



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA
EQUATORIAL, POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS
SEDIMENTOLÓGICOS: PARRACHOS DE RIO DO FOGO-RN, BRASIL**

Autor:

PAULO VICTOR DO NASCIMENTO ARAÚJO

Orientador:

Dr. RICARDO FARIAS DO AMARAL

Dissertação n.º 133/PPGG.

Natal-RN, Maio de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA
EQUATORIAL, POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS
SEDIMENTOLÓGICOS: PARRACHOS DE RIO DO FOGO-RN, BRASIL**

Autor:

Paulo Victor do Nascimento Araújo

Dissertação apresentada em 30 de maio de 2014,
ao Programa de Pós-Graduação em
Geodinâmica e Geofísica – PPGG, da
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte – UFRN, como requisito à
obtenção do Título de Mestre em Geodinâmica e
Geofísica, com área de concentração em
Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

Dr. Ricardo Farias do Amaral (UFRN - Orientador)

Dr. Venerando Eustáquio Amaro (UFRN)

Dr. Werner Farkatt Tabosa (UNP)

Natal-RN, Maio de 2014

RESUMO

Na plataforma continental rasa no Nordeste do Rio Grande do Norte, importantes feições geomorfológicas submersas podem ser encontradas a cerca de 6 km da linha de costa. São os recifes de corais, conhecidos localmente por “parrachos”. O presente estudo objetiva caracterizar e analisar as feições geomorfológicas e da superfície bentônica, além da distribuição dos sedimentos biogênicos encontrados nos parrachos de Rio do Fogo e plataforma rasa associada, a partir da utilização de produtos de sensores remotos e coletas de dados *in situ*. Para isto foram elaborados mapas sedimentológicos, batimétricos e geomorfológicos gerados a partir de composições de bandas de imagens dos sensores orbitais ETM+/Landsat-7, OLI/Landsat-8, MS/GeoEye e PAN/WorldView-1, e análise de amostras de sedimentos de fundo. Estes mapas foram analisados e interpretados de forma integrada e validados em trabalhos de campo, permitindo, a geração de um novo zoneamento geomorfológico da plataforma rasa em estudo e um mapa geoambiental dos Parrachos de Rio do Fogo. As imagens utilizadas, foram submetidas a técnicas de processamento digital de imagens (PDI). Todos os dados e informações obtidos estão armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e podem ser disponibilizados a comunidade científica. Esta plataforma rasa possui um fundo carbonático, composto principalmente por algas. As amostras de sedimento coletadas e analisadas podem ser classificadas como areias carbonáticas biogênicas, onde 75% do material encontrado é composto por algas calcárias. As classes mais abundantes são as algas verdes, algas vermelhas, sedimentos não biogênicos (grãos minerais), algas antigas e os moluscos. Nos parrachos foram mapeados: o Canal de Barreta, os recifes intermareais, os recifes submersos, os rastros e sulcos, as piscinas, o banco arenoso, o banco de algas, as fanerógamas marinhas, os caminhos submersos e o Canal de Rio do Fogo. O presente trabalho apresenta novas informações sobre a geomorfologia e evolução da área de estudo e será norteador, em futuras tomadas de decisão no manejo e gerenciamento ambiental da região.

Palavras-chaves: Recifes de Corais; Batimetria; Geomorfologia; Sensoriamento Remoto; Mapeamento Ambiental.

ABSTRACT

In the shallow continental shelf in Northeastern Rio Grande do Norte - Brazil, important underwater geomorphological features can be found 6km from the coastline. They are coral reefs, locally known as “parrachos”. The present study aims to characterize and analyze the geomorphological feature as well as the ones of the benthic surface, and the distribution of biogenic sediments found in parrachos at Rio do Fogo and associated shallow platforms, by using remote sensing products and *in situ* data collections. This was made possible due to sedimentological, bathymetric and geomorphological maps elaborated from composite bands of images from the satellite sensors ETM+/Landsat-7, OLI/Landsat-8, MS/GeoEye and PAN/WorldView-1, and analysis of bottom sediments samples. These maps were analyzed, integrally interpreted and validated in fieldwork, thus permitting the generation of a new geomorphological zoning of the shallow shelf in study and a geoenvironmental map of the *Parrachos* in *Rio do Fogo*. The images used were subject to Digital Image Processing techniques. All obtained data and information were stored in a Geographic Information System (GIS) and can become available to the scientific community. This shallow platform has a carbonate bottom composed mostly by algae. Collected and analyzed sediment samples can be classified as biogenic carbonatic sands, as they are composed 75% by calcareous algae, according to the found samples. The most abundant classes are green algae, red algae, non-biogenic sediments (mineral grains), ancient algae and molluscs. At the *parrachos* the following was mapped: Barreta Channel, intertidal reefs, submerged reefs, the spur and grooves, the pools, the sandy bank, the bank of algae, sea grass, submerged roads and Rio do Fogo Channel. This work presents new information about geomorphology and evolution in the study area, and will be guiding future decision making in the handling and environmental management of the region.

Keywords: Coral Reefs; Bathymetry; Geomorfology; Remote Sensing; Environmental Mapping.

*"Se você tem metas para um ano. Plante arroz;
Se você tem metas para 10 anos. Plante uma
árvore; Se você tem metas para 100 anos, então
eduque uma criança; Se você tem metas para
1000 anos, então preserve o meio Ambiente".*

Confúcio

*À Deus; aos meus pais, João Batista e Maria
Margarete; a minha noiva, Emanuela; e ao nosso
bebê que nascerá em breve.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por proporcionar todas as oportunidades possíveis para o desenvolvimento do trabalho e obtenção do título. Prometo que nada disso será em vão.

Aos meus pais, João Batista e Maria Margarete, pelo o apoio familiar durante toda a minha jornada. Agradeço de coração.

À minha noiva Emanuela, por esta ao meu lado em todos os momentos. Te amo *baybinho!*

Ao Professor Dr Ricardo Amaral, pela grande orientação realizada. Acredito que foi uma oportunidade única, poder ser seu orientado nesses últimos 2 anos de curso. Uma excelente experiência adquirida e uma eterna amizade.

Ao Professor Dr Fúlvio Freire, pela indicação ao Professor Ricardo e por sempre estar à disposição em ajudar na minha formação. Um grande *brother!*

À secretária do Programa Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), a Sra. Nilda Araújo. Foi um anjo para todos os alunos do programa, sempre recebendo todos os problemas dos alunos e solucionando com dedicação e maestria. Nunca esquecerei.

Ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG). Me proporcionou um amplo maior de informações que levarei em toda minha vida profissional. Muito obrigado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apóio financeiro ao Projeto Rio do Fogo - Mapeamento de Feições Subaquáticas e Hábitats Bentônicos Associados no “Parracho de Rio do Fogo/RN”: Uma Comparação Entre Produtos de Sensores Remotos e Novos Métodos de Classificação (Edital MCT/CNPq n° 14/2011 – Universal: Processo n° 479646/2011-2); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas concessões de bolsas de pesquisas aos pesquisadores do trabalho. Continuem investindo na ciência, Parabéns!

Aos membros da banca de exame de qualificação, Professores Drs: Ricardo Farias do Amaral, Francisco Hilário Rego Bezerra e Francisco Pinheiro Lima Filho; e a banca de avaliação final desta dissertação de mestrado, Professores Drs: Ricardo Farias do Amaral, Venerando Eustáquio Amaro e Werner Farkatt Tabosa. Todos vocês foram fundamentais para a conclusão deste trabalho e formação deste pesquisador. Muito obrigado!

À todos os professores do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG). Vocês fazem parte desse título!

Ao Sr Flávio, pelos apoios nos mergulhos durante as pesquisas em campos. Seremos eternamente gratos!

Ao Sr. “Dedinho”, pela grande ajuda na navegação durante a coleta de dados batimétricos. Muito obrigado!

A todos os amigos que fiz no Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGeo): Klébica, Maryanne e Joseany. E todos os amigos que fiz no PPGG: Jean, Tiago, David, Juliana, Mykaele, Narele e Deborá. Os lanches, nos intervalos das aulas, foram fantásticos. Contem comigo!

A todos os amigos do Grupo de Estudos em Ecologia e Fisiologia de animais Aquáticos (GEEFAA): Carlos Eduardo (“Cadu”), Sávio, Vanessa, Valéria e Aléz. Valeu galera!

A todos os amigos que não citei, mas que fazem parte da minha jornada. Abraços!

ÍNDICE DA DISSERTAÇÃO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
ÍNDICE DA DISSERTAÇÃO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xii

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação	01
1.2 Objetivos	03
1.2.1 Objetivo Geral	03
1.2.2 Objetivos Específicos	04
1.3 Área de Estudo	04

CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Plataforma Continental Rasa	06
2.2 Os Recifes de Corais	09
2.3 A sedimentação carbonática em recifes de corais	15
2.4 O mapeamento Geoambiental	16
2.5 O Sensoriamento Remoto em estudos geoambientais submersos	18

CAPÍTULO III – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SEDIMENTOS BIOGÊNICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO NORDESTE DO BRASIL

3.1 Introduction	21
3.2 Materials and Methods	22
3.2.1 Study área	22
3.2.2 Interpolation of bathymetry data and biogenic sediments	23
3.2.3 Main geomorphologic features	24
3.2.4 Classification and identification of biogenic sediments	24

3.2.5 Statistical Analysis	25
3.3 Results and Discussion	25
3.3.1 Main geomorphologic features	25
3.3.2 Bathymetric Analysis	26
3.3.3 Morphological Zoning	27
3.3.4 Biogenic Sediments	29
3.3.5 Biogenic sediments x zones	32
3.3.6 Mapping of the biogenic sediment	33
3.4 Conclusions	35
3.5 Acknowledgment	36
3.6 References	36

CAPÍTULO IV – MAPEAMENTO DE RECIFES DE CORAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO NORDESTE BRASILEIRO POR SENSORIAMENTO REMOTO *(em tradução)*

4.1 Introdução	43
4.2 Material e Métodos	45
4.2.1 Área de Estudo	45
4.2.2 Mapeamento dos corais	47
4.2.2.1 Análise Batimétrica	47
4.2.2.2 Produtos de sensores remotos orbitais	49
4.2.2.3 Interpretação visual do produtos de sensores remotos orbitais.....	50
4.2.3 Criação do SIG	50
4.3 Resultados e Discussão	50
4.3.1 Mapeamento dos Corais	50
4.3.1.1 Análise Batimétrica	51
4.3.1.2 Interpretação Visual dos Produtos de Sensores Remotos	55
4.3.1.3 Mapeamento Geoambiental	56
4.4 Conclusões	61
4.5 Agradecimentos	61
4.6 Referências	62

CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Localização da área de estudo e delimitação da APARC.	04
Figura 2.1. Esboço hipotético em perfil de uma plataforma continental.	06
Figura 2.2. Divisão teórica da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte.	08
Figura 2.3. Os pontos vermelhos no mapa mostram a localização dos recifes de corais no mundo	10
Figura 2.4. Ilustração hipotético do comportamento morfológico dos recifes de corais.	11
Figura 2.5. Esboço dos principais tipos de recifes encontrados na costa brasileira.	13
Figura 2.6. Trecho relatando um dos naufrágios na área de estudo, extraído de um jornal regional.	15
Figure 3.1. Location of study area.	22
Figure 3.2. Image of satelit: Band 2 (Landsat-7/sensor ETM+) of November 19, 1999.	26
Figure 3.3. Digital Bathymetry Model (DBM) of the study area by method IDW.	27
Figure 3.4. Result of zoning from the integration of bathymetric data and image interpretation.	28
Figure 3.5. Examples of photographs of samples of bioclastic in digital magnifier.	30
Figure 3.6. Spatial visualization of 4 most abundant classes in the study area. Dark pink, highlighting the coral reefs.	34
Figura 4.1. Localização da área de estudo e delimitação da APARC.	46
Figura 4.2. (a) Modelo Digital de Batimetria (MDB) e os perfis batimétricos selecionados, a partir da Estimação Empírica Baeyiana (EBK). (b) Cena do sensor OLI/Landsat-8 (RGB-432). Esta cena foi utilizada para geração do modelo 3D.	52
Figura 4.3. Modelagem 3D da área de estudo em 2 ângulos de visualização.	53
Figura 4.4. Análise dos perfis batimétricos transversais ao Parracho de Rio do Fogo.....	53
Figure 4.5. Imagem híbrida do sensor OLI/Landsat-8 (RGBI-4328).	56
Figure 4.6. Imagem híbrida MSPAN (RGBI-RGBPAN).	59
Figura 4.7. Mapa das unidades geoambientais no Parracho de Rio do Fogo.	60

ÍNDICE DE TABELAS

Table 3.1. Descriptive statistics of the frequency of occurrence (%) of constituents of biogenic sediments, the 265 samples analyzed.	31
Table 3.2. Average frequency of occurrence (%) of constituents of sediments between the demarcated zones.	32
Table 3.3. Statistical Results of factorial ANOVA (2 factors).	33
Table 3.4. All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Student-Newman-Keuls Method).	33
Tabela 4.1. Informações maregráficas sobre os produtos de sensores remotos utilizados....	49
Tabela 4.2. Chave de interpretação com os principais elementos de interpretação visual para a imagem híbrida MSPAN (RGBI-RGBPAN).	57

LISTA DE SÍBOLOS E ABREVIATURAS

ANOVA	<i>Analysis Of Variance</i> (Análise de Variância).
APARC	Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais.
BNDO	Banco Nacional de Dados Oceanográficos.
BRe	<i>Back Reef</i> .
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
CPRM	Serviço Geológico do Brasil.
DF	<i>Degrees of Freedom</i> (Graus de Liberdade).
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação.
EBK	<i>Empirical Bayesian Kriging</i> (Krigagem Empírica Bayesiana).
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper plus</i> (Mapeador Temático Melhorado +).
EUA	Estados Unidos da América.
F	<i>F test statistic</i> (Teste estatístico F).
FB	Formação Barreiras.
FRe	<i>Fore Reef</i> .
FUNPEC	Fundação Norteriograndense de Pesquisa e Cultura.
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i> (Hora Média de Greenwich).
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global).
Granmar	Avaliação do Potencial dos Constituintes Granulados Marinhos.
IDEMA	Instituto de Defesa do Meio Ambiente.
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i> (Inverso da Distância Ponderada).
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i> (Inverso da Distância Ponderada).
IUGS	<i>International Union of Geological Sciences</i> (União Internacional de Ciências Geológicas).
LABSED	Laboratório de Sedimentologia.
LEGeo	Laboratório de Estudos Geoambientais.
MB	Marinha do Brasil.
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia.
MDB	<i>Model Digital of Bathymetric</i> (Modelo Digital de Batimetria).
MS	<i>Mean of the Squares</i> (Média dos Quadrados).

MS	<i>Multispectral Sensor</i> (Sensor Multiespectral).
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional).
OLI	<i>Operational Land Imager</i> (Operacional Terra Imager).
PAN	<i>Panchromatic</i> (Pancromático).
PDI	Processamento Digital de Imagens.
PPGG	Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica.
RCr	<i>Reef Crest</i> .
RFr	<i>Reef Front</i> .
RGB	<i>Red-Green-Blue</i> (Vermelho-Verde-Azul).
RGBI	<i>Red-Green-Blue-Intensity</i> (Vermelho-Verde-Azul-Intensidade).
RN	Rio Grande do Norte
SIG	Sistema de Informações Geográficas.
SS	<i>Sum of Squares</i> (Soma dos Quadrados).
TM	<i>Thematic Mapper</i> (Mapeador Temático).
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos).
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> (Universal Transversa de Mercator).
WRI	<i>World Resources Institute</i> (Instituto de Recursos Mundiais).
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A plataforma continental é definida como uma superfície de largura variável, sub-horizontal, que se estende da face de praia até o limite com o talude continental, este marcado por uma linha ou zona de brusco aumento de declividade, caracterizado como quebra da plataforma (Komar, 1976). Elas representam áreas afetadas pelas oscilações do nível do mar no Quaternário. Este fato marca a importância desta região submersa no estudo da evolução litorânea, pois é esperado que, abaixo da atual coluna de água, possam ser observados testemunhos de feições outrora emersas (Amaral, 2000). Feições geomorfológicas, como cristas de bancos arenitos, cordões de areias, lineações dunares, registros de superfícies de abrasão pretéritas desenvolvidas sobre os sedimentos da Formação Barreiras (FB) e estruturas coralinas, podem ser encontradas desde as regiões mais rasas até os limites da plataforma externa nordestina. As estruturas coralinas muitas vezes, são evidenciadas em complexos recifes de corais.

Os recifes de corais são, provavelmente, as comunidades bentônicas mais ricas e complexas dos oceanos. Formaram-se ao longo de milhões de anos (a sua história remonta há 500 milhões de anos atrás), a partir da deposição do carbonato de cálcio proveniente dos esqueletos de corais, e estão entre as comunidades marinhas mais antigas que se conhece. São considerados os ecossistemas marinhos que apresentam os maiores índices de biodiversidade, somente ultrapassados pelas florestas tropicais húmidas em terra (Connell, 1978), estima-se que um único recife de coral pode-se encontrar, pelo menos, 3.000 espécies de animais. Apesar de ocuparem menos de 1% da área total dos oceanos, 25% de todas as espécies de peixes conhecidas são exclusivas dos recifes de coral.

A elevada produtividade associada a recifes coralíneos tem uma importância singular como fonte de recursos pesqueiros para as comunidades costeiras, além de representarem barreiras de proteção à costa, fonte de farmacoterápicos e áreas para o turismo marinho. Apesar da grande importância ecológica e econômica, os recifes de coral estão submetidos a diversos fatores que ameaçam sua vitalidade e biodiversidade (Hoegh-Guldberg, 1999; Moreira e Reuss-Strenzel, 2009). No Rio Grande do Norte foi criada a Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC), esta área corresponde à região marinha que abrange a faixa costeira dos Municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. Trata-se de uma área composta por águas límpidas na maior parte do ano, e nesta área, dentre as suas feições mais importantes destacam-se

os baixios (ou parrachos) de Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba, que por suas características ambientais, são consideradas as áreas mais sensíveis da APARC.

Atualmente a APARC está sob intensa pressão de uso e ocupação, o que tem levado a uma crescente degradação ambiental. Dentre os principais responsáveis pela degradação na APARC e plataforma associada, destacam-se a pesca predatória, a ocupação costeira e a exploração turística desordenada em franco processo de expansão (Amaral, 2005). No entanto, atividades pesqueiras, já tradicionais, e turísticas, representam as principais fontes de recursos da população local. A situação é agravada pela falta de informações necessárias a um efetivo manejo, embora já desponham pesquisas isoladas, que discutem a sustentabilidade da região.

Segundo Hill e Wilkinson (2004), o conhecimento das características espaciais de uma área é um pré-requisito para qualquer estudo envolvendo o meio ambiente e o seu uso racional e sustentável. Na facilitação rápida deste conhecimento, alguns autores utilizam o mapeamento como forma de melhor caracterização das respostas geoespaciais (Hill e Wilkinson, 2004; English *et al.*, 1997).

Considera-se mapeamento como o processo de coleta, avaliação, representação e comunicação de dados e informações espaciais (feições naturais e artificiais) envolvendo na maioria das vezes, ferramentas de geoprocessamento. Sua materialização se dá através de mapas, que constituem importante ferramenta de diagnóstico ambiental e socioeconômico. O mapeamento constitui o passo imediatamente anterior ao monitoramento e, dentre outras coisas, deve permitir a seleção das áreas para o estudo mais detalhado.

O mapeamento e o estudo da evolução dos recifes de corais através do emprego de imagens de sensores orbitais surgiram ao mesmo tempo em que foram lançados os primeiros satélites ambientais na década de 70. Nos anos 80 e 90, alguns trabalhos (Vianna e Solewicz, 1988; Vianna *et al.*, 1989; Solewicz, 1989; Vianna *et al.*, 1991; Vianna *et al.*, 1993; Testa *et al.*, 1997; Testa e Bosence, 1999), introduziram, o uso de imagens de satélite para a compreensão de estruturas regionais, seguida de verificação de campo, através de mergulho autônomo. Prates (2003), alerta que são raros os mapas com localização e área de cobertura dos complexos de corais, devido à impossibilidade de se utilizarem técnicas tradicionais de sondagem nas extensas regiões rasas em que os recifes ocorrem. Uma parcela significativa dos recifes da costa brasileira ainda não está mapeada, principalmente os recifes calcários não emergentes da região norte e nordeste (Testa, 1997; Spalding *et al.*, 2001; Moura, 2003), como por exemplo os Recifes João da Cunha e adjacências, localizados em frente a município de Areia Branca (RN) até a divisa com o Estado do Ceará. Esta área é o maior recife do norte do Brasil e até o estudo de Moura (2003), jamais

havia sido visitado por uma expedição científica. Os trabalhos exploratórios executados até o momento na região da APARC e a determinação de alguns parâmetros físicos (Testa, 1997; Feitoza *et al.*, 2001; Lima, 2002; Amaral, 2005; Santos *et al.*, 2007; Henriques, 2008) permitem a teoria da necessidade de níveis de mapeamento mais detalhado para a área de estudo.

Focando nisto, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar e analisar as feições geomorfológicas e da superfície bentônica, além da distribuição dos sedimentos biogênicos encontradas no Parracho de Rio do Fogo-RN e plataforma rasa associada, com o uso integrado de diversos tipos de produtos de sensores remotos em plataformas orbitais e subaquáticas, a aquisição e desenvolvimento de metodologia inovadora, para o mapeamento e estudo da geomorfologia de complexo coralíneos, na plataforma continental rasa no Nordeste Brasileiro. Tornando possível determinar indicadores geográfico-geológicos e biofísicos de ameaças ao ecossistema, à medida que foi gerado, analisado e disponibilizado um conjunto de dados e informações atualizados para a comunidade técnico/científica, subsidiando, futuras ações de gestão e manejo.

A presente dissertação é composta por mais quatro capítulos: *Referencial Teórico (Capítulo 2)*, o qual apresenta os principais conceitos norteadores da temática; *A distribuição espacial dos sedimentos biogênico na área de estudo (Capítulo 3)*, o qual apresenta um artigo envolvendo o mapeamento submerso na distribuição dos sedimentos biogênicos, abordando sensoramento remoto e dados geológicos marinhos; *O mapeamento de recifes de corais abordando sensoramento remoto e abordagens in situ (Capítulo 4)*, o qual apresenta um artigo envolvendo técnicas de sensoramento remoto e validações no terreno no mapeamento de corais; e por fim as *Considerações Finais (Capítulo 5)*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar e analisar as feições geomorfológicas e da superfície bentônica, além da distribuição dos sedimentos biogênicos encontradas no Parracho de Rio do Fogo-RN e plataforma rasa associada, a partir da utilização de produtos de sensores remotos e coletas de dados *in situ*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da geomorfologia submersa na distribuição espacial dos sedimentos biogênicos, na fração cascalho fino a areia muito grossa, encontrados na plataforma continental rasa, a partir da interpretação de imagens de satélite e dados batimétricos;
- Realizar um mapeamento das principais feições geomorfológicas e da superfície bentônica do Parracho de Rio do Fogo, integrando sensoriamento remoto e coleta de dados *in situ*.

1.3 Área de Estudo

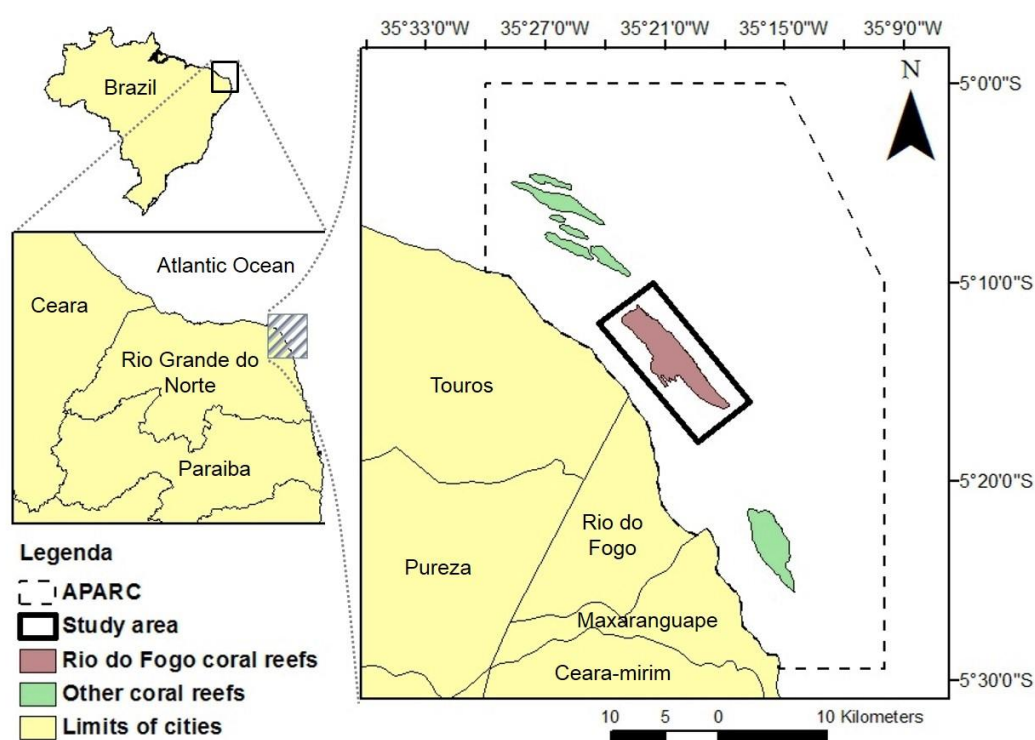


Figura 1.1. Localização da área de estudo e delimitação da APARC.

