



Mapeamento Geomorfológico e Morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul *

Geomorphological Mapping and Morphodynamic of Rocas atoll, South Atlantic

Pereira, N.S. @,¹, Manso, V.A.V. ², Silva, A.M.C. ³, Silva, M.B. ⁴

RESUMO

O complexo recifal de Rocas representa o único atol do Atlântico Sul, o qual está estabelecido sobre um *Guyot* que pertence a cadeia de montes vulcânicos originada na Zona de fratura de Fernando de Noronha. As intrínsecas relações geobiológicas bem como os parâmetros físicos e químicos contribuem na construção dos ambientes recifais e influenciam na geomorfologia dessa edificações. Levantamentos de campo com utilização de GPS e utilização de antigos mapeamentos permitiram a elaboração de um mapa atualizado do Atol das Rocas, bem como discorrer sobre um prévio estudo da morfodinâmica da Ilha do Farol através de levantamentos topográficos e estudos hidrodinâmicos. Com dimensões de 3,35 x 2,49 km e perímetro estimado de 11 km, Rocas é considerado como um dos menores atóis do mundo, a área no interior do anel recifal é de aproximadamente 6,56 km². No seu complexo recifal podem ser constatadas as seguintes feições: *frente recifal*; *crista algálica*; *platô recifal*; *depósito sedimentar*; *piscinas naturais*; *laguna* e *Ilhas arenosas*. O levantamento histórico dos mapeamentos realizados em Rocas mostraram que a Ilha do Farol cresceu aproximadamente 47.000 m², fato que pode estar relacionado com a intensa produção de partículas biogênicas no complexo recifal e com o aumento da hidrodinâmica local. A partir de estudos morfodinâmicos, a Ilha do Farol pode ser dividida em três setores: a porção Oeste representou o setor de maior energia, com elevada declividade e sedimentos de fração areia grossa; o setor Norte

@ - Autor correspondente: natansp_bio@hotmail.com

1 - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Geociências, Avenida Acadêmica Hélio Ramos s nº cep 50.740-530 Recife, Pernambuco, Brasil

2 - Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha - LGGM, Avenida Acadêmica Hélio Ramos s nº cep 50.740-530 Recife, Pernambuco, Brasil. vazmanso@uol.com.br

3 - Universidade do Estado da Bahia. UNEB, Campus VIII. Depto. de Educação. amcunha@uneb.br, Rua da Gangorra nº503, General Dutra - Paulo Afonso - BA

4 - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO. Av. Alexandrino De Alencar, 1399 Tirol cep 59.015-350 Natal, RN, Brasil. rebioatoldasrocas@yahoo.com.br

foi caracterizado por sofrer grande influência da corrente litorânea (0,3 m/s); e o setor Leste foi caracterizado por sua baixa declividade e frações de areia média, evidenciando baixa energia. Perfis realizados, no período estudado, evidenciaram uma pequena perda de sedimento, porém não o suficiente para ser considerado uma erosão, sendo as praias consideradas estáveis. Para uma melhor compreensão da morfodinâmica da Ilha do Farol se faz necessário um estudo mais aprofundado, com acompanhamento mensal, a fim de prover um modelo de dinâmica sedimentar no Atol das Rocas.

ABSTRACT

The reef complex of Rocas represents the only atoll of the South Atlantic. This atoll is situated on a Guyot that belongs to the chain of volcanic mountains originated in the fracture zone of Fernando de Noronha. The intrinsic geobiology relationships as well as the physical and chemical conditions contribute on the building of reef environment influencing its geomorphology. The present work was carried out by using of GPS and previous mapping that allowed to come up with an updated map of Rocas atoll, in addition an introductory study of the morphodynamic of Ilha do Farol through topographical and hydrodynamic studies. With small dimensions (3,35 x 2,49 km), an internal area of 6,56 km² and perimeter of 11 km, Rocas can be considered one of the smallest atoll of the world. In its reef complex can be, clearly, distinguished the following features: reef front; algal ridge; reef flat; sediment deposit; natural pools; lagoon and sandy cays. The historic survey of the mapping formerly done in Rocas atoll pointed out that the Ilha do Farol had a growth of nearly 47.000 m², which can be related to the high level of carbonate particle production in the reef complex and the increase of the local hydrodynamics. Based on morphodynamic studies, The Ilha do Farol could be divided in three sectors: the West part represented the highest energy sector, with steep slope and coarse sand; a porção; the North sector was characterized by the strong influence of the longshore drift (velocity of 0,3 m/s); the East sector figured a low energy environment with low slope and medium sand. Profiles carried out in June depicted a slight diminished on the volume of sediment from the beach profiles, although, the amount was not significant to consider as an erosion and then, the beaches were considered as stable. For a thorough understanding on the morphodynamic of Ilha do Farol, it is necessary a deeper study, with monthly monitoring, in order to provide a model for the sedimentary dynamic of Rocas atoll.

1. INTRODUÇÃO

A complexa correlação entre os processos físicos, químicos e biológicos fazem dos ambientes recifais especialmente interessante (Tucker & Wright, 1990). Esses complexos estão entre os mais evidentes cenários da interface dos processos biológicos e geológicos. O resultado dessa interação corresponde a estruturas carbonáticas formadas por diversos organismos como corais, briozoários, vermes do grupo serpulídeos e as algas calcárias.

Os recifes atuais desenvolvem-se em águas rasas com profundidades inferiores a 50 m, límpidas, de temperatura média não inferior a 20°C e salinidade entre 27‰ e 40‰ (Laporte, 1974; Blanc, 1982).

Atualmente os ambientes recifais são classificados com base principalmente na sua morfologia, tamanho e sua relação com a proximidade da costa (Tucker & Wright, 1990).

Wilson (1974) tem classificado os ambientes recifais nas seguintes categorias: a) Franjas: são recifes próximos da linha de costa; b) *Faro*: são recifes em forma circular próximos da costa; c) *Patch*: são recifes tabulares isolados típicos de plataformas; d) *Barreiras*: são recifes afastados

da costa, separados por uma laguna extensa; e) *Knol* (termo não mais utilizado): são recifes isolados situados em águas profundas (> 50 m), comuns em taludes e sopés continentais; f) *Atol*: São recifes em forma de anel que apresentam uma laguna central rasa. Atóis geralmente crescem no topo de montes submarinos; g) *Tabular*: compreende aos recifes achatados situados em montes vulcânicos cujo o topo está próximo a superfície do mar, porém, não apresentam uma laguna central como ocorrem em atóis.

Foi durante a viagem a bordo do *H.M.S. Beagle* no século XIX que Charles Darwin concebeu a primeira teoria sobre o desenvolvimento de ilhas recifais, mais conhecidas com Atóis. Em seu diário de viagem, Darwin (1842) menciona as possíveis causas da formação de um atol a partir de observações dos recifes da Ilha de Moorea (Polinésia Francesa). Darwin (1842) propôs que os organismos construtores de recifes que habitavam a costa de ilhas vulcânicas construíam um arcabouço em torno dessas ilhas. Ao mesmo tempo em que esse montes submarinos sofreriam uma subsidência gradual, seja por um aumento do nível do mar ou por subsidência tectônica, ocorreria a construção de um edifício

carbonático, proveniente das atividades de organismos como corais e algas, até o momento em que todo o embasamento cristalino se direcionaria para baixo do nível do mar, ficando um arcabouço recifal em forma circular com uma laguna central, denominado de atol. (Darwin, 1842).

