000), para localização e acompanhamento de campos de grama marinha no noroeste do mediterrâneo (Montefalcone, 2014), assim como para vários outros estudos feitos em leitos de rio, planícies costeiras e lagos rasos para detecção de objetos que variam desde corpos de pessoas afogadas a peças de embarcações.

Outra importante utilização do SVL é a detecção de eventos de branqueamento e acompanhamento da degradação de corais. Estudos utilizando o sonar para mapear e detectar mudanças na estrutura 3D dos recifes de corais após eventos de branqueamento, tem mostrado um enorme potencial (Collier, 2007).

Eventos de branqueamento de corais também podem ser detectados através de satélite, entretanto, a maior limitação na utilização de imagens de satélite para determinar o branqueamento de corais, deflagradas pelas diferenças na reflectância óptica entre corais branqueados e não branqueados, é o fato de que a colonização dos corais branqueados por algas pode gerar uma resposta óptica bastante similar à de um coral saudável. Isso limita a janela de tempo após o evento, na qual o branqueamento pode ser detectado pelo satélite (Clark et al., 2000).

As imagens obtidas através do sonar de varredura lateral também podem identificar alvos localizados na coluna d'água, como a esteira deixada pelo movimento do hélice de navios ou uma pluma de água aquecida, proveniente de usinas ou emissários (Bulla, 2009) (Figura 11).

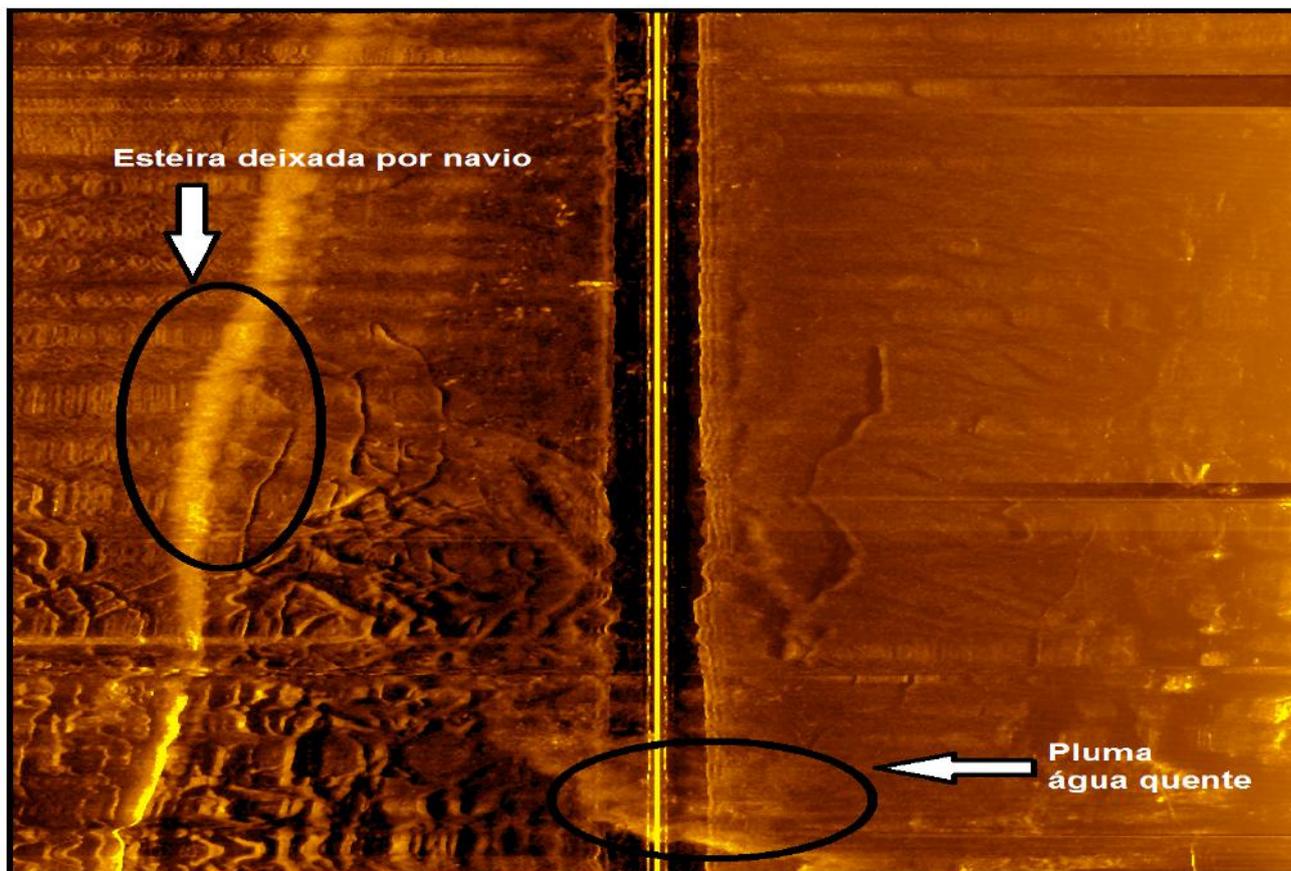


Figura 11: Imagem criada por sonar de varredura lateral mostrando esteira de embarcação e interface de temperatura na coluna d'água (Modificado de Bulla, 2009).

É válido destacar que mesmo em áreas de características bastante homogêneas, os resultados obtidos mostram o potencial do SVL como método complementar no mapeamento da cobertura sedimentar (Calliari & Abreu, 1984).

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. Equipamento

“Chartplotters” modernos, como o Simrad NSS7, incorporam a ferramenta “structurescan” que fornece a possibilidade de se utilizar o equipamento como um sonar de varredura lateral. Operando entre as frequências de 455 kHz e 800 kHz, o sonar de varredura lateral emite feixes de som direcionados para ambos os lados, produzindo pulsos de ondas sonoras com uma frequência particular para que os feixes sejam aproximados à um cone, em forma de leque lateral para o *sidescan* e diretamente para baixo no sonar batimétrico, fazendo uma varredura a bombordo e boreste da embarcação. O equipamento foi instalado em fábrica na lancha lamany,

um catamarã com 7m de comprimento e 35cm de calado com dois motores de popa com 115 hp cada.

Integrado ao sistema, há também um GPS de 12 canais equipado com uma antena externa. Grava latitude e longitude da antena, assim como os dados georreferenciadas do sonar de varredura lateral (Sidescan) e do sonar batimétrico em um cartão SD removível que pode ser subsequentemente descarregado em um computador portátil.

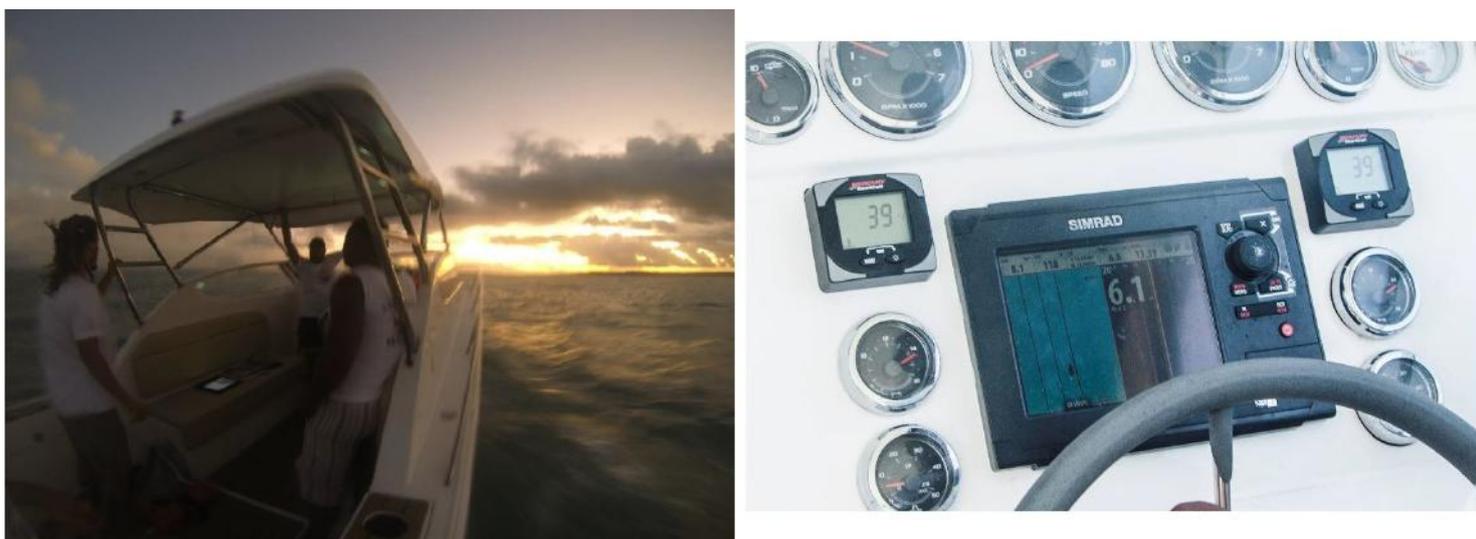


Figura 12: Lancha lamany (esquerda) e tela de visualização do Simrad NSS7 mostrando a localização e levantamento em tempo real.

#### 4.2. Aquisição / Etapa de Campo

Com o apoio do projeto Coral Vivo e com o intuito de produzir um mapa batimétrico dos recifes do PMMCA, o levantamento foi realizado ao longo dos meses de junho, novembro e dezembro de 2014 e abril de 2015, totalizando 33 dias uteis de campo e aprox. 800 km de linhas de aquisição (Britto Pereira, 2015; Duarte, 2015) (Tabela 1).

Linhas de aquisição Leste – Oeste foram criadas em uma imagem georreferenciada, aproximadamente perpendiculares à costa, cortando o recife na direção onde se identificou a maior variabilidade batimétrica (Figura 12). A imagem, de alta resolução (pixel 0.4m), foi captada pelo satélite World View 2 no dia 4 de abril de 2014 (13:12:17 UTC) e adquirida pelo projeto Coral Vivo.

Com o decorrer dos primeiros dias de campo, notou-se que o SVL, instalado na embarcação, produzia imagens bastante interessantes das estruturas de fundo que,

de outra forma, passariam despercebidas, tanto pelo sonar batimétrico quanto por observações em mergulho. A partir de tais observações passamos então a georreferenciar, calibrar e interpretar as imagens produzidas em toda a área dos recifes. O padrão de espaçamento e direção das linhas a serem levantadas foi inicialmente elaborado com o intuito de otimizar o levantamento batimétrico por ecobatímetro da área do parque. Elementos como variedade do fundo e morfologia assim como tempo gasto e custo financeiro são levados em consideração para definir o número de linhas. Com isso, o espaçamento de 100m entre as linhas não é o ideal para o imageamento completo dos recifes feito pelo SVL disponível a bordo, os limites de uma faixa de imagens não coincidem com os da faixa a norte ou a sul, impossibilitando a montagem de um mosaico do fundo.

O trabalho de aquisição no campo foi conduzido com uma média de 4 a 5 horas de navegação, por dia, durante o período de maré alta, variando entre 1.3 a 2.2 m acima do nível médio. As datas das saídas de campo foram programadas para coincidir com as fases da lua cheia, estratégia essencial para que a navegação no topo da plataforma recifal pudesse ser feita com segurança, visto que grande parte do topo do platô fica acima da linha d'água durante as marés mais baixas e as ilhas de areia ficam permanentemente emersas. A velocidade da embarcação foi mantida entre 7 e 8 km/h durante a aquisição, com o intuito de otimizar a captação do sonar.