A área de estudo tem aproximadamente de 90 km². Localiza-se na costa nordeste do estado do Rio Grande do Norte (figura 1.1) e está inserida na Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC). A APARC envolve toda a região marinha com profundidade de até de 25 metros, e abrange as faixas costeiras dos municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. Nesta área se destacam os complexos de corais, que são corpos rasos, com trechos intermareais, formados principalmente por bioconstruções de algas e corais em um fundo de lama e areia carbonáticas além de rodólitos. Estes corpos estão alinhados paralelamente à linha de costa, e são chamados localmente de “Parrachos”. Esses corpos crescem sobre um fundo duro,

provavelmente linhas de arenito (Branner, 1904; Amaral, 2002), relacionadas às antigas linhas de costa (Santos *et al.*, 2007).

A região continental adjacente à área de estudo encontra-se sob o regime climático tipo As', "quente e úmido" segundo a classificação de Köppen (Köppen, 1918), tendo como característica principal uma estação chuvosa, que inclui os meses de fevereiro até julho, e uma estação seca, com estiagem mais rigorosa entre outubro e dezembro (Carneiro, 2011). Essas variações climáticas podem ser explicadas pela movimentação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), em que o período de seca se relaciona com seu afastamento da costa, provocando a ausência de chuvas e o domínio dos ventos fortes, enquanto os períodos chuvosos ligam-se ao seu deslocamento para o sul, relacionando-se com ventos mais brandos (IDEMA, 2002). A região em continental também, possui uma precipitação pluviométrica anual em torno de 1600 mm por ano, com temperatura mínima em torno de 20°C, média de 27°C e máxima de 32°C, umidade relativa do ar atingindo em média 76,5% e direção de ventos predominantes de sudeste (Nimer, 1989). O padrão climático local se deve em grande parte a influência das massas de ar do Oceano Atlântico e dos ventos alísios de SE (Silva, 2002). Hazin *et al.* (2008), estudando as condições de correntes marítimas na região de transição entre os litorais oriental e setentrional do Rio Grande do Norte, verificaram que a velocidade das correntes superficiais varia entre 1,39cm/s e 24,92cm/s, com valor médio de 6,32cm/s. A temperatura superficial da água do mar varia de 26,5 °C no período de inverno a 28,5 °C no período de verão (Servain *et al.*, 1990), e a salinidade varia entre 36 e 37 ‰ (Testa, 1996). A direção predominante da corrente nos períodos de maior intensidade foi para NW. O clima de ondas característico para o setor que abrange a área de estudo é definido por altura significativa de 1,0 m e período de 5 segundos para ondas incidentes de ENE e 1,5m e 6,5 segundos de período para ondas de SSE (Bittencourt *et al.*, 2002). A região possui um regime de maré semidiurna, com uma amplitude média aproximada de 1,5m, podendo chegar a 2,2m, nas marés de sizígia, e de acordo com Hayes (1979), pode ser classificada como uma costa de meso-maré. A turbidez da água é geralmente alta, principalmente na época chuvosa, porém com alta visibilidade nas estações de primavera e verão (Outubro a Março). A turbidez é natural e consequente da ação dos ventos e/ou correntes de maré que causam a suspensão de partículas (Maida e Ferreira, 1997). As atividades pesqueiras, já tradicionais, e turísticas, representam as principais fontes de recursos da população local (Amaral, 2005).

CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Plataforma Continental Rasa

A plataforma continental representa a extensão submersa dos continentes. Normalmente apresenta gradientes suaves, inferiores a 1:1000, desde a linha de praia (ou linha de costa) até uma região de aumento substancial do gradiente topográfico, chamada quebra da plataforma continental (topo do talude continental) que se situa em profundidades médias globais de 130 metros (figura 2.1). Algumas plataformas são bastante largas, especialmente nas margens passivas, mas suas larguras variam de poucos quilômetros a mais de 400 km, sendo a média global de 78km. Sua área representa menos do que 8% da área total dos oceanos (Baptista Neto e Silva, 2004).

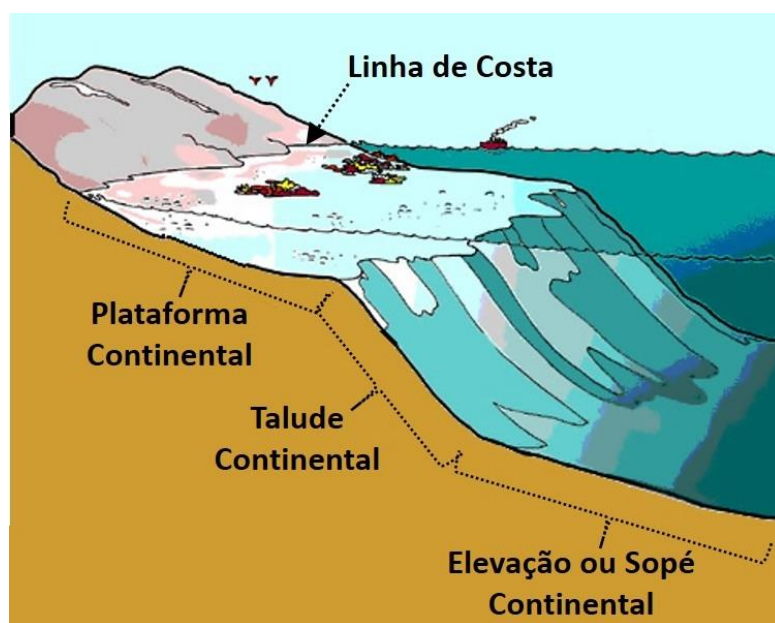


Figura 2.1. Esboço em perfil de uma plataforma continental hipotética.

As variações de relevo ao longo das plataformas continentais são relativamente pequenas, da ordem de 20 metros na média. Sua topografia atual é resultante do efeito cumulativo de erosão e sedimentação relacionada a numerosas oscilações do nível do mar no último milhão de anos (Baptista Neto e Silva, 2004). Devido ao fato de que estes ambientes representam áreas afetadas pelas oscilações do nível do mar no Período Quaternário é que surge a importância desta região submersa no estudo da evolução litorânea, pois é esperado que, abaixo da atual coluna de

água, possam ser observados testemunhos de feições emersas no passado (Amaral, 2000). Logo, as estruturas submersas observadas constituem importantes informações sobre o mecanismo de evolução da zona litorânea, nos últimos milhares de anos. Por outro lado, a plataforma continental apresenta um considerável desequilíbrio entre os sedimentos de fundo encontrado e os processos hidráulicos atuais, fato que torna ainda mais complexa a determinação de sua história.

Durante a regressão marinha, há cerca de 18.000 anos antes do presente, o nível do mar se encontrava aproximadamente a 110 metros abaixo do atual, tornando emersa quase toda a plataforma continental brasileira. A plataforma era então recortada pelos cursos fluviais, esculpindo canais até hoje presentes na topografia da plataforma rasa (Solewicz, 1989; Gomes *et al.*, 2007; Tabosa *et al.*, 2007; Vital *et al.*, 2008).

A quebra da plataforma demarca fisiograficamente, o limite entre a plataforma continental e o talude superior, sendo uma proeminente feição morfológica da margem continental. Segundo Zembruski *et al.* (1972) a quebra da plataforma pode apresentar-se de diferentes formas, entre elas em degraus irregulares – no caso de carbonatos ou rochas duras aflorantes.

A plataforma continental nordestina possui, em média, 40 km de largura. Os rios mais importantes que nela desembocam são o Jaguaribe, com 450km e o São Francisco, com 2700km de extensão. Uma das características marcantes da plataforma continental na Região Nordeste do Brasil é o predomínio de uma fácies carbonática, notadamente no setor situado entre Macau, no Rio Grande do Norte, e Maceió, em Alagoas (Santos, 2010). Os sedimentos que constituem o substrato desta plataforma exibem um nítido limite entre as areias quartzosas terrígenas litorâneas e os depósitos carbonáticos de algas coralinas, identificado pela presença de *lithothamnium*, em formas livres e ramificadas (Coutinho e Moraes, 1970).

No Rio Grande do Norte, a quebra da plataforma pode distar até cerca de mais de 50 km do continente, o que ocorre à frente da cidade de Touros, na extremidade nordeste do litoral. No Rio Grande do Norte a plataforma continental está dividida em dois setores (figura 2.2):

- a) Plataforma setentrional, com orientação leste-oeste;
- b) Plataforma oriental, com direção norte-sul.



Figura 2.2. Divisão teórica da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte.

A parte setentrional da plataforma continental rasa é intensamente estudada, devido a exploração petrolífera na região. Por outro lado, a porção oriental da plataforma é um ambiente ainda pouco explorado cientificamente.

A plataforma continental, ao longo do litoral oriental Potiguar, apresenta largura variável, sendo mais ampla na região da Ponta do Calcanhar, tornando-se mais estreita ao sul na plataforma de Natal e, em seguida, gradativamente se amplia até a localidade de Guaju, fronteira com a Paraíba. A linha de quebra desta plataforma se situa normalmente entre as isóbatas de 60 e 80 metros, marcado pelo abrupto aumento da declividade verificado com o início do talude (França, 1979).

Estudos recentes na plataforma continental oriental do Nordeste foram desenvolvidos com o objetivo de caracterizar a composição e configuração deste ambiente, utilizando diferentes métodos de obtenção e interpretação de dados. Alguns trabalhos realizados nessa região tiveram como objetivo disponibilizar, por exemplo, mapas temáticos apresentando e descrevendo a geomorfologia e a composição da plataforma oriental do Rio Grande do Norte (Vianna e Solewicz, 1988; Solewicz, 1989; Vianna *et al.*, 1989; Vianna *et al.*, 1991; Vianna *et al.*, 1993; Testa, 1996; Testa, 1997; Testa *et al.*, 1997; Santos, 1998; Testa & Bosence, 1998; Testa & Bosence, 1999; Amaral, 2000; Lima & Amaral, 2001; Amaral, 2002; Lima, 2002; Amaral, 2005;

Lima *et al.*, 2005; Santos, 2006; Santos *et al.*, 2007; Tabosa *et al.*, 2007; Henriques, 2008; Queiroz, 2008; Nogueira & Amaral, 2009; Oliveira *et al.*, 2009; Santos, 2010; Araújo Filho, 2011). Testa & Bosence (1999) descreveram um campo com formas de leito longitudinais, identificaram como sendo composto por faixas de areias com comprimentos entre 5 e 10 quilômetros e larguras inferiores a 100 metros.

2.2 Os Recifes de Corais

Os recifes de corais são construções biogênicas que geram grandes quantidades de estruturas de significado geológico. Podem ser caracterizados pela natureza dos organismos dominantes que os construíram (algas, estromatoporoides, ruditos e corais, por exemplo) ou pelas suas morfologias (atol, barreiras, faro, franjas de corais entre outros), modelados por fatores ambientais (Wright e Burchette, 1996).

Um recife de coral, sob o ponto de vista geomorfológico, é uma estrutura rochosa, rígida, resistente à ação mecânica das ondas e correntes marinhas, e construída por organismos marinhos (animais e vegetais) portadores de esqueleto calcário (Leão, 1994). Os recifes de coral estão entre os mais complexos e produtivos ecossistemas da Terra, sendo detentores de riqueza e diversidade biológica comparáveis às florestas úmidas tropicais (Connell, 1978; Porter, 1976). Eles abrigam $\frac{1}{4}$ de todas as espécies marinhas e são considerados os ecossistemas marinho de maior produtividade, apesar de ocuparem apenas 0,02% dos oceanos. Há estimativas de ocorrência de 600.000 a 9 milhões de espécies recifais (Knowlton, 2001), entre cnidários, crustáceos, moluscos, algas e peixes.

Os recifes de corais são privilégios dos mares tropicais e patrimônio de poucos países no mundo, distribuindo-se em águas rasas e oligotróficas, entre as latitudes de 30° norte e sul (figura 2.3). Estes mares tropicais oferecem condições favoráveis à vida de organismos coloniais de águas rasas, construtores de edifícios calcários com a forma de elevações mais ou menos retilíneas ou circulares em planta (Mendes, 1984).

As maiores províncias biológicas de recifes de coral estão no Indo-Pacífico, que apresentam cerca de 85% dos recifes do mundo e uma proporção similar na biodiversidade recifal (Buddemeier *et al.*, 2004). No Atlântico, a maior biodiversidade recifal é registrada nos recifes de coral do Caribe, onde ocorrem mais de 60 espécies de corais.

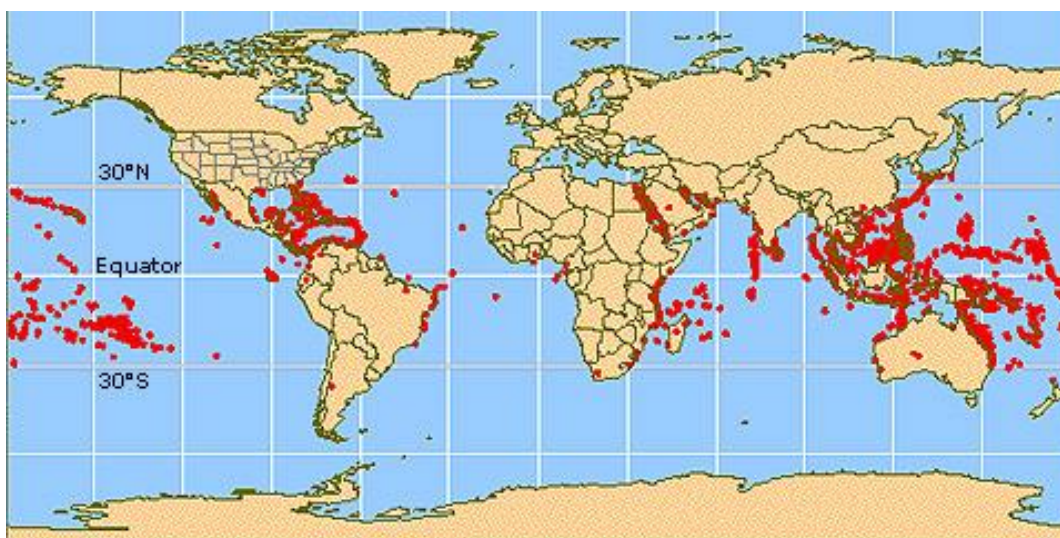


Figura 2.3. Os pontos vermelhos no mapa mostram a localização dos recifes de corais no mundo. Estes ocorrem normalmente entre 30°N e 30°S. Fonte: Adaptado de NOAA (2008).

Segundo Moreira (2008), uma das características dos recifes de coral é o fato de sua comunidade bentônica ser suportada por estruturas calcárias biogênicas. A estrutura tridimensional gerada pelo substrato calcário promove uma grande quantidade de abrigos para diversas espécies que compõem a comunidade recifal. As inúmeras interações entre os organismos recifais e o ambiente, resultantes dessa característica, não são comparáveis a nenhum outro ecossistema marinho (Smith e Buddemeier, 1992). Os maiores construtores recifais são os corais e algas coralíneas, que secretam carbonato de cálcio e promovem construção e manutenção da estrutura calcária dos recifes (Porter, 1976). Outro importante grupo são os peixes, que, em diferentes níveis tróficos (herbívoros ou predadores), representam o maior condutor do fluxo energético nos recifes (Belwood *et al.*, 2004). Os grupos representados pelos construtores e peixes são vitais para a manutenção da estrutura e função dos recifes de coral.

Numerosos fatores abióticos controlam a distribuição e diversidade das espécies coralíneas, incluindo a disponibilidade de luz, correlacionada com a profundidade e turbidez da água, a sedimentação, temperatura, energia de onda, disponibilidade de nutrientes, mortalidade causada por tempestades ou exposição devido a variações da maré (Huston, 1985). Estudos que correlacionam variações de fatores físicos com a diversidade e composição de espécies de corais concluíram que o ambiente recifal é extremamente heterogêneo e que a comunidade dos organismos coralíneos é determinada, não somente por parâmetros físicos, mas também pelo tamanho dos habitats e complexas interações bióticas (Knowton, 2001).

O crescimento dos corais pode produzir em grande escala, complexos recifais resistentes às ondas, anti-recife (*Fore reef*), recife frontal (*Reef front*) (figura 2.4). As manchas recifais menores, podem se desenvolver em águas rasas de grandes plataformas e atóis ou em partes mais rasas da plataforma (Burchette e Wriath, 1992).

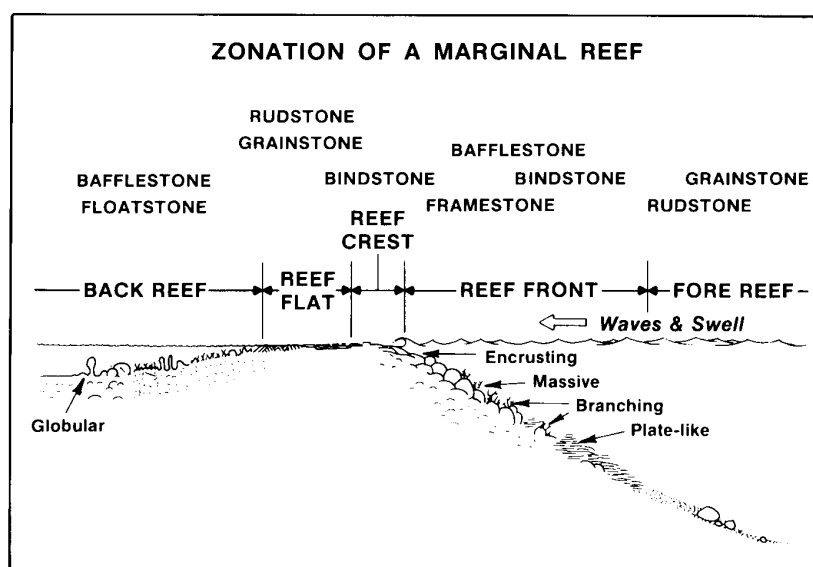


Figura 2.4. Ilustração hipotético do comportamento morfológico dos recifes de corais. Adaptado de Wriath e Burchette (1996).

A profundidade das águas é o maior controlador na distribuição de algas calcáreas, ou organismos, como os corais hermatípicos que são, até certo grau dependente da associação com determinadas algas fotossintetizadoras que precisam da luz solar (Wriath e Burchette, 1996). De acordo com Gomes *et al.* (2001), os corais hermatípicos são organismos que se reproduzem apenas em águas quentes, em um estreito limite de temperatura. Muitos recifes exibem biota proeminente e zanação sedimentológica que é controlada pela mudança na energia das ondas, intensidade da luz, grau de exposição, taxa de sedimentação e o teor de nutrientes deve ser baixo.

A elevada produtividade associada a recifes coralíneos tem uma importância singular como fonte de recursos pesqueiros para as comunidades costeiras, além de representarem barreiras naturais de proteção à costa da ação das ondas, fonte de farmacoterápicos e áreas para o turismo marinho. Apesar da grande importância ecológica e econômica, os recifes de coral estão submetidos a diversos fatores que ameaçam sua vitalidade e biodiversidade (Hoegh-Guldberg, 1999; Moreira e Reuss-Strenz, 2009). Estudos recentes, coordenados pelo *World Resources*

Institute (WRI) (Burke *et al.*, 2011), organização não governamental na área ambiental fundada em 1982 e sediada em Washington (EUA), que monitora os recifes de corais, reforça que os recifes de corais estão atualmente sentindo altas temperaturas e acidez do oceano do que em qualquer outro momento, pelo menos nos últimos 400.000 anos. Se este panorama continuar, todos os corais provavelmente estarão ameaçados em 2050, com 75% enfrentando altos níveis de ameaça crítica. O mesmo relatório da WRI, oferece motivo para esperança: os recifes de todo o mundo têm demonstrado uma capacidade de se recuperar de danos, mesmo em casos extremos, enquanto que é dever da gestão ambiental, proteger os recifes e auxiliar a recuperação de algumas áreas. Esses fatores corroboram mais ainda, a importância de estudos aprofundados sobre os recifes de corais, principalmente quando esse ambiente vem sofrendo risco de degradação ambiental, tanto do ponto de vista biótico quanto abiótico.

No Brasil, os recifes de coral ocorrem desde o litoral do Maranhão (cerca de 01° S) até o sul da Bahia (cerca de 18°S) e em ilhas oceânicas como Atol das Rocas e Fernando de Noronha. Os recifes de coral brasileiros formam estruturas consideravelmente diferentes dos modelos recifais do Caribe e Indo-Pacífico, em função da composição e geomorfologia que apresentam (Leão *et al.*, 2003). Uma das principais características dos recifes brasileiros é a ocorrência de construções carbonáticas a partir da deposição de algas calcárias e gastrópodes vermetídeos (Laborel e Kempf, 1967). A fauna coralínea brasileira é representada por poucas espécies e um alto grau de endemismo (Maida e Ferreira, 1997; Leão *et al.*, 2003). Segundo Prates (2003), das 350 espécies existentes de corais no mundo, pelo menos 20 espécies (de corais verdadeiros e hidrocorais) foram registradas pelo Brasil, sendo que oito são endêmicas, ou seja, encontra-se apenas nos mares brasileiros.

Os bancos recifais costeiros estão em regiões com elevada concentração de sedimento siliclásticos e lama em suspensão. Esta característica atribui aos corais construtores dos recifes brasileiros uma resistência a altas taxas de sedimentação e turbidez da água (Leão *et al.*, 2003). A maioria das formações recifais ao longo da costa exibe o mesmo padrão de zonação, composta por uma crista de algas calcárias e vermetos, no recife intermareal, uma zona de *Palythoa* e *Millepora* imediatamente após a crista algal, uma zona de *Mussismilia* spp. na seção intermediária da parede recifal, seguida por uma zona de *Montastrea cavernosa* na parede inferior (Maida e Ferreira, 1997).

Segundo Leão *et al.* (2003) *apud* Moreira (2008), os recifes de coral do Brasil se distinguem em costeiros e oceânicos. Dentre os costeiros, se diferenciam os adjacentes à costa e os isolados. Os primeiros podem ser recifes em franja que bordejam a costa continental e de

ilhas, e podem alcançar a extensão de quilômetros, ou bancos recifais de menores dimensões adjacentes à praia. Os recifes afastados da costa são subdivididos em vários tipos: cômoros (*knoll*), que atingem poucos metros de diâmetro e altura; canteiros (*patch reefs*), com dimensões laterais de dezenas de metros, sempre superiores às suas alturas; bancos recifais, cuja estrutura apresenta dimensão horizontal de cerca de 50m a quilômetros; e pináculos, com alturas de 5 a 25m e até 50m de diâmetro do topo, os quais podem ser colunares (largura do topo e da base semelhante), ou os denominados chapeirões, cuja base é estreita e o topo alargado) (Figura 2.5).

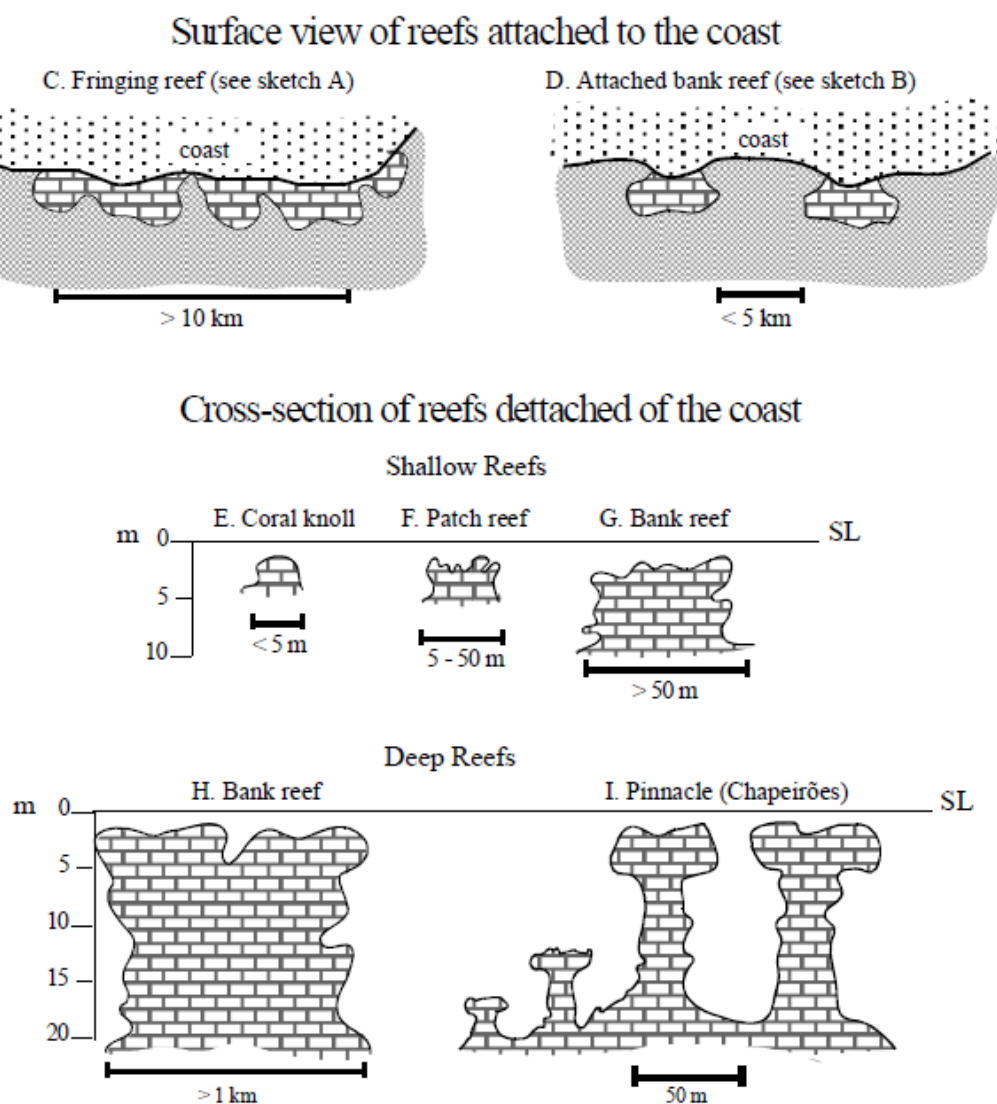


Figura 2.5. Esboço dos principais tipos de recifes encontrados na costa brasileira.