A teoria de Darwin foi confirmada em 1951 com a constatação de rochas vulcânicas encontradas a profundidades de 1267m e 1405m no Atol Enewetak (Ladd *et al.* 1970).

O Atol das Rocas foi descoberto pelo navegador português Gonçalo Coelho em 1503 e consiste em um edifício carbonático situado num monte submarino que integra a Cadeia de Fernando de Noronha (Soares-Gomes *et al.*, 2001, Gherardi & Bosence, 2001).

Os aspectos geomorfológicos do Atol das Rocas foram estudados previamente por Andrade (1959), Ottman (1963) e Kikuchi (1994). A classificação de Rocas como um atol verdadeiro divergia entre esses autores, fato que se explica pelo difícil consenso entre as características geomorfológicas e diagenéticas que classificavam os ambientes recifais (Soares et al. 2009). Com o trabalho de Stoddart (1969) foi possível discernir

as principais características de um atol, que são: a forma de anel do recife; a presença de uma laguna; Ilhas desenvolvidas a sotavento e o desenvolvimento do edifício recifal sobre um embasamento vulcânico (Soares et al. 2009).

O presente trabalho tem por objetivo abordar as principais características geomorfológicas do Atol das Rocas, elaborando um mapa ilustrativo que traz uma nova concepção desse importante sítio geológico bem como um estudo preliminar da morfodinâmica da Ilha do Farol a fim de prover um breve conhecimento da dinâmica sedimentar em Rocas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O atol das Rocas está situado na porção oeste do Atlântico Sul, entre as coordenadas UTM, zona 25M, com latitudes 9571500N – 9574500N e longitudes 408500E – 412500E, a 266 km da cidade de Natal-RN. Rocas cresce sobre um topo aplainado de um monte submarino o qual está inserido na margem continental brasileira, especificamente no sopé continental (Palma, 1984) (Fig. 1).

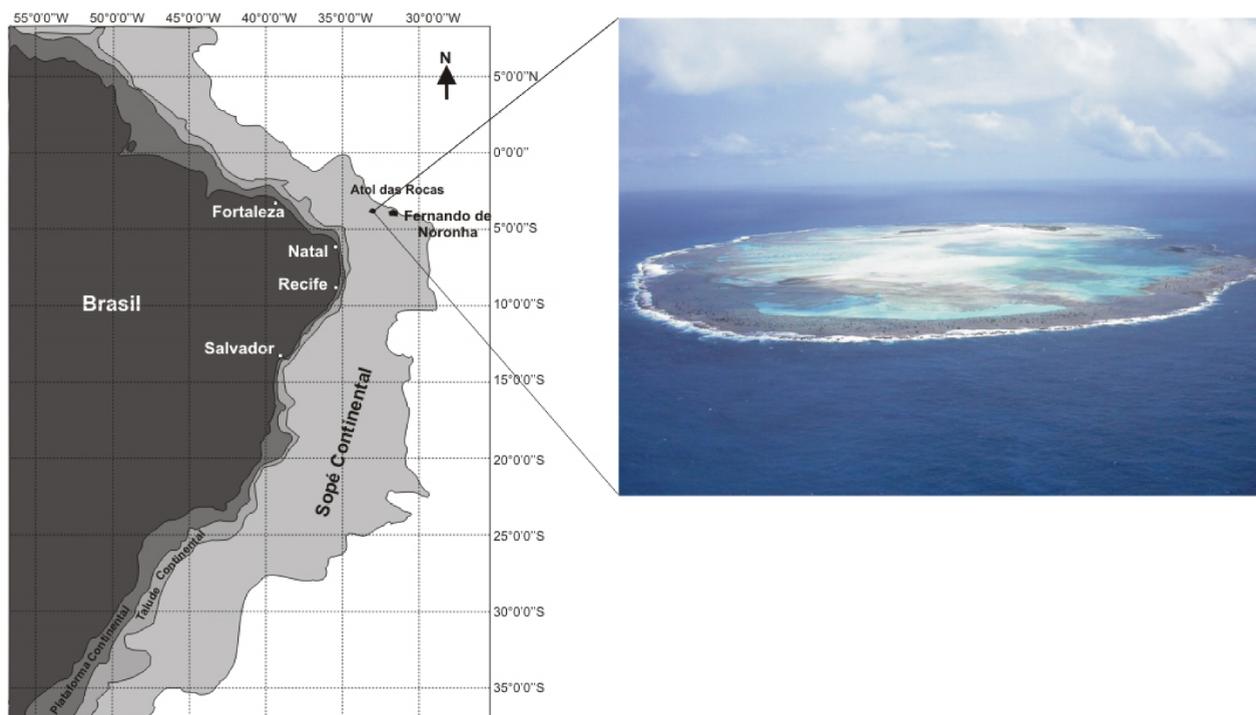


Figura 1 – Localização do Atol das Rocas.

Figure 1 – Location of Rocas atoll.

O atol das Rocas é banhado pela corrente Sul Equatorial, com direção constante para W (Ekau & Knoppers, 1996; Goes, 2006). Possui uma velocidade média de 30 cm s^{-1} , segundo Richardson & Walsh (1986) que determinaram a velocidade da Corrente Sul Equatorial no paralelo de 4° (a qual passa por Rocas).

A temperatura da água do mar possui média de 27°C , podendo chegar a 42°C nas piscinas, com salinidade na superfície variando entre 36° e 37° . O regime de mesomares é semidiurno, com altura máxima de 3,8 m (Gherardi & Bosence 1999). A salinidade da superfície da água varia de 36 a 37‰ e a temperatura da superfície do mar varia de 26°C em Setembro a 28.3°C em Abril (Hoflich, 1984; Servain et al., 1987).

Ventos predominantes de SE têm frequência de 50% e de E 35% durante o verão. Durante o inverno, ocorre uma intensificação nos ventos provenientes de SE, que têm frequência de 70%, com 25% para E. A velocidade máxima é de 11 ms^{-1} (Hoflich, 1984).

As ondas que ocorrem no atol se concentram na porção SE (Barlavento), embora que a refração de ondas no embasamento do atol, pode gerar grande arrebenhações de ondas na porção W e SW (Sotavento) de Rocas (Gherardi & Bosence, 2001). A altura máxima das ondas que atingem Fernando de Noronha (110 Km de Rocas) variam de 1.1 m, de Fevereiro a Abril, a 1.6 m, de Julho a Setembro (Hoflich, 1984). Para Hogben & Lumb (1967), 80% das ondas observadas na região de Rocas provêm de E e 15% de NE.

2.1 Geologia da Área

Rocas está situado sobre um monte vulcânico que integra a cadeia de montanhas submarinas de Fernando de Noronha, a qual se localiza nas Zona fraturada de Fernando de Noronha. Essa cadeia é composta de um segmento de montes submarinos com direção Leste-Oeste (Gorini & Bryan, 1976) que tem origem no sopé continental indo até a costa do Ceará (Palma, 1984).

Alguns desses montes sofrem erosão, principalmente por abrasão marinha, originando *Guyots*, que são montes aplainados que formam extensas plataformas submersas. A batimetria do perfil A'-A' (Fig. 2, b) ilustra a morfologia do monte

submarino no qual o Atol das Rocas está situado, evidenciando que o atol cresce na porção W de um *Guyot* que tem seu topo próximo da superfície do mar, o qual cresce a partir de profundidades próximas à 4000 m.