Tabela 1: Esforço de campo

Mês	Dia	Linhas	Horário Maré alta	Maré máxima (m)	Início da aquisição	Fim da aquisição	Esforço de campo (h)
Junho/14	13	4	16:00	2.2	14:32	17:13	2:41:00
Junho/14	14	4	16:45	2.1	14:46	17:47	3:01:00
Junho/14	16	6	5:36	2.1	5:56	7:27	1:31:00
Junho/14	19	2	8:24	1.8	8:50	10:14	1:24:00
Junho/14	20	6	9:34	1.8	9:35	13:32	3:57:00
Junho/14	21	6	10:39	1.8	9:30	12:36	3:06:00
Junho/14	23	12	12:36	1.8	10:51	14:00	3:09:00
Junho/14	24	7	13:26	1.8	12:16	14:54	2:38:00
Junho/14	25	4	14:13	1.9	12:26	15:20	2:54:00
Junho/14	26	3	15:00	1.9	11:21	12:38	1:17:00
Novembro/14	18	14	12:56	1.7	12:30	16:28	3:58:00
Novembro/14	19	6	13:36	1.8	10:43	17:33	6:50:00
Novembro/14	20	7	14:09	1.9	13:46	18:21	4:35:00
Novembro/14	21	1	14:51	2	14:19	18:49	4:30:00
Dezembro/14	13	17	7:41	1.5	6:59	11:03	4:04:00
Dezembro/14	14	10	9:02	1.4	8:18	12:40	4:22:00
Dezembro/14	15	4	10:23	1.5	11:33	14:05	2:32:00
Dezembro/14	16	6	11:21	1.5	10:45	14:30	3:45:00
Dezembro/14	17	5	12:09	1.6	11:37	14:56	3:19:00
Dezembro/14	18	8	12:58	1.8	12:24	15:17	2:53:00
Dezembro/14	19	10	13:41	1.9	13:51	15:12	1:21:00
Dezembro/14	20	4	14:23	2	14:16	15:53	1:37:00
Dezembro/14	21	5	15:04	2.1	16:12	17:06	0:54:00
Abril/15	4	6	15:20	2	12:53	16:53	4:00:00
Abril/15	5	6	16:21	2.1	13:46	14:55	1:09:00
Abril/15	6	4	16:25	1.9	14:14	16:50	2:36:00
Abril/15	7	4	5:02	2	5:24	6:17	0:53:00
Abril/15	9	7	18:43	1.7	15:02	18:11	3:09:00
Abril/15	11	8	7:35	1.5	6:22	9:20	2:58:00
Abril/15	12	7	9:00	1.4	8:33	11:00	2:27:00
Abril/15	13	10	10:30	1.5	9:50	14:04	4:14:00
Abril/15	14	6	11:45	1.9	10:00	13:04	3:04:00
Abril/15	15	5	12:40	1.9	12:13	12:57	0:44:00
<b>Total</b>							<b>95:32:00</b>

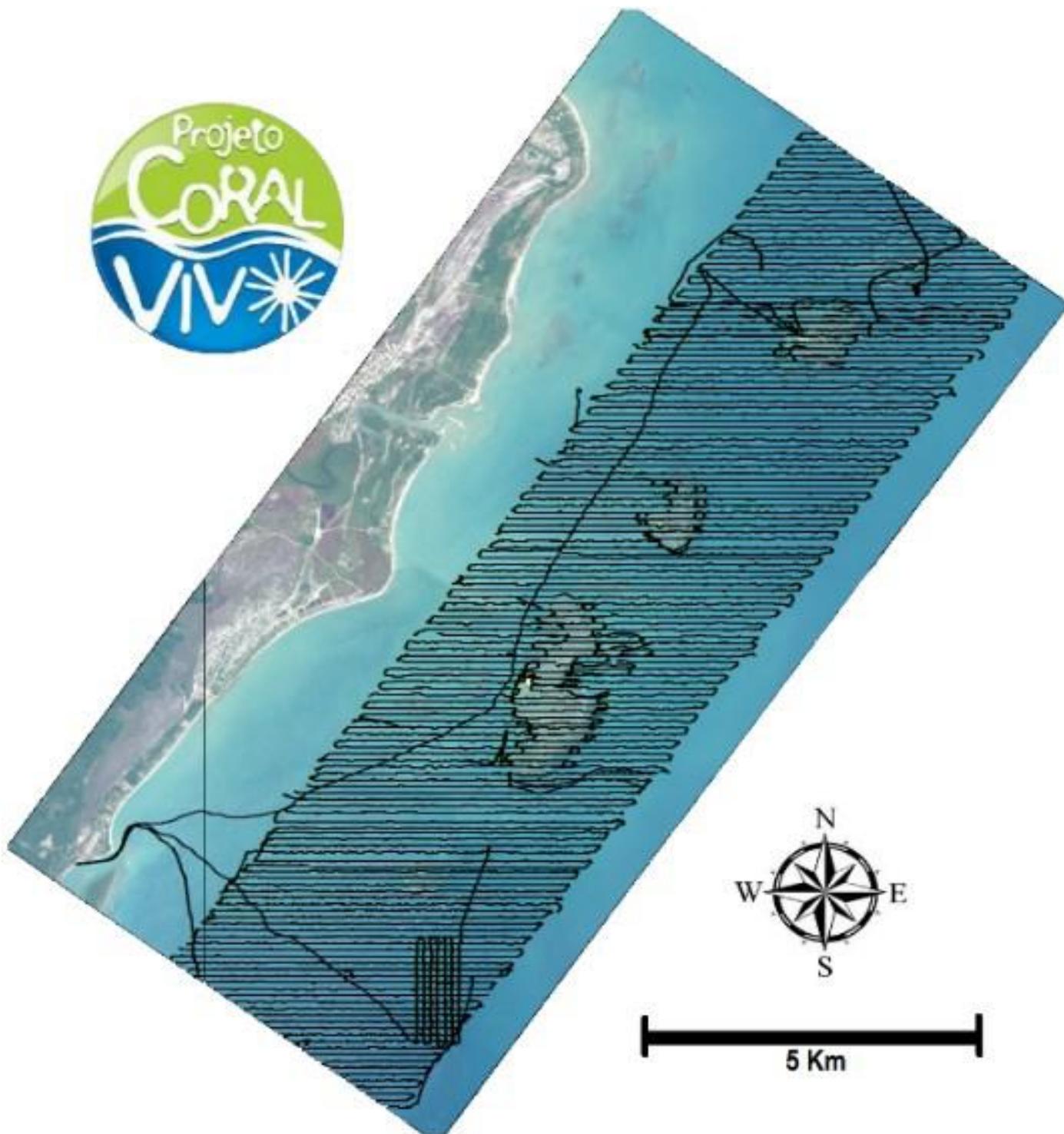


Figura 13: Imagem do PMMCA, mostrando as linhas levantadas durante os trabalhos de campo. (Imagem Worldview II 2013 - Digital Globe). As linhas nas bordas dos recifes mostram a dificuldade de navegação em uma área tão rasa. Linhas N-S perto ao limite sul da imagem foram feitas sobre o recife do “coração”,

A produtividade do trabalho em campo é imensamente favorecida pelo conhecimento prévio da área, especialmente quando auxiliada por uma imagem de alta resolução, cada vez mais acessíveis para parques e áreas de proteção ambiental.

### 4.3. Processamento

O sonar Simrad NSS7, instalado na embarcação, incorpora um *StructureScan*, responsável pela aquisição dos dados do SVL e *DownScan*. O *DownScan* é uma ferramenta que se utiliza dos dados do ecobatímetro para criar um perfil sísmico diretamente abaixo da trajetória da embarcação.

Os dados nos formatos *.slg* (dados batimétricos) e *.xtf* (dados SVL), criados pelo Simrad NSS7, foram transferidos para um computador pessoal no final de cada dia de trabalho. A abertura do cone lateral do sonar de varredura é uma função da profundidade e foi mantida em um máximo 25m por quase toda a extensão das linhas de aquisição, entretanto, as extremidades da imagem sofrem grande interferência de ruídos causados tanto pela embarcação quanto pela lâmina d'água, especialmente em áreas com menos de 3m de profundidade devido ao ângulo de incidência dos feixes do sonar.

Existe uma troca entre resolução espacial e espessura de varredura, a prioridade no presente trabalho era a produção de imagens detalhadas e não o Imageamento de grandes áreas. Ajustando a abertura do cone de varredura e o distanciamento entre as linhas de aquisição é possível criar um mosaico completo da área levantada, entretanto, um mosaico está além do escopo deste trabalho.

Para a visualização dos dados, foi utilizado o *software* "DeepView FV 3.0", disponibilizado gratuitamente, possibilitando o acompanhamento diário das imagens produzidas pelo sonar.

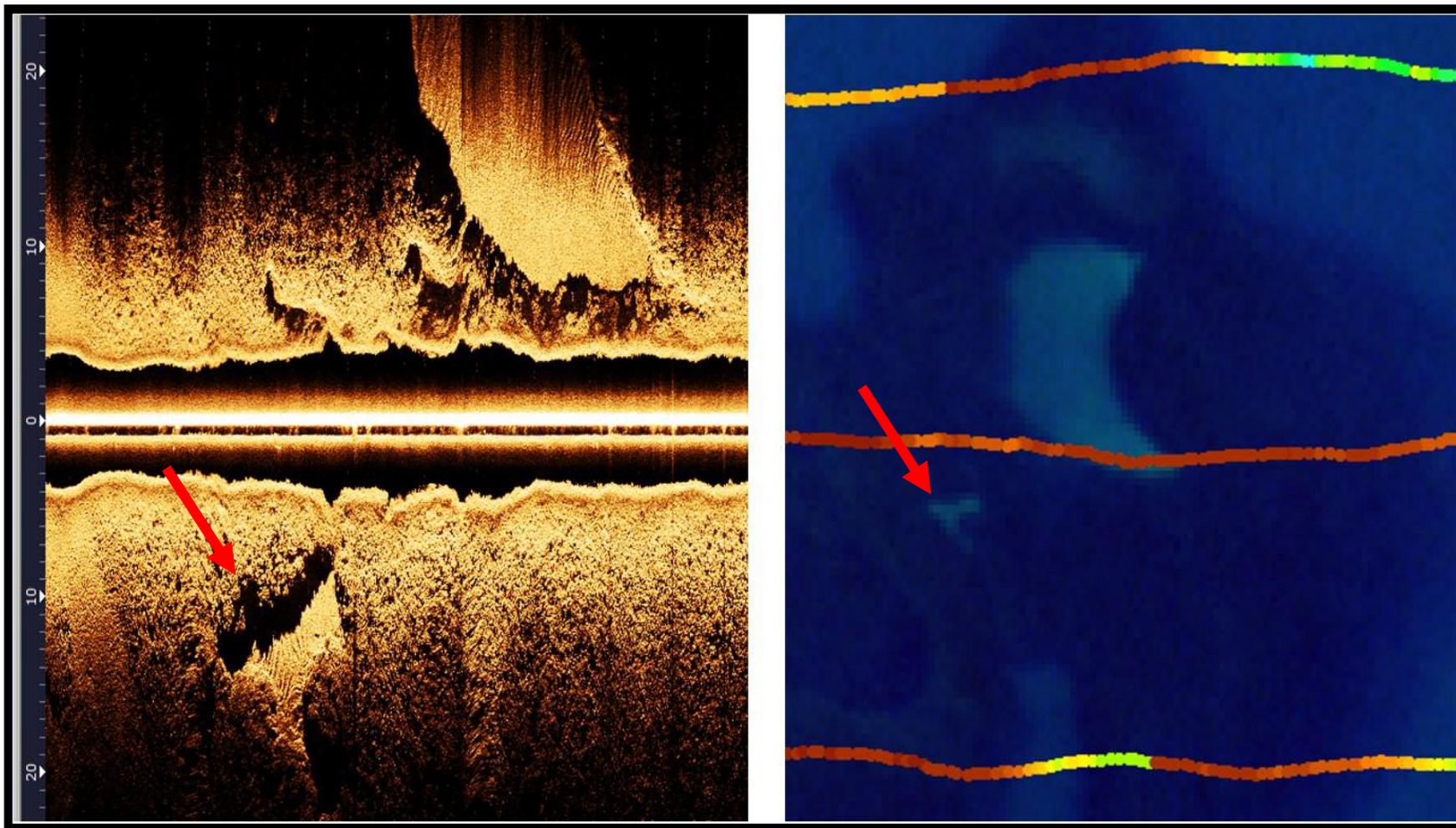
O *software* Sonar TRX, comercialmente disponível, foi utilizado para converter os arquivos gerados no formato *.slg* para o formato *.csv*, para que o percurso de aquisição pudesse ser plotado. Com o intuito de criar um *shapefile* para leitura em sistemas de informações geográficas, o arquivo *.csv* foi processado utilizando o ArcGis, onde tanto as linhas de aquisição batimétricas e as imagens do sonar de varredura puderam ser georreferenciadas e visualizadas em sobreposição à imagem de satélite da área.