SL: *Sea Level* (Nível do mar). Fonte: Leão *et al.* (2003).

Laborel (1967, 1969) descreve o complexo recifal do Nordeste do Rio Grande do Norte, como um grupo de recifes de forma oval, localizados a alguns quilômetros para fora da costa, constituindo-se em estruturas simples, formadas em geral por numerosos pináculos num fundo arenoso raso e número reduzido de espécies. Leão *et al.* (2003), comenta que geralmente os recifes de corais, pertencentes a região em estudo, apresentam orientação NW-SE, com extensão de 8 a 12 km, paralelos à linha de costa e apresentam-se como conjunto de cômoros (*knoll*) e de canteiros (*patch reefs*).

No Rio Grande do Norte foi criada a Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC), esta área corresponde à região marinha que abrange a faixa costeira dos Municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. Trata-se de uma área composta por águas límpidas na maior parte do ano, e nesta área, dentre as suas feições mais importantes destacam-se os baixios (ou parrachos) de Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba. Nessa região, poucos estudos foram desenvolvidos, destacando-se os de Srivastava e Corsino (1984), Vianna *et al.* (1993) e Testa e Bosence (1999).

Testa e Bosence (1999), utilizando imagens do sensor TM/Landsat-5, para estudo voltado ao mapeamento de zonas da plataforma interna, com base na morfologia de fundo oceânica, para investigações oceanográficas. Estes autores sugeriram com o auxílio das imagens, seis divisões para as zonas sedimentares desta região, denominadas de Zona Costeira, Zona Sub-Litorânea de Turbidez, Zona de Faixa de Areia, Zona de Duna sub-Aquosa, Zona de Estabilização Algal e Zona de Sedimentos Litificados. Todas estão aproximadamente paralelas à linha de costa atual na margem interna desta plataforma.

Historicamente, os recifes de corais localizados na atual APARC foram palcos de vários naufrágios. Segundo Medeiros (2014), através de relatos existentes em jornais antigos conseguiu informações sobre oito naufrágios ocorridos entre 1840 e 1898 de diferentes nacionalidades, transportando mercadorias variadas, provavelmente ainda latente na mente e na tradição oral dos pescadores de Maracajaú e Rio do Fogo. Um grande relato é a do naufrágio do velho brigue inglês *Orion*, há quase 174 anos, de 198 toneladas, que bateu e afundou nos recifes de corais diante da praia potiguar de Rio do Fogo, onde nesta época já existia um povoado de pescadores (figura 2.6).

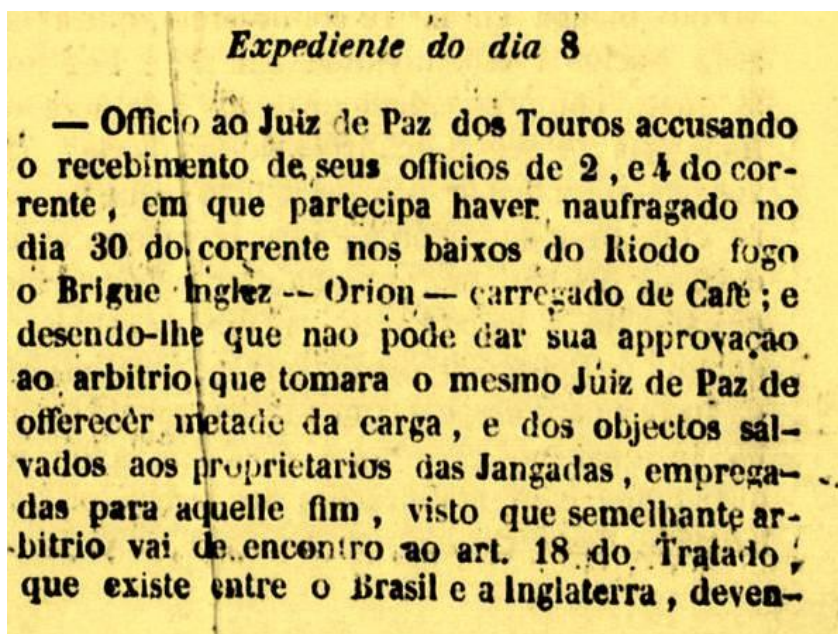


Figura 2.6. Trecho relatando um dos naufrágios na área de estudo, extraído de um jornal regional. Fonte: Medeiros (2014).

2.3 A sedimentação carbonática em recifes de corais

Os recifes são constituídos principalmente por algas e corais. As algas vermelhas calcárias podem ser de igual ou maior importância, sobretudo na face marinha do recife, uma vez que são mais aptas a tolerar a ação das ondas. Essas algas contribuem, não somente para a estrutura do recife, como também para sua produção primária (Odum, 1971). O sedimento produzido pelas algas calcárias e animais com conchas ou esqueletos calcários contribuem diretamente na composição das partículas do sedimento.

O crescimento da maioria das algas é muito rápido e pode "abafar" o crescimento dos corais e outros organismos sésseis caso não haja limitações nos nutrientes disponíveis no ambiente ou se grandes consumidores de algas não estejam presentes (Hubbard, 1997). A taxa de crescimento das algas coralinas é diretamente proporcional ao aumento da temperatura das águas (Coutinho, 1981). A profundidade e a turbidez do oceano influenciam na intensidade de luz. Na chamada "zona de saturação de luz" (faixa entre 10-20m), ou seja onde a luz não é inibidora nem limitante, a luz pouco influencia na produção orgânica neste espaço de profundidade, pois as taxas de fotossíntese são, via de regra, limitadas por processos enzimáticos ligados à fase escura da fotossíntese (Reading, 1996).

Sedimentos carbonáticos costeiros são modificados e depositados por uma ampla cadeia de organismos não calcários, na qual os efeitos são quebras, re-distribuição ou re-texturização do

sedimento. Substratos carbonáticos podem ser enfraquecidos ou mesmo destruídos por uma variedade de organismos incluindo micro-esponjas, algas, fungos, e pastagem de organismos maiores, raspadores e comedores de rocha carbonática. Estas bio-erosões são fatores críticos na destruição de recifes. Depósito, resultante da alimentação de organismos comumente agregados às lamas carbonáticas de pelotas fecais, é outro componente relevante dos depósitos carbonáticos. Organismos escavadores são importantes na mistura dos sedimentos e mudança do ambiente deposicional original (Reading, 1996).

Costa Neto (1997), trabalhando ao norte do Estado do Rio Grande do Norte, em frente à cidade de Macau, indica que a composição dos sedimentos presentes nesta plataforma é predominante de algas calcárias e areia bioclástica a litoclástica.

2.4 O mapeamento Geoambiental

Em todas as atividades humanas, o início do século XXI é marcado pela busca da sustentabilidade. Ou descobrimos e colocamos em prática procedimentos mais racionais de usar os recursos naturais, ou teremos cada vez mais desequilíbrios climáticos, poluição do ar, das águas e dos solos e uma consequente baixa da qualidade de vida de um número cada vez maior de pessoas. Neste cenário, a Geologia Ambiental ou Geoambiental tem uma importante contribuição a dar a sociedade.

Geologia Ambiental é a geologia aplicada ao meio ambiente, consistindo no estudo dos problemas geológicos decorrentes da relação entre o homem e a superfície terrestre. Este campo das geociências vem tendo um grande avanço nos últimos 20 anos, em face da efetiva contribuição no desenvolvimento sustentável do Planeta. A geologia ambiental interage com a geografia, a biologia, a geomorfologia, a agronomia, a química, a medicina e outras ciências para estabelecer e definir os relacionamentos entre os diversos meios que integram os sistemas da paisagem. Sua importância está diretamente relacionada à capacidade de apoio à gestão ambiental e ao planejamento e ordenamento territorial.

O termo geoambiental, adotado pela União Internacional de Ciências Geológicas (*International Union of Geological Sciences* – IUGS), foi criado para denominar a atuação dos profissionais das geociências em meio ambiente. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando a cartografia, que inclui o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Portanto, a incorporação do termo geoambiental amplia o campo de atuação profissional e favorece a integração de especialistas e de experiências de áreas afins.

Segundo Vedovello (2004), a cartografia geoambiental pode ser entendida de forma ampla, como todo o processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o ambiente fisiográfico.

Um mapeamento geoambiental é executado quando se definem atributos específicos para as zonas estudadas e delineadas do terreno, que apresentam comportamentos similares (zonas homólogas) (Fonseca 2004).

Na análise geoambiental, a “unidade geoambiental” ou “paisagem” é a unidade de investigação essencial. Ela é a representação da dinâmica e das interrelações do geossistema, que lhe dá uma feição particular (Troppmair e Galina, 2006). Para Bertrand (1972) a paisagem consiste em uma unidade espacial com características específicas decorrentes das combinações dinâmicas dos fatores físicos, biológicos e antrópicos, de modo a construir uma unidade singular e em constante evolução. Deste modo, em alguns casos, como na região submersa da APARC, as paisagens naturais resultam da remodelação pela exploração antrópica.

O Zoneamento Geoambiental, segundo Cardenas (1999), é utilizado no diagnóstico integrado da paisagem, o qual caracteriza, descreve, classifica, sintetiza e espacializa diferentes unidades de paisagem natural, identificando suas potencialidades e restrições de uso, onde a análise fisiográfica constitui a base para o conhecimento inicial da paisagem.

Christofolletti (2007) conclui que uma unidade geoambiental é uma unidade natural, que pode ser definida no espaço, caracterizado como um sistema aberto, não homogêneo e com morfologia, funcionalidade e comportamentos específicos que lhe dão integridade.

Os Estudos Geoambientais vem sendo atualmente cada vez mais usados em projetos de levantamentos de dados ambientais do meio biofísico, principalmente quando eles estão inseridos no meio sócio-econômico, como é o caso da área deste trabalho. Além disso, independente dos dados existirem em diversas escalas, eles podem ser agrupados numa base única, promovendo uma visão integrada dos elementos naturais no espaço geográfico (Fonseca, 2004).

Quando o interesse é ter “em mãos” a Gestão do espaço físico para o seu planejamento, inclusive de detalhe e tomada de decisões, necessita-se dispor de informações sobre os componentes abióticos e bióticos (rochas, relevo, solos, clima, hidrografia e vegetação) para integrá-los num mapa único. Isto evita a dispersão de dados e a dificuldade em correlacioná-los,

como acontece quando se tem vários mapas temáticos e que além disso, são geralmente caros e demorados de serem produzidos.

Segundo Leite *et al.* (2003), o mapeamento geoambiental de uma determinada região pode resultar em grande desenvolvimento local, uma vez que é possível estimar o comportamento das feições presentes, direcionando e subsidiando as tomadas de decisões.

2.5 O Sensoriamento Remoto em estudos geoambientais submersos

Segundo Lillesand & Kiefer (1994), Sensoriamento Remoto é a ciência e arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados obtidos por um artifício que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sobre investigação. O sensoriamento remoto pode ser aplicado em diversos estudos que requeiram mapeamento dos recursos ambientais, tanto para exploração quanto para preservação. Pode-se citar, como exemplo, o seu uso em mapeamento de habitantes bentônicos em ambientes costeiros, bem como na verificação da dinâmica e evolução costeira.

A geometria em plano, de feições subaquáticas em plataformas rasas, é discutida por Stride (1982). As marcas de fundo, produzidas principalmente por correntes de maré, são interpretadas à luz de vários modelos propostos. Neste caso, são utilizadas as informações obtidas principalmente a partir de sísmica de alta resolução sobre os fundos estudados. Os estudos de Polcyn, (1976), Polcyn e Rollin (1969), Lysenga (1981), dentre outros, têm outra aproximação com o uso das imagens orbitais, entretanto obtêm resultados extremamente satisfatório no mapeamento de ambientes submerso. No estado do Rio Grande do Norte, alguns trabalhos desenvolvidos em ambientes submersos, utilizaram técnicas de sensoriamento remoto no auxílio do mapeamento geoambiental. Destre esses, destacam-se os trabalhos de Vianna e Solewicz (1988); Vianna *et al.* (1989); Solewicz (1989); Vianna *et al.* (1991); Vianna *et al.* (1993); Testa *et al.* (1997); Testa e Bosence (1999); Feitoza *et al.* (2001); Lima (2002); Amaral (2005); Santos *et al.* (2007); Tabosa *et al.* (2007); Henriques (2008); Oliveira *et al.* (2009); Santos (2010) e Araújo Filho (2011).

Da radiação que atinge a superfície da água, parte penetra e parte é refletida, voltando para a atmosfera. A quantidade de radiação refletida depende das condições da superfície da água (plana ou ondulada) e principalmente do ângulo de incidência da radiação sobre esta (Carmouze, 1994). Quando a luz se propaga na água a sua intensidade diminui exponencialmente com o aumento da profundidade e concentração de material em suspensão. Este processo é conhecido como atenuação e exerce efeitos profundos sobre os dados de sensoriamento remoto

para ambientes aquáticos. A gravidade da atenuação varia com o comprimento de onda da radiação eletromagnética. Na região do visível, o espectro vermelho atenua mais rapidamente em relação ao comprimento de onda do azul. Conforme a profundidade aumenta, a possibilidade de separar os espectros de habitat diminui (Lozano, 2003).

Segundo Lozano (2003), as respostas espectrais de fundos arenosos a uma profundidade de 2 metros serão muito diferentes das respostas a 20 metros. De fato, a assinatura espectral de areia muito fina a 20 metros, pode ser semelhante ao de capim do mar a 3 metros. As respostas espectrais registradas por um sensor são dependentes da reflectância do substrato e da profundidade.

Esta influência pode dificultar a interpretação visual ou classificação multiespectral para mapear o ecossistema. A maioria dos exercícios feitos para mapear ecossistemas marinhos, refere-se apenas aos mapas de características bentônicas, úteis para evitar dificuldades devido à influência da profundidade da água. Esta técnica descreve métodos avançados para compensar profundidade variável, mas só pode ser aplicada em águas límpidas de ambientes de recifes de corais (Green *et al.*, 2000).

A reflectância do fundo não é diretamente observada pelo sensor em órbita, uma vez que é modificada pelos efeitos de absorção e dispersão da coluna de água. No geral, as interações fundamentais da luz com o ambiente aquático são: a) a reflexão na superfície da água da luz incidente, b) a refração da luz incidente sobre a superfície da água, c) absorção pela água e dispersão ascendente causada pelo fitoplâncton, d) a dispersão pelos materiais inorgânicos em suspensão, e) a reflexão do fundo e a dispersão ascendente pelas moléculas de água (Lozano, 2003).

A transparência dos corpos de água varia em diversas escalas. Por exemplo, muitas zonas costeiras apresentam gradiente de turbidez criado pelo aumento da profundidade e redução de entrada de sedimentos de origem terrestre, tais como os rios. As plumas de sedimentos da deriva litorânea são bem marcadas pela diferença de cor entre os sedimentos em suspensão, que estão próximo à costa e o azul "oceânico" das porções mais distantes. Pode-se notar a variação da coloração azul esbranquiçada mais clara ou mais escura, dependendo da diminuição ou aumento dos períodos chuvosos (Maia e Cavalcante, 2005).

CAPÍTULO III – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SEDIMENTOS BIOGÊNICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO NORDESTE DO BRASIL¹

SPATIAL DISTRIBUTION OF BIOGENIC SEDIMENTS OF THE SHALLOW CONTINENTAL SHELF OF THE NORTHEASTERN OF BRAZIL

Paulo Victor do Nascimento Araújo^{1, 2*}, Alanny Crystiny Costa de Melo¹, Ricardo Farias do Amaral¹

¹Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGeo). Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil;

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Macau;

*E-mail: paulo.araujo@ifrn.edu.br

ABSTRACT

The Continental Shelf is an area affected by the sea level oscillations during the Quaternary period. It has great importance in the study of coastal evolution. In the shallow continental shelf of the northeastern of Rio Grande do Norte, important submerged geomorphologic features can be found from shallow regions to its edge. However, few studies have addressed the complexity of the region with its biogenic sedimentation. In this sense, the study aims to analyze the influence of submerged geomorphology in the spatial distribution of biogenic sediments, in fine gravel fraction to very coarse sand, found in the shallow continental shelf of the northeastern state of Rio Grande do Norte. An adaptation of the zoning bottom of the study area was performed, found in the literature, with the increment of the bathymetry for decision making, to correlate with the data of biogenic sediments of the region. Georeferenced collection and analysis of bottom sediment were carried out in the fine gravel fraction to very coarse sand. Then, all data were incorporated into a geographical information system. In the studied fractions, the abundances of carbonate classes were quantified and a mapping of the dominant classes was performed. In the results, five zones were determined with distinct characteristics. Each zone is associated with a distinct bathymetric pattern. The material collected and analyzed can be classified as biogenic carbonate sands, where 75% of unconsolidated material found are

¹ Artigo submetido para o periódico internacional *Continental Shelf Research* (ISSN 0278-4343).

composed by identifiable calcareous algae (green, red) and unidentifiable (ancient algae). The most abundant classes were the green algae, red algae, non-biogenic (mineral grains), the unidentifiable algae (ancient algae) and molluscs. Data showed a significant statistical difference ($p < 0.05$) among the abundance of the dominant classes, except the crystallites and molluscs, which showed the same abundances within the study area. It was noted a distinct pattern of the bioclastic sediment classes abundance between the submerged morphology of the study area.

Keywords: Sedimentary Geology, Marine Geology, Oceanography, Coastal Morphology, GIS.

3.1 Introduction

The modern continental shelves represent about 5.3% of Earth's surface. They compose a relatively shallow border around the continental areas and are characterized by very low gradients that ending abruptly at the top of the continental slope (Komar, 1976). The continental shelf of Brazilian Northeast has an average amplitude of 40km. In Rio Grande do Norte, the shelf break might be within more than 50km from the continent, which occurs in front of Touros city, or be about 20km, as occurs in front of Baía Formosa city, in its southern part (França, 1979).

Recent studies were developed in the eastern continental shelf of Rio Grande do Norte, aiming to characterize the composition and configuration of this environment, using different methods for collecting and data analysis. Recent models of marine bottom layers, in large scale, suggests that the strip of sand should occur in waters shallower than underwater dunes, due to increased hydrodynamic energy, although this is not the only control for these features formation (Ashley, 1990). Testa *et al.* (1999) suggests six structurally distinct zones in the inner shelf, which were defined through the analysis of satellite images and fieldwork. However, other criteria can be added to the ones already used, for example, the bathymetry and characteristical distribution of the bottom sediments. Thus, greater accuracy and fidelity in zoning is achieved.

According to Ginsburg (1956), sediment is produced locally and generally, and do not suffer large displacements, thus classified as autochthonous. Once the biogenic sediment is produced, the study of their compositional features and their conservation level can provide information about sediment producers in a particular location. In this sense, this study aims to analyze the influence of submerged geomorphology in the spatial distribution of biogenic sediments, in the fine gravel fraction to very coarse sand, found in the shallow continental shelf, northeastern state of Rio Grande do Norte, from the analysis of satellite images and additional information on the bathymetry of the region.

3.2 Materials and Methods

3.2.1 Study area

The study area is approximately 180km². It is located on the northeast coast of the state and involves the entire Marine Region with depths up to 25 meters, and covers the coastal areas of Maxaranguape, Rio do Fogo and Touros districts (Figure 3.1). In this area, stands out the *parrachos*, which are shallow bodies, with intertidal portions, mainly formed by bioconstructions composed by algae and corals, on a mud bottom, and carbonatic sand and rhodolith, aligned parallel to the coastline.

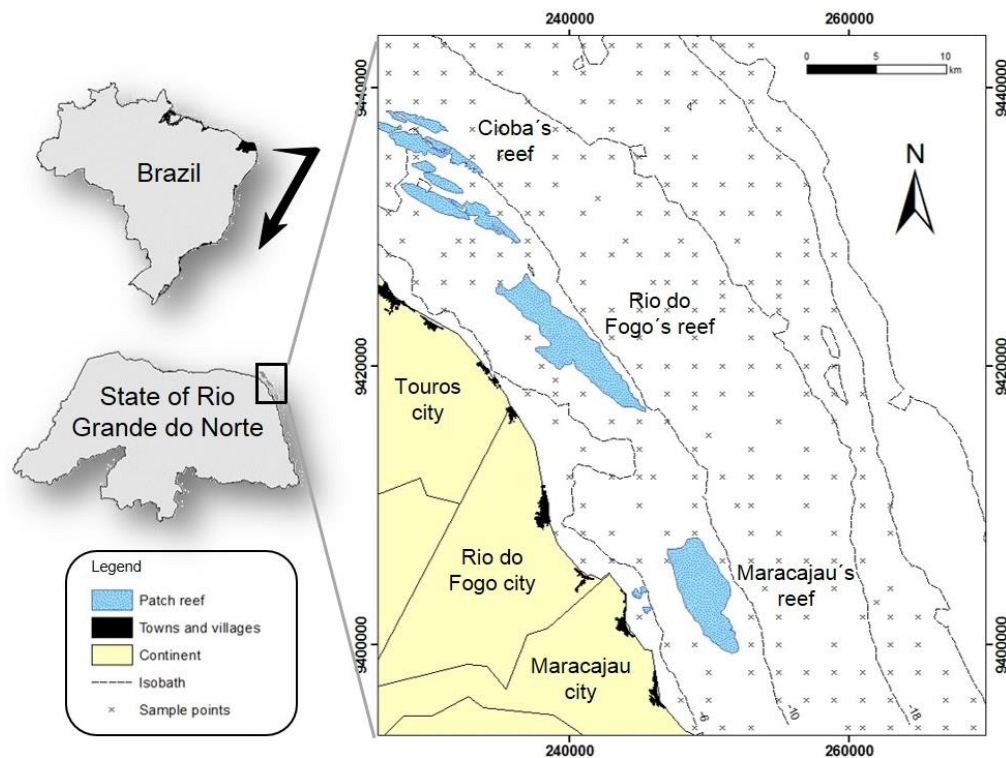


Figure 3.1. Location of study area.

The continental region, adjacent to the study area, is under the climate regime of “Af” type, “wet tropical” according to Köppen, with annual pluviometric rainfall around 1500mm per year, with minimum temperature around 20°C, average of 27°C and maximum 32°C, with the wind direction prevailing from the southeast (Nimer, 1989). The local weather patterns are due, primarily, to the impact of air masses from the Atlantic Ocean and the trade winds from the SE (Silva, 2002). Hazin *et al.* (2008), studying the conditions of marine currents in the transition region between the eastern and septentrional coasts of Rio Grande do Norte, verified that the currents speed varies between 1.39cm/s and 24.92cm/s, with an average of 6.32cm/s. The

predominant current direction during periods of high intensity was northwest. The characteristic wave climate for the sector that covers the study area is defined by significant height of 1.0m and periods of 5 seconds for incident waves of ENE and 1.5m and 6.5 seconds period for waves of SSE (Bittencourt *et al.*, 2002). The region has a semidiurnal tidal regime, with an approximate average amplitude of 1.5m, reaching 2.2m, in syzygy tides, and according to Hayes (1979), can be classified as a meso-tidal coast. The fishing activities, already traditional and touristy, represent the main funding sources of the local population (Amaral, 2005).

3.2.2 Interpolation of bathymetry data and biogenic sediments

In order to produce the digital bathymetry model we used the collected data from Granmar/RN Project (CPRM, 2012) campaigns. The Granmar/RN Project (assessment of marine granulated constituents potential) was developed through an agreement between the *Serviço Geológico do Brasil* (Brazilian Geological Service - CPRM), *Universidade Federal do Rio Grande do Norte* (Federal University of Rio Grande do Norte - UFRN) and *Fundação Norteriograndense de Pesquisa e Cultura* (Norteriograndense Research and Culture Foundation - FUNPEC). A data on a regular grid of 1500 by 1500m were used. 265 samples, uniformly distributed in all study area, were used in the geostatistic study of biogenic sediments (Figure 3.1).

We opted to use the spatial estimation method Inverse Distance Weighting (IDW) on the interpolation of the data. The IDW or "inverse distance weighted" is a simple interpolation method. A neighborhood around the interpolated point is identified, and a weighted average is taken of the observation values within this neighborhood. The weights are a function of the distance. Are larger and closer to the predicted loacation, hence its name. The user has control over the mathematical form of the weighting function, the neighborhood size (expressed as a radius or a number of points), among others. The weight is assumed for the data through the use of a power weight that controls how the weighting factors will decrease as the distance from the grid node increases. IDW is an exact interpolator, by which the maximum and minimum values in the interpolated surface can only occur at the sampling points. The output is sensitive to agglomeration and to the presence of discrepancies. Thus, it is assumed that the surface is conducted by the local variation that can be captured by the neighborhood. More on this method can be seen, for example, at Philip *et al.* (1982).

3.2.3 Main geomorphologic features

Besides the bathymetry information, the main geomorphologic features present in the area were considered based mainly on the work of Vianna and Solewicz (1988), Vianna *et al.* (1991), Testa and Bosence (1999) and on the visual analysis of remote sensing products.

On the executed visual analysis were observed properties such as hue, texture, shape and structures present in the Landsat-7 satellite image, scene 214/64 of 11/19/1999, sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus), georeferenced and with equalized histogram which were highlighted the major submerged features.

3.2.4 Classification and identification of biogenic sediments

The sedimentary material studied here was collected under the Project Granmar/RN when a dredge Van-Veen type of stainless steel was used. The collected samples were georeferenced with the aid of a GPS receiver (Global Positioning System), of mapping (GPS Map 60CS) with an average positional accuracy estimated in 5m. Then, the samples were stored in plastic bags properly labeled and transported to the Sedimentology Laboratory (LABSED) of Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). In the laboratory, the samples were washed with water to remove the salt and dried in an oven at a temperature of 50°C. Then, each sample was quartered, and the portions (fraction of very fine gravel to very coarse sand, diameter of 1 to 4 mm) were separated by sieving process using a mechanical sieve shaker (Alveirinho, 2004).