Amostras desse *Guyot* nunca foram obtidas, sendo sua natureza geológica ainda desconhecida. Por associação podemos correlacionar a natureza do embasamento cristalino do Rocas a outros montes submarinos que pertencem a Zona de fraturamento de Fernando de Noronha.

O arquipélago de Fernando de Noronha representa a única porção da cadeia em que são conhecidas as características do embasamento cristalino. Almeida (1955) realizou um levantamento geológico completo do arquipélago, reportando a existência de três Formações, a Formação Remédios (rochas piroclásticas, atravessada por numerosos diques e outros corpos intrusivos de diversas naturezas), a formação Quixaba (rochas provenientes da erosão da Formação Remédios que posteriormente foram recobertas por derrames de lavas ankaratíticas) e a Formação São José (derrames de nefelina basanita).

As idades determinadas para as rochas vulcânicas de Fernando de Noronha variaram de 1,7 m.a. até cerca de 12,3 m.a. É pressuposto que o embasamento cristalino de Rocas seja de natureza similar às rochas vulcânicas encontradas em Fernando de Noronha e de idade superior devido a sua maior distância em relação a cordilheira mesoceânica.

Com o decorrer do tempo, esse *Guyot*, foi colonizada por recifes de corais, algas calcáreas, moluscos e crustáceos cujas carapaças, acrescidas pela deposição de sedimentos, resultaram na formação de um anel elipsóide (Soares-Gomes et al., 2001, Gherardi & Bosence, 2001), que posteriormente elevou-se, em relação ao nível do mar, formando um atol com uma laguna rasa e duas ilhas arenosas em seu interior.

O edifício carbonático de Rocas possui um estrato com cerca de 12 m de espessura e de idade holocênica com velocidade sísmica de $0,33 \text{ m} \times \text{ms}^{-1}$, composto predominantemente por algas coralinas incrustantes, além de incrustações de gastrópodes vermetídeos e do foraminífero *Homotrema rubrum*, e pelos corais *Siderastrea stellata*, *Favia gravida* e *Montastrea cavernosa*.

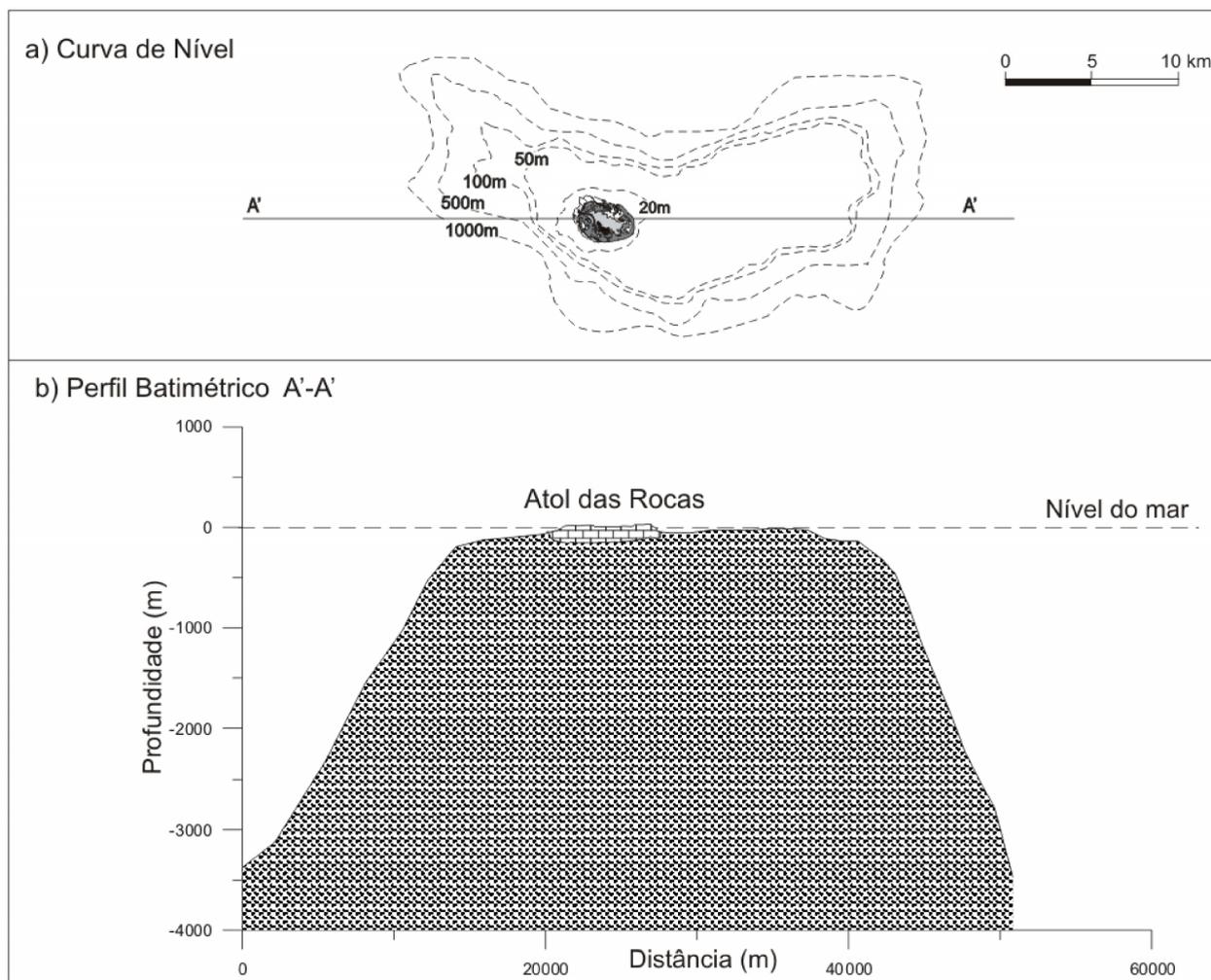


Figura 2 – Ilustração esquemática das curvas de nível (a) e perfil batimétrico (b) do Guyot que suporta o Atol das Rocas.
Figure 2 - Schematic illustration of the contour (a) and bathymetric profile (b) of the Guyot that supports Rocas atoll.

Ele cresce sobre um segundo estrato, formado por rochas com velocidade sísmica de $2,46 \text{ m} \times \text{ms}^{-1}$, similar àquelas observadas em carbonatos recifais do Pleistoceno. Sotoposto a esse estrato ocorrem rochas com velocidade sísmica superior a $4,5 \text{ m} \times \text{ms}^{-1}$, ordem de grandeza correspondente às das velocidades nos basaltos (Kikuchi, 1999).

As idades radiométricas de esqueletos de corais do estrato holocênico indicam que o atol se implantou há cerca de 6000 anos AP, crescendo a uma taxa média de $2,3 \text{ mm/ano}$. O seu substrato é, provavelmente, um carbonato pleistocênico cárstico com espessura de 25 a 35 m, que deve ter iniciado seu crescimento durante o Terciário, sobre um embasamento vulcânico (Kikuchi, 1999).

2.2 Estrutura Recifal

A estrutura carbonática do atol das Rocas foi descrita por Gherardi & Bosence (1999). Segundo os autores Rocas é formado por uma associação de organismos incrustantes. Os autores identificaram os seguintes componentes na formação recifal: algas coralíneas vermelhas, gastrópodes vermetídeos, *Homotrema rubrum*; foraminíferos acervulina, moluscos, corais, tubos de polychaetas, perfurações de esponjas e polychaetas e sedimento cimentado.