Com o Sonar TRX é possível visualizar os dados do ecobatímetro como um perfil raso do fundo. Com uma penetração de pelo menos 10m nos materiais de fundo

menos reflexivos, possibilita a observação de estruturas recifais soterradas e a continuidade do recife sob os lençóis de areia, diretamente abaixo da embarcação.

A profundidade da fonte do sonar foi corrigida no processamento das medidas batimétricas. Principalmente no caso de áreas rasas como o topo recifal e bancos de areia, essa correção é bastante importante. Entretanto, correções mais sofisticadas, como os movimentos de inclinação e rotação (*roll*) da embarcação, exigem programas especializados e, neste levantamento, foram considerados desprezíveis devido a pequena profundidade da área levantada

Os arquivos de imagem gerados pelo sonar de varredura lateral são interpretados com o objetivo de evidenciar estruturas de destaque e interfaces relevantes para a caracterização da composição do fundo (Figura 13). Imagens consideradas interessantes são georreferenciadas e plotadas no ArcGis para comparação com os dados batimétricos e com a imagem de satélite.



W ← → E

Figura 14: Linhas batimétricas georreferenciadas em imagem WVII (Dir.). Captura de tela do SVL mostrando claramente as feições observadas na imagem de satélite (Esq.). Vale ressaltar que a escala das duas imagens não é a mesma.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, após o georreferenciamento e análise das imagens geradas com o SVL, foram compiladas e apresentadas em forma de pôster no “*IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium*”, realizado no Rio de Janeiro em julho de 2015 (Caçonia Fortes *et al.*, 2015).

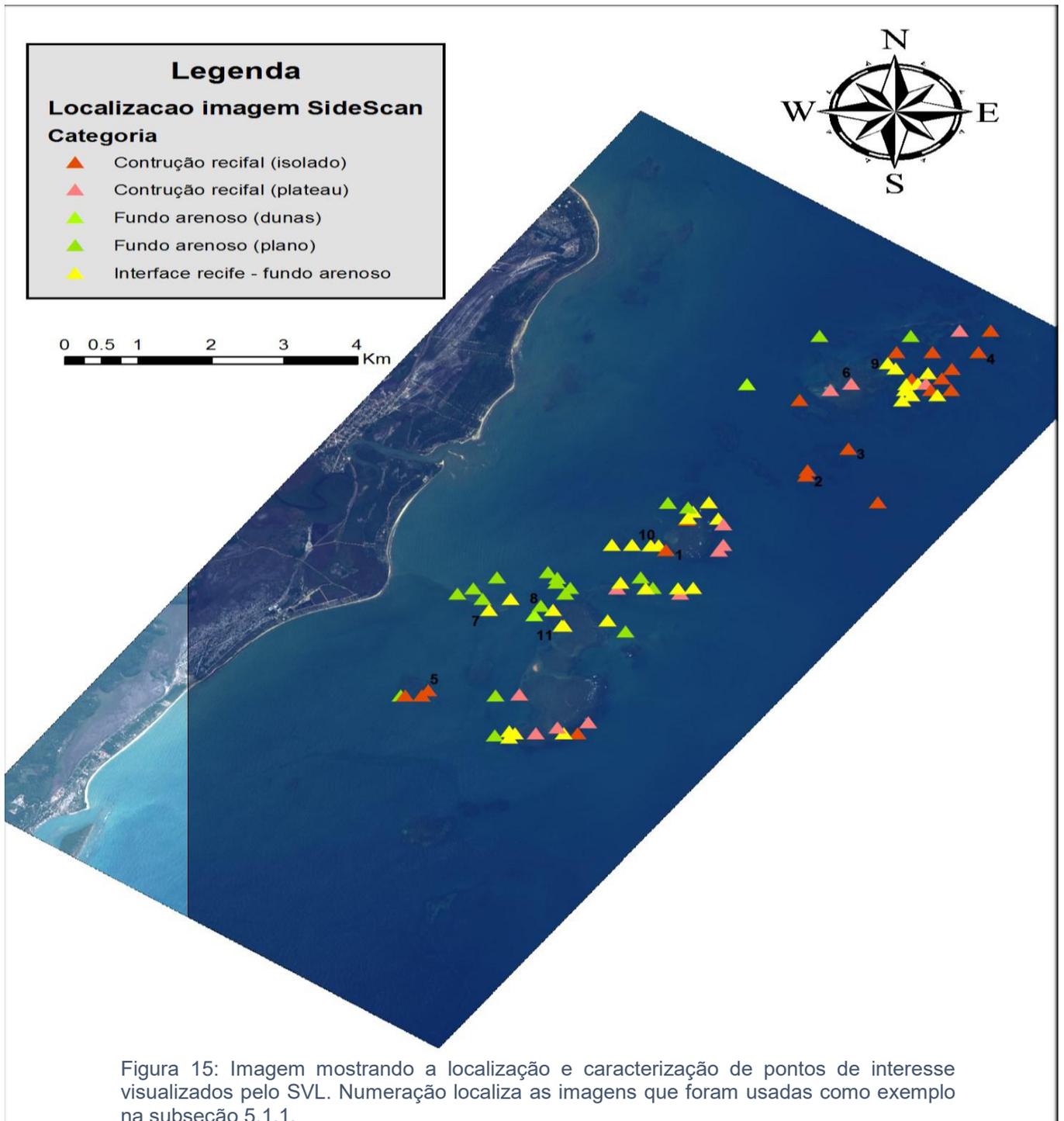
A princípio, as estruturas de interesse foram assistidas como um “vídeo” contínuo do levantamento, selecionadas, georreferenciadas e divididas em categorias básicas, de forma a facilitar a localização e posterior caracterização das mesmas. As imagens foram capturadas ao longo da área levantada, com profundidades variando entre 1 e 20m (Figura 14).

Combinando então, as imagens geradas pelo sonar de varredura lateral com amostras de sedimento de fundo, coletadas durante uma das expedições de campo em mais de 40 pontos de coleta (Britto Pereira, 2015), fotointerpretação da imagem de satélite, a batimetria (Duarte, 2015) é possível caracterizar detalhadamente a composição, textura e estrutura de toda a área do parque. A diferença textural dos sedimentos e objetos, captados pelo SVL, possibilitam a localização exata e aferição da real profundidade de feições previamente identificadas na imagem de satélite, como piscinas naturais (durante a maré baixa), depressões e buracos que muitas vezes não são considerados no modelo batimétrico devido a escala do mapeamento.

Diversos tipos diferentes de composição de fundo foram identificados nas imagens, a partir delas foram definidas as categorias “Morfologia Recifal” e “Estruturas não-consolidadas”, evidenciando não só como se dispõem as diferentes estruturas recifais, mas também os lençóis de areia e planícies lamosas entre elas.

As imagens, após georreferenciadas, foram integradas ao SIG junto as imagens de satélite, MDE e análises granulométrica/composicional, com o objetivo de avaliar a precisão do método como ferramenta de identificação remota dos tipos de fundo de uma plataforma recifal rasa, compondo um banco de dados bastante completo para o planejamento e gestão eficientes da área de proteção ambiental.

## 5.1. Caracterização de fundo



### 5.1.1. Morfologia Recifal

Na caracterização da morfologia das construções recifais utilizou-se como referência o trabalho feito por Collier *et al* em 2007.

➤ Recifes em pináculos ou plataformas.