Then, the selected portions of the samples were photographed with the aid of a digital microscope with a resolution of 1.3 Megabytes. Two pictures were taken for each sample with 30 times enlargements, being required for some samples 40 times enlargements. A software for making calibration profiles at different magnification levels, DinoCapture (v.2.0), calibrated the pictures. The identification was carried out directly in the digital magnifier, with the aid of the pictures taken, using the random first fifty grains of each portion. On the identification stage, two generations of biogenic sediments were observed, however, because they were not dated yet, were denominated as old or new, to differentiate between two generations based on their textural features. The younger sediments generally have lighter colors and superficial texture preserved, while the older sediments have darker colors usually ranging from gray to black and worn out superficial texture.

The grains were classified as calcareous algae in red, green or old, foraminiferal (benthic and planktonic), worms tube, bryozoans, molluscs (gastropods and bivalves), echinoderms (Thorn Hedgehog and fragments of shells), sponges and their spicules, arthropods (paws, shells

fragments of crustaceans), corals and not biogenic grains (grains of quartz and heavy mineral) according to the methodology suggested by Tinoco (1988) and modified by Lima (2008) and Melo *et al.* (2010).

3.2.5 Statistical Analysis

Five classes of biogenic sediments, abundant in the study area, were determined, and a comparison among them was performed using the Kruskal-Wallis test, followed by post-hoc test of Student-Newman-Keuls (Zar, 1996) for the comparison of averages, two at a time. To compare the frequency of biogenic classes between the defined zones, found in the study area, it was used an ANOVA of two factors. All analyses were done by the statistical software R (R Development Core Team 2009) and performed with confidence level $\alpha = 5\%$.

3.3 Results and Discussion

3.3.1 Main geomorphologic features

Polcyn and Rollin studies (1969), Polcyn (1976), Lysenga (1981), among others, used the geomorphologic analysis from satellite images. Based on these remote sensing products, but also in field work, Solewicz and Vianna (1988), Vianna *et al.* (1991); Vianna *et al.* (1993) and Testa and Bosence (1999) observed and mapped the underwater features in the region and, lastly, proposed zoning in an area that covers the northern section of the study area. Based on the morphology of bottom shapes and sedimentological aspects, Testa and Bosence (1999) proposed the following zones: coastal zone, sub-littoral zone turbid, sand ribbon zone, algal stabilized zone, subaqueous dune zone and lithified sediment zone. The processing, analysis and image interpretation of ETM +/Landsat-7 sensor allowed us to characterize, with more detail, the main existing geomorphologic features, with more detail, making it possible to determine the dimensions and geometry, in plan, and these features distribution.

The result of this interpretation can be seen in the Figure 3.2, with emphasis on: the San Roque channel (1), the patch reefs of Maracajaú, Rio do Fogo and Cióba (2, 3 and 4 respectively), the longitudinal ripples that dominate the central sector of the area (5), the subaqueous dunes field (6) and finally, the bioherm (Risca do Zumbi) (7). Risca do Zumbi, southeast sector of the area, is an elongated high that becomes evident near the isobath of 20m.

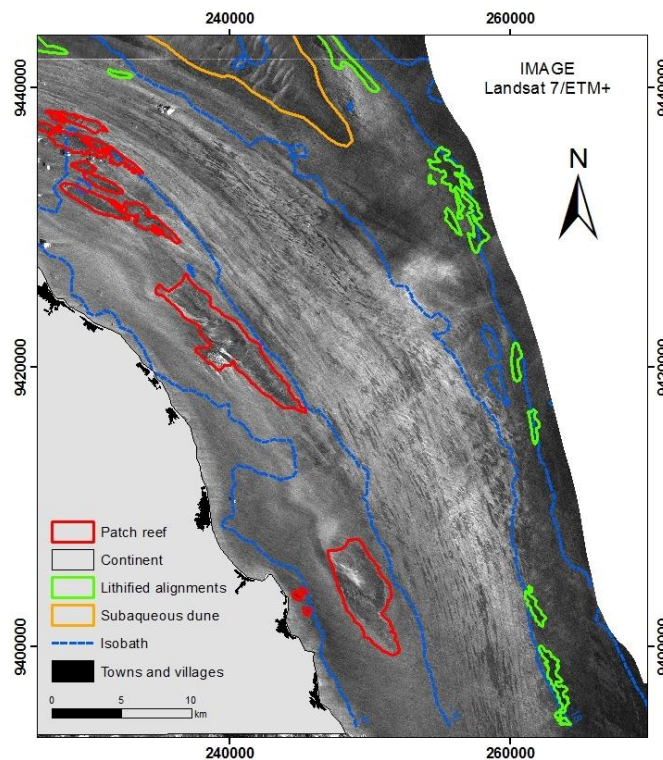


Figure 3.2. Image of satellite: Band 2 (Landsat-7/sensor ETM+) of November 19, 1999. *Datum* WGS84, UTM, Zone 25M.

3.3.2 Bathymetric Analysis

The generation of the Model Digital of Bathymetric (MDB) from data interpolation is a highly technique disseminated in coastal studies (*eg*, Righton and Mills, 2006; Ryan *et al.*, 2007). On the work area in previous studies, Nogueira and Amaral (2009) and Araujo Filho (2011) used MDBs to outline their concerns about the area morphology.

From the MDB analysis created was possible to characterize more accurately the shallow water relief forms, already identified in the satellite images analysis, such as: a longitudinal channel to the coastline (San Roque channel), perpendicular channels (Pitinga and Touros channels), patch reefs (Maracajaú, Rio do Fogo and Cióba), longitudinal ripples, a bioherm elongated and away from the coast (Risca do Zumbi) and a higher area in the northeast sector (Figure 3.3). Although the model highlights the large homologous areas, small bathymetric variations are not perceived as the ripples in zone 3, however, these ripples are seen in the analysis of satellite images, enhanced by a peculiar texture.

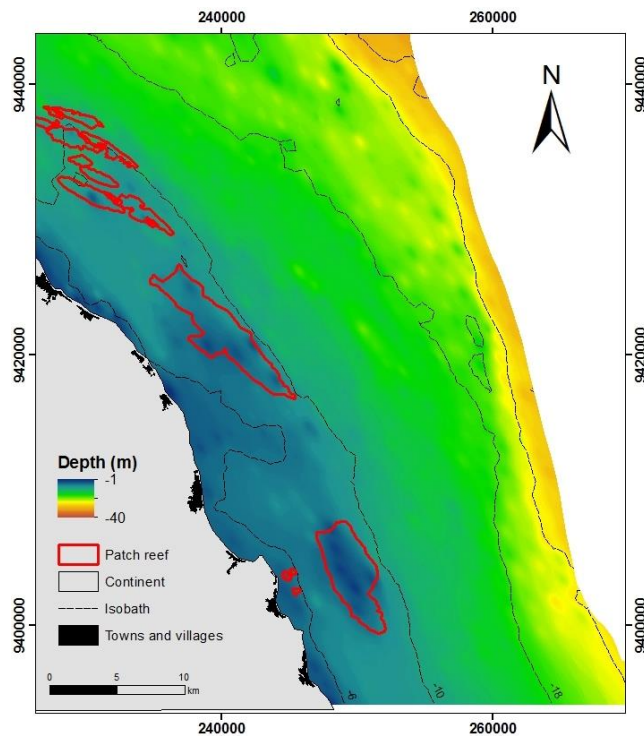


Figure 3.3. Digital Bathymetry Model (DBM) of the study area by method IDW. Datum WGS84, UTM, Zone 25M.

Some trends are seen in the model, for example, the fact that as we move away from the coastline the depth increases in a positive linear gradient. However, the gradient uniformity is interrupted by patch reefs, bioherme covered by algae and corals and for a high relief to the northeastern area that corresponds to a submerged dune field (Solewicz, 1989), identified in the satellite image (Figure 3.2).

3.3.3 Morphological Zoning

The continental shelf of the northeastern Brazilian coastal, like other continental shelves of the world, suffered high subaerial exposure during the maximum sea level reduction occurred in the late Pleistocene, later drowned in the following transgressive event. These events acted as determinants factors in the genesis and distribution of the various sedimentary faces which constitute the seabed of the study area.

Based on the work of the authors mentioned above, in the study of bathymetric data and satellite image was possible to stipulate a zoning for the area. Although similar to zoning proposed by Testa and Bosence (1999) this one differs, for it defines limits between zones with distinct characteristics by quantifiable criterion (depth). This was possible due to previous

bathymetric mapping. For this reason, we kept, wherever it possible, the terms adopted by those authors. The zones are shown in Figure 3.4.

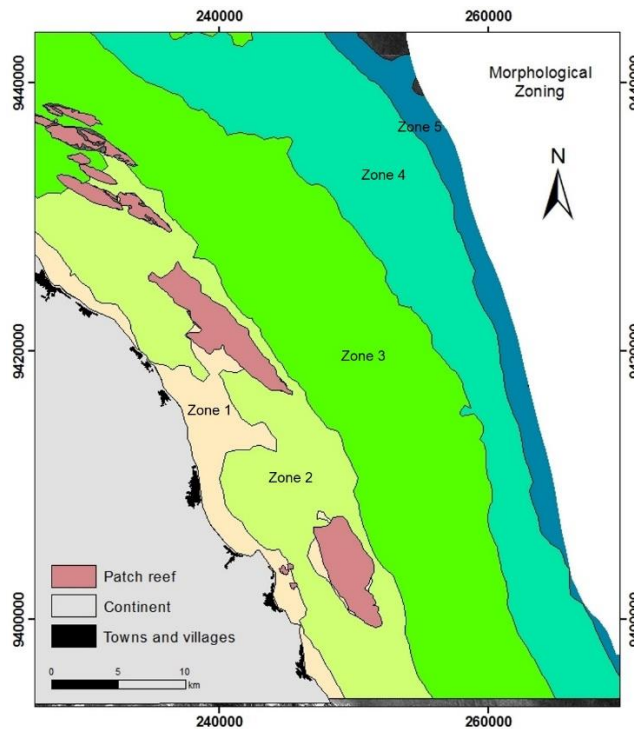


Figure 3.4. Result of zoning from the integration of bathymetric data and image interpretation. *Datum* WGS84, UTM, Zone M25.

Thus we classify the study area in the following zones which are briefly described below (Figure 3.4):

- **Zone 1: *Coastal Zone*.** Region shallower than 6 meters. Makes contact with the coastline and its oceanic boundary is always approximately 1 km from that line, except for a shallower region between the patch reef of Rio do Fogo and the coastline. When this zone enlarges may reach approximately 8 km. This high practically divides the São Roque channel in two sectors, one north the other south.
- **Zone 2: *Reef Bodies Zone*.** Region between 6 and 10 meters deep (excluding shallower reef bodies). On it is the São Roque channel and 3 reef bodies present in the study area (Maracajaú, Rio do Fogo e Cióba) aligned parallel to the coastline, which are separated per approximately 12 km. The São Roque channel, which usually has a diffuse texture, in satellite images, interpreted as suspended material; these reef complexes have approximate lengths of ten miles each, and average amplitude of 4 km.

- Zone 3: **Sand ribbons zone**. Region between 10 and 18 meters deep. This zone is dominated by a banded texture approximately parallel to the coastline, with an average amplitude of 13 km, observed by Vianna *et al.* (1991) and Testa and Bosence (1999). These bands correspond to embossed ripples, as quoted by Vianna *et al.* (1991).
- Zone 4: **"Striped" Zone or lithified alignments zone**. Region between 18 and 25 meters deep. The sand ribbons are no longer clearly observed and on it is present a field of subaqueous dune and narrow and elongated features colonized by algae and corals, locally denominated "strips". Vianna and Solewicz (1988) described this feature as an old face of the beach. Elongated and narrow features covered by algae and corals are mainly observed in the external sector of the study area. According to Testa and Bosence (1999), those are alignments composed of lithified sediments covered by algae and corals, thus they gave a denomination that we decided to keep as "lithified alignments". It reaches to measure approximately 5 km to 1 km.
- Zone 5: **External Zone**. Region with depth greater than 25 meters, which the satellite images do not show clearly, thus difficulties emerge for the analysis through the chosen methodology.

3.3.4 Biogenic Sediments

In inner continental shelf, carbonate sediments often originate from remains of skeletons of benthic organisms such as calcareous algae, molluscs, foraminifers, bryozoans, echinoderms, etc., which contribute directly and significantly to the final and textural composition of sediments (Laporte, 1975).

At the study area, the material collected and analyzed can be classified as biogenic carbonate sands given its constitution of fragments of organisms (Figure 3.5), of distinct abundance (Table 3.1). The calcareous algae (green, red and ancient) constitute 75% of unconsolidated material encountered, a common characteristic in the Northeast region (França, 1976; Testa and Bosence, 1999, Dias, 2000; Vitarelli, 2008). According to Testa and Bosence (1999), the sediments in the bottom of the study area are formed by carbonate and siliciclastic sands, besides gravels (in forms of rhodolith). Granulation from coarse sand to fine sand are abundant in near-shore areas and the sediments in the bottom increase in average grain size near the reef complex.

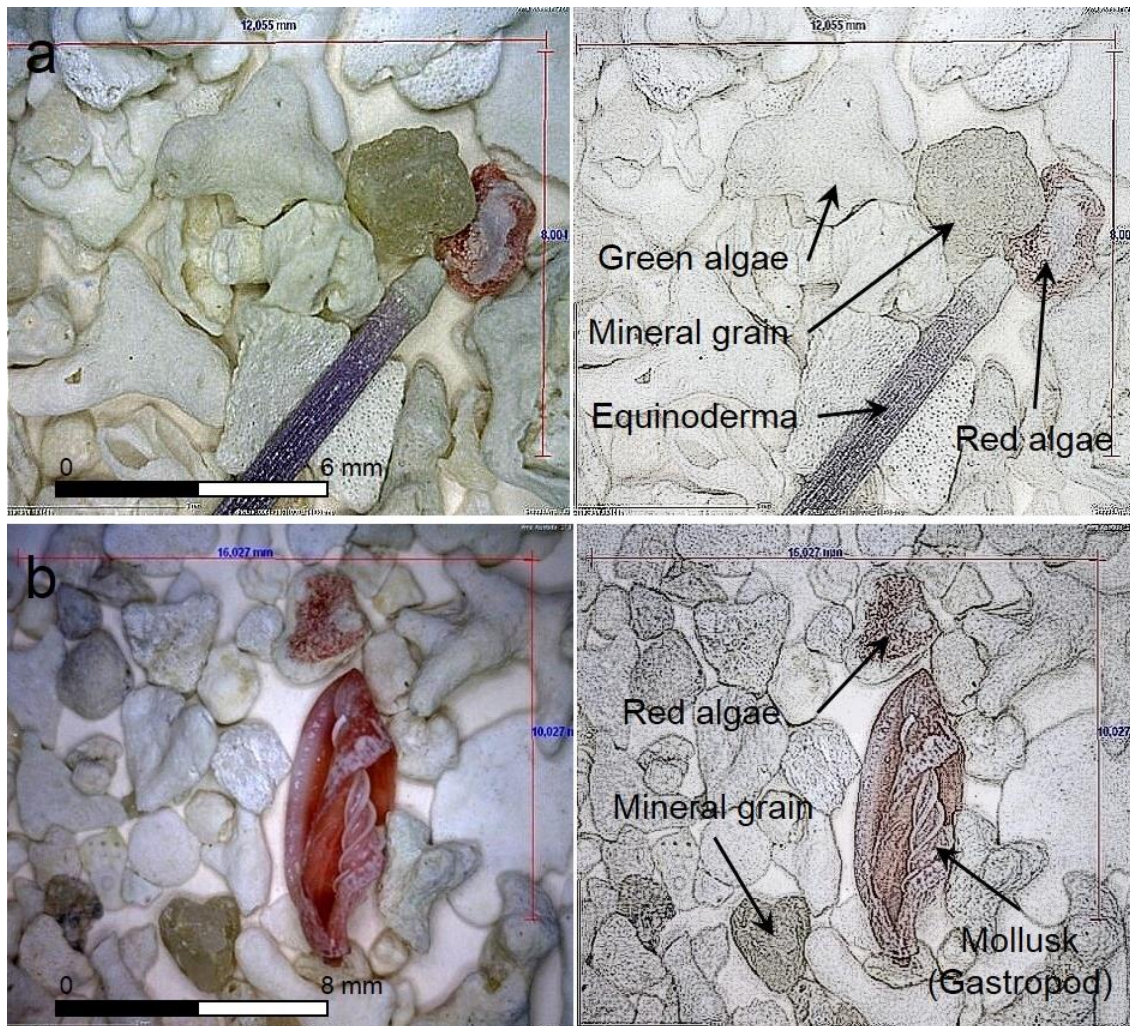


Figure 3.5. Examples of photographs of samples of bioclastic in digital magnifier. (a) Camera with 40x magnification in which we can observe green and red algae, mineral grains and fragments of echinoderms. (b) Magnification of 30x in which we can observe green algae, red algae and shell fragments (molluscs).

In the granulometric interval studied, the most abundant biogenic classes were the green algae, red algae, the mineral grains (non-biogenic), the ancient algae and molluscs (Table 3.1). According to Dias (2000), the biogenic sediments of the Brazilian continental shelf are those of carbonate composition, consisting of calcareous algae (*Halimeda* and *Lithothamnium*) or shell fragments (coquinas and carbonate sands). Moreover, Testa and Bosence (1999) concluded that the carbonate sediments production in the study area occurs in large part of the inner shelf zone and is dominated by calcareous algae from coral reefs.

Table 3.1. Descriptive statistics of the frequency of occurrence (%) of constituents of biogenic sediments, the 265 samples analyzed.

Class	Min	Max	Mean	Median	Stand. error	Stand. dev
Green algae	0.00	90.00	43.12	44.00	1.46	23.20
Red algae	0.00	90.00	20.60	12.00	1.32	21.06
Mineral grains	0.00	100.00	12.72	2.00	1.39	22.16
Ancient algae	0.00	74.00	11.31	6.00	0.83	13.28
Molluscs	0.00	30.00	5.35	4.00	0.32	5.09
Foraminifera	0.00	30.00	1.37	0.00	0.25	3.92
Tube worms	0.00	10.00	0.65	0.00	0.09	1.47
Echinoderms	0.00	4.00	0.38	0.00	0.06	0.91
Bryozoans	0.00	4.00	0.02	0.00	0.02	0.28
Corals	0.00	2.00	0.02	0.00	0.01	0.22
Arthropods	0.00	2.00	0.02	0.00	0.01	0.18
Sponges	0.00	2.00	0.01	0.00	0.01	0.13
Other	0.00	70.00	4.41	0.00	0.69	10.93

In the granulometric interval studied, the most abundant biogenic classes were the green algae, red algae, the mineral grains (non-biogenic), the ancient algae and molluscs (Table 3.1). According to Dias (2000), the biogenic sediments of the Brazilian continental shelf are those of carbonate composition, consisting of calcareous algae (*Halimeda* and *Lithothamnium*) or shell fragments (coquinas and carbonate sands). Moreover, Testa and Bosence (1999) concluded that the carbonate sediments production in the study area occurs in large part of the inner shelf zone and is dominated by calcareous algae from coral reefs.

According to Giustina (2006), the modern organic carbonates deposits observed in shelf 5 are mostly composed of coralline algae and corals, and the formation of reefs is the clearest manifestation of a considerable growth of corals. In the area, although the rhodolith in a larger fraction than 4 cm are found dispersed, mainly closer to the coast, in sandy fraction, the content of green algae (*Halimeda*.) is higher than the red algae (*Lithothamnium*). Alveirinho Dias (2004) argues that an active carbonate production in the Brazilian shelf, favors the development of a wide bottom of calcareous algae, representing globally, the greatest extension covered by carbonate sediments.

Even if in the studied portion occurs a low frequency of corals (0.02%), it is common to observe in the literature, citations about the corals coexistence and calcareous algae under warmer waters conditions (Schlager, 1981). This low corals abundance is possibly explained by the granulometric range analyzed.

There are several examples of the coexistence of coral and calcareous algae sedimentation. In Queensland Plateau and external shelf, in the northeastern region of Australia, the carbonate sediments are composed of corals and algae along with foraminifer and molluscs (Scoffin and Tudhope, 1985; Belperio and Searle, 1988; Flood and Orme, 1988; Dunbar and Dickens, 2003). In Brazil are described several examples of calcareous algae and coral coexistence, in Atol das Rocas (Gherardi and Bosesnce, 2001; Gherardi and Bosence, 2005; Soares *et al.*, 2009), on the northeast coast (Testa and Bosence, 1999) and in Abrolhos (Leão, 1999; Castaños, 2002).

3.3.5 Biogenic sediments x zones

As from the geomorphologic characteristics visualization synthetically grouped in the zones, we tried to analyze the spatial behavior of bioclastic sediments in the studied fraction. In all demarcated zones, there was a predominance in the abundance of calcareous algae (Green Algae, Red Algae and Ancient Algae), with 72.30% in zone 1, 82.51% in zone 2, 76.19% in Zone 3, 67.81% in zone 4 and 85.42% in zone 5 (Table 3.2).

In all established zones there was a predominance of calcareous algae as shown in Table 3.2.

Table 3.2. Average frequency of occurrence (%) of constituents of sediments between the demarcated zones.

Class	Zone				
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Green algae	27.23	35.01	47.92	42.78	51.71
Red algae	11.69	21.88	21.14	19.31	33.14
Mineral grains	10.31	3.02	12.85	19.97	5.71
Ancient algae	33.38	25.62	7.13	5.72	0.57
Molluscs	5.85	5.19	4.92	6.14	4.57
Foraminifera	2.62	2.17	0.94	1.39	0.57
Tube worms	0.15	0.21	0.59	0.92	2.86
Echinoderms	0.15	0.26	0.43	0.39	0.57
Bryozoans	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00
Corals	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00
Arthropods	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Sponges	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Other	8.62	6.60	3.97	3.33	0.29

The lowest value of calcareous algae in zone 4 can be explained by the high value of the nonbiogenic class (mineral grains), with an average frequency of 19.97% which is related to the presence of subaqueous dunes field. These features are composed primarily by quartz sands with few carbonate grains (less than 5%) composed primarily of Halimeda plates and small molluscs shells, as already described by Testa *et al.* (1999). The presence of these sands not only interferes in the growth of organisms but also dilutes the presence of biogenic carbonate in the composition of bottom sediments shelf (Santos, 2010).

The data showed a significant statistically difference between the predominant abundance classes, except between the non-biogenic classes (mineral grains) x molluscs. The latest showed the same abundance in the study area (Table 3.4).

There was a significant statistically difference in the "zones x biogenic classes" interaction (Table 3.3), supporting the hypothesis of a distinct pattern of biogenic classes distribution in the study area. Moreover, analyzes corroborate with the evidence of the frequency of biogenic classes distribution between the zones of the study areas, confirming a distinctive particularity in each zone.

Table 3.3. Statistical Results of factorial ANOVA (2 factors). Legend: DF – Degrees of Freedom; SS – Sum of Squares; MS – Mean of the Squares; F – F test statistic.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	p-value
Zone	4	1.41E-15	3.52E-16	2.74E-18	1.00
Class	12	164571.31	13714.276	106.648	<0.001
Zone x Class	48	42461.266	884.61	6.879	<0.001
Residual	3237	416258.56	128.594		
Total	3301	929939.69	281.715		

Table 3.4. All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Student-Newman-Keuls Method).

Comparison	Diff of Ranks	Q	p-value
Green algae x Molluscs	143739.50	24.59	$p < 0.05$
Green algae x Mineral grains	138218.00	29.56	$p < 0.05$
Green algae x Ancient algae	111791.00	31.87	$p < 0.05$
Green algae x Red algae	78814.00	33.69	$p < 0.05$
Red algae x Molluscs	64925.50	13.88	$p < 0.05$
Red algae x Mineral grains	59404.00	16.93	$p < 0.05$
Red algae x Ancient algae	32977.00	14.10	$p < 0.05$

Ancient algae x Molluscs	31948.50	9.11	$p < 0.05$
Ancient algae x Mineral grains	26427.00	11.30	$p < 0.05$
Mineral grains x Molluscs	5521.50	2.36	NS

3.3.6 Mapping of the biogenic sediment

Another approach in the analysis of the biogenic sediments behavior in the study area can be given, when analyzing this behavior directly from a map in which it is possible to visualize the spatial behavior data.