O principal construtor do recife de Rocas é a alga vermelha *porolithon cf. Pachydermum* que associada com mais quatro gêneros de algas coralíneas: *lythophyllum sp.*; *popolithon sp.*; *lithoporella sp.* e *sporolithon sp.* compõem

a estrutura recifal primária, representando uma abundância relativa de até 70% na formação (Gherardi & Bosence, 2001).

O trabalho de Gherardi & Bosence (2001) ainda sugere um grupo construtor de estrutura recifal secundário em Rocas, o qual foi representado por cinco diferentes classes de organismos: gastrópodes vermetídeos (principalmente do gênero *dendropoma sp.*); *H. rubrum* (foraminífero incrustante); acervulina (foraminífero incrustante); tubos de polychaetas e fragmentos de pequenos corais não identificados. Dentre a estrutura recifal secundária, destacam-se os gastrópodes vermetídeos com uma abundância relativa variando de 0.8% a 20.3%.

3. METODOLOGIA

Os dados apresentados são provenientes de amostras obtidas em duas campanhas de campo realizadas na Reserva Biológica do Atol das Rocas em Janeiro e junho de 2009.

Mapeamento

Um mapeamento foi efetuado através de *Global Positioning System* (GPS) sendo seus dados posteriormente processados no software TrackMaker versão # 13.6.

Para detalhamento do mapa foram utilizadas imagens de satélite obtidas no software *Google Earth* disponível *on-line* com a finalidade de ilustrar o Atol e suas principais feições morfológicas. Os mapeamentos realizados por Kikuchi & Leão (1997) e Andrade (1959) também foram utilizados no auxílio da preparação do mapa. Para a ilustração gráfica foi utilizado o Software CorelDRAW 12.

Sedimentologia

Com o intuito de realizar um estudo sedimentológico, cerca de 300g de sedimentos foram obtidas de diferentes regiões do Atol.

O estudo granulométrico compreendeu a análise mecânica dos sedimentos segundo a escala de Wentworth em intervalos inteiros de phi. Uma sub-amostra de 200g foi colocada em Becker e levada à estufa com temperatura de 60° C por 48 horas, para remoção de toda umidade (Suguio, 2003).

Após secagem, 100g de sedimento foram pesados em balança de precisão, passando posteriormente por dois procedimentos: o primeiro consiste no

peneirador úmido, no qual a amostra foi lavada em água corrente e peneirada em malhas de 2,00 mm e 0,062 mm, separando as frações cascalho, areia e retirando a fração lama (silte e argila). O cascalho e a areia retido nas peneiras foram pesados e com a diferença dos valores pode-se inferir o valor da fração silte e argila. A fração areia foi direcionada para o peneiramento mecânico sendo utilizado um “*ro-tap*”, por 10 minutos, onde foram separadas as frações inteiras de phi: 1,0 mm, 0,50 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,062 mm, correspondendo respectivamente a areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina.

Os resultados obtidos na análise granulométrica foram processados com o *software Sysgran 3.0*, no qual foram inferidos os parâmetros estatísticos utilizados por Folk & Ward (1957) sendo considerados os valores de diâmetro médio e grau de seleção.

Perfil Praia

Os perfis foram traçados segundo a metodologia descrita em Garcia & Piedade (1987) e utilizada por Ferreira (1999), onde as diferenças de nível entre os pontos do terreno eram medidas através de leituras em visadas horizontais com um nível topográfico e uma régua de alumínio. Posteriormente esses perfis foram processados no *software Grapher*.

Foram determinados 3 Referenciais de Nível (RN) na ilha do Farol para realização dos perfis, nas porções Oeste, Norte e Leste da ilha. Os perfis foram realizados no dia 21/06/09 e repetidos no dia 26/06/09. Em cada perfil foram coletadas duas amostras de sedimentos, uma na pós-praia (*Backshore*) e outra na antepraia (*Foreshore*), para posterior análise sedimentológica.

Para o cálculo dos volumes remanejados entre os diferentes levantamentos, foram realizadas simulações utilizando o *software Sufer 6.01 – Surface Mapping System*, com os resultados expresso em metro cúbico por metro linear (m³/m).

Deriva Litorânea

Com o intuito de conhecer o padrão hidrodinâmico que influencia a Ilha do Farol, foram coletadas informações sobre a velocidade e direção da deriva litorânea, durante a preamar, na região onde foram realizados os perfis de praia.

Para tal, um derivador adaptado (objeto de plástico

cilíndrico) foi lançado na água, a uma distância de 5 metros da linha da maré, e medido o tempo em que o derivador percorreu 10 m paralelos a linha da costa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Geomorfologia do Atol

Morfometria

Rocas representa um sítio geológico de natureza carbonática. O recife tem um formato elipsóide com uma laguna permanente rasa na porção nordeste do recife. Com o mapeamento efetuado em Rocas pode-se aferir as dimensões do complexo recifal. Seu eixo maior possui 3,35 km e o menor 2,49 km, totalizando uma área de aproximadamente 6,56 km² com um perímetro estimado de 11 km (Fig. 3), constatando que o atol das Rocas está entre os menores atóis do mundo. As dimensões de Rocas são consideradas ínfimas quando comparada a de outros atóis, como o Atol Kwajalein, nas Ilhas Marshall, o maior atol do mundo, com dimensões de 120 x 32 km e o Atol Rangiroa, no arquipélago de Tuamotu, na Polinésia Francesa que possui extensões de 72 x 36 km (Guilcher, 1988).

Kikuchi (1994), realizou um levantamento geomorfológico do Atol das Rocas e identificou três compartimentos: frente recifal; platô recifal e laguna, os quais foram divididos em feições específicas.

O mapa aqui proposto elucidava o complexo recifal de Rocas de acordo com suas diferentes características morfológicas. Foram descritos as seguintes feições: frente recifal; crista algálica; platô recifal; depósito de sedimentos bioclásticos; piscinas naturais; laguna e Ilhas arenosas e também a ocorrência de beachrocks (Fig. 3).

Frente Recifal

Corresponde a estrutura recifal submersa que se desenvolve a sotavento (leeward) do atol, que vai desde o canal da região Norte, denominado Barretão, até a reentrância recifal na porção sul do atol, denominado Salão dos Tubarões. As regiões mais extensas se concentram na porção Norte e Noroeste, diminuindo gradativamente em direção a Barlavento, onde não se torna mais perceptível através de imagens de Satélite.

Descrita primeiramente por Kikuchi (1994), o autor descreve a frente recifal como uma extensão recifal que se estende desde a borda do anel recifal

até o fundo adjacente, a profundidades superiores a 18 m. É notavelmente mais extensa na porção W e NW do Atol, podendo atingir até 600 m de extensão recife afora e declividade aproximada de 1°15'. O autor também menciona que nas porções SE e NE (barlamar) a frente recifal é extremamente limitada, e constitui uma parede com elevada declividade que vai da borda do anel recifal até profundidades de 10 m, onde ocorre um depósito de talus até 15 m de profundidade onde se inicia um terraço horizontal colonizado por algas, esponjas e corais.

Através de mergulho autônomo, foi constatado um grande densidade de algas na frente recifal, as quais parecem ser o organismo que mais contribui para a construção dessa feição morfológica, apesar de amostras da mesma não terem sido obtidas.