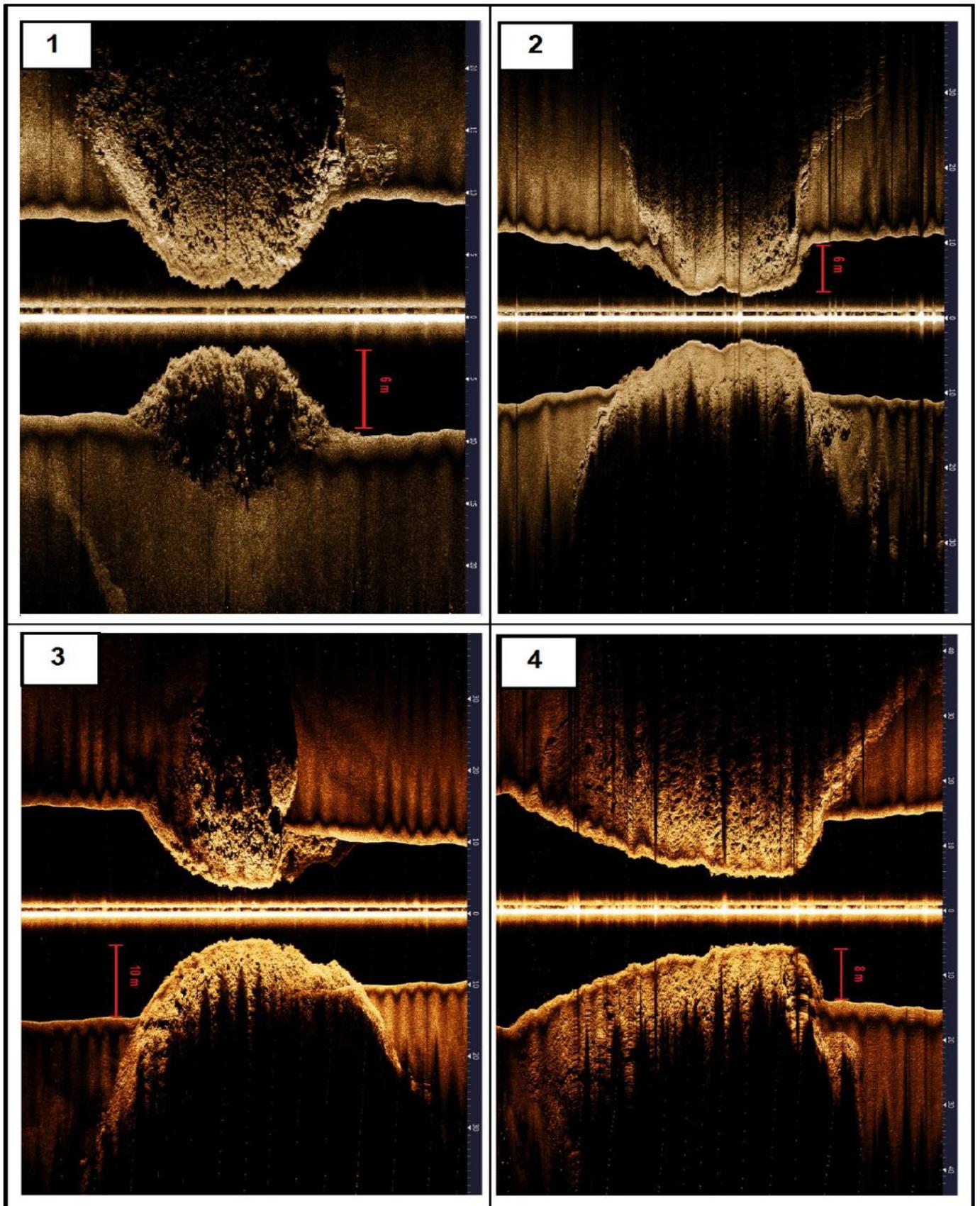
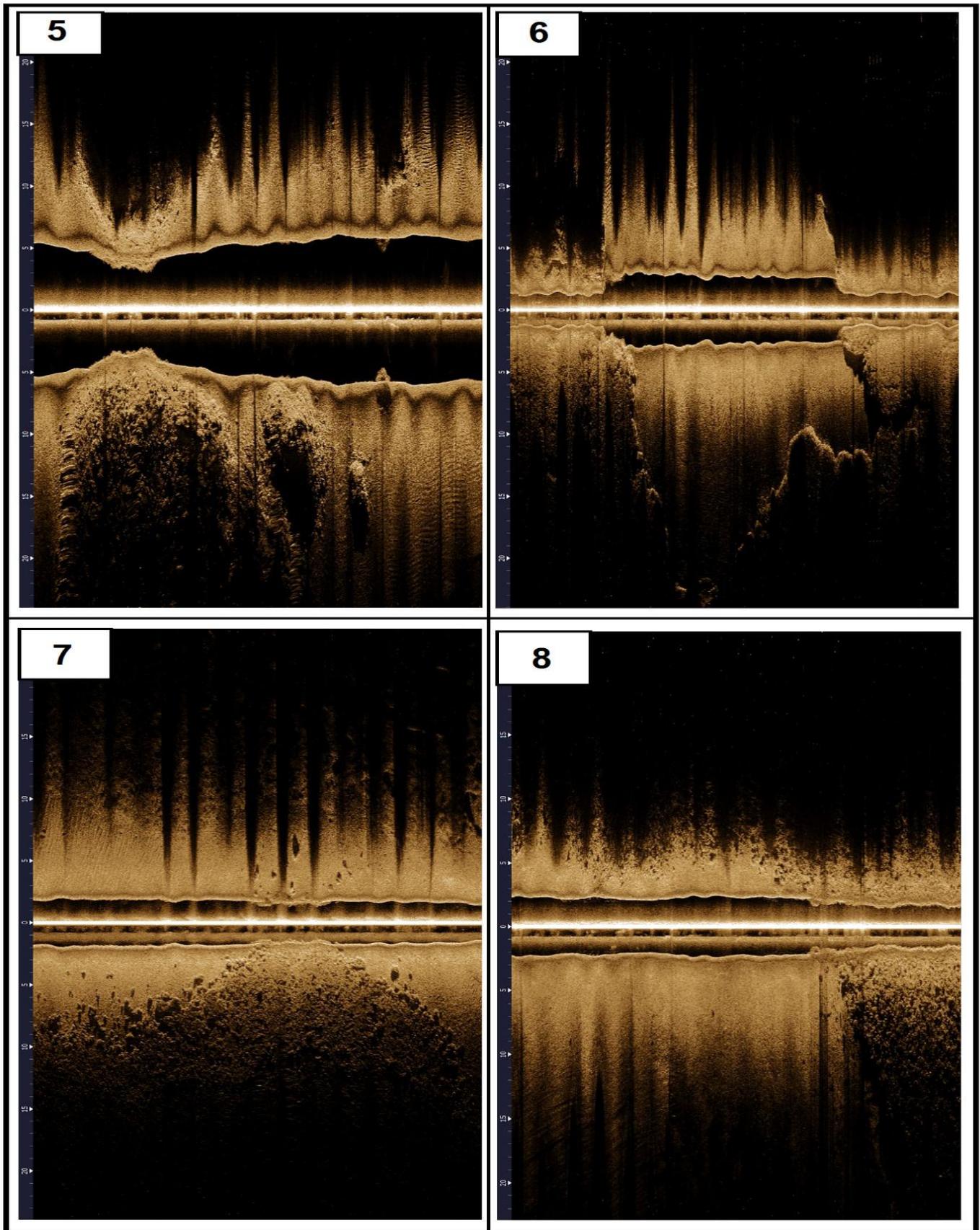


Figura 16: Imagens SVL de construções recifais de alta amplitude. É possível observar, principalmente nas figuras 1 e 2, a diferença na textura da superfície. A numeração localiza cada imagem na Figura 12. Legenda: Ângulo de abertura de 120°. Escala métrica em branco.

➤ Recifes com baixo relevo relativo



*Figura 17:* Imagens SVL de construções recifais de baixa amplitude. As imagens 5 e 6 mostram estruturas típicas de colônias de corais maiores, já nas imagens 7 e 8 as colônias são dispersas e pequenas. A numeração localiza cada imagem na Figura 12. Legenda: Escala como na figura 15.

➤ Interface entre o platô recifal e fundo arenoso

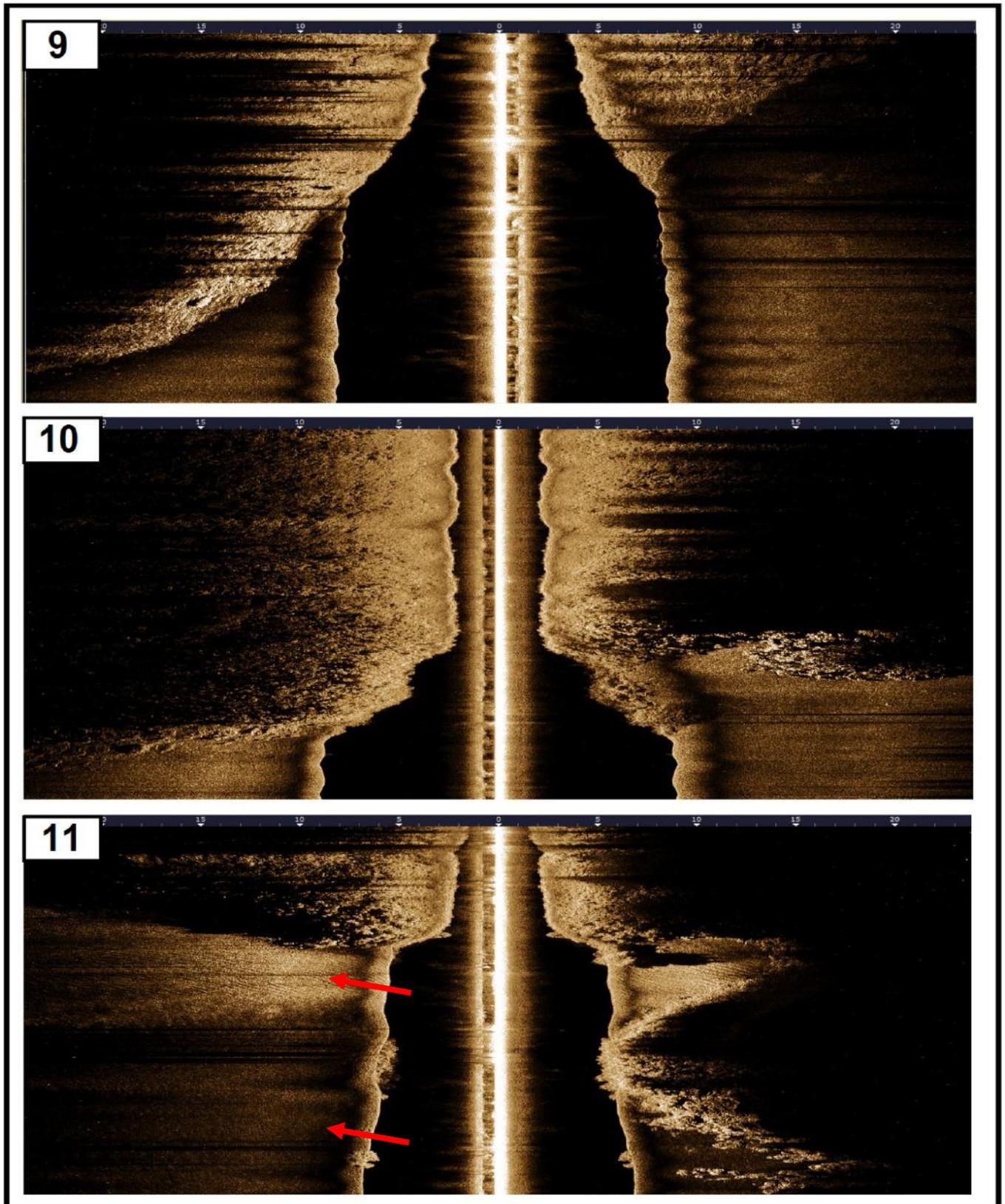


Figura 18: Imagens SVL da interface entre o platô principal do recife e o fundo arenoso que o rodeia. É possível observar na figura 11 uma diferença entre o sedimento de fundo diretamente depositado mais próximo à parede do recife e o sedimento mais afastado, sugerindo uma diferença granulométrica. A numeração localiza cada imagem na Figura 12. Legenda: Escala como na figura 15.