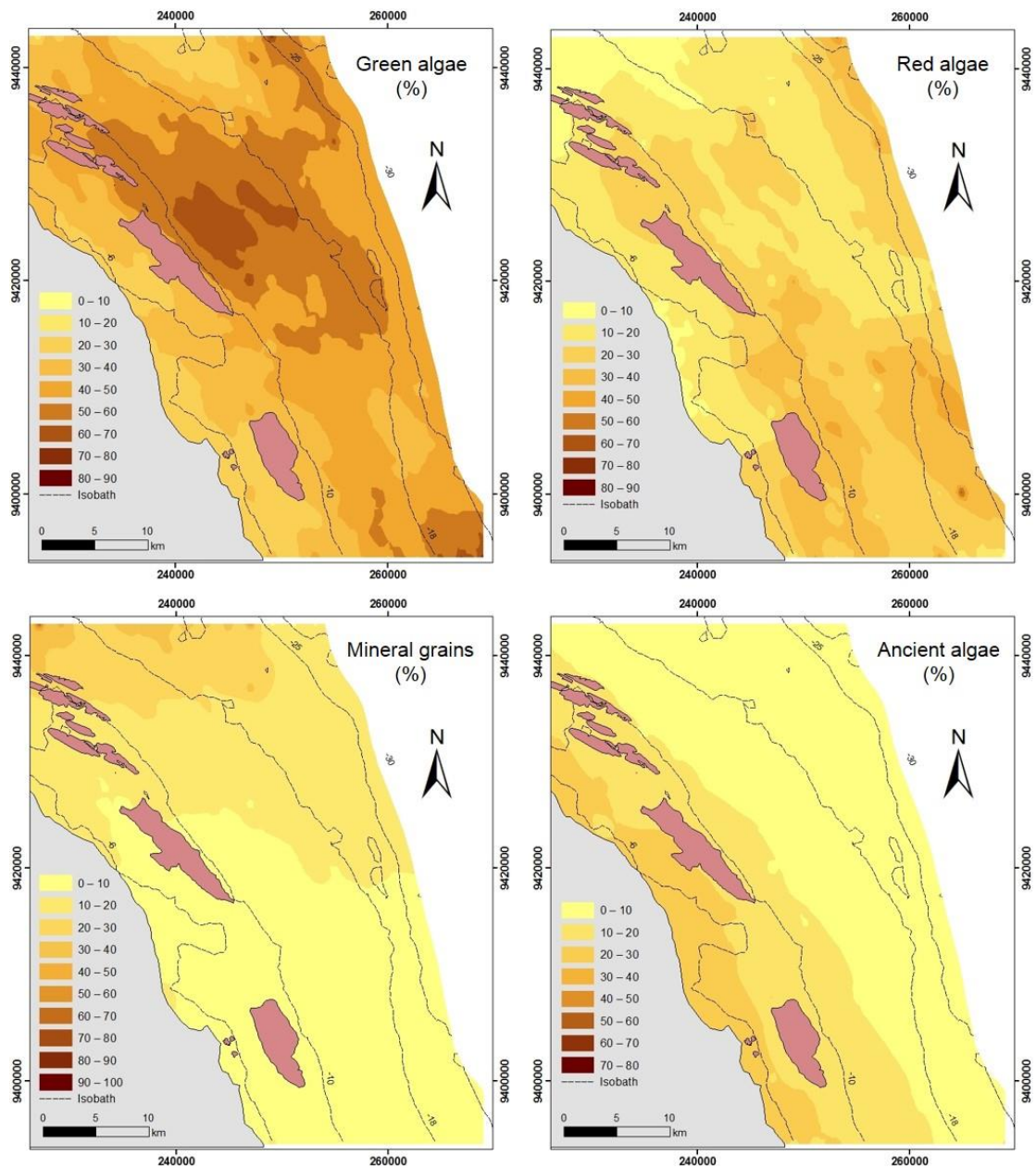


Figure 3.6. Spatial visualization of 4 most abundant classes in the study area. Dark pink, highlighting the coral reefs.

The occurrence of green algae corresponds to over 40% of the observations average while red algae have 20%. The mineral grains and the ancient algae have a frequency of more than 10% (each class). Together, these components were observed on an average of 88% of the time. Therefore, were chosen for the following analysis. The figure 3.6 shows the obtained maps from the data interpolation (the adopted methods were explained previously).

The green algae class consists mainly of *Halimeda* grains and reveals higher concentrations in 2 sectors: just south with approximately 60km² of area and possibly continues to the contiguous region and in the central sector further north, in an area of about 200km². The highest concentration of green algae occurs between 10 to 20m depths, in zone 3 and part of zone 4. It is limited to SW with patch reefs of Cioba and Rio do Fogo, which imposes a physical barrier to the sandy bottom where their presence is reduced while expanding the presence of the oldest algae; NW with the region of subaqueous dunes field, where the observations frequency of these algae is reduced while expanding the presence of mineral grains; NE with deepest embossed and SE where their presence is reduced while expanding the presence of red algae.

The red algae are mainly concentrated in SE region of the study area. It can be considered that there is a gradation from NW to SE where the observation frequency of these grains rises, however, rarely exceeding 75%. The highest concentrations of mineral grains are in the N sector of the study area, associated with the presence of subaqueous dunes field. However, beyond this sector, draws attention an area of approximately 40 km², in central NE sector, where there is a slight but clear increase of these grains occurrence. We did not find a clear explanation for this occurrence within the limits of the study area, but may be associated with broadest relict or morphological processes.

The ancient algae are restricted to shallower depths and occur between the coastline and patch reefs, in the zones 1 and 2. A higher concentration of these algae is observed in the patch reefs proximity of Rio do Fogo and may be associated with a high embossed, well demarcated, in the isobaths of 6 meters. As the worn surface texture is one of the parameters used for these grains determination, and since this is a continuous zone of bottom sediments mobilization, we are led to connect these features.

3.4 Conclusions

The integration of obtained results allowed that all features could be described satisfactorily. Some characteristics, not clearly verified in the images, could be described and interpreted from bathymetric modeling. The results interpretation in an integrated manner with

data from different types of remote sensors and bathymetric data were sufficient to characterize the geomorphology of the study area, adapting the proposed zoning by Testa *et al.* (1999) and creating more accurate information regarding to shallow continental shelf, northeastern state of Rio Grande do Norte, Brazil.

Thus, that this methodology used, serve as the basis for future mapping of the continental shelf, employing in the same information of spectral characteristics of satellite images, as well as, physical characteristics of the environment.

Regarding biogenic sediment distribution, there is a predominance of calcareous algae between the biogenic sediments present in the shallow continental shelf of the northeast of Rio Grande do Norte. Among the calcareous algae, there was a predominance of green algae; however the red algae and the unidentifiable algae (ancient algae) had significant abundance. In the region of transverse dunes, few biogenic sediment is found. The mapping of the main biogenic class distribution, held in the area, constitutes a further contribution to the knowledge of the sedimentological characteristics of the inner shelf, besides providing subsidies for decision-making in coastal management and future studies, which will be held in the area.

3.5 Acknowledgment

This work was conducted based on bathymetry data collected and processed in the framework of the project "Avaliação do Potencial Mineral dos Granulados Marinhos da Plataforma Rasa do Nordeste" – Project GranMar (CPRM / UFRN / FUNPEC), for which we thank for permission to use. We also thank the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for grants the researchers of the Laboratory of Geoenvironmental Studies (LEGeo) UFRN.

3.6 References

- Amaral, R. F. 2005. Diagnóstico Ambiental da “Área de Uso Turístico Intensivo” no Parracho de Maracajaú. UFRN, Departamento de Geologia/IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 157p.
- Amaral, R. F.; Santos, J. R.; Araujo Filho, L. P. 2012. Levantamento Batimétrico e Faciológico da Plataforma Continental Rasa do Estado do Rio Grande do Norte - Folha Touros (SB-25-V-C-II) - Convênio UFRN – CPRM. Relatório Interno. 80p.

Araujo Filho, L. P. 2011. Caracterização geomorfológica e modelagem de dados espaciais na plataforma. 2011. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Ashley, G. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.60, p. 160-172.

Belperio, A. P.; Searle, D. E. 1988. Terrigenous and carbonate sedimentation in the Great Barrier Reef Province. In: Doyle, L. J.; Roberts, H. H. (Ed.). *Developments in Sedimentology*. Amsterdam: Elsevier. v.42, p. 143-206.

Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Dominguez, J. M. L.; Silva, I. R., Sousa, D. L. A. 2002. Significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: implications on coastal Quaternary evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v.74(3), p. 505-518.

Castaños, G. X. O. 2002. Integração das imagens sonográficas e perfis batimétricos na Plataforma de Regência (Bacia de Espírito Santo). 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Dias, G. T. M. 2000. Granulados Bioclásticos – Algas calcárias. *Revista Brasileira de Geofísica*. v.8(3), p. 307-318.

Dias, J. M. A. 2004. *Análise sedimentar e os conhecimentos dos sistemas marinhos rasos*. 1ª ed. Faro, Ed. Universidade do Algarve Faro, 80p.

Dunbar, G. B.; Dickens, G. R. 2003. Late Quaternary shedding of shallow-marine carbonate along a tropical mixed siliciclastic-carbonate shelf: Great Barrier Reef, Australia. *Sedimentology*, v.50, p. 1061-1077.

Flood, P. G.; Orme, G. R. 1988. Mixed siliciclastic/carbonate sediments of the northern Great Barrier Reef province, Australia. In: Doyle, L. J.; Roberts, H. H. (Ed.). *Developments in Sedimentology: Carbonate-Clastic Transitions*, Amsterdam: Elsevier. p. 175-205.

França, A. M. C.; Coutinho, P. N.; Summerhayes, C. P. 1976. Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, v.6, p. 147-164.

França, A. M. C. 1979. Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente. In: Projeto REMAC, v.7, p. 89-127.

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

Gherardi, D. F. M.; Bosence, D. W. J. 2005. Late Holocene reef growth and relative sea-level changes in Atol das Rocas, equatorial South Atlantic. *Coral Reefs*, v.24(2), p. 264-272.

Ginsburg, R. N. 1956. Environmental relationship of grain size and constituent particles in some south Florida carbonate sediments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.40, p. 2384-2427.

Giustina, I. D. D. 2006. Sedimentação carbonática de algas vermelhas coralináceas da plataforma continental da Bacia de Campos: um modelo carbonático análogo para o terciário. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS).

Hayes, M. O. 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: S.P. Leatherman (ed.), *Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico*, pp. 1-27. Academic Press, New York, USA. (ISBN: 9780124402607).

Hazin, F. H. V.; Wor, C.; Oliveira, J. E. L.; Hamilton, S.; Travassos, P.; Geber, F. 2008. Resultados obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Arquivos Ciências do Mar*. v.41(1), p. 30-35.

Komar, P. D. 1976. *Beach Process and Sedimentation*. Prentice Hall, New Jersey.

Köppen, W. 1918. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Gotha, v.64, p. 193-203.

Laporte, L. F. 1975. *Ambientes Antigos de Sedimentação*. Série de Textos Básicos de Geociências. Edgard Blücher, São Paulo, 145p.

Leão, Z. M. A. N. 1999. Abrolhos – O complexo recifal mais extenso do oceano Atlântico Sul. In: Schobbernhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbret-Born, M. (Ed.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*.

Lima, R. O. 2008. Caracterização dos sedimentos superficiais biogênicos da Plataforma equatorial Brasileira adjacente ao RN, entre a região de Porto do Mangue e galinhos. 2008. 79p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Lysenga, D. R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*. v.2, p.71-82.

Melo, A. C. C.; Viana, V. N.; Amaral, R. F. 2011. Identificação e classificação dos sedimentos biogênicos da plataforma continental da Folha Touros/RN como uma ferramenta educativa sobre o ambiente geológico marinho. Seminário de Metodologia e Projetos de Extensão da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, v.5(3).

<http://ufrn.emnuvens.com.br/extensaoesociedade/article/view/1388>

Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ. 421p.

Nogueira, J. D. L; Amaral, R. F. 2009. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

Philip, G. M.; Watson, D. F. 1982. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*. v.22, p. 205-212.

Polcyn, F. C.; Rollin, R. A. 1969. Remote sensing techniques for the location and measurement of shallow-water features. In: NASA-WRL-8973-10-P. Ann Arbor, 66p.

Polcyn, F. C. 1976. NASA/Cousteau Ocean Bathymetry Experiment – remote bathymetry using high gain Landsat data. In: ERIM- 118500-1-F, Ann Arbor, 131p.

R Development Core Team. 2009. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.

<http://www.R-project.org>

Righton, D.; Mills, C. 2006. Application of GIS to investigate the use of space in coral reef fish: a comparison of territorial behaviour in two Red Sea butterflyfishes. *International Journal of Geographical Information Science*. v.46(2), p. 215-235.

Ryan, D. A.; Brooke, B. P.; Collins, L. B.; Kendrick, G. A.; Baxter, K. J.; Bickers, A. N.; Siwabessy, P. J. W.; Pattiaratchi, C. B. 2007. The influence of geomorphology and sedimentary processes on shallowwater benthic habitat distribution: Esperance Bay, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.72, p. 379-386.

Santos, J. R. 2010. Caracterização Morfodinâmica e Sedimentológica da Plataforma Continental Rasa na APA Estadual dos Recifes de Corais – RN. 2010. 85p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Schlager, W. 1981. The Paradox of Drowned Reef and Carbonate Platforms. *Bolletín of the Geological Society of America*, v.92, p. 197-211.

Scoffin, T. P.; Tudhope, A. W. 1985. Sedimentary environments of the Central Region of the Great Barrier Reef of Australia. *Coral Reefs*, v.4, p. 81-93.

Silva, E. A. J. 2002. As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Soares, M. O.; Lemos V.B.; Kikuchi, K.P. 2009. Sedimentos carbonáticos bioclásticos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. *Revista Brasileiro de Geociências*, v.39(4), p. 624-634.

Solewicz, R. 1989. Feições fisiográficas submarinas da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte visíveis por imagens de satélite. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP. 163p.

Testa, V.; Bosence, D. W. J. 1999. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, v.46, p. 279-302.

Tinoco, I. M. 1988. *Introdução ao estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes*. 1^a ed. Pernambuco, Ed. Universitária da UFPE, 219p.

Vianna, M. L.; Solewicz, R. 1988. Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do Rio Grande do Norte visíveis por imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 1988. v.3, p. 581-588. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00050-8. Available from: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/07.25.13.26>>. Access in: 2014, Jan. 26.

Vianna, M. L.; Solewicz, R.; Cabral, A. P.; Testa, V. 1991. Sandstream on the northeast Brazilian shelf. *Continental Shelf Research*. v.11, p. 509-524.

Vianna, M. L., Cabral, A. P., Gherardi, D. F. M. 1993. TM-Landsat imagery to the study of the impact of global climate change on a tropical coastal environment during the last deglaciation. *Int. Journal Remote Sensing*. v.14, p. 2971-2983.

Vitarelli, E. Q. 2008. Caracterização dos Sedimentos Superficiais de Fundo do Complexo Recifal de Maracajaú, RN, Brasil. 2008. 175p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. 944 pp.

CAPÍTULO IV – MAPEAMENTO DE RECIFES DE CORAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO NORDESTE BRASILEIRO POR SENSORIAMENTO REMOTO²

Paulo Victor do Nascimento Araújo^{1, 2*}, Ricardo Farias do Amaral¹

¹Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGeo). Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil;

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Campus Macau;

*E-mail: paulo.araujo@ifrn.edu.br

RESUMO

A Plataforma Continental possui grande importância no estudo da evolução costeira, pois representa uma área afetada pelas oscilações do nível do mar no período Quaternário. Na plataforma continental rasa do Nordeste do Rio Grande do Norte, importantes feições geomorfológicas submersas podem ser encontradas a cerca de 6 km da linha de costa. Dentre estas feições, se destaca o Parracho de Rio do Fogo. O presente estudo objetiva caracterizar e analisar as feições geomorfológicas e da superfície bentônica, encontradas neste complexo recifal, a partir da análise e interpretação de produtos de sensores remotos e coleta de dados *in situ*. Neste trabalho foi criado um modelo digital de batimetria com base em batimétricos dados inéditos e composições de bandas de imagens dos sensores orbitais OLI/Landsat 8, MS/GeoEye e PAN/WorldView 1, ambos analisados e interpretados de forma integrada e validados em trabalhos de campo. Todos os dados e informações obtidas foram armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram mapeadas as seguintes unidades geoambientais: o Canal de Barreta, os Recifes Intermareais, os Recifes Submersos, os Rastros e Sulcos, as Piscinas, o Banco Arenoso Interno, as Fanerógamas Marinhas, o Banco de Algas, os Caminhos Submersos e o Canal de Rio do Fogo. O emprego da metodologia proposta possibilitou inferir sobre a geomorfologia submersa da área de estudo, podendo ser norteador, em futuras tomadas de decisão no manejo e gerenciamento ambiental da região.

² O artigo será submetido para o periódico *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN 2236-5664).

Palavras-Chaves: Plataforma Continental; Batimetria; Geomorfologia; Sensoriamento Remoto; Mapeamento geoambiental.

4.1 Introdução

Os recifes de corais são, as comunidades bentônicas mais ricas e complexas dos oceanos. Formaram-se ao longo de milhões de anos (a sua história remonta há 500 milhões de anos atrás), a partir da deposição do carbonato de cálcio proveniente dos esqueletos de corais, e estão entre as comunidades marinhas mais antigas que se conhece (Wilkinson, 2002). No Brasil, a história geológica dos recifes de corais atuais indica que eles só começaram a crescer há 7.000 anos atrás, no período Quaternário, quando o nível do mar elevou-se e inundou toda a atual plataforma continental (Prates, 2003).

Os recifes de corais são considerados os ecossistemas marinhos que apresentam os maiores índices de biodiversidade, só são ultrapassados pelas florestas tropicais húmidas em terra (Connell, 1978), estima-se que um único recife de coral pode-se encontrar, pelo menos, 3.000 espécies de animais. Apesar de ocuparem menos de 1% da área total dos oceanos, 25% de todas as espécies de peixes conhecidas são exclusivas dos recifes de coral. Segundo Prates (2003), sobre as espécies de corais no mundo, das 350 existentes, pelo menos 20 espécies (de corais verdadeiros e hidrocorais) foram registradas pelo Brasil, sendo que oito são endêmicas, ou seja, encontra-se apenas nos mares brasileiros.

A elevada produtividade associada a recifes coralíneos tem uma importância singular como fonte de recursos pesqueiros para as comunidades costeiras, além de representarem barreiras naturais de proteção à costa da ação das ondas, fonte de farmacoterápicos e áreas para o turismo marinho. Apesar da grande importância ecológica e econômica, os recifes de coral estão submetidos a diversos fatores que ameaçam sua vitalidade e biodiversidade (Hoegh-Guldberg, 1999; Moreira e Reuss-Strenzel, 2009). Estudos recentes, coordenados pelo *World Resources Institute* (WRI) (Burke *et al.*, 2011), organização não governamental na área ambiental, fundada em 1982 e sediada em Washington (EUA), internacional que monitora os recifes de corais, os recifes de coral estão atualmente sentindo altas temperaturas e acidez do oceano do que em qualquer outro momento, pelo menos nos últimos 400.000 anos. Se continuarmos por este caminho, todos os corais provavelmente serão ameaçados em 2050, com 75% enfrentando altos níveis de ameaça crítica. O mesmo relatório da WRI, oferece motivo para esperança: os recifes de todo o mundo têm demonstrado uma capacidade de se recuperar de danos, mesmo em casos extremos, enquanto que é dever da gestão ambiental, proteger os recifes e auxiliar a recuperação

de algumas áreas. Esses fatores corroboram mais ainda, a importância de estudos aprofundado dos recifes de corais, principalmente quando esse ambiente vem sofrendo risco de degradação ambiental, tanto do ponto de vista biótico quanto abiótico, como é o caso da área do presente estudo.

Laborel (1967, 1969) descreve o complexo recifal da região em estudo, como um grupo de recifes de forma oval, localizados a alguns quilômetros para fora da costa, constituindo-se em estruturas simples, formadas em geral por numerosos pináculos num fundo arenoso raso e número reduzido de espécies. Leão *et al.* (2003), comenta que geralmente os recifes de corais, pertencentes a região em estudo, apresentam orientação NW-SE, com extensão de 8 a 12 km, paralelos à linha de costa e apresentam-se como conjunto de cômoros (*knoll*) e de canteiros (*patch reefs*). Estes corpos são descritos e relacionados à zona denominada “sublitoral tubid zone”, por Testa e Bosence (1999).

Em 2001, foi criada a Unidade de Conservação chamada “Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais” (APARC), no Estado do Rio Grande do Norte. Esta área corresponde à região marinha que abrange a faixa costeira dos Municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. Trata-se de uma área composta por águas límpidas na maior parte do ano, e nesta área, dentre as suas feições mais importantes destacam-se os baixios (ou parrachos) de Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba, que por suas características ambientais, são consideradas as áreas mais sensíveis da APARC. Atualmente a APARC está sob intensa pressão de uso e ocupação, o que tem levado a uma crescente degradação ambiental. Dentre os principais responsáveis pela degradação na APARC e plataforma associada, destacam-se a pesca predatória, a ocupação costeira e a exploração turística desordenada em franco processo de expansão (Amaral, 2005). No entanto, atividades pesqueiras, já tradicionais, e turísticas, representam as principais fontes de recursos da população local. A situação é agravada pela falta de informações necessárias a um efetivo manejo, embora já dispõem pesquisas isoladas, que discutem a sustentabilidade da região.

O mapeamento e o estudo da evolução dos recifes de corais através do emprego de imagens de sensores orbitais surgiram ao mesmo tempo em que foram lançados os primeiros satélites ambientais na década de 70. Nos anos 80 e 90, alguns trabalhos (Vianna e Solewicz, 1988; Solewicz, 1989; Vianna *et al.*, 1989; Vianna *et al.*, 1991; Vianna *et al.*, 1993; Testa *et al.*, 1997; Testa e Bosence, 1999), introduziram, o uso de imagens de satélite para a compreensão de estruturas regionais, seguida de verificação de campo, através de mergulho autônomo. Prates (2003), alerta que são raros os mapas com localização e área de cobertura dos complexos de

corais, devido à impossibilidade de se utilizarem técnicas tradicionais de sondagem nas extensas regiões rasas em que os recifes ocorrem. Os trabalhos exploratórios executados até o momento na região da APARC e a determinação de alguns parâmetros físicos (Testa, 1997; Feitoza *et al.*, 2001; Lima, 2002; Amaral, 2005; Santos *et al.*, 2007; Henriques, 2008) permitem a teoria da necessidade de níveis de mapeamento mais detalhado para a área de estudo.

Segundo Hill e Wilkinson (2004), o conhecimento das características espaciais de uma área é um pré-requisito para qualquer estudo envolvendo o meio ambiente e o seu uso racional e sustentável. Na facilitação rápida deste conhecimento, alguns autores utilizam o mapeamento como forma de melhor caracterização das respostas geoespaciais (Hill e Wilkinson, 2004; English *et al.*, 1997).

Neste sentido a disponibilidade de mapas de habitats é uma excelente ferramenta na gestão territorial, orientando estratégias de amostragem e identificando as áreas de conservação (Hamel e Andréfouët, 2010). O potencial de utilização de dados de sensores orbitais para este tipo de estudo já foi demonstrado em diversos estudos no mundo (Luczkovich *et al.*, 1993; Green *et al.*, 1996; Mumby *et al.*, 1997; Andréfouët *et al.*, 2001; Andréfouët e Riegl, 2004; Scopéltis *et al.*, 2010).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo analisar as feições geoambientais e da superfície bentônica do Parracho de Rio do Fogo e seu entorno, buscando com o uso integrado de diversos tipos de produtos de sensores remotos em plataformas orbitais e subaquáticas, a aquisição e desenvolvimento de metodologia adequada para o seu mapeamento, o que facilitará a determinação de indicadores geográfico-geológicos e biofísicos de ameaças ao ecossistema.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Área de Estudo

A área de estudo tem aproximadamente de 90 km². Localiza-se na costa nordeste do estado do Rio Grande do Norte (figura 4.1) e está inserida na Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC). A APARC envolve toda a região marinha com profundidade de até de 25 metros, e está limitada no setor continental, às faixas costeiras dos municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. Nesta área se destacam os complexos de recifes de corais, que são corpos rasos, com trechos intermareais, formados principalmente por bioconstruções de algas e corais em um fundo de lama e areia cabonáticas além de rodólitos. Estes corpos estão alinhados paralelamente à linha de costa, e são chamados localmente de “Parrachos”. Eles crescem sobre um fundo duro, provavelmente linhas de arenito, relacionadas à antigas linhas de

costa (Branner, 1904; Vianna *et al.*, 1989; Amaral, 2002; Santos *et al.*, 2007). A região continental adjacente à área de estudo encontra-se sob o regime climático tipo Af, “tropical úmido” segundo Köppen (Köppen, 1918), com precipitação pluviométrica anual em torno de 1500 mm por ano, com temperatura mínima em torno de 20°C, média de 27°C e máxima de 32°C, com direção de ventos predominantes de sudeste (Nimer, 1989).

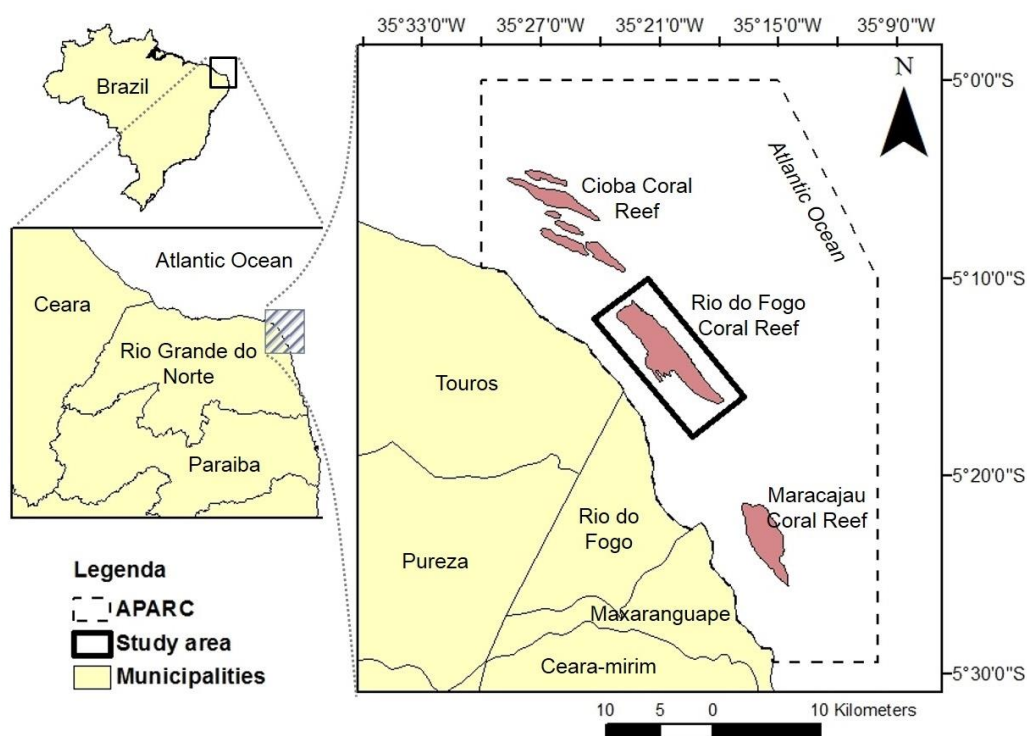


Figura 4.1. Localização da área de estudo e delimitação da Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais - APARC.