Uma feição típica de frentes recifais em outros atóis é a presença de um sistema de crescimento denominado *Spur and Groove* que ocorre mais comumente à barlavento dos atóis (Guilcher, 1988). Entretanto, Kikuchi & Leão (1997) descreveram essa característica, ainda que pouco desenvolvida, à sotavento de Rocas.

O sistema de *Spur and Groove* é denominado por Munk & Sargent (1948) como uma adaptação da frente recifal para a arrebentação das ondas, no qual os espigões (*Spurs*) dispersam a energia das ondas e permitem que organismos cresçam utilizando oxigênio e nutrientes trazidos pelo movimento constante da água.

Crista Algálica

A crista algálica envolve grande parte do contorno do atol e ainda aparece na porção interna do recife, ao lado E da Ilha do Cemitério, e cria uma interface com o depósito sedimentar na região central do atol.

Kikuchi & Leão (1997) descrevem a crista recifal como uma estrutura situada na borda recifal que varia de 20 a 30 metros de largura com altura média de 0,5 m a qual contorna o Atol, desaparecendo apenas no arco a sotavento do anel recifal a NE da Ilha do Farol.

A crista algálica, que delimita a margem do atol, constitui a região de mais alta energia do complexo recifal, pois é onde a energia das ondas é dissipada. Guilcher (1988), afirma que algas do gênero *Porolithon* formam uma crista de 5 a 15 m de largura no Atol Bikini e afirma que essa crista recifal sofre constante arrebentação e lavagem das ondas, e que esses fatores são decisivos para que o gênero sobreviva.

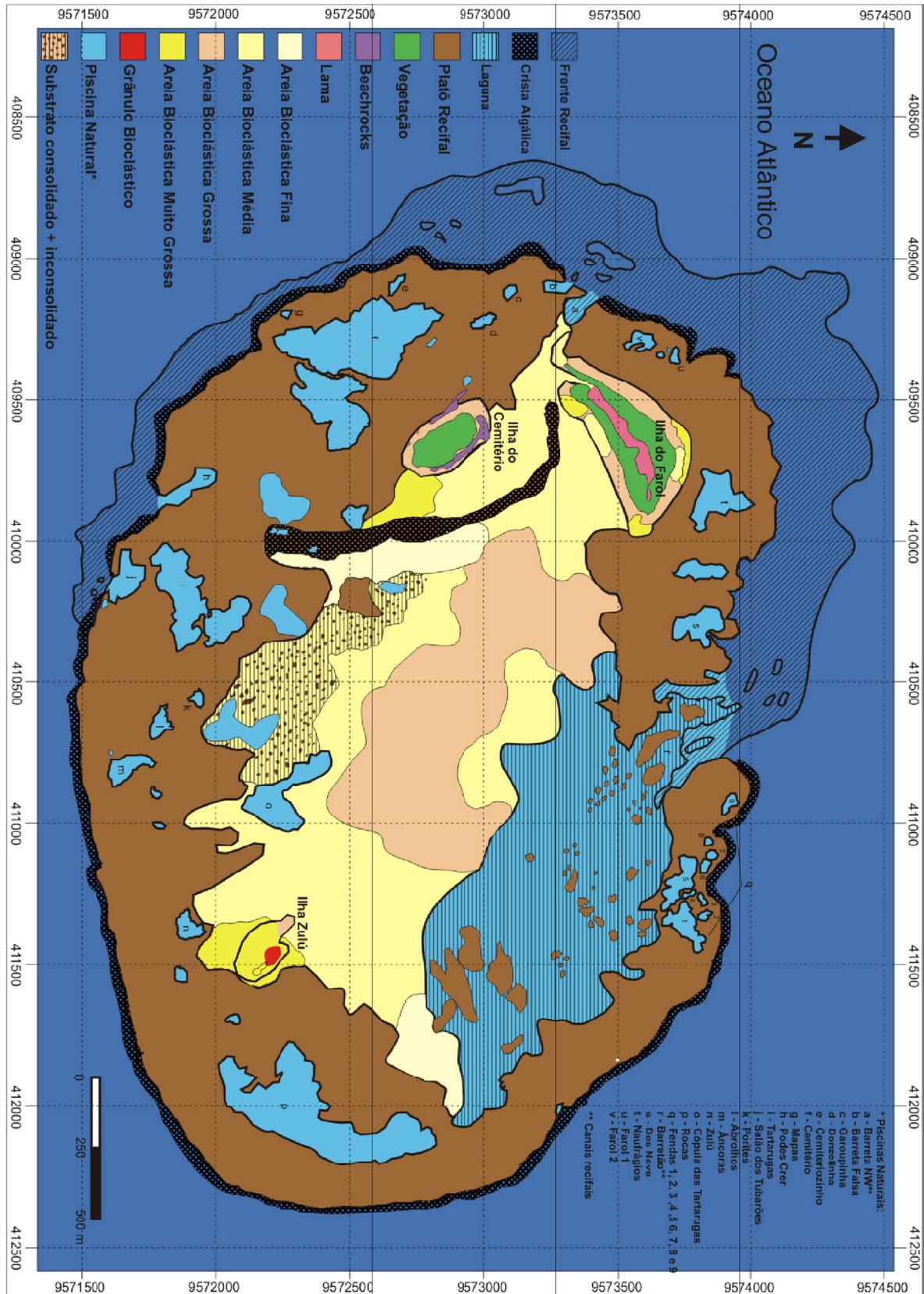


Figura 3 - Mapa geológico do Complexo Recifal do Atol das Rocas - Atlântico Sul.
 Figure 3 – Geological map of the reef complex of Rocas atoll – South Atlantic.

Platô Recifal

No mapeamento aqui elaborado, o platô recifal aparece como a feição morfológica mais extensa do complexo recifal, uma área de aproximadamente 3,73 km². Essa porção representa a parte consolidada que fica na interface com o depósito sedimentar e a crista algálica. Apresenta maiores larguras nas porções SE e SW, sendo mais delgado na porção NE. Durante a baixamar, são formadas diversas piscinas naturais, as quais se apresentam em maior quantidades na porção SW. Na porção NW do platô, também podem ser constatada a presença das ilhas do Farol e do Cemitério.

Kikuchi & Leão (1997), descrevem o platô recifal (*reef proper*) como uma estrutura que varia de 100 até 800 metros de extensão que é interrompido por dois canais na porção sotavento (*leeward*), os quais dividem o platô em duas partes, *leeward arch* e *windward arch*.

Essa feição, tanto em recifes de barreiras, franjas e em atóis, pode variar de algumas centenas de metros até diversos quilômetros, um exemplo de um extenso platô recifal é apresentado por Faure (1974) e Montaggioni (1974) no recife de franja das Ilhas Rodriguez no Oceano Índico, que chega a atingir 2000 m de largura em diversos lugares.

Guilcher (1988), afirma que, como uma regra, o platô consiste principalmente de um pavimento cimentado por algas calcárias e incorporado de vários elementos detriticos derivados da comunidade recifal. A composição da estrutura do platô de Rocas apresentado por Gherardi e Bosence (2001) coincide com os principais componentes descritos por Guilcher (1988) tais como: fragmentos de corais, algas calcárias e foraminíferos.