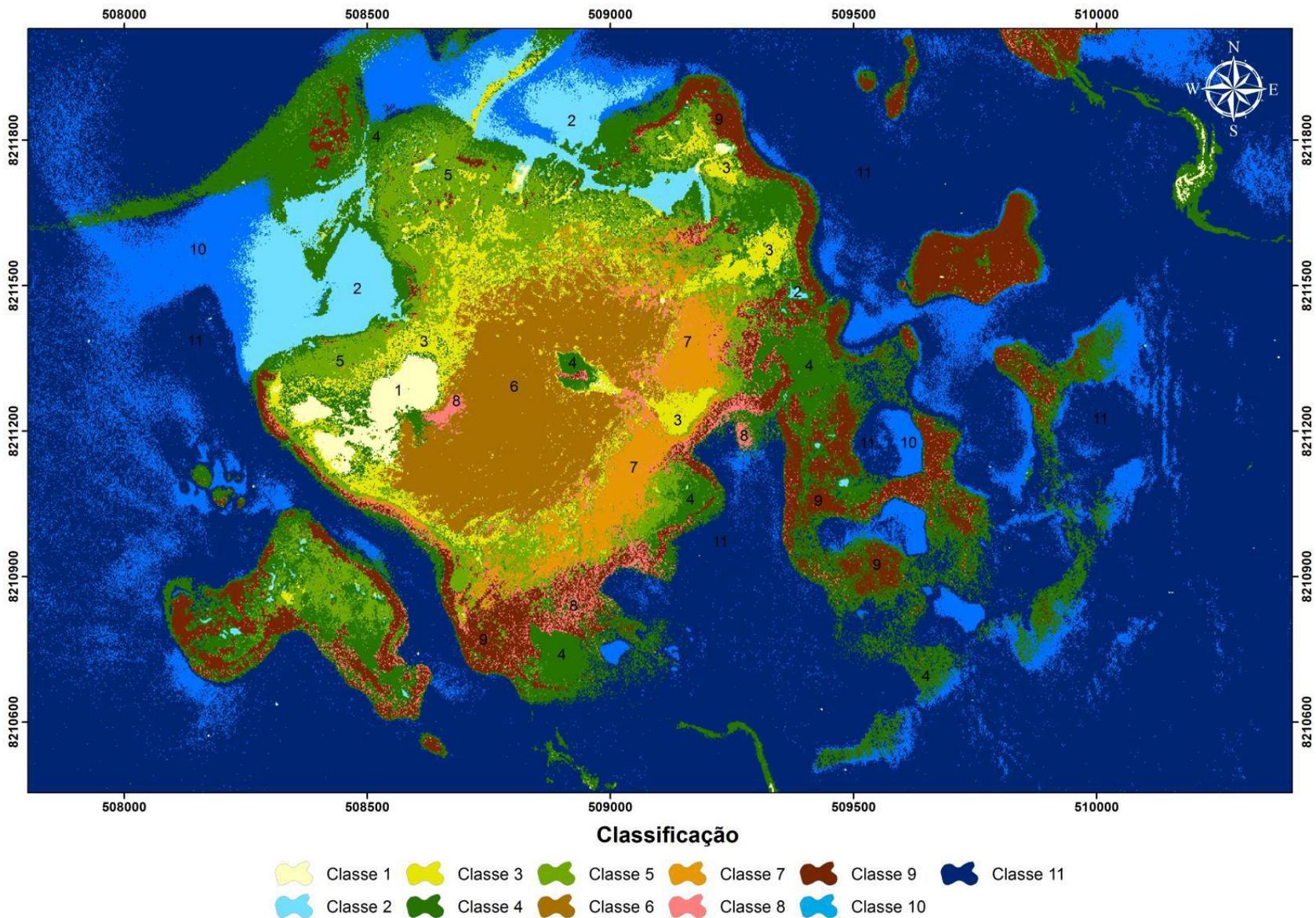
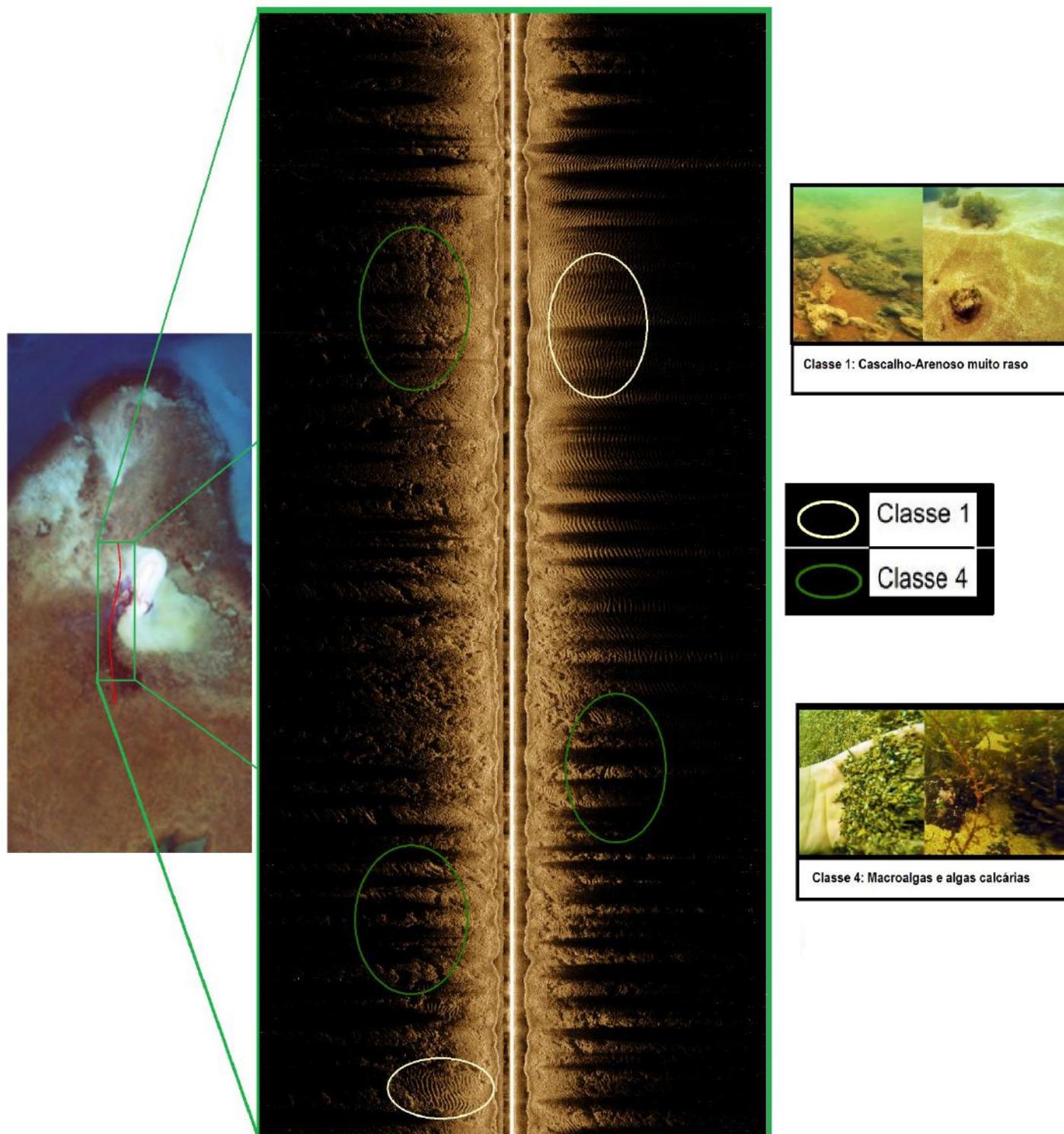


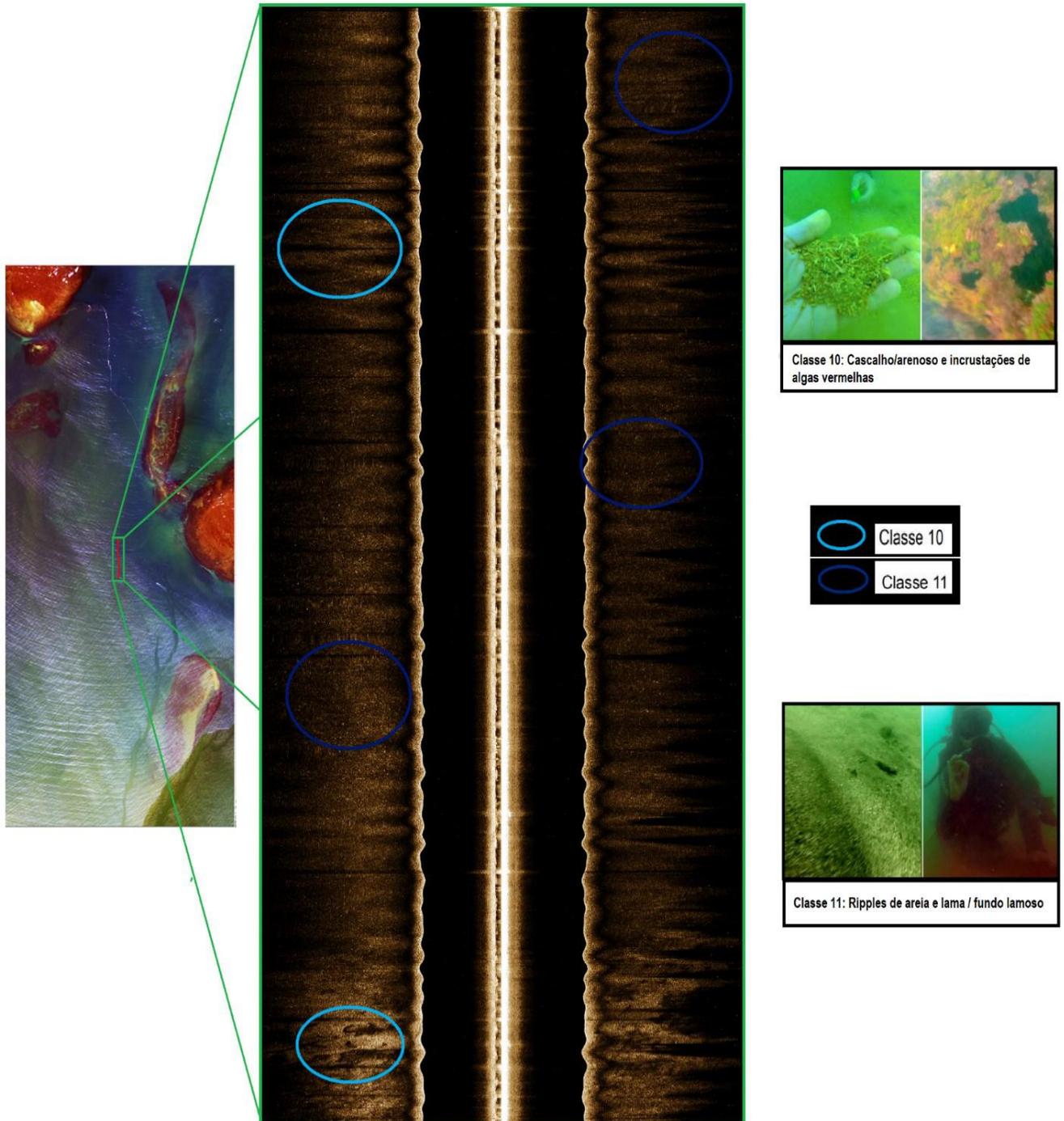
Figura 19: Mapa de máxima verossimilhança gerado a partir da refletância de cada pixel da imagem de satélite WWVII do recife do Araripe. (Britto Pereira, 2015).

- **Fundo arenoso raso (marca de onda) e Planície de macroalgas e algas calcárias.** Em torno da ilha arenosa do recife do Araripe.



*Figura 20:* Fundo de areia com marcas de onda e banco de algas visualizado pelo SVL e classificado de acordo com as classes da figura 17. As fotos foram tiradas durante os dias de mapeamento e mostram estruturas e composições que confirmam o observado nas imagens do sonar.

➤ **Fundo lamoso**



*Figura 21:* Fundo de areia e lama visualizado pelo SVL e classificado de acordo com as classes da figura 17. A principal diferença entre o fundo plano de areia e o fundo de lama é a intensidade da reflectância, ou seja, as áreas mais escuras sugerem um fundo mais macio predominantemente composto por lama.

## 5.2. Estruturas de interesse

### 5.2.1. Construções coralíneas

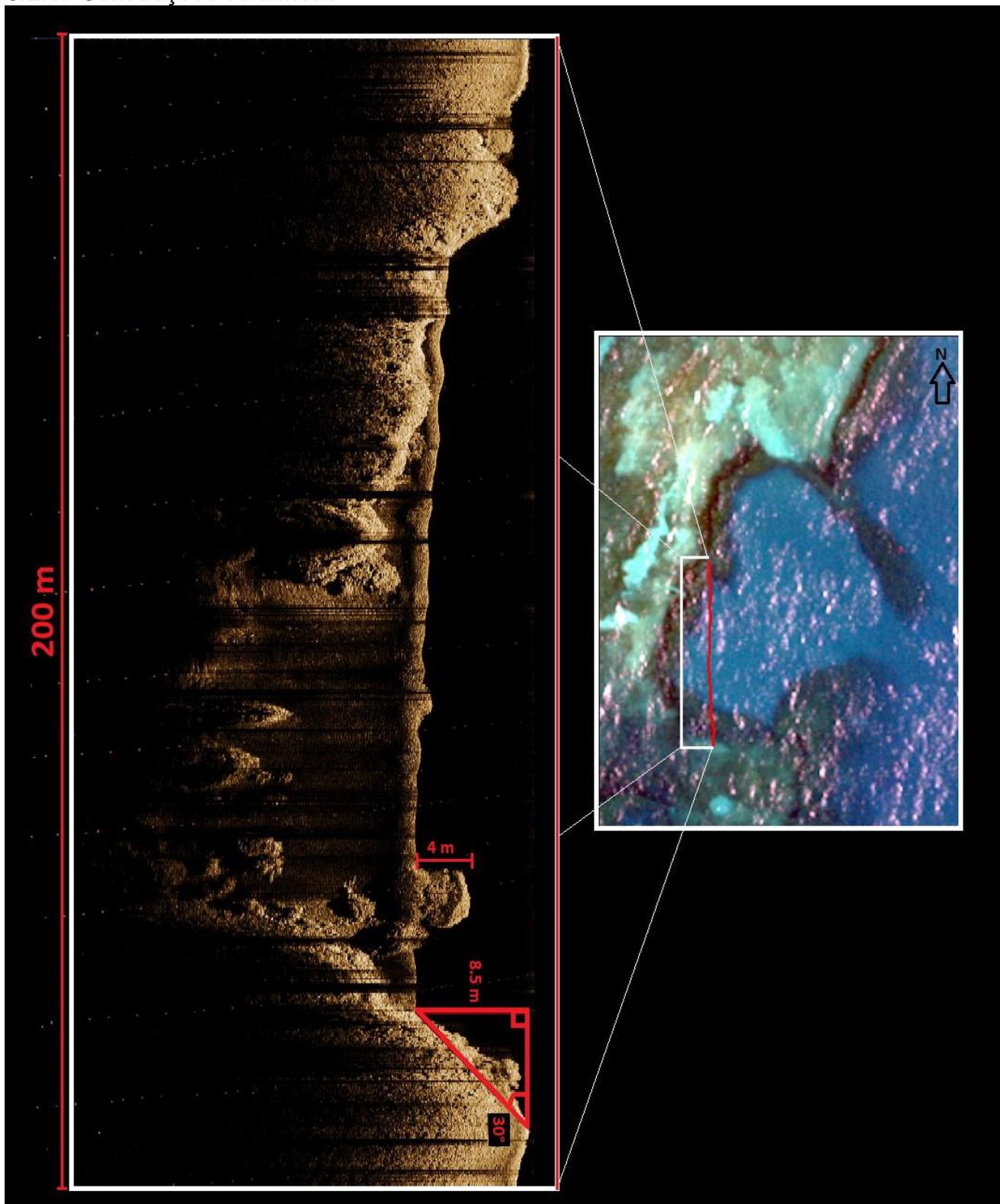


Figura 22: Linha de levantamento destacada para área de interesse e visualização a bombordo do SVL. A imagem mostra claramente uma colônia em forma de cogumelo com aprox.. 4m de altura, assemelhando-se em muito à uma colônia de coral do gênero *Mussismilia*. Além disso é possível observar a alta declividade da parede sul do recife do “coração”.