A região continental adjacente à área de estudo encontra-se sob o regime climático tipo As', “quente e úmido” segundo a classificação de Köppen (Köppen, 1918), tendo como característica principal uma estação chuvosa, que inclui os meses de fevereiro até julho, e uma estação seca, com estiagem mais rigorosa entre outubro e dezembro (Carneiro, 2011). Essas variações climáticas podem ser explicadas pela movimentação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), em que o período de seca se relaciona com seu afastamento da costa, provocando a ausência de chuvas e o domínio dos ventos fortes, enquanto os períodos chuvosos ligam-se ao seu deslocamento para o sul, relacionando-se com ventos mais brandos (IDEMA, 2002). A região em continental também, possui uma precipitação pluviométrica anual em torno de 1600 mm por ano, com temperatura mínima em torno de 20°C, média de 27°C e máxima de

32°C, umidade relativa do ar atingindo em média 76,5% e direção de ventos predominantes de sudeste (Nimer, 1989). O padrão climático local se deve em grande parte a influência das massas de ar do Oceano Atlântico e dos ventos alísios de SE (Silva, 2002). Hazin *et al.* (2008), estudando as condições de correntes marítimas na região de transição entre os litorais oriental e setentrional do Rio Grande do Norte, verificaram que a velocidade das correntes superficiais varia entre 1,39cm/s e 24,92cm/s, com valor médio de 6,32cm/s. A temperatura superficial da água do mar varia de 26,5 °C no período de inverno a 28,5 °C no período de verão (Servain *et al.*, 1990), e a salinidade varia entre 36 e 37 ‰ (Testa, 1996). A direção predominante da corrente nos períodos de maior intensidade foi para NW. O clima de ondas característico para o setor que abrange a área de estudo é definido por altura significativa de 1,0 m e período de 5 segundos para ondas incidentes de ENE e 1,5m e 6,5 segundos de período para ondas de SSE (Bittencourt *et al.*, 2002). A região possui um regime de maré semidiurna, com uma amplitude média aproximada de 1,5m, podendo chegar a 2,2m, nas marés de sizígia, e de acordo com Hayes (1979), pode ser classificada como uma costa de meso-maré. A turbidez da água é geralmente alta, principalmente na época chuvosa, porém com alta visibilidade nas estações de primavera e verão (Outubro a Março). A turbidez é natural e consequente da ação dos ventos e/ou correntes de maré que causam a suspensão de partículas (Maida e Ferreira, 1997). As atividades pesqueiras, já tradicionais, e turísticas, representam as principais fontes de recursos da população local (Amaral, 2005).

4.2.2 Mapeamento dos corais

4.2.2.1 Análise Batimétrica

Para o desenvolvimento da análise, foram realizados levantamentos batimétricos no mês de abril de 2013, utilizando uma embarcação equipada com Sistema de Posicionamento Global (GPS) e ecossonda (feixe duplo, 200KHz, 14°). O planejamento das atividades de campo e a aquisição de dados foram feitos com base nas informações obtidas nas referências bibliográficas existentes e do conhecimento empírico da região. Para confecção das rotas a serem percorridas, foi utilizado o software TrackMaker v.13.8 (Ferreira Júnior, 2008), aonde foram determinados em laboratório 33 transectos, com espaçamento entre estes de 500m e extensão de aproximadamente 7km. Em seguida, os pontos determinados foram exportados para o receptor GPS e realizado a navegação sobre a área de estudo. O receptor GPS/Sonda foi programado para aquisição do dado batimétrico a cada 10 segundos. A coleta dos dados batimétricos foi realizada

prioritariamente em períodos de marés de quadratura, condições estas, aonde ocorrem as menores variações de maré, minimizando os erros de coleta e correção dos dados.

Após realização das campanhas, Os dados batimétricos foram corrigidos em três etapas: (1) remoção de valores duplicados, isso ocorreu nos casos onde houve momentos de parada da embarcação; (2) correção ao nível de maré; e (3) ajuste do calado da embarcação. Posteriormente os dados foram inseridos em um Sistema de informações Geográficas (SIG).

A correção de maré aplicada nos dados batimétricos coletados, foi realizada utilizando as informações da régua maregráfica do Porto de Natal – RN. As medidas horárias da altura da maré foram fornecidas pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO). A correção dos dados batimétricos, em relação à altura da maré, foi realizada com a variação da maré no momento da coleta do respectivo ponto batimétrico, aonde nele, foi somada ou subtraída cumulativamente ao valor da profundidade naquela amostra.

A partir dos dados de profundidade obtidos em campo e corrigidos em laboratório, foi gerado um Modelo Digital Batimétrico (MDB). Nesta modelagem, foi utilizado o método de Krigagem Empírica Bayesiana (*Empirical Bayesian Kriging* - EBK). EBK é um método de interpolação geoestatística que automatiza os aspectos mais difíceis de construir um modelo de krigagem válido. Ele difere de outros métodos de krigagem por representar o erro introduzido através da estimativa do semivariograma subjacente, isso faz com que os erros padrão de previsão sejam mais precisos do que outros métodos de krigagem. Além disso, a EBK se destaca em permitir previsões precisas de dados moderadamente não estacionários, e ser mais preciso do que outros métodos de krigagem para pequenos conjuntos de dados (ESRI, 2011). O MDB foi gerado com resolução espacial de 60m.

Em seguida foram extraídos do MDB os perfis batimétricos transversais ao Parracho modelado. Na análise destes perfis, foi utilizado o esquema de zonação descrito por Wrigth e Burchette (1996), para estudos em recifes de corais.

Por fim, foi aplicado um *Draping*-3D, a partir da cena do sensor OLI/Landsat-8 (RGB-432) com a imagem *raster* gerado pelo MDB. A técnica *Drape* consiste em gerar o modelo 3D em arame (denominado de aramado) do espaço modelado (Brooks e Whalley, 2008). Nesta etapa, foi utilizado o software ArcScene v10.1 (ESRI, 2011).

Na análise dos perfis batimétricos procuramos identificar as principais zonas geomorfológicas deste complexo recifal. Foram identificados:

- *Back Reef*. É a região do recife voltada para a costa, que normalmente sofre menos impacto das ondas devido à proteção exercida pelo *Reef Crest* e o *Reef Front*.

- *Reef Crest*. Esta é a parte mais alta do recife em qualquer fase do seu crescimento, e se em águas rasas, é a parte do topo do recife que recebe a maior parte da energia eólica e das ondas.
- *Reef Front*. Essa zona se estende desde a zona de arrebentação (final do *Reef Crest*) a uma profundidade indeterminada (início do *Fore Reef*), aonde a inclinação topográfica começa a suavizar ou mudar de padrão. Esta zona, também absorve grande parte da energia das ondas.
- *Fore Reef*. Localiza-se na porção externa do recife, logo após o *Reef Front*, e se estende até aonde a topografia do ambiente se estabiliza.

4.2.2.2 Produtos de sensores remotos orbitais

Os sensores orbitais utilizados no estudo foram: sensor MS (*Multispectral Sensor*) do Satélite GeoEye-1, sensor PAN (*Panchromatic*) do satélite WorldView-1 e o sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite Landsat-8.

A cena do OLI/Landsat-8 foi obtida gratuitamente no portal eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS), através do endereço <www.earthexplorer.usgs.gov>. As cenas dos sensores MS/GeoEye-1 e PAN/WorldView-1 foram obtidas através de contrato de compra e venda, exclusivamente para este projeto (Projeto Rio do Fogo - Mapeamento de Feições Subaquáticas e Hábitats Bentônicos Associados no “Parracho de Rio do Fogo/RN”: Uma Comparação Entre Produtos de Sensores Remotos e Novos Métodos de Classificação).

Foram obtidas informações maregráficas no portal eletrônico da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (MB), através do endereço <www.dhn.mar.mil.br>. Adotou-se o marégrafo do Porto de Natal-RN (aproximadamente 60 km ao sul da área de estudo), para calibração das alturas da maré nas datas e horários de imageamento, dos sensores estudados na área em foco. Segue as informações maregráficas na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Informações maregráficas sobre os produtos de sensores remotos utilizados.

Sensor/Satélite	Data de Imageamento	Hora (GMT)	Hora Local (GMT-03:00)	Altura da Maré (m)	Situação da Maré
MS/GeoEye-1	3/1/2011	12:47:00	09:47:00	0.46	Maré baixa, começando a encher.
PAN/WorldView-1	23/3/2011	13:03:00	10:03:00	1.21	Maré média, secando.
OLI/Landsat-8	10/06/2013	12:30:00	09:30:00	0.94	Maré média baixa, secando

4.2.2.3 Interpretação visual dos produtos de sensores remotos orbitais

Inicialmente as imagens foram submetidas à correção geométrica e atmosférica (Drury, 1993; Richards, 1995; Walsh *et al.*, 1998). Foi realizado um recorte do entorno da área de estudo nas cenas coletadas, para que as feições externas não influenciassem na variabilidade das informações presentes. Após as correções, foi gerada uma imagem híbrida (RGBI-4328) com a do sensor OLI/Landsat-8, adequadamente contrastadas. Em seguida foi gerada uma imagem híbrida (RGBI-RGBPAN) com os sensores de alta resolução espacial, MS/GeoEye-1 e PAN/WorldView-1, adequadamente contrastadas. Estas duas imagens híbridas serviram de base para as interpretações visuais. Todas as atividades de processamento de imagens foram realizadas com o software ERMapper v7.1 (ERDAS, 2008).

Os elementos de interpretação adotados nas identificações dos objetos foram: tonalidade, cor, tamanho, forma, textura, padrão, localização e contexto (Novo, 1998). A partir de então, foi executado o mapeamento dos recifes através de edição vetorial.

Por fim, houve a “verificação da verdade de campo”. Foram observados em campo e analisados posteriormente, por meio de filmografia e fotografia georreferenciada, parâmetros como: tipos de fundo; densidade de corais; relação cascalho, areia, lama, interações bióticas. Tudo que possibilitou a validação das interpretações obtidas no processamento digital de imagens. As coletas de dados ocorreram em áreas pré-selecionadas com base na interpretação das imagens de acordo com procedimentos adotados por Amaral e Gonçalves (2004) e por Hill e Wilkinson (2004). Os dados coletados foram georreferenciados por meio de receptores GPS de mapeamento.

4.2.3 Criação do SIG

Todos os dados estão armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para a criação e manutenção (alimentação e ajustes) do SIG, foi utilizado o software ArcMap 10.1 (ESRI, 2011). Para todos os dados foi utilizado o *datum* WGS 84, e o sistema de coordenadas UTM, zona 25 sul.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Mapeamento dos Corais

Consideramos mapeamento como o processo de coleta, avaliação e representação dados e informações espaciais envolvendo na maioria das vezes, ferramentas de geoprocessamento. Sua

materialização se dá através de mapas, que constituem importante ferramenta de diagnóstico ambiental e socioeconômico. O mapeamento constitui o passo imediatamente anterior ao monitoramento e, dentre outras coisas, deve permitir a seleção das áreas para o estudo mais detalhado. Em nosso caso, o parracho de Rio do Fogo é uma formação recifal complexa assentada possivelmente sobre corpos de arenitos pré-existent. O mapeamento da área de estudo permitiu aferir com maiores detalhes, as feições geomorfológicas e da superfície bentônica, integrando o uso de sensoriamento remoto e coleta de dados *in situ*.

Todo o complexo recifal se evidencia em forma elíptica, com um total de aproximadamente 12 quilômetros de comprimento e 3 quilômetros de largura, uma proporção comprimento x largura de aproximadamente 4:1, com uma orientação de formação SE-NW.

4.3.1.1 Análise Batimétrica

A geração do Modelo Digital de Batimetria (MDB) a partir de interpolação de dados é uma técnica fortemente disseminada em estudos costeiros (por exemplo, Righton e Mills, 2006; Ryan *et al.*, 2007). Na área de trabalho em estudos anteriores, Nogueira e Amaral (2009) e Araújo Filho (2011) usaram MDBs para esboçar suas considerações sobre a morfologia da área em grande escala. Santos (2006), já alertava a necessidade de trabalhos que utilizasse uma batimetria mais precisa, para tentar modelar os parrachos da região, de forma a posicioná-los adequadamente no espaço.

Com a utilização do MDB, foram produzidos e analisados o mapa do contorno batimétrico (com as isóbatas com equidistância de 2m) e o modelo 3D da área de estudo (figura 4.2 e 4.3). As informações retiradas de ambos os mapas se complementam e assim pode-se ter uma melhor ideia da geomorfologia da feição estudada. A área mapeada possui uma amplitude de relevo de 14m, com máximo e mínimo de aproximadamente 0 e 14 metros de profundidade respectivamente. O complexo dos Corais de Rio do Fogo encontra-se definido entre as isóbatas de -4 e -6m, abaixo das quais percebemos um rápido aumento na inclinação do terreno até uma profundidade de aproximadamente 10m. O MDB permitiu a observação de um banco a SW do Parracho, uma elevação entre o complexo recifal e o continente, limitada pela isóbata de -6m, com aproximadamente 2km de largura. Este banco tem direção aproximada N-S e se une ao continente nas proximidades da comunidade de Rio do Fogo. Sua presença não é clara nas imagens satelitais estudadas, foi denominado de banco de areia interno [Inner side sand bank].

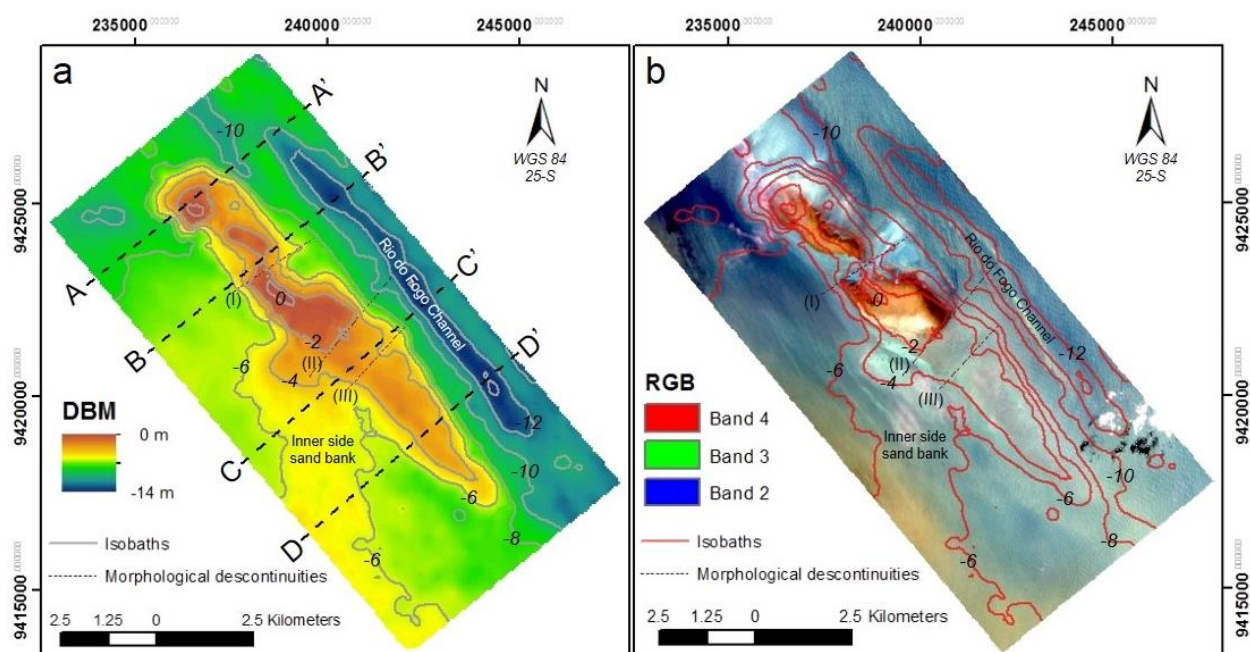


Figure 4.2. (a) Modelo Digital de Batimetria (MDB) e os perfis batimétricos selecionados, a partir da Estimção Empírica Baeyiana (EBK). (b) Cena do sensor OLI/Landsat-8 (RGB-432). Esta cena foi utilizada para geração do modelo 3D (Figura 3).

Também é ressaltada a presença de, pelo menos, três discontinuidades morfológicas transversais ao corpo recifal: (I) a primeira, mas ao norte, claramente perceptível, dá origem ao chamado Canal da Barreta, que separa o corpo em dois, chamados localmente de Recife das Garças (mais ao noroeste) e recife de Rio do Fogo. Este canal será descrito mais adiante. (II) Aproximadamente no centro do corpo outra discontinuidade transversal com direção SW-NE é claramente observada tanto no modelo batimétrico como na imagem satelital. Sua evidência se prolonga, em direção a plataforma, até a isóbata de -10m já no *Front Reef*. (III) Finalmente uma terceira discontinuidade é observada logo a norte, esta, com evidências mais sutis tanto no MDB como nas imagens, embora claras.

No setor externo do corpo recifal, posicionado paralelamente a este, há uma distância aproximada de 1000m, a isóbata de -12m evidencia uma depressão alongada com cerca de 9km de comprimento. Este canal aparentemente limita o *Front Reef* e sua presença também é evidenciada na imagem de satélite. Sua profundidade alcança 14m e o denominamos de Canal de Rio do Fogo.

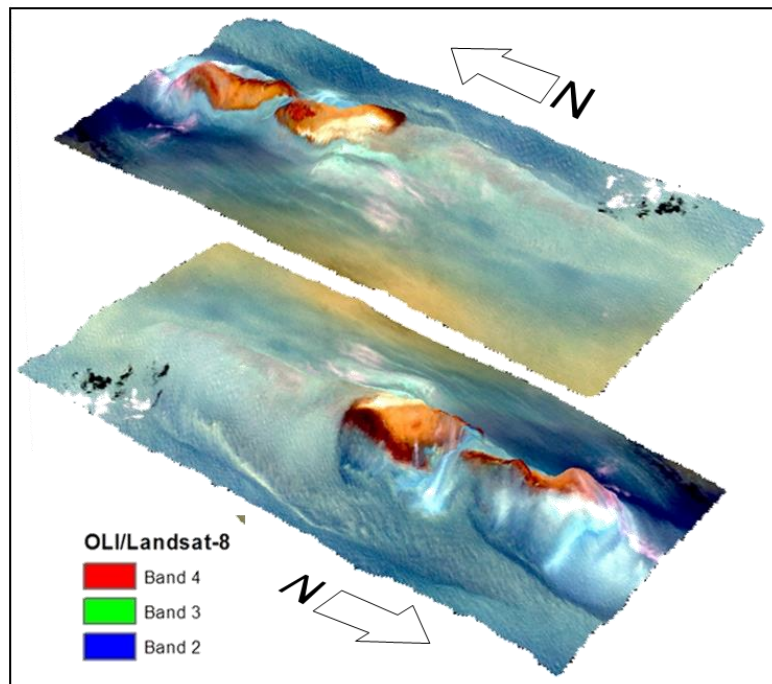


Figure 4.3. Modelagem 3D da área de estudo em 2 ângulos de visualização. Sensor OLI/Landsat-8 (RGB-432).

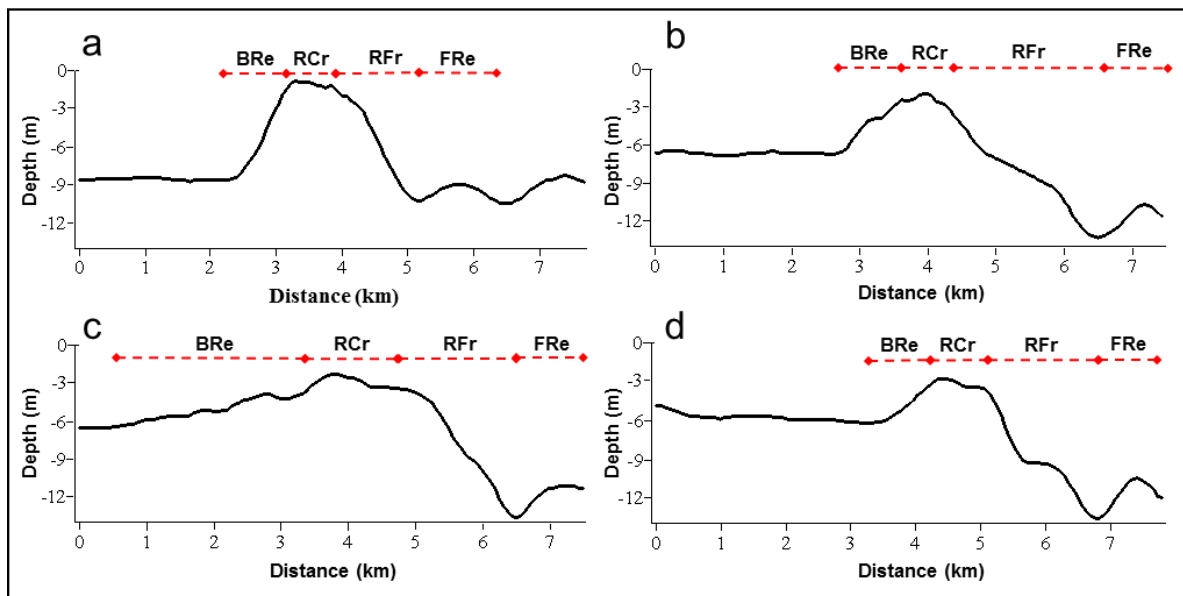


Figura 4.4. Análise dos perfis batimétricos transversais ao Parracho de Rio do Fogo (ver figura 2a). (a) Perfil AA'; (b) Perfil BB'; (c) Perfil CC'; (d) Perfil DD'. Legend: BRe (Back Reef); RCr (Reef Crest); RFr (Reef Front); FRe (Fore Reef).

Analisando os perfis batimétricos (figura 4.4), observamos que o *Back Reef* apresenta um comprimento maior no perfil CC' (figura 4.4c), 3,5km, enquanto que nos outros perfis, o *Back Reef* foi de aproximadamente 1 km. Isto se deve à presença do banco de areia interno comentado anteriormente. A zona do *Reef Crest* possui uma pequena variação de largura em todo o complexo, variando entre 0,5 a 1,2km, sendo mais largo no perfil CC', região central da área de estudo. A largura na região do *Reef Front* variou entre 1,5 a 2km de comprimento, apresentando a maior variação no perfil BB' (figura 4.4b). Por fim o *Fore Reef* não apresentou variação, tendo nos 4 perfis, aproximadamente 1 km de comprimento. Nos perfis BB', CC' e DD', o limite externo do *Fore Reef* pode ser balizado pela quilha do "Canal de Rio do Fogo".

Percebe-se que a região do *Fore Reef* possui grande inclinação e, de modo geral, graças ao Canal de Rio do Fogo, já descrito anteriormente, finaliza a mais de 12 metros de profundidade, enquanto que o *Back Reef* a profundidade máxima pode ser inferior a 6m, principalmente devido ao banco de areia interno. Leão *et al.* (2003), já havia chamado a atenção para esta morfologia, apontando, na área externa do parracho uma parede quase vertical, com aproximadamente 6 m de altura e na área interna uma altura de cerca de 4m. Esta diferença morfológica está associada a provável maior espessura de sedimentos entre os parrachos e o continente, o que pode ser deduzido pela constante turbidez das águas nesta região que decorre posicionamento dos parrachos, que trapeiam os sedimentos que se movimentam no sentido do oceano. Ferreira (2013), detectou a presença pontual de uma elevada concentração do material particulado em suspensão na região de estudo. Nesta detecção o autor utilizou como ferramenta de verificação, imagens do sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite AQUA.

Estes corpos recifais são associados a paradas mais baixas no nível do mar no Holoceno [Holocene lower sea-level stands] por autores como Vianna *et al.* (1989), Testa (1997) e Testa e Bosence (1999). Segundo Amaral (2005), os parrachos da região podem ser interpretados como testemunhos de antigas linhas de costa. O substrato necessário para sua fixação, possivelmente deve ter sido arenito de praia ou arenito ferruginoso da Formação Barreiras, rochas presentes abundantemente ao longo de toda a costa oriental do Rio Grande do Norte. Sobre esta base rochosa teriam se estabelecido as principais colônias recifais. À medida que o nível do mar se elevou, sob condições ambientais específicas, estes corpos estabeleceram a sua geometria.

A história do nível do mar no final do Holoceno mostra que o litoral brasileiro experimentou consideráveis flutuações do nível relativo do mar (Martin *et al.*, 1979, 1985,

1996). Essas flutuações tiveram profundos efeitos sobre a evolução morfológica dos recifes de coral, pois a mudança relativa do mar exerce controle na geometria e arquitetura destes corpos (Wright e Burchette, 1996).

4.3.1.2 Interpretação Visual dos Produtos de Sensores Remotos

Na interpretação visual da composição híbrida do sensor OLI/Landsat-8 (RGBI-4328), foi possível distinguir, com base em suas características morfológicas, 4 setores principais nos parrachos. São eles: (1) Setor Norte, (2) Central, (3) Sul e (4) Oeste (figura 4.5). O Setor Norte se destaca isolado dos demais, separado por um canal transversal ao corpo recifal, o Canal da Barreta, já descrito anteriormente. Junto com o Setor Central, compõe a área mais claramente visível do complexo, nesta composição, surge com cores quentes, resultado, possivelmente, da maior refletância da cobertura de algas e corais no comprimento de onda da banda 4, no canal vermelho. Os setores Oeste e Sul são dominados por áreas mais profundas, mas nitidamente diferentes. Em campo pudemos associar a cobertura bentônica do setor Oeste, com a presença de *Fanerógamas Marinhas*, como observado por Williams (2002) nos parrachos de Maracajau, logo ao sul da área de estudo. O setor Sul é aquele do qual obtivemos menos informações, mas os mergulhos realizados, mostraram a presença de algas.