Depósito de Sedimentos Bioclásticos

As análises de sedimentos coletadas no depósito arenoso central evidenciaram um sedimento 100% biogênico com 97,6% de fração arenosa (variando de areia fina a muito grossa) e 2,4% de fração grânulo.

Os principais componentes bióticos desse sedimento descritos por Pereira et al. (2008) foram: algas calcárias, tubos de polychaetas, foraminíferos, gastrópodes, fragmentos de conchas de bivalves, fragmentos de crustáceos, esponjas, corais, espículas de esponjas e espinhos de equinodermos. Kikuchi & Leão (1997) descreveram as partículas biogênicas de Rocas e constatou que mais de 50% das partículas são de fragmentos de algas coralíneas.

A fração de areia grossa foi a mais predominante,

evidenciando uma elevada hidrodinâmica atuante no Atol das Rocas. Uma pequena porção de fácies de lama pode ser observada numa baía que se forma na Ilha do Farol, denominada Baía da Lama. Essa baía sofre influência do ciclo da maré e representa, a primeira instância, a região de menor energia do complexo recifal. Essas condições podem explicar o fato de ser o único local do atol onde pode-se encontrar a fração lama, que devido à exposições cíclicas de águas com pouca hidrodinâmica, é possível que ocorra condições ideais para a precipitação de particulados finos.

Piscinas Naturais

Durante a baixamar, o atol exibe em seu platô recifal mais de 40 piscinas naturais de variados tamanhos. As mais extensas piscinas são: Rocas ($\pm 128.000 \text{ m}^2$); Cemitério ($\pm 116.000 \text{ m}^2$); Tartarugas ($\pm 43.000 \text{ m}^2$), e Cópula das Tartarugas ($\pm 33.000 \text{ m}^2$).

Laguna

Uma das principais características de uma formação do tipo atol é a presença de uma laguna confinada no interior do anel recifal, preferencialmente na parte central, essa laguna é ligada ao mar aberto por passagens que ocorrem na estrutura recifal. Em Rocas, entretanto, pode se constatar uma laguna permanente na porção interna à NE do Recife e não na porção central, que se conecta com o oceano através da passagem denominada Barretão. A laguna em si é relativamente rasa quando comparada a outros atóis, chegando a profundidade máxima de 8 m.

Ilhas Arenosas

Na porção NW de Rocas encontram-se duas Ilhas arenosas (*sand cay*) denominadas Ilha do Farol e Ilha do Cemitério. Uma terceira ilha, menos desenvolvida, pode ser encontrada na região SE do atol.

Ainda não bem definida, a ilha Zulú representa um corpo sedimentar com frações de areia muito grossa e grânulos, sem vegetação fixa, com eixos maior de 288 m e menor de 144 m, com área de aproximadamente 25.000 m². Durante a preamar somente uma pequena porção central permanece emersa. Nos mapas de Kikuchi & Leão (1997) e Andrade (1959), nenhum aspecto sobre esse corpo sedimentar localizado na região SE do Atol das Rocas é mencionado.

A ilha do Cemitério possui um litoral de 950 m de extensão com um eixo maior de 380 m e menor de 186

m. Sua área é de aproximada de 54.000 m². A vegetação é tipicamente herbácea, com espécies das famílias *Amaranthaceae*, *Aizoaceae*, *Portulacaceae*, *Gramíneae* e *Amaryllidaceae*.

Na Ilha do Cemitério é possível observar a ocorrência de *beachrocks* na porção N, NE e W da ilha. Essa rocha apresenta-se pouco cimentada e foi apontado por Andrade (1959); Gherardi & Bosence (2005), como indicador de um nível de mar mais elevado no passado.

Ilha do Farol, apresenta 674 m em seu eixo maior e 327 m no menor com 1.800 m de extensão litorânea e uma área de aproximadamente 156.000 m². É nessa ilha onde estão localizados todas as edificações construídas na reserva Biológica, que hoje representam duas bases

de apoio a pesquisa, um farol da Marinha Brasileira e as ruínas de um antigo farol e uma casa, construída em 1881. Apresenta uma vegetação semelhante à da ilha do Cemitério, porém, existem ainda uns poucos coqueiros introduzidos antes da criação da Reserva.

4.2 Morfodinâmica da Ilha do Farol

A partir do perímetro da ilha do Farol apresentados em mapeamentos anteriores por Andrade (1959) e Kikuchi & Leão (1997) é possível notar um progressivo crescimento desse corpo sedimentar (Fig. 4), estimando-se um acréscimo de área de aproximadamente 47.000 m².

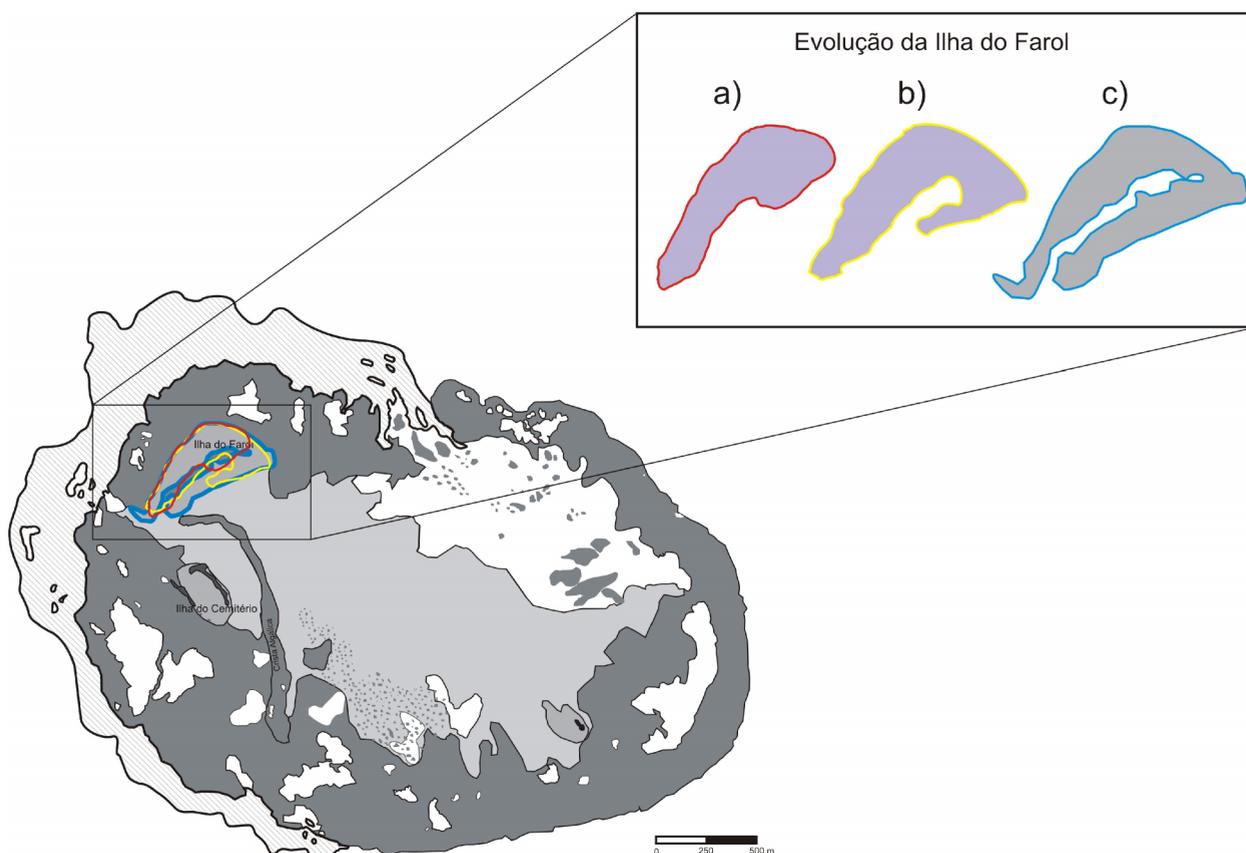


Figura 4 – Evolução da Ilha do Farol nos últimos 50 anos. a) perímetro da Ilha do Farol apresentado por Andrade (1959); b) Perímetro da ilha do Farol apresentado por Kikuchi & Leão (1997); c) Perímetro da Ilha obtido por Pereira (2009).