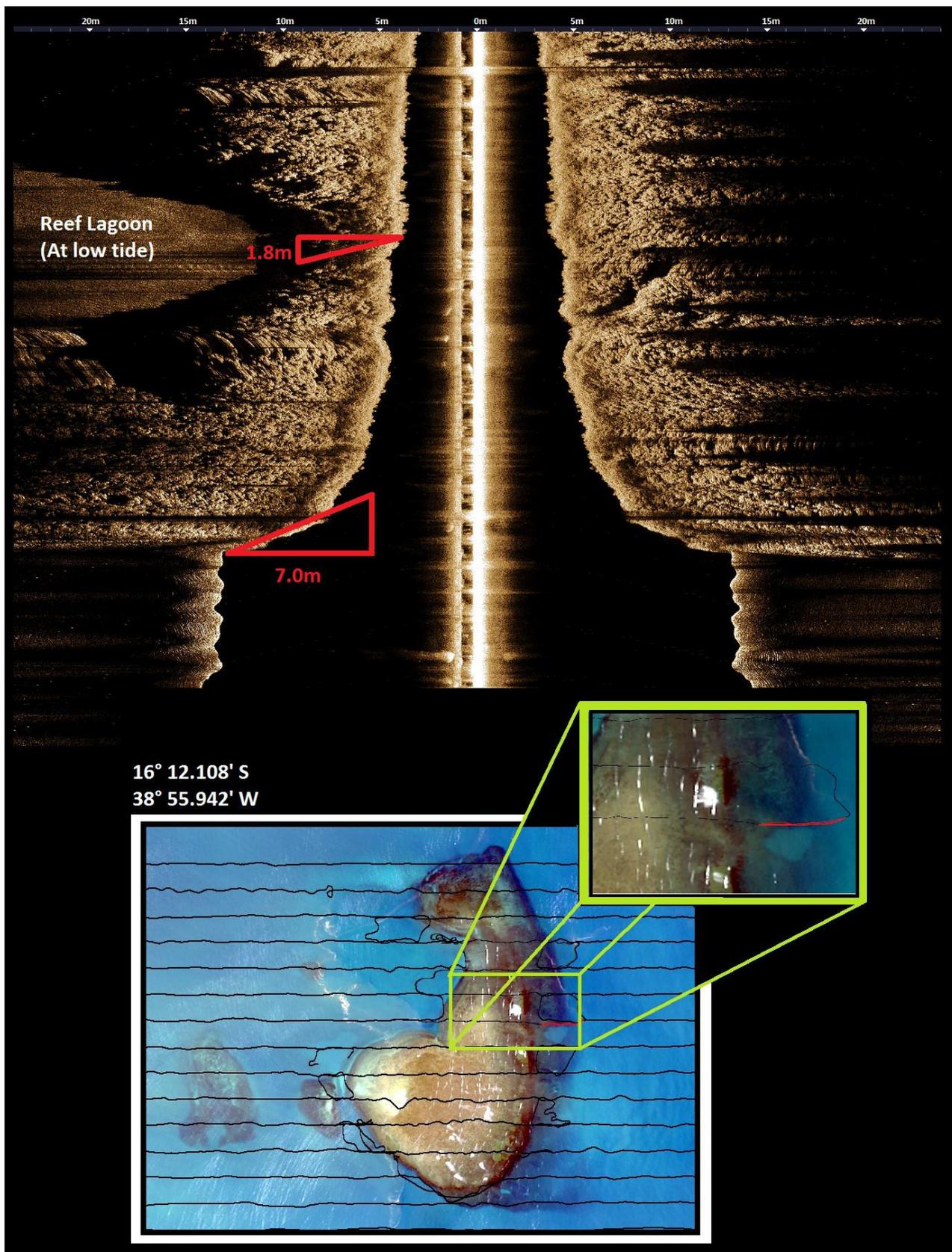


Figura 23: Linhas de levantamento georreferenciadas em imagem WWI e visualização do SVL. Os triângulos mostram a altura das estruturas, calculadas através da medição das sombras no software DeepView 3.0. É possível notar que o fundo arenoso da “piscina” está em um nível 5 metros acima do fundo arenoso em volta do recife.

A riqueza de detalhes nas imagens do SVL possibilita a identificação de colônias coralíneas individuais. Na figura 21 pode se observar uma estrutura de aproximadamente 4 metros de altura que se assemelha em muito a uma colônia de *Mussismilia braziliensis* (coral cérebro), espécie endêmica e muito importante para a morfologia das construções recifais de toda a região.

Seja na visualização de colônias individuais, real declividade da parede do recife ou de buracos no platô recifal (Figura 22), as imagens são bastante valiosas para o planejamento de mergulhos e definição de áreas de amostragem. Sendo de grande valia para fins científicos e turísticos.

### 5.2.2. Objetos antropogênicos

Objetos “não naturais” encontrados no fundo, também podem ser de interesse turístico ou histórico. No recife do Araripe foram encontradas formas que se assemelham a “caixas”, sugerindo que sejam objetos oriundos de um naufrágio. O

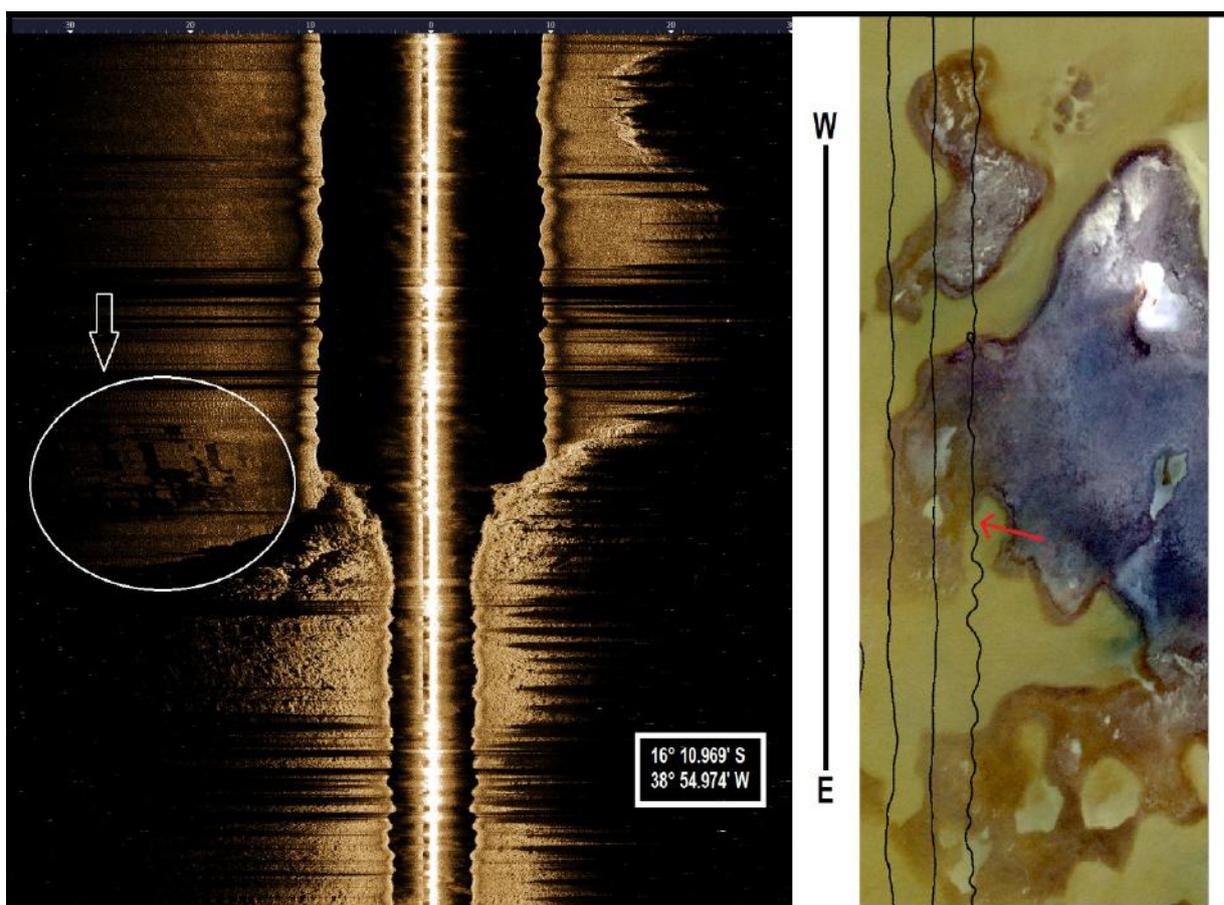


Figura 24: Imagem do SVL mostrando formas de "caixotes" no fundo arenoso junto à parede do recife. Esses objetos foram atribuídos à um possível naufrágio, não sendo encontrados nenhuma outra feição parecida em outras áreas do recife.

fato de estarem localizadas no lado leste do recife (voltado ao mar aberto) corroboram tal interpretação.

### 5.3. Estruturas soterradas (Downscan)

Além do sonar de varredura lateral, o equipamento instalado a bordo inclui também um sonar batimétrico. Esse sonar batimétrico concentra a energia sonora diretamente abaixo da embarcação afim de medir precisamente a profundidade na posição exata da embarcação. Ao processar os dados produzidos por essa fonte direcionada diretamente para baixo, é possível, com o software *Sonar TRX*, visualiza-los em um perfil vertical do fundo.

Tal perfil mostra não só o contorno detalhado das estruturas, como também possíveis estruturas soterradas e em alguns casos a continuidade do recife, abaixo do que hoje são camadas de areia e sedimentos finos transportados e depositados pelas correntes litorâneas. Entretanto, não existe, na área de estudo, nenhum testemunho ou perfuração que comprove tais interpretações.