Segundo Santos (2006), *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) é o principal coral formador dos recifes nesta região, com 80% de predominância, ocorrendo no platô destes recifes. Maida e Ferreira (2004) relatam adicionalmente a presença de *Favia gravida* (Verrill, 1886) no platô dos recifes e *Monstastrea cavernosa* em maiores profundidades. Arantes (2004), destaca que foi observada ocorrência de algas calcárias (*Lithothamnium* sp. e *Foslielia* sp.) recobrindo áreas entre espécies coloniais no recife e no substrato arenoso por concreções. Estas algas foram verificadas neste estudo, presentes no setor sul.

Além dos setores demarcados, na região externa a leste do complexo recifal é marcado por uma variação tonal na superfície do oceano. Confrontada com o estudo batimétrico, este comportamento é associado à presença do Canal de Rio do Fogo.

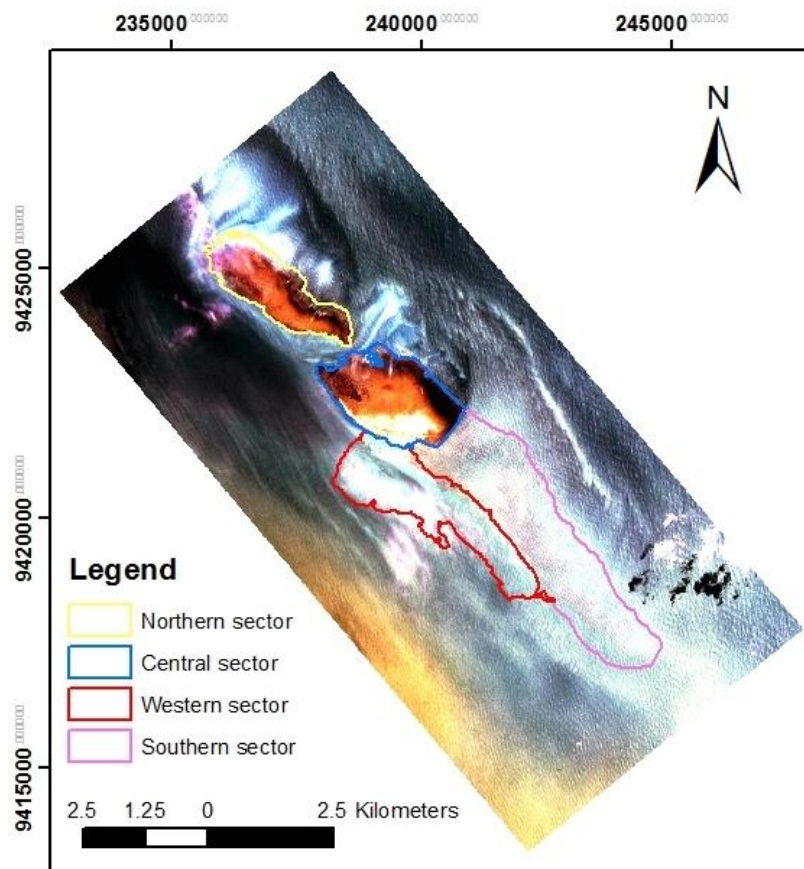


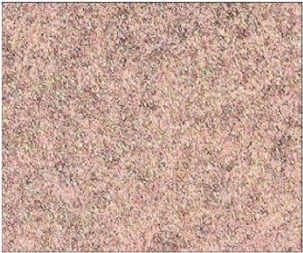
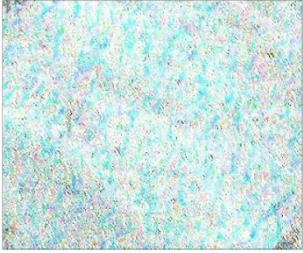
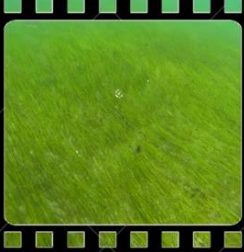
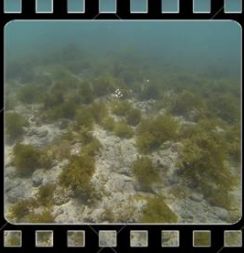
Figura 4.5. Imagem híbrida do sensor OLI/Landsat-8 (RGBI-4328).

4.3.1.3 Mapeamento Geoambiental

O termo geoambiental, adotado pela *International Union of Geological Sciences* (IUGS), foi criado para denominar a atuação dos profissionais das geociências em meio ambiente. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental. O conceito geoambiental favorece a integração de conhecimento e de experiências na determinação de zonas homólogas. Nesta perspectiva integradora este mapeamento foi realizado.

Com a imagem híbrida MSPAN (RGBI-RGBPAN), sensores de alta resolução espacial, foi possível identificar 6 unidades geoambientais bem definidas, a partir dos elementos adotados na interpretação visual, aliada a validação das interpretações (tabela 4.2).

Tabela 4.2. Chave de interpretação com os principais elementos de interpretação visual para a imagem híbrida MSPAN (RGBI-GBBPAN).

Identificação Tipologia	Tonalidade / Cor	Forma / Textura	Aspecto na Imagem (Escala 1:1000)	Frame do vídeo em campo (Filmagem a 1m do observador)
Intertidal reefs	Escura / Rosa e preto	Irregular /Rugosa		
Submerged reefs	Clara / Vermelho claro	Irregular / Lixada		
Pools	Clara / Rosa e branco	Irregular /Rugosa		
Sandy bank	Clara / Azul claro	Ondulada com orientação SE-NW / Lisa		
Sea grasses	Escura / Preto e azul claro	Ondulada com orientação SE-NW / Ondulada		
Bank of algae	Escura / Marrom azulado	Irregular / Lixada		

Estas unidades geoambientais mapeadas são descritas abaixo:

- **Canal da Barreta [Barreta Channel]**. Araújo Filho (2011), com base em estudos de perfilagem batimétrica, descreve que este canal, possui largura de 100 metros na parte central e profundidade entre 3 a 7 metros. Na análise das imagens e no estudo batimétrico realizado esta geometria do canal pode ser melhor detalhada de forma que verificou-se que ele possui, na verdade, forma de ampulheta, com aproximadamente 120 metros de largura em sua secção mais central e nas extremidades 1000 metros (figura 4.6c).
- **Recifes Intermareais [Intertidal reefs]**. São corpos bioconstruídos, rígidos e porosos, compostos por algas calcárias, cnidários e carapaças de outros invertebrados próximos ou "soldados" uns aos outros e emersos nas marés mais baixas. São conhecido localmente por "Cabeços". Formam uma área de aproximadamente 0.21km² são observados no setor norte e central do parracho.
- **Recifes Submersos [Submerged reefs]**. São diferenciados dos corpos emersos por se acharem mais afastados uns dos outros, por se manterem submersos mesmos nas marés mais baixas e por possuírem menor altura. Ocupam uma área aproximada de 3.75km². Posicionam-se em continuidade lateral aos recifes intermareais.
- **Banco Arenoso [Sandy bank]**. São os bancos de areias. Esta feição está concentrada no setor oeste e possui uma área de 2.56km².
- **Fanerógamas Marinhas [Sea grasses]**. Também conhecido localmente por "Capim do Mar", é um banco de plantas fanerógamas, traqueófitas, de caule tipo rizoma enterrado no substrato. Também concentra-se no setor oeste, possuindo uma área aproximada de 1.90km².
- **Banco de Algas [Bank of algae]**. São os bancos de algas calcárias. Engloba todo setor sul e possui uma área de 7.60km².
- **Rastros e Sulcos [Spur and groove]**. São uma serie de [finger-like projections alternating with small sand channels] características comuns da zona de *Fore Reef*, devido aos efeitos contínuos de erosão causada por ondas e correntes. A morfologia destas estruturas consiste em pequenas cristas lineares separadas por sulcos (depressões) de sedimentos e detritos (figura 4.6b). A força física da energia das ondas, atuam como controlador na morfologia destas formações. Agem como quebra-mares eficazes e dissipam a energia das ondas e intensidade de correntes (Roberts *et al.*, 1992). Estas feições concentram-se nos setores norte e central do complexo, possuindo uma área total de 1.72km².

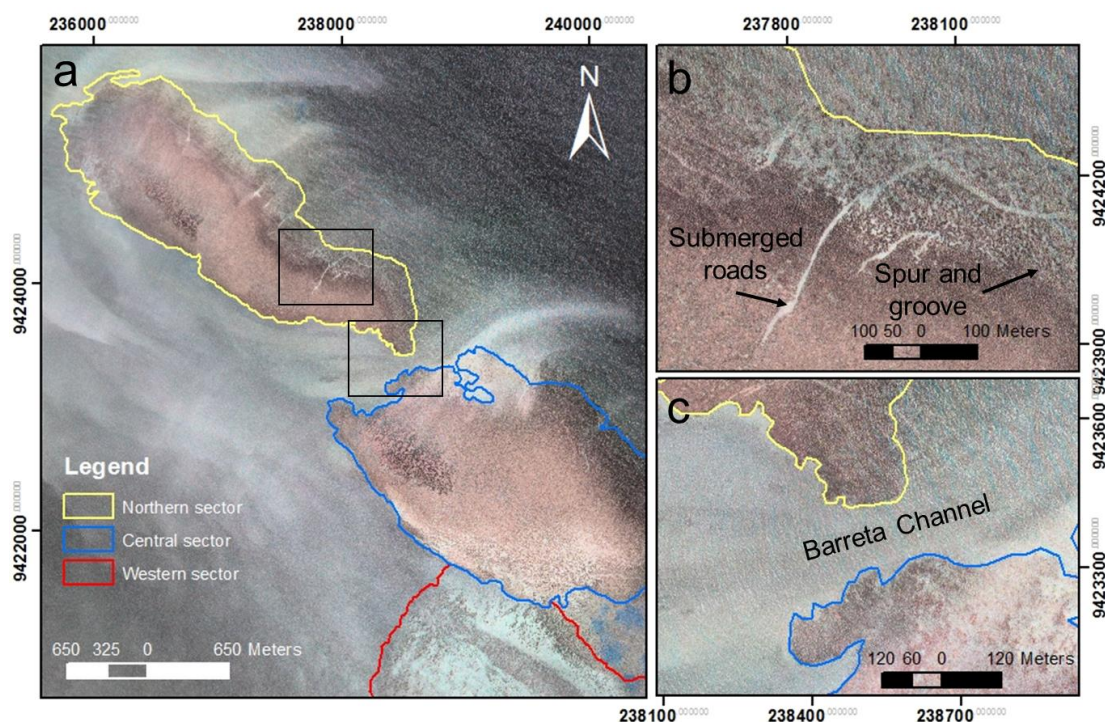


Figura 4.6. Imagem híbrida MSPAN (RGBI-RGBPAN): (a) Região noroeste da área de estudo; (b) Recorte ilustrando as feições “Caminhos submersos” e “Spur and grooves”; (c) Destaque da região do canal central do canal da Barreta.

➤ **Piscinas [Pools].** As piscinas constituem depressões no platô recifal (*Reef flat*) (Pereira *et al.*, 2010). As piscinas possuem ligação com a parte externa do recife, concentrando-se no oeste do setor central. Na área de estudo, as piscinas possuem aproximadamente 0.73km². O preenchimento do fundo é feito com sedimento arenoso e, nas maiores piscinas, encontram-se colunas recifais isoladas.

➤ **Caminhos submersos [Submerged roads].** Nos setores norte e central, algumas feições lineares, são observadas. Estas feições são localmente chamados de “Estradas” (Figura 4.6b). Com base em relatos de pescadores e observações de campo, estes caminhos foram formados a partir de colisões acidentais de barcos no complexo de corais. Historicamente, os recifes de corais localizados na região, foram palcos de vários naufrágios. Segundo Medeiros (2014), através de relatos existentes em jornais antigos oito naufrágios ocorreram entre 1840 e 1898. Tratavam-se de embarcações de diferentes nacionalidades, transportando mercadorias variadas.

A distribuição espacial das unidades geoambientais pode ser vista na figura 4.7, já integradas aos 5 setores homólogos e ao canal de Rio do Fogo, cuja delimitação se deu com base na isóbata de 12m. O espaço entre o Parracho e este canal corresponde ao *Fore Reef slope*. Calculando o total de cada área mapeada, podemos estimar que o complexo recifal possui

aproximadamente 46.75% (5.68km²) de ambientes dominados por construções bioclásticas (recifes intermareais, recifes submersos, rastros e sulcos).

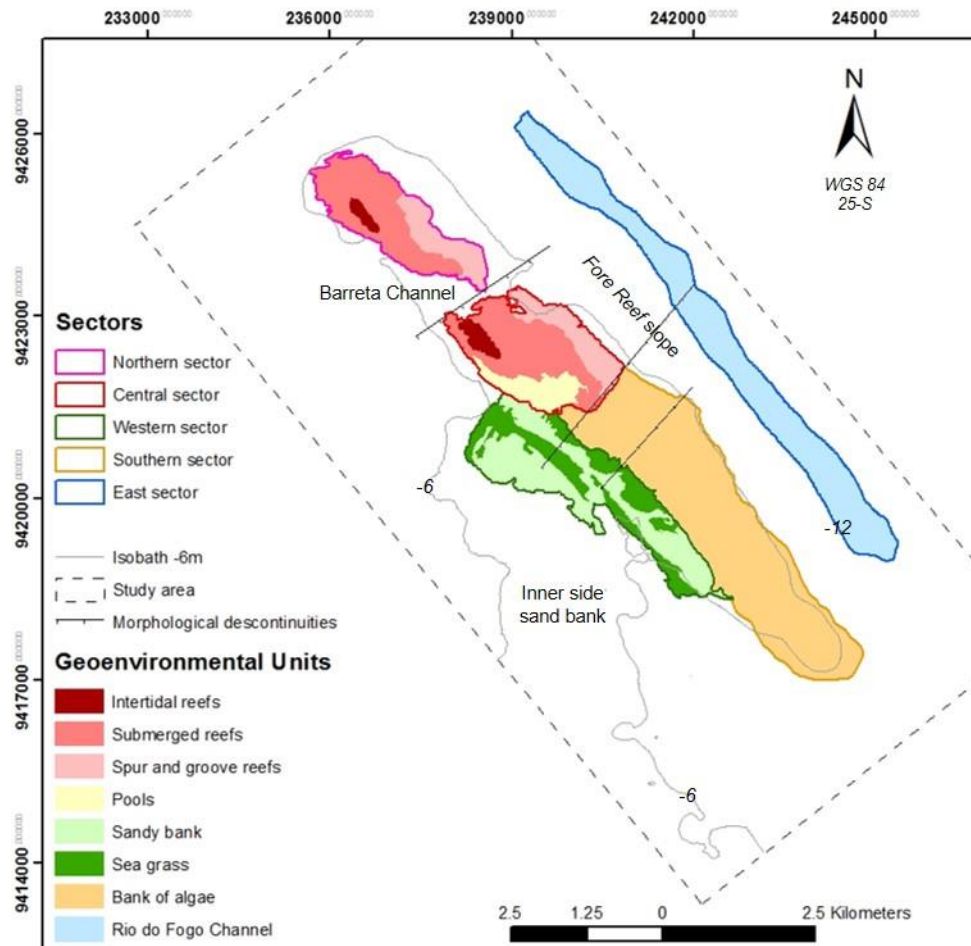


Figura 4.7. Mapa das unidades geoambientais no Parracho de Rio do Fogo.

Comparando este mapeamento com mapeamentos anteriores é possível verificar um maior detalhamento na determinação de zonas homólogas. Isto se deve a uma batimetria mais detalhada e ao uso de imagens de sensores remotos de maior resolução espacial e radiométrica (este, no caso do Landsat-8), mas também ao emprego de mais de uma ferramenta de interpretação, de forma concatenada (interpretação visual e validação em campo). Trabalhos como o de Testa (1997), Amaral (2002) ou mesmo Santos *et al.* (2007) chegaram a mapear duas classes nestes parrachos, enquanto que Henriques (2008), utilizando redes neurais, mapeou os parrachos de Rio do Fogo em 5 classes, mas estas encontram grande discrepância com as observações de campo.

4.4 Conclusões

Os parrachos de Rio do Fogo se caracterizam como um complexo ambiente coralino e algálico. Dentre as feições que se afloram neste ambiente destacamos o Canal de Barreta, os Recifes Intermareais, os Recifes submersos, os Rastros e Sulcos, as Piscinas, o Banco arenoso, as Fanerógamas marinhas, o Banco de algas os Caminhos submersos, além do Canal de Rio do Fogo e do banco arenoso interno.

Algumas feições, como visto, são claramente perceptíveis em todas as abordagens, outras são observadas, por exemplo, na análise batimétrica, mas não são tão claras na análise das imagens orbitais. Mesmo na análise das imagens orbitais, a simples diferença da resolução espacial, permite o mapeamento de setores com base em critérios diversos. Todas estas abordagens se complementam e reforçadas pelo conhecimento da área pelo intérprete e por trabalhos de campo, permitem a elaboração de mapas detalhados dos corpos recifais em plataformas rasas.

O processo de interpretação de imagens orbitais, integrado à análise batimétrica e checagens de campo utilizado como método para o mapeamento dos corais de Rio do Fogo respondeu adequadamente ao que foi proposto. À luz dos dados disponíveis e coletados, a aplicação desta metodologia, possibilitou obter um produto que congrega tanto informações de ordem quantitativa (áreas, comprimentos, perímetros, profundidade das feições analisadas) quanto de ordem qualitativa (características das unidades geoambientais). As interpretações visuais aliadas aos dados batimétricos e validações em campo (mergulhos), propiciaram a integração do conhecimento da geomorfologia na região contribuindo para a delimitação das unidades geoambientais dos recifes de corais de Rio do Fogo. Os resultados alcançados, constituem uma real contribuição para o conhecimento técnico-científico ressaltando as feições geoambientais da Plataforma continental rasa, nordeste brasileiro, principalmente no tocante ao seu caráter morfológico.

4.5 Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento financeiro ao Projeto Rio do Fogo - Mapeamento de Feições Subaquáticas e Hábitats Bentônicos Associados no “Parracho de Rio do Fogo/RN”: Uma Comparação Entre Produtos de Sensores Remotos e Novos Métodos de Classificação (Edital MCT/CNPq nº 14/2011 – Universal: Processo nº 479646/2011-2); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas concessões de bolsas de pesquisas aos pesquisadores

do trabalho. Também agradecemos ao Sr Flávio e Sr “Dedinho”, pelos grandes auxílios na coleta de campo.

4.6 Referências

Amaral, R. F. Mapeamento da Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais – Fase Exploratória. UFRN, Departamento de Geologia/IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 2002. 50p

Amaral, R. F. 2005. Diagnóstico Ambiental da “Área de Uso Turístico Intensivo” no Parracho de Maracajaú. UFRN, Departamento de Geologia/IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 157p.

Amaral, R. F.; Gonçalves, L. M. G. 2004. Using Small Format Aerial Photographies (SFAP) to Map Coral Reefs in Rio Grande do Norte, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), Itajaí, SC – Brazil, ISSN 0749-0208.

Andréfouët, S.; Riegl, B. 2004. Remote sensing: a key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs*, 23: 1-4. DOI 10.1007/s00338-003-0360-z

Andréfouët, S.; Muller-Karger, F. E.; Hochberg, E. J.; Hu, C.; Carder, K. L. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 78, pág. 150-162, 2001.

Arantes, S. V. 2004. Descrição do recobrimento e ocorrência de macroinvertebrados bentônicos nos Parrachos de Maracajaú, município de Maxaranguape – RN, (Programa de Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Monografia de Bacharel em Ciências Biológicas. 74p.

Araujo Filho, L. P. 2011. Caracterização geomorfológica e modelagem de dados espaciais na plataforma. 2011. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

- Bittencourt, A. C. S. P.; Martin, L.; Dominguez, J. M. L.; Silva, I. R.; Sousa, D. L. A. 2002. Significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: implications on coastal Quaternary evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v.74(3), p. 505-518.
- Branner, J. C. 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations, with a chapter on the coral reefs. *Butt. Mus. Comparative Zool.*, Harvard College, Cambridge, 44 (Geol. Ser. n.7): 207-275.
- Brooks, S.; Whalley, J. 2008. Multilayer Hybrid Visualizations to Support 3D GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(4), 278-292.
- Burke, L.; Reyntar, K.; Spalding, M.; Perry, A. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute. Washington, D C. 10 p. ISBN 978-1-56973-762-0
- Connell, J. H. 1978. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science, New Series*. v. 199, n. 4335, p.1302-1310.
- Drury, S. A. *Image interpretation in Geology*. London: Chapman e Hall, 1993, 290 p.
- English, S.; Wilkinson, C.; Baker, V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*, 2nd Edition. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- ERDAS. 2008. ER Mapper - User's Guide. Norcross-GA, USA. 266 pp.
- ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Feitoza, B. M.; Sampaio, D. A.; Araújo, M. E. 2001. Ictiofauna recifal dos Parrachos de Maracajaú (RN) na área dos flutuantes: inventário e estrutura da comunidade. *Arquivos de Ciências do Mar*, Fortaleza, 35: 39–50.

Ferreira, A. T. S. 2013. Monitoramento Ambiental na Costa do Rio Grande do Norte com Base em Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. UFRN, 2013.

Ferreira Júnior, O. 2008. GPS TrackMaker: Guia de Referencia. Geo Studio Technology Ltd. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 165 p.

Green, E. P.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; Clark, C. D. 1996. A Review of Remote Sensing for the Assessment and Management of Tropical Coastal Resources. *Coastal Management*, p 24: 1-40.

Hamel, M. A.; Andréfouët, S. 2010. Using very high resolution remote sensing for the management of coral reef fisheries: Review and perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1397–1405.

Hayes, M. O. 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: S.P. Leatherman (ed.), *Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico*, pp. 1-27. Academic Press, New York, USA. (ISBN: 9780124402607).

Hazin, F. H. V.; Wor, C.; Oliveira, J. E. L.; Hamilton, S.; Travassos, P.; Geber, F. 2008. Resultados obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Arquivos Ciências do Mar*. v.41(1), p. 30-35.

Henriques, A. P. M. 2008. Classificação de imagens de ambientes coralinos: uma abordagem empregando uma combinação de classificadores e máquina de vetor de suporte. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação. UFRN, 2008. 149p.

Hill, J.; Wilkinson, C. 2004. Methods for ecological monitoring of coral reefs, Version 1, A Resource for Managers. *Australian Institute of Marine Science*, 117 pp.

Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, v.50, p.839-866.

Köppen, W. 1918. *Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf*. Petermanns Geographische Mitteilungen, Gotha, v.64, p. 193-203.

Laborel, J. 1967. Les peuplements de Madr'eporaires des c'otes tropicales du Br'esil. Th'esse Docteur (Universit'e dAix-Marseille), Marseille, 313 p.

Laborel, J. 1969. Les peuplements de Madr'eporaires des c'otes tropicales du Br'esil. Ann. Univ. D'Abdjam, Serie E (Ecologie), 3: 260 p.

Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P.; Testa, V. 2003. Corals and Coral Reefs of Brazil, Pp. 9-52. In: Cortés, J. (Ed.). *Latin America Coral Reefs*, Elsevier Science, 508 p.

Lima, W. S. G. 2002. Geologia e Geomorfologia dos Recifes de Maracajaú - RN e Plataforma Rasa Adjacente. 91p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, CCET/UFRN. Natal-RN.

Luczkovich, J. J.; Wagner, T. W.; Michalek, J. L.; Stofflee, R. W. 1993. Discrimination of Coral Reefes, Seagrass Meadows, and Sand Bottom Types from Space: A Dominican Republic Case Study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, No. 3, March 1993, pp. 385-389.

Maida, M.; Ferreira, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview. In: International Coral Reefs Symposium, 8°, 1997, Panama. *Proceedings...*p. 263-274.

Maida, M.; Ferreira, B. P. 2004. Recifes de coral brasileiros. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN, S.L.; COSTA, M.F. (Orgs). *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife: Bargaço, 2004. p. 617- 640.

Martin, L.; Flexor, J. M; Vilas Boas, G. S.; Bittencourt, A. C. S. P.; Guimarães, M. M. M. 1979. Courbe de variations du niveau relatif de la mer au cours des 7000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien (nord de Salvador-Bahia). Proc. Int. Symp. Coastal Evol.

Quaternary, São Paulo, Brasil: 264-274.

Martin, L.; Flexor, J. M.; Blitzkow, D.; Suguio, K. 1985. Geoid change indications along the Brazilian coast during the last 7000 years. Proc. 5th Int. Coral Reef Congr., Tahiti 3: 85-90.

Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J. M.; Dominguez, J. M. L.; Bittencourt, A. C. S. P. 1996. Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central Brazilian coast: consequences on coastal plain construction. *An. Acad. Bras. Ci.* 68: 303-354.

Medeiros, R. 2014. Maracajaú e Rio do Fogo – Antigos Cemitérios de Barcos da Costa Potiguar. Publicado em: 01 de Janeiro de 2014 no blog Tok de História. Acesso em 10/01/2014: <http://tokdehistoria.wordpress.com/2014/01/07/maracajau-e-rio-do-fogo-antigos-cemiterios-de-barcos-da-costa-potiguar/>

Moreira, P. P.; Reuss-Strenzel, G. M. 2009. Mapeamento de habitats do recife de coral Pedra de Leste, Abrolhos, utilizando uma imagem multiespectral Landsat7 ETM+. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6595-6602.

Mumby, P. J.; Green, E. P.; Edwards, A. J.; Clark, C. D. 1997. Coral Reef Habitat-mapping: How Much Detail Can Remote Sensing Provide?. *Marine Biology*, p 130: 193-202.

Nimer, E. *Climatologia do Brasil*. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422 p.

Nogueira, J. D. L.; Amaral, R. F. 2009. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

Novo, E. M. L. M. 1998. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. 3ª edição. São Paulo. Ed. Blücher. 297pp.