Figure 4 - Evolution of Ilha do Farol in the last 50 years. a) perimeter of Ilha do Farol presented by Andrade (1959) b) perimeter of Ilha do Farol presented by Kikuchi & Leão (1997) c) Perimeter of Ilha do Farol obtained by Pereira (2009).

O acúmulo de sedimento nessa região pode ser uma resposta à dinâmica local, que durante a preamar, sofre atuação da corrente Sul Equatorial, a qual tem deriva constante para a direção W.

O recife em si é uma fonte geradora de sedimentos carbonáticos, processo que tem início a partir da denudação da estrutura recifal devido a atuação dos processos físicos (ondas e correntes) e biológicos (Bioerosão e deposição de esqueletos e carapaças carbonáticas de organismos). Essas partículas geradas no complexo recifal são de baixa densidade e facilmente carregadas segundo o sentido do fluxo interno do atol.

O acréscimo sedimentar na Ilha do Farol nos últimos 50 anos pode estar relacionado ao aumento da hidrodinâmica local, ocasionado por fatores ainda desconhecidos, que conseqüentemente intensificaria o transporte sedimentar, sedimento esse proveniente da erosão de determinadas regiões do setor W, ou mesmo outros setores do Atol, incluindo a própria estrutura recifal.

Com uma extensão paraial de 1 800 m, a Ilha do Farol pode ser dividida em 3 setores (Fig. 5). O setor Oeste possui 651 m de extensão, o maior deles; o setor Norte com 428 m e o setor Leste com 566 m.

Setor Oeste

Os perfis mensurados em Junho de 2009 (Fig. 6) apresentaram uma extensão máxima do perfil de 29,5 m com ondas incidindo obliquamente a costa. A altura

máxima da praia relativa ao platô recifal foi de 3,2 m. Esse setor recebe influência direta de ondas oceânicas provenientes de W, embora que a maior demanda de ondas que atinge Rocas ocorra à barlavento E (windward), Gherardi & Bosence (2001) afirma que a refração das ondas pode gerar grandes arrebentações de ondas a sotavento (leeward). O ângulo de incidência das ondas atua de maneira significativa no modelamento do sistema praial, uma vez que as suas variações determinam o sentido da corrente de deriva litorânea e conseqüentemente o transporte sedimentar longitudinal (Muehe, 1995).

A velocidade de corrente da deriva litorânea mensurado no setor Oeste da Ilha do Farol foi de 0,068 m/s com direção SW (Fig. 5). A análise das amostras de sedimentos coletados na pós-praia e antepraia evidenciaram para ambos um sedimento de fração de areia grossa e moderadamente selecionado com diâmetro médio de 0,62 (pós-praia) e 0,64 (antepraia), que juntamente com a alta declividade expressa um ambiente de alta energia. Os resultados quantitativos obtidos neste perfil, para o período considerado, mostraram uma pequena perda de sedimento de 1,42 m³/m.

Setor Norte

O comprimento do perfil na região Norte teve uma extensão máxima 27,9 m, a menor dentre os perfis, a altura absoluta da praia nessa porção foi de

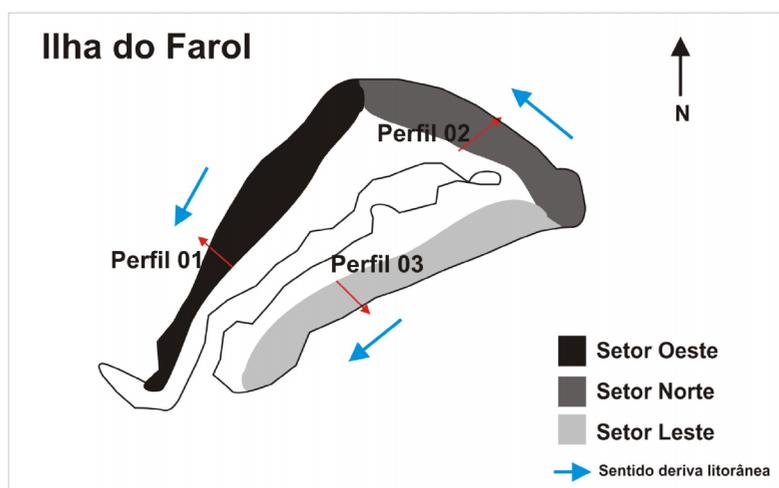


Figura 5 – Representação da divisão setorial da Ilha do Farol, Atol das Rocas.

Figure 5 – Representation of the sectoral division of Ilha do Farol, Atol das Rocas.

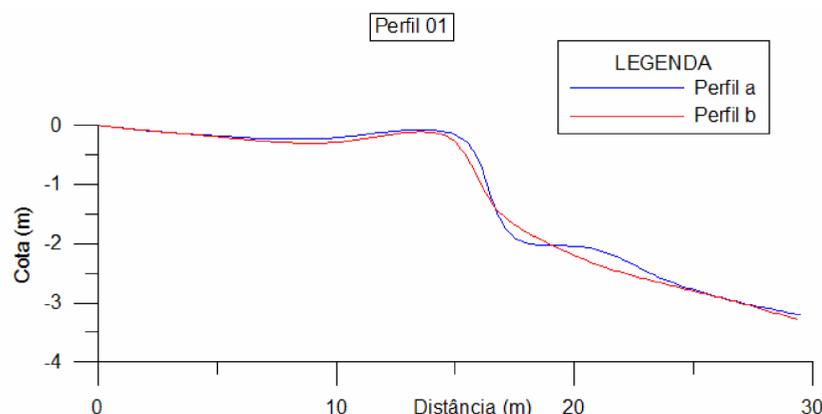


Figura 6 - Representação topográfica do perfil 01. (a) perfil do dia 21/06/09. (b) perfil do dia 26/06/09.

Figure 6 – Topographic representation of the profile 01. (a) profile from June, 21th of 2009. (b) profile from June, 26th of 2009.

2,7 m em relação ao platô (Fig. 7). Neste setor da Ilha existe uma menor atuação da ação das ondas com relação ao setor W e ocorre uma corrente que deriva na direção NW (Fig. 5) com velocidade de 0,3 m/s, a mais elevada da ilha.

Sua pós-praia apresenta um sedimento de fração areia média, moderadamente selecionada com diâmetro médio de 1,37. Na antepraia o sedimento foi classificado como areia muito grossa, moderadamente selecionado e diâmetro médio de -

0,29. Os resultados quantitativos obtidos neste perfil, para o período considerado, evidenciaram uma baixa perda de material sedimentar de 2,82 m³/m.