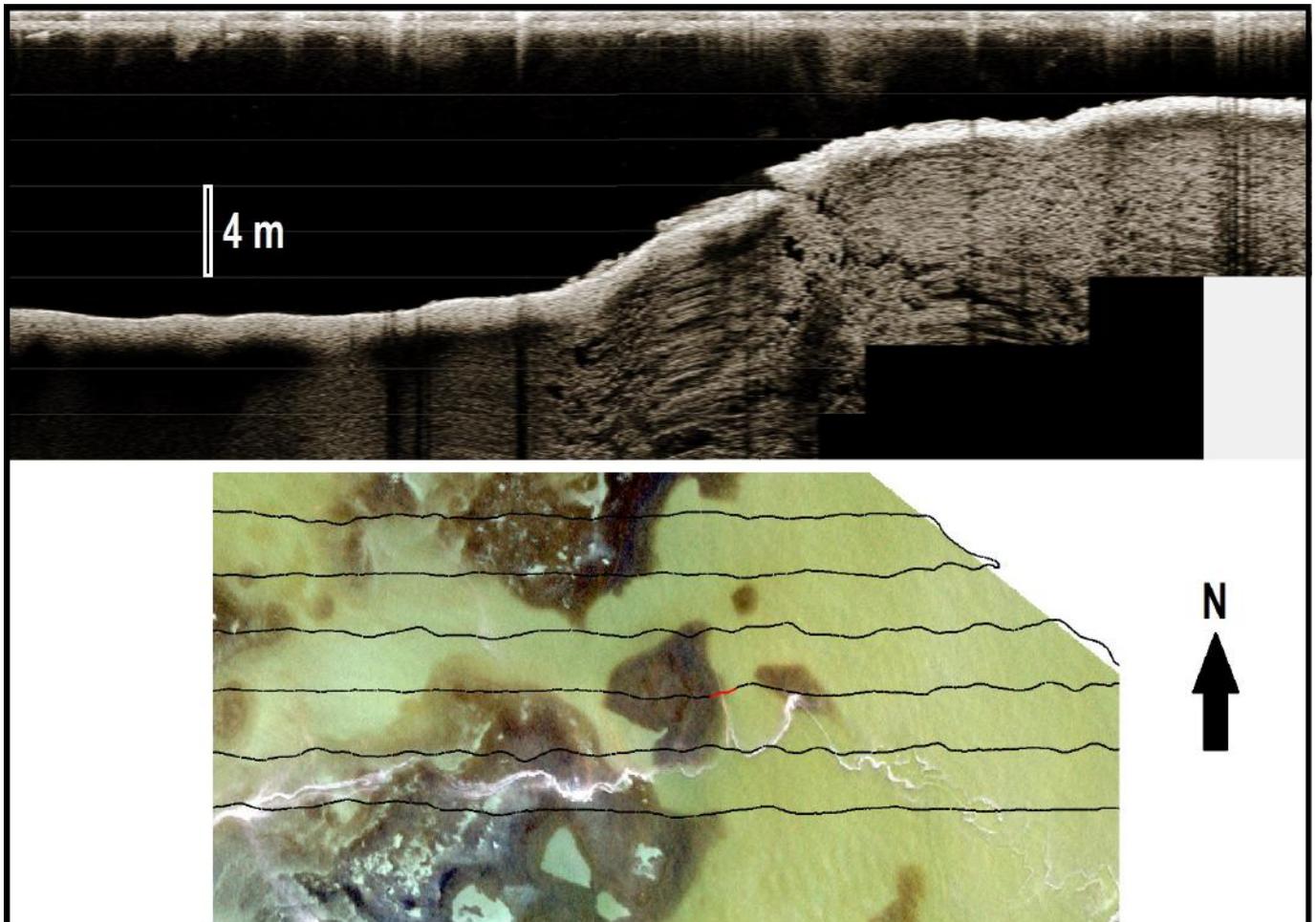
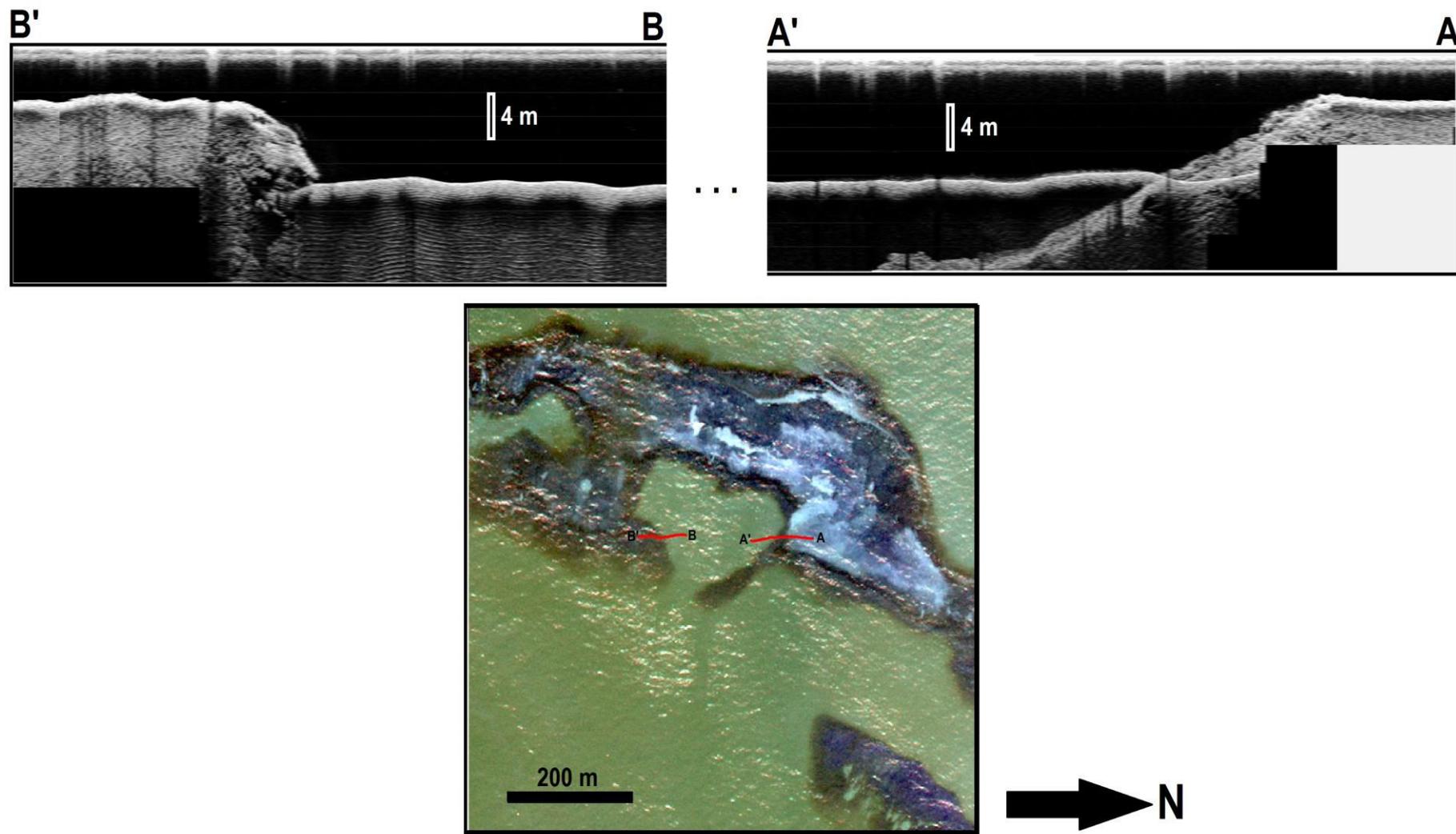


Figura 25: Perfil vertical mostrando "rachadura" dentro da estrutura recifal. Podendo se tratar de uma fratura recente ou, mais provavelmente, do limite entre colônias de corais vizinhas em uma disputa por espaço.



*Figura 26:* Seções verticais mostrando a diferença de morfologia da parede recifal de cada lado do recife. A declividade da parede norte é bem menor que na parede sul, isso sugere uma diferença marcante nos tipos de organismos que colonizam a superfície em casa lado, principalmente devido a diferença na dinâmica das correntes e das ondas.

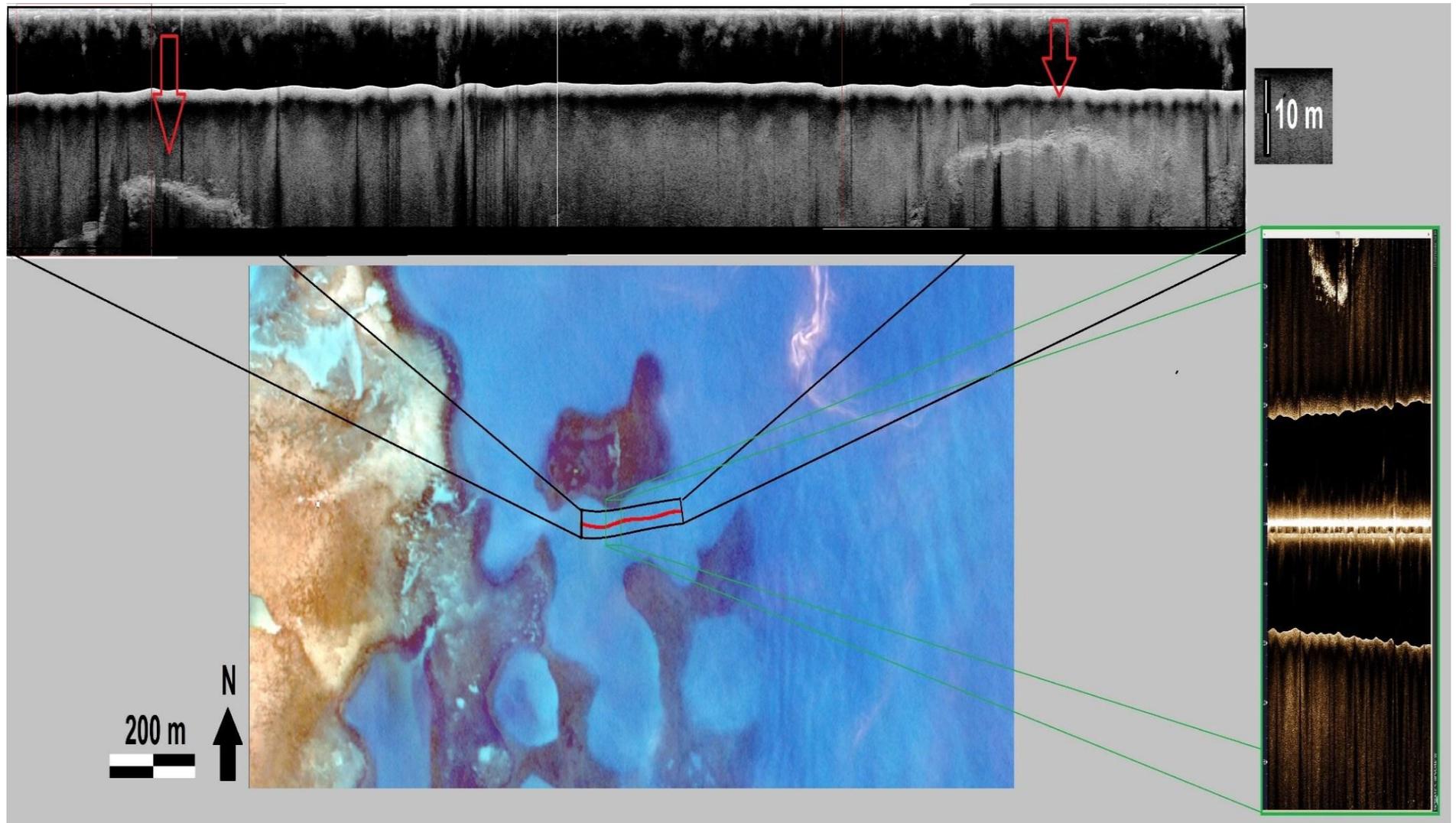


Figura 27: Seção vertical e varredura lateral, da mesma região do recife do Araripe, georreferenciadas à imagem de satélite (WVII) de alta resolução. A seção vertical mostra estruturas soterradas no fundo arenoso, provavelmente recifes antigos ou concreções, sugerindo que a estrutura do recife pode ser maior do que a área observada hoje acima dos lençóis de areia.

Com um desnível de aproximadamente 8 metros entre o fundo arenoso e o topo recifal, a interface mostrada na figura 24 apresenta uma feição que parece ser uma fratura. Feições como essa podem se tratar de uma falha recente ou do limite entre duas colônias distintas, considerado mais provável.