Pereira, N. S.; Manso, V. A. V.; Silva, A. M. C.; Silva, M. B. 2010. Mapeamento Geomorfológico e Morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(3):331-345.

Prates, A. P. L. 2003. Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 180 p.

Richards, J. A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 340 p.

Righton, D.; Mills, C. 2006. Application of GIS to investigate the use of space in coral reef fish: a comparison of territorial behaviour in two Red Sea butterflyfishes. *International Journal of Geographical Information Science*. v.46(2), p. 215-235.

Ryan, D. A.; Brooke, B. P.; Collins, L. B.; Kendrick, G. A.; Baxter, K. J.; Bickers, A. N.; Siwabessy, P. J. W.; Pattiaratchi, C. B. 2007. The influence of geomorphology and sedimentary processes on shallowwater benthic habitat distribution: Esperance Bay, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.72, p. 379-386.

Santos, C. L. A. 2006. Mapeamento de recifes no Rio Grande do Norte: Touros a Macau/RN. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 88 p.

Santos, C. L. A.; Vital, H.; Amaro, V. E.; Kikuchy, R. K. P. 2007. Mapeamento de Recifes na plataforma continental. Nordeste do Brasil: Touros a Maracajau – RN. *Brazilian J. Geophys.*, v. 25, n. 1, p. 27-36, 2007.

Scopéltis, J.; Andréfouët, S.; Phinn, S.; Arroyo, L.; Dalleau, M.; Cros, A.; Chabanet, P. 2010. The next step in shallow coral reef monitoring: Combining remote sensing and in situ approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 60 (2010) 1956–1968.

Silva, E. A. J. 2002. As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Solewicz, R. 1989. Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do Rio Grande do Norte visível por imagens de satélite. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 143pp.

Testa, V. 1996. Quaternary Sediments of the Shallow Shelf, Rio Grande do Norte, NE Brazil. PhD thesis. University of London, 411 p.

Testa, V. 1997. Calcareous algae and corals in the inner shelf of Rio Grande do Norte, NE Brazil. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panamá 1: 737-742.

Testa, V.; Bosence, D. W. J.; Viana, M. L. 1997. Submerged lithologies as indicators of relative sea-level oscillations in Rio Grande do Norte, NE Brazil. Anais VI Congr. Est. Quatern.: 155-160.

Testa, V.; Bosence, D. W. J. 1999. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, v.46, p. 279-302.

Testa, V.; Bosence, D. W. J. 1999. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, v.46, p. 279-302.

Vianna, M. L.; Cabral, A. P.; Gherardi, D. F. M. 1993. TM-Landsat imagery to the study of the impact of global climate change on a tropical coastal environment during the last deglaciation. *Int. Journal Remote Sensing*. v. 14, n.14, p. 2971-2983.

Vianna, M. L.; Solewicz, R. 1988. Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do RN visíveis por imagens de satélite. In.: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, 1988. Anais... Natal: [s.n.], v.3. p. 581-587.

Vianna, M. L.; Solewicz, R. & Cabral, A. P. Early Holocene stillstands in the brazilian northeast mapped by satellite. In: International Symposium on Global Changes in South America During

the Quarternary: Past-Present-Future, São Paulo, 1989. Anais... São Paulo: [s.n.], 8-12 may, 1989. p. 250-254.

Vianna, M. L.; Solewicz, R.; Cabral, A. P.; Testa, V. 1991. Sandstream on the northeast Brazilian shelf. *Continental Shelf Research*, 11, 509–524.

Walsh, S. J.; Butler, R.; Malanson, G. P. An overview of scale, pattern, processes relationships in Geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. *Geomorphology*, Amsterdam, v. 21, n. 3 - 4, p. 183-205, 1998.

Wilkinson, C. R. 2002. *Status of coral reefs of the world*. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville. p 363.

Williams, S. G. L. 2002. Geologia e Geomorfologia dos Recifes de Maracajaú-RN e Plataforma Rasa Adjacente. Dissertação do Programa de Pos-graduação em Geodinâmica e Geofísica. 94p.

Wright, V. P.; Burchette, T. P. 1996. *Process, Facies and Stratigraphy - Shallow-Water Carbonate Environments*. Sedimentary Environments. Editora H. G. Reading. London. 368-377 p.

CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Ao final dos estudos realizados, alguns pontos podem ser ressaltados, principalmente por seu caráter inédito. São eles:

No capítulo 2, a integração dos resultados obtidos permitiu que todas as feições pudessem ser descritas de forma satisfatória. Algumas características não claramente verificadas nas imagens puderam ser descritas e interpretadas a partir da modelagem batimétrica. A interpretação dos resultados de forma integrada com dados de diferentes tipos de sensores remotos e dados batimétricos, foi suficiente para caracterizar a geomorfologia da região em estudo, adaptando o zoneamento proposto por Testa e Bosence (1999) e gerando informações mais precisas referentes a plataforma continental rasa, nordeste do estado do Rio Grande do Norte.

Em relação à distribuição do sedimento biogênico, há uma predominância de algas calcárias entre os sedimentos biogênicos presentes na plataforma continental rasa, a nordeste do Estado do Rio Grande do Norte. Dentre as algas calcárias, houve um predomínio das algas verdes, no entanto as algas vermelhas e algas não identificáveis (algas antiga) obtiveram expressiva abundância. Na região das dunas transversais, é encontrado pouco sedimento de origem biogênico. O mapeamento da distribuição das principais classes biogênicas, realizado na área, constitui-se em mais uma contribuição para o conhecimento das características sedimentológicas da plataforma interna, além de fornecer subsídios para tomada de decisão no gerenciamento costeiras e futuros estudos, que venham a ser realizadas na área.

No capítulo 3, os parrachos de Rio do Fogo, se caracterizam por um complexo ambiente coralino e algálico. Várias são as feições que se afloram neste ambiente, aonde destacamos o Canal de Barreta, os Recifes Intermareais, os Recifes Submersos, os Rastros e Sulcos, as Piscinas, o Banco Arenoso, as Fanerógamas Marinhas, o Banco de Algas, os Caminhos Submersos e o Banco Arenoso Interno. Além destas, denominamos uma inédita feição, o Canal de Rio do Fogo. As diferentes unidades geoambientais dos recifes de corais pertencentes a Plataforma rasa do nordeste do Brasil, são afetados por diferentes padrões batimétricos.

A disponibilidade de mapas de habitats é uma excelente ferramenta na gestão territorial, orientando estratégias de amostragem e identificando as áreas de conservação (Hamel e Andréfouët, 2010). O potencial de utilização de dados de sensores orbitais para este tipo de estudo já foi demonstrado em diversos estudos no mundo (Luczkovich *et al*, 1993; Green *et al*,

1996; Mumby *et al*, 1997; Andréfouët *et al*, 2001; Andréfouët e Riegl, 2004; Scopélitis *et al*, 2010).

O processo de interpretação visual utilizado como método para o mapeamento dos corais de Rio do Fogo respondeu adequadamente ao que foi proposto. À luz dos dados disponíveis e coletados, a aplicação da metodologia adotada, possibilitou obter um produto que congrega tanto elementos de ordem quantitativa (áreas de unidades geoambientais e isóbatas) quanto de ordem qualitativa (feições afloradas em unidades geoambientais). As interpretações visuais aliados aos dados batimétricos, sedimentológicos e validações em campo (mergulhos), propiciaram a integração do conhecimento da geomorfologia na região contribuindo para a delimitação das unidades geoambientais dos Parrachos dos corais de Rio do Fogo. Foi também possível, observar uma sintonia entre alguns resultados obtidos neste trabalho com as interpretações propostas por diversos autores consultados. Os resultados apresentados neste trabalho, constituem uma valiosa contribuição para o conhecimento técnico-científico e uma excelente metodologia para análise das feições geoambientais da Plataforma continental rasa do Nordeste Brasileiro, principalmente no tocante ao caráter morfológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, R. F. 2000. Contribuição ao Estudo da Evolução Morfodinâmica do Litoral Oriental Sul do Rio Grande do Norte, Entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 252 p.

Amaral, R. F. 2002. Mapeamento da Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais – Fase Exploratória. UFRN, Departamento de Geologia/ IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 50 p.

Amaral, R. F. 2005. Diagnóstico Ambiental da “Área de Uso Turístico Intensivo” no Parracho de Maracajaú. UFRN, Departamento de Geologia/IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 157p.

Andrefoüet, S.; Muller-Karger, F. E.; Hochberg, E. J.; Hu, C.; Carder, K. L. 2001. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, v.78, p. 150-162.

Andrefoüet, S.; Riegl, B. 2004. Remote sensing: a key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs*, v.23, p. 1–4.

Araujo Filho, L. P. 2011. Caracterização geomorfológica e modelagem de dados espaciais na plataforma. 2011. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Batista Neto, J. A.; Silva, C. G. Morfologia do Fundo Oceânico. In: Batista Neto, J. A.; Ponzi, V. R. A.; Sichel, S. E. (Org.) *Introdução a geologia marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p. 31-51.

Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Nyström, M. Confronting the coral reef crisis. *Nature*, v. 429, p.827-833, 2004.

Bertrand, G. *Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico*. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo, n.13, 27 p. 1972.

Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Dominguez, J. M. L.; Silva, I. R., Sousa, D. L. A. 2002. Significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: implications on coastal Quaternary evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. V. 74 (3), p. 505-518.

Branner, J. C. 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter of the coral reefs. *Havard Coll. Mus. Comp. Zool, Bull.*, v. 44, p. 1-285.

Buddemeier, R. W.; Kleypas, J. A.; Aronson, R. B. *Coral reefs and global climate changes*. Potential contribution of climate change to stresses on coral reef ecosystems. Pew Center Global Climate Change. 2004, 33 p.

Burchette, T. P.; Wright, V. P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedim. Geol.* pp. 3-57.

Burke, L.; Reyntar, K.; Spalding, M.; Perry, A. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute. Washington, D C. 10 p. ISBN 978-1-56973-762-0

Cardenas, F. P. A. 1999. Zoneamento Geoambiental de uma parte da Bacia do Rio Nechi – Colômbia, por meio de Técnicas de Geoprocessamento. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geologia, UnB, Brasília. 1999. 137p.

Carmouze, J. P. 1994. O Metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo - Editora Edgard Blücher – FAPESP. 253p.

Carneiro, M. C. S M. Monitoramento das dunas utilizando o sistema de mapeamento a laser (lidar) aerotransportável: um estudo do campo de dunas do município de Rio do Fogo, RN, Brasil. Tese de Doutorado do Programa de Pósgraduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife-PE, 132p.

Christofolletti, A. L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em geografia. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. 2ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2007.

Connell, J. H. 1978. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science, New Series*. v. 199, n. 4335, p.1302-1310.

Costa Neto, L. X. 1997. Evolução Geológica-Geomorfológica Recente da Plataforma Continental Interna ao Largo do Delta do Rio Açu, Macau-RN. 1997. Dissertação de Mestrado em Geociências. Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 212 p.

Coutinho, P. N.; Morais, J. O. 1970. Distribución de los Sedimentos em laplataforma Continental Norte y Nordeste del Brasil. *Arq. Ciên. Mar.*, v.10, n.1, p.79-90.

Coutinho, P. N. 1981. Sedimentação na Plataforma Continental de Alagoas-Sergipe. *Arq. Ciências do Mar*. v.21 (1/2) p.1-18. Fortaleza, Ceará, Brasil.

English, S.; Wilkinson, C.; Baker, V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*, 2nd Edition. Townsville: Australian Institute of Marine Science.

Feitoza, B. M.; Sampaio, D. A.; Araújo, M. E. 2001. Ictiofauna recifal dos Parrachos de Maracajaú (RN) na área dos flutuantes: inventário e estrutura da comunidade. *Arquivos de Ciências do Mar*, Fortaleza, 35: 39–50.

Fonseca, P. P. Mapeamento Geológico e Zoneamento Geoambiental da Região do Pólo Industrial de Camaçari, através do uso de Ortofotos Digitais. Trabalho Final de Graduação: Curso de Graduação em Geologia. Instituto de Geociências – Universidade Federal da Bahia. 77.p. 2004.

França, A. M. C. 1979. Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente. In: Projeto REMAC, v.7, p. 89-127.

Gomes, A. S.; Villaça, R.; Pezzella, C. A. C. 2001. Atol das Rocas - Ecossistema único no Atlântico Sul. *Revista Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 29, n 172. pp. 32-39.

Gomes, M. P.; Vital, H. & Macedo, J. W. P. 2007. Aplicação da Geoestatística na Filtragem de Dados Batimétricos e Altimétricos na Bacia Potiguar. *Revista de Geologia*, 20: 243–255.

Green, E. P. Mumby, P. J. Edwards, A. J. e Clark, C. D. 1996. A Review of Remote Sensing for the Assessment and Management of Tropical Coastal Resources. *Coastal Management*, p 24: 1-40.

Green, E. P.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; Clark, C. D.; (Ed. A.J. Edwards). 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Coastal Management Sourcebook 3*, UNESCO, Paris. p. 1-316.

Hamel, M. A.; Andréfouët, S. 2010. Using very high resolution remote sensing for the management of coral reef fisheries: Review and perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1397–1405.

Hayes, M. O. 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: S.P. Leatherman (ed.), *Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico*, pp. 1-27. Academic Press, New York, USA. (ISBN: 9780124402607).

Hazin, F. H. V.; Wor, C.; Oliveira, J. E. L.; Hamilton, S.; Travassos, P. & Geber, F. 2008. Resultados obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza. 41(1): 30 – 35.

Henriques, A. P. M. 2008. Classificação de imagens de ambientes corais: uma abordagem empregando uma combinação de classificadores e máquina de vetor de suporte. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação. UFRN, 2008. 149p.

Hill, J.; Wilkinson, C. 2004. Methods for ecological monitoring of coral reefs, Version 1, A Resource for Managers. *Australian Institute of Marine Science*, 117 pp.

Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, v.50, p.839-866.

Hubbard, D. K. 1997. Reefs as dynamic systems. In: Birkeland, C. (ed.). *Life and death of coral reefs*. New York, Chapman & Hall. Pp. 43-67.

Huston, M. A. Patterns of Species Diversity on Coral Reefs. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 16, p.149-177, 1985.

IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte). 2002. Atlas do Rio Grande do Norte. Natal, RN.

Knowton, N. Coral reef biodiversity-habitat size matters. *Science*, New Series. v. 292, n. 5521, p.1493-1495, 2001.

Komar, P. D. 1976. *Beach Process and Sedimentation*. Prentice Hall, New Jersey.

Köppen, W. 1918. *Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf*. Petermanns Geographische Mitteilungen, Gotha, v.64, p. 193-203.

Laborel, J. 1969. Les peuplements de madreporaires des côtes tropicales du Brésil. *Ann. Univ. d'Abidjan*, Ser. E, II, Fasc. 3, 260p.

Laborel, J. L. 1967. A revised list of Brazilian scleractinians corals and descriptions of a new species. *Postilla Mus. Nat. History*, Yale University, 107, 14 p.

Laborel, J. L. & Kempf, M. 1967. *Formações de vermetos e algas calcárias nas costas do Brasil*. Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco. p. 33-50.

Leão, Z. M. A. N. 1994. The coral reefs of Southern Bahia. p. 151-159 in B. Hetzel and C. B. Castro. *Corals of Southern Bahia*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P.; Testa, V. Corals and corals reefs of Brasil. *Latin American Coral Reefs*, p. 10-52, 2003.

Leite, M. A. M.; Higashi, R. R.; Santos, G. T. 2003 Mapeamento geoambiental do leste do Estado de Santa Catarina em escala 1:1.000.000 visando estudo de materiais para pavimentos. In.: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, 2003, Campinas-SP.

Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. 1994. *Remote Sensing and Photo Interpretation*. 3ed. John Wiley & Sons: New York. 750p.

Lima, F. B., Amaro, V. E., Vital, H. 2005. Sistema de informações geográficas e sensoriamento remoto como ferramentas para a caracterização da geomorfologia em áreas submersas no litoral setentrional do RN (Bacia Potiguar). In.: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2689 - 2691.

Lima, W. S. G.; Amaral, R. F. 2001. Mapeamento dos Recifes de Corais de Maracajaú/RN com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato. *Pesquisas em Geociências*, 28(2): 417–425.

Lima, W. S. G. 2002. Geologia e Geomorfologia dos Recifes de Maracajaú – RN e Plataforma Rasa Adjacente. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 91p.

Lozano, C. P. 2003. Aplicación de la Corrección de Columna de Agua en una Imagen Landsat ETM para Identificación de Fondos Marinos en un Segmento de la Costa entre los Estados de Río Grande do Norte y Ceará, Brasil. Dissertação de Mestrado, INPE.

Luczkovich, J. J.; Wagner, T. W.; Michalek, J. L.; Stofflee, R. W. 1993. Discrimination of Coral Reefs, Seagrass Meadows, and Sand Bottom Types from Space: A Dominican Republic Case Study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, No. 3, March 1993, pp. 385-389.

Lysenga, D. R. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*. v. 2, p.71-82, 1981.

Maia, L. P., Cavalcante, M. D. 2005. Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará. Programa Zoneamento Ecológico e Econômico da Zona Costeira do Estado Ceará. LABOMAR.

Maida, M.; Ferreira, B.P. *Coral Reefs of Brazil: an overview*. Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium 1: 263-274, 1997.

Medeiros, R. 2014. Maracajaú e Rio do Fogo – Antigos Cemitérios de Barcos da Costa Potiguar. Publicado em: 01 de Janeiro de 2014 no *blog Tok de História*. Acesso em 10/01/2014: <http://tokdehistoria.wordpress.com/2014/01/07/maracajau-e-rio-do-fogo-antigos-cemiterios-de-barcos-da-costa-potiguar/>

Mendes, J. C. 1984. *Elementos de Estratigrafia*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. 547 p.

Moreira, P. P. 2008. Mapeamento de habitats do recife de coral Pedra de Leste, Abrolhos, utilizando imagens orbitais Quickbird e Landsat7 ETM+. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA. 104p.

Moreira, P. P.; Reuss-Strenzel, G. M. 2009. Mapeamento de habitats do recife de coral Pedra de Leste, Abrolhos, utilizando uma imagem multiespectral Landsat7 ETM+. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6595-6602.

Moura, R. L. 2003. Riqueza de espécies, diversidade e organização de assembléias de peixes em ambientes recifais: um estudo ao longo do gradiente latitudinal da costa brasileira. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 620p.

Mumby, P. J. Green, E. P. Edwards, A. J. e Clark, C. D. 1997. Coral Reef Habitat-mapping: How Much Detail Can Remote Sensing Provide?. *Marine Biology*, p 130: 193-202.

Nimer, E. *Climatologia do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ. 1989. 421p.

NOAA - National Oceanographic and Atmospheric Administration. Ocean Serve Education. Disponível em: <http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp_coral05a.html>. Acesso em: 10 mai 2014.

Nogueira, J. D. L.; Amaral, R. F. 2009. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE. p.4117-4123.

Odum, E. P. 1971. *Fundamentos de Ecologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, 3ª edição, Lisboa, 595p.

Oliveira, V. C. B.; Dutra, R. R.; Amaral, R. F.; Faria, V. F. 2009. Caracterização das feições morfoestruturais da plataforma continental do RN com o uso de processamento digital de imagens do Landsat-7. In: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4117 - 4123.

Polcyn, F. C., Rollin, R. A. *Remote sensing techniques for the location and measurement of shallow-water features*. In: NASA-WRL-8973-10-P. Ann Arbor, 1969. 66p.

Polcyn, F. C. *NASA/Cousteau Ocean Bathymetry Experiment – remote bathymetry using high gain Landsat data*. In: ERIM- 118500-1-F, Ann Arbor, 1976. 131p.

Porter, J. W. Autotrophy, heterotrophy, and resource partitioning in Caribbean reef-building corals. *The American Naturalist*, v. 110, n. 975, p. 731-742, 1976.

Prates, A. P. L. 2003. *Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras*. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 180 p.

Queiroz, E. V. 2008. Caracterização dos sedimentos superficiais de fundo do complexo recifal de Maracajaú, RN, Brasil. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Dissertação de Mestrado. 163p.

Reading, H. G. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Department of Earth Science. University of Oxford, Blackwell Science, 1996, 696p.

Santos, M. S. 1998. Descrição de corpos arenosos de grande escala na zona costeira e na plataforma continental norte do Rio Grande do Norte por imagens TM/Landsat. Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Dissertação de mestrado. São José dos Campos - SP. 123p.

Santos, C. L. A. 2006. Mapeamento de recifes no Rio Grande do Norte: Touros a Macau/RN. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 88 p.

Santos, C. L. A.; Vital, H.; Amaro, V. E.; Kikuchy, R. K. P. 2007. Mapeamento de Recifes na plataforma continental. Nordeste do Brasil: Touros a Maracajau – RN. *Brazilian J. Geophys.*, v. 25, n. 1, p. 27-36, 2007.

Santos, J. R. 2010. Caracterização Morfodinâmica e Sedimentológica da Plataforma Continental Rasa na APA Estadual dos Recifes de Corais – RN. *Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 85 p.

Scopéltis, J.; Andréfouët, S.; Phinn, S.; Arroyo, L.; Dalleau, M.; Cros, A.; Chabanet, P. 2010. The next step in shallow coral reef monitoring: Combining remote sensing and in situ approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 60 (2010) 1956–1968.

Servain, J.; Sévea, M.; Rual, P. 1990. Climatological comparison and long-term variations of sea surface temperature over the tropical Atlantic Ocean. *J Geophys Res*, 95: 9421-9431.

Silva, E. A. J. 2002. As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução. 127 p., Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, CCT/UFRN. Natal

Smith, S. V.; Buddemeier, R. W. Global change and coral reef ecosystems. *Annual Reviews of Ecological Systems*, v.23, p. 89-118, 1992.

Solewicz, R. 1989. Feições fisiográficas submarinas da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte visíveis por imagens de satélite. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP. 163p.

Spalding, M. D.; Ravilious, C. & Green, E. P. 2001. *World atlas of coral reefs*. United Nations Environmental program, WCMC.

Srivastava, N. K.; Corsino, A. R. 1984. Os carbonatos de Touros (RN): Petrografia e Estratigrafia. In: ATAS DO SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9. Natal. Anais. Natal; [s.n.]. p. 165-176.

Stride, A. H. 1982. *Offshore Tidal Sands: Process and Deposits*. London: Chapman & Hall. 222p.

Tabosa, W. F., Amaro, V. E., Vital, H. 2007. Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, supl. 1, pp. 37-48.

Testa, V.; Gherardi, D. M.; Bosence, D. W. J. and Vianna, M. L. 1994. Tropical algal carbonates from shelf and offshore atoll environments, Northeast Brazil. Abstracts 14th Int. Sedimentological Congress, Recife. 817-818.

Testa, V. 1996. Quaternary Sediments of the Shallow Shelf, Rio Grande do Norte, NE Brazil. PhD thesis. University of London, 411 p.

Testa, V. 1997. Calcareous algae and corals in the inner shelf of Rio Grande do Norte, NE Brazil. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panamá 1: 737-742.

Testa, V.; Bosence, D.W.J.; Viana, M.L. 1997. Submerged lithologies as indicators of relative sea-level oscillations in Rio Grande do Norte, NE Brazil. *Anais VI Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário*: 155-160.

Testa, V. and Bosence, D. W. J. 1998. A distally steepened, high energy, tropical ramp from the northeast Brazilian shelf. In: *Carbonate Ramps: Oceanographic and Biological Controls, Modelling and Diagenesis* (Ed. by V. P. Wright and T. P. Burchette), Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 149, 55-71.

Testa, V. and Bosence, D. W. J. 1999. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, v. 46, p. 279-302.

Troppmair, H.; Galina, M. H. Geossistema. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*. Fortaleza, ano 5, n. 10, p. 79-89, 2006.

Vedovello, R. 2004. Aplicações da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Planejamento Urbano, In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL*, 5, 2004. São Carlos, SP. Mesa redonda. São Carlos, SP: ABGE, 2004. Tema 6.

Vianna, M. L. and Solewicz, R. Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do RN visíveis por imagens de satélite. In.: *Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 1988, Natal. *Anais... Natal:[s.n]*, v.3. p. 581-587. 1988.

Vianna, M. L., Solewicz, R., Cabral, A. P. Early Holocene stillstands in the brazilian northeast mapped by satellite. In: *International Symposium on Global Changes in South America During the Quaternary: Past-Present-Future*, São Paulo, 1989. *Anais... São Paulo: [s.n.]*, 8-12 may, 1989. p. 250-254.

Vianna, M. L.; Solewicz, R.; Cabral, A. P.; Testa, V. 1991. Sandstream on the northeast Brazilian shelf. *Continental Shelf Research*, 11, 509–524.

Vianna, M. L.; Cabral, A. P.; Gherardi, D. F. M. 1993. TM-Landsat imagery to the study of the impact of global climate change on a tropical coastal environment during the last deglaciation. *Int. Journal Remote Sensing*. v. 14, n.14, p. 2971-2983.

Vital, H.; Stattegger, K.; Amaro, V. E.; Schwarzer, K.; Frazão, E. P.; Tabosa, W. F. & Silveira, I. M. 2008. A Modern High-Energy Siliciclastic-Carbonate Platform: Continental Shelf Adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. In: HAMPSON, G. J.; STEEL, R. J.; BURGESS, P. M. & DALRYMPLE, R. W. (Eds.). Recent advances in models of siliciclastic shallow-marine stratigraphy. SEPM, Special Publication, 90: 177–190.

Wright, V.P.; Burchette, T.P. 1996. *Process, Facies and Stratigraphy - Shallow-Water Carbonate Environments*. Sedimentary Environments. Editora H. G. Reading. London. 368-377 p.

Zembruski, S. G., Barreto, H. T., Palma, J. C., Milliman, J. D. 1972. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira An. XXVI Congr. Bras. Geol., Belém, 2:187-209.