Na figura 25, fica clara a diferença na declividade da borda do recife, sendo o lado norte bem mais suave que o lado sul. Diferenças nas correntes que passam pela parede do recife e na posição em relação às frentes de onda que predominam na região são fatores que contribuem para tais diferenças.

Em áreas com essas características observam-se grandes diferenças na geometria das colônias de corais.

Além das seções dos recifes vivos e aflorantes, o “downscan” possibilita a visualização de interfaces enterradas, provavelmente construções ou concreções carbonáticas (Figura 26). Tais interfaces podem ter sido formadas por organismos construtores, como algas calcárias e/ou corais no fundo marinho, e hoje encontram-se soterradas a pelo menos 4 metros de profundidade nos sedimentos arenosos modernos.

## **6. CONCLUSÕES**

O imageamento feito pelo SVL é um dos métodos mais práticos de se analisar a interface entre diferentes substratos no fundo marinho. O levantamento realizado pelo presente trabalho foi feliz em demonstrar a eficiência desta ferramenta na varredura de áreas muito rasas, como é o caso dos platôs recifais da PMMCA. Tendo sido comprovada a aplicabilidade desta configuração do equipamento nas condições (navegação e turbidez) presentes na região dos recifes de corais do sul da Bahia.

Os padrões de reflexão foram caracterizados de acordo com a intensidade do sinal de retorno e textura. Uma área com maior reflexão é visualizada como uma área mais clara na imagem e representa um sedimento mais grosso ou construção recifal. Em regiões com predomínio de deposição de finos a intensidade do retorno é menor.

Áreas de alta reflexão são facilmente diferenciadas entre sedimentos inconsolidados grossos e estruturas rígidas do recife, principalmente quando são

observadas feições, como *ripple marks*, geradas por correntes superficiais nos sedimentos arenosos.

A visualização das diferentes texturas do fundo mostra facilmente o contraste entre o sedimento inconsolidado e a estrutura rígida na interface das bordas do recife, mostrando com clareza os detalhes do limite do recife.

O método pode ser considerado de “baixo custo”, uma vez que pode ser conduzido com sucesso por uma equipe pequena e com equipamentos diretamente acoplados à embarcação. Sendo assim, é perfeitamente aplicável quando se tem como objetivo o imageamento detalhado de áreas de interesse como naufrágios, colônias de corais isoladas, pontos de mergulho e etc.

Apoiando iniciativas de mapeamento de áreas de proteção ambiental na costa brasileira, foram criadas imagens do PMMCA mostrando características do recife que, de outra forma, não poderiam ser tão claramente reveladas. Incluir o SVL como ferramenta será de grande valia na elaboração de um entendimento cada vez mais completo de ambientes marinhos tão importantes para a sociedade e o meio ambiente.

### **6.1. Sugestões de trabalhos futuros**

Futuramente seriam necessários ajustes simples no método de aquisição dos dados para que fossem produzidas imagens detalhadas dos Chapeirões, estruturas endêmicas à região, motivo da grande importância da preservação dos recifes brasileiros em um contexto global.

## 7. REFERÊNCIAS

- Adey, WH, 'Coral Reef Ecosystems and Human Health: Biodiversity Counts!', *Ecosystem Health*, vol. 6, no. 4, pp. 227-36, 2000.
- Aouad, M. Projeto Porto Seguro – Santa Cruz Cabralia: clima: Salvador: CPRM. 1998.
- Belderson, R.H., Jones, EJW, Gorini, MA & Kenyon, NH, 'A long-range side-scan sonar (Gloria) survey of the Romanche active transform in the Equatorial Atlantic', *Marine Geology*, vol. 56, no. 1–4, pp. 65-78, 1984.
- Blondel, P & Murton, BJ 1998, 'Handbook of seafloor sonar imagery', *Oceanographic Literature Review*, vol. 45, no. 4, p. 713.
- Blondel, Philippe. The handbook of sidescan sonar. Springer Science & Business Media, 2010.
- Bourguignon, S.N., Mapeamento acústico do canal de abrolhos e seu entorno, Bahia – Brasil. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2010.
- Britto Pereira, Beatriz Sabino. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e caracterização sedimentar do recife do Araripe, BA. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.
- Bulla, Luiz Angelo Sobreiro, and Carlos Hartmann. "Aplicação do QTC SIDEVIEW na classificação de sedimentos através de imagens de sonar de varredura lateral, num trecho do canal São Gonçalo, RS, Brasil.", 2009.
- Caçonia Fortes, Ian S. F., Sea Bottom Types of a Coral Reef Marine Protected Area revealed by Side Scan Survey. In: *Rio Acoustics - 2015*, Rio de Janeiro. IEEE – Oceanic Engineering Society, 2015.
- Calliari, L & Abreu, J, 'Litologia da plataforma continental interna adjacente a cidade de Rio Grande (RS), através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostras superficiais', in *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 33, pp. 1553-64, 1984.
- Calliari, L. J., and J. G. N. Abreu. "Litologia da plataforma continental interna adjacente a cidade de Rio Grande (RS), através da interpretação de registros

de sonar de varredura lateral e amostras superficiais." Congresso Brasileiro de Geologia. Vol. 33. Rio de Janeiro: SBG, 1984.

Castro, C., Avaliação e ações prioritárias para A Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha–recifes de coral, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, p.101, 1999.

Clark, C. D., et al. "Spectral discrimination of coral mortality states following a severe bleaching event." International Journal of Remote Sensing, 2000.

Cogan, CB, Todd, BJ, Lawton, P & Noji, TT 2009, 'The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management', ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, vol. 66, no. 9, pp. 2033-42.

Collier, JS & Humber, SR 2007, 'Time-lapse side-scan sonar imaging of bleached coral reefs: A case study from the Seychelles', Remote Sensing of Environment, vol. 108, no. 4, pp. 339-56.

Dantas, M.E., et al., Geomorfologia da costa do descobrimento – extremo sul da Bahia: Municípios de Porto Seguro e Santa Cruz de Cabrália, v.7, n.14, 2002.

Degraer, S, Moerkerke, G, Rabaut, M, Van Hoey, G, Du Four, I, Vincx, M, Henriët, J-P & Van Lancker, V, 'Very-high resolution side-scan sonar mapping of biogenic reefs of the tube-worm *Lanice conchilega*', Remote Sensing of Environment, vol. 112, no. 8, pp. 3323-8, 2008.

Dorschel, B, Wheeler, AJ, Huvenne, VAI & de Haas, H, 'Cold-water coral mounds in an erosive environmental setting: TOBI side-scan sonar data and ROV video footage from the northwest Porcupine Bank, NE Atlantic', Marine Geology, vol. 264, no. 3–4, pp. 218-29, 2009.

Duarte, Fernando Cardoso. Levantamento e modelagem batimétrica em áreas recifais no sul da Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

Ferreira, Beatrice P., Maida, Mauro. Monitoramento dos recifes de coral do Brasil – Situação atual e perspectivas. Secretaria de Biodiversidade e Florestas – Ministério do Meio Ambiente. 2006.

Forrester, G, Baily, P, Conetta, D, Forrester, L, Kintzing, E & Jarecki, L, 'Comparing monitoring data collected by volunteers and professionals shows

that citizen scientists can detect long-term change on coral reefs', *Journal for Nature Conservation*, vol. 24, pp. 1-9, 2015.

Gillett, D, Pondella, D, II, Freiwald, J, Schiff, K, Caselle, J, Shuman, C & Weisberg, S, 'Comparing volunteer and professionally collected monitoring data from the rocky subtidal reefs of Southern California, USA', *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, no. 5, pp. 3239-57, 2012.

Goff, J.A., Olson, H.C. and Duncan, C.S.: Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. - *Geo-Marine Letters*, 20 (1): 43-49; Berlin, 2000.

Goff, JA, Swift, DJP, Duncan, CS, Mayer, LA & Hughes-Clarke, 'High-resolution swath sonar investigation of sand ridge, dune and ribbon morphology in the offshore environment of the New Jersey margin', *Marine Geology*, vol. 161, no. 2-4, pp. 307-37, 1999.

Guedes, I. M. G. Monitoramento geoambiental da área de influencia dos dutos de gás e óleo do Pólo de Guamaré (RN) – ANP/PRH 22, em *Geologia e Geofísica e Informática no setor de Petróleo e Gás/UFRN*, 2002.

Guedes, Luciano da Silva. "Monitoramento Geoambiental do estuário do rio Paraíba do Norte-PB por meio da cartografia temática digital e de produtos de sensoriamento remoto.", 2002.

Hagemann, Julius. "Underwater vehicle with bottomregulated diving control." U.S. Patent No. 2,823,635. 18 Feb. 1958.

Knowlton, N. & Jackson, J.B., Shifting baselines, local impacts, and global change on coral reefs, *PLoS biology*, v.6, n.2, p.e54, 2008.

Lafferty, B, Quinn, R & Breen, C, 'A side-scan sonar and high-resolution Chirp sub-bottom profile study of the natural and anthropogenic sedimentary record of Lower Lough Erne, northwestern Ireland', *Journal of Archaeological Science*, vol. 33, no. 6, pp. 756-66, 2006.

Leão, Z.M.A.N., The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.68, n.3, p.439-452, 1996.

Maida, M. & Ferreira, B. Coral reefs of Brazil: an overview. In: *Proceedings of the 8th international coral reef symposium*, Anais, 74p, 1997.

- Mohriak, W.U., Bacias sedimentares da margem continental Brasileira, v.2003, p.87-165, 2003.
- Montefalcone, M, Rovere, A, Parravicini, V, Albertelli, G, Morri, C & Bianchi, CN, 'Reprint of "Evaluating change in seagrass meadows: A time-framed comparison of Side Scan Sonar maps"', Aquatic Botany, vol. 115, no. 0, pp. 36-44, 2014.
- Moraes Filho, J.C.R. & Saadi, A., Projeto Porto Seguro - Santa Cruz de Cabralia: geologia, v.3, p.65, 1999.
- Quaresma, V. S., G. T. M. Dias, and J. A. Baptista Neto. "Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3, 5 e 7, 0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara." Brazilian Journal of Geophysics, 2000.
- Ruffell, A, 'Lacustrine flow (divers, side scan sonar, hydrogeology, water penetrating radar) used to understand the location of a drowned person', Journal of Hydrology, vol. 513, no. 0, pp. 164-8, 2014.
- Silva, I.R., et al., Principais Padrões de Dispersão de Sedimentos ao Longo da Costa do Descobrimento-Sul do Estado da Bahia, Revista Brasileira de Geociências, v.31, n.3, p.307-312, 2001, ISSN 0375-7536.
- Silva, I.R., Subsídios para a gestão ambiental para praias da costa do descobrimento, litoral Sul do estado da Bahia, Brasil, Revista da gestão costeira integrada, v.8, n.2, p.47-60, 2008.
- Stuart, E. (Senior Survey Technician, NOAA Okeanos Explorer) "*What is Multibeam Backscatter?*". Disponível em: <http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1104/logs/aug12/aug12.html>. Acesso em 16 Julho, 2015
- Thompson, DL, Stilwell, JD & Hall, M 'Lacustrine carbonate reservoirs from Early Cretaceous rift lakes of Western Gondwana: Pre-Salt coquinas of Brazil and West Africa', Gondwana Research.
- Vieira, L.S. Mapeamento de habitats em região adjacente à ilha Sueste, Bahia – Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Oceanografia. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2013.
- Wilkinson, C. Status of coral reefs of the world: 2008. Australian Institute of Marine Science Townsville, 2008

Wilson, J.L., Characteristics of carbonate-platform margins, AAPG Bulletin, v.58, n.5, p.810-824, 1974.

Xavier Da Silva, J., et al., Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade, Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento, Editora Vozes, Petrópolis, p.299-316, 2001