O perfil revela uma praia de baixa energia com pouca influência da arrebentação das ondas, ocorrendo apenas ação de pequenas ondulações provenientes do interior do atol que ocasiona um leve espriamento na face da praia, que juntamente com a ação das correntes de maré, são os principais agentes modeladores da configuração da praia desse setor.

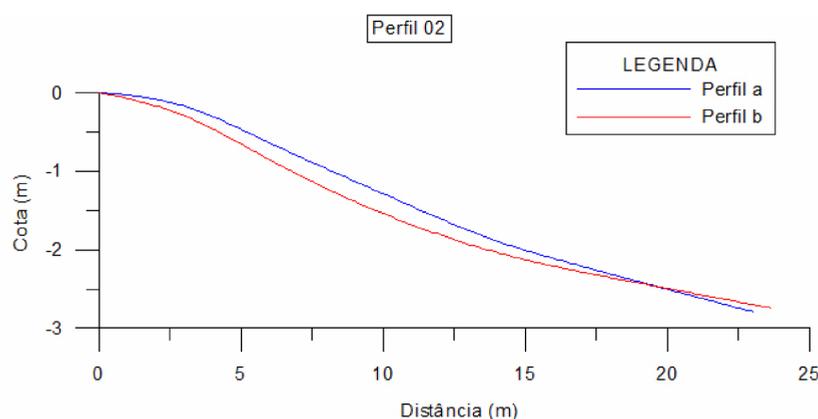


Figura 7 - Representação topográfica do perfil 02. (a) perfil do dia 21/06/09. (b) perfil do dia 26/06/09.

Figure 7 – Topographic representation of the profile 02. (a) profile from June, 21th of 2009. (b) profile from June, 26th of 2009.

Setor Leste

O comprimento máximo do perfil desse setor foi de 29,5 m e a altura máxima da praia em relação ao platô recifal foi de 1,9 m (Fig. 8). Esse setor é banhado pela laguna e sofre ação de pequenas ondulações proveniente de SE e E que incidem obliquamente a costa. A velocidade de corrente verificada foi de 0,076 m/s com deriva na direção SW.

Ambas amostras de sedimento da pós-praia e antepraia indicaram um sedimento de fração areia média e moderadamente selecionado, seus diâmetros médios foram, respectivamente, 1,06 e 1,03. Os resultados quantitativos obtidos neste perfil, para o período considerado, também evidenciaram uma perda pouco significativa de material sedimentar de

0,94 m³/m. A morfologia do perfil revela uma praia de baixa declividade, que juntamente com um sedimento de fração areia média em sua face praial pode sugerir um ambiente de baixa hidrodinâmica.

Com os dados revelados aqui pode-se constatar que todos os setores sofreram uma pequena perda de material, porém não o suficiente para considerarmos um processo de erosão, sendo aqui consideradas praias estáveis. Como tal prospecções não fazem parte do principal objetivo do trabalho, o qual teve como principal foco revelar a morfologia dos diversos setores do complexo recifal do Atol das Rocas, sugere-se um estudo mais aprofundado com acompanhamento sazonal, a fim de compreender melhor a morfodinâmica da Ilha do Farol.

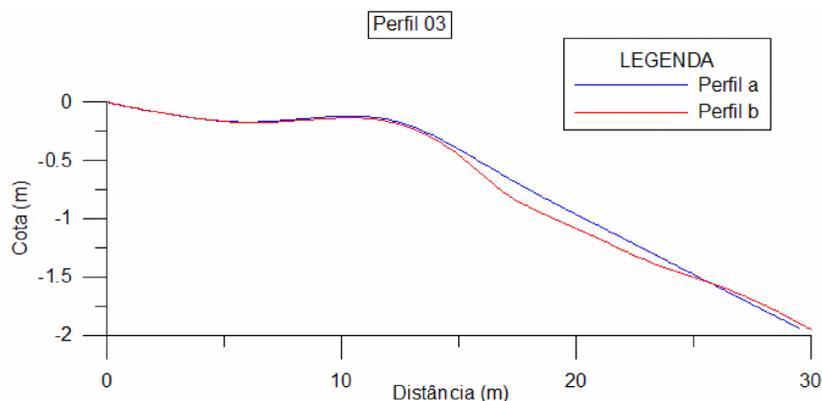


Figura 8 - Representação topográfica do perfil 03. (a) perfil do dia 21/06/09. (b) perfil do dia 26/06/09.

Figure 8 - Topographic representation of the profile 03. (a) profile from June, 21th of 2009. (b) profile from June, 26th of 2009.

CONCLUSÃO

A descrição geomorfológica e o mapeamento do Complexo recifal do Atol das Rocas evidenciaram as diversas formações do recife e sua complexa interação entre as variáveis biológicas, geológicas, físicas e químicas. A estrutura carbonática de Rocas, em seu arranjo morfológico, figura um dos menores atóis do mundo (3,35 x 2,49 km), sítio que cresce sobre um *Guyot* pertencente a zona de fratura de Fernando de Noronha. As feições aqui descritas ilustraram as estruturas como: frente recifal; crista algálica; platô recifal; depósito sedimentar; piscinas naturais; laguna

e Ilhas arenosas, estruturas inerentes a diversos complexos recifais do tipo atol que ocorrem no Pacífico, Índico e no Caribe. Levantamentos geomorfológico dos últimos 50 anos evidenciaram um crescimento da área da Ilha do Farol, fator que pode estar relacionado a constante produção de partículas biogênicas no complexo recifal e ao aumento da hidrodinâmica local. Estudos correlacionados a morfodinâmica evidenciaram uma pequena perda de sedimento nos perfis realizados ao longo da Ilha do Farol no período estudado, entretanto, o volume de sedimento perdido não foi

de grande relevância e podemos considerar a praia como estável. Os dados aqui apresentados não são suficientes para que se possa descrever o padrão da hidrodinâmica e dinâmica sedimentar que ocorre nessa Ilha. Contudo, sugere-se um estudo com um esforço amostral de dados mensal, a fim de uma compreensão mais detalhada do comportamento morfodinâmico da Ilha do Farol.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, Fernando Flavio Marques de (1955) - *Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha*. 181p., DNPM/DGM. Monografia XIII, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Andrade G.O. (1959) - O recife anular das Rocas (Um registro das recentes variações eustáticas no Atlântico Equatorial). *Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, 12:29-61.
- Blanc, Jean Joseph (1982) - *Sédimentation des marges continentales actuelles et anciennes*. Masson & Cie., 159p., Paris, França. ISBN: 9782225756580
- Darwin, Charles (1842) - *The structure and Distribution of Coral reefs*. Smith, Elder & Co., 256p., Cornhill, Reino Unido. Disponível em http://darwin-online.org.uk/pdf/1842_Coral_F271.pdf
- Ekau, W. & Knoppers, B.A. (eds.) (1996) - Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters off east and Northeast Brazil. *Cruise Report and first results of the Brazilian German project JOPS-II (Joint Oceanographic Projects)*, pp.139-147, Center for Tropical Marine Ecology, Bremen, Alemanha.
- Faure, G. (1974) - Morphology and bionomy of coral reefs discontinuities in Rodriguez Island (Mascarene Archipelago, Indian Ocean). In: Cameron, A.M., B.M. Cambell, A.B. Cribb, R. Endean, J.S. Jell, O.A. Jones, P. Mather and F.H. Talbot (eds.). *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium*, 2:161-172, The Great Barrier Reef Committee, Brisbane, Australia.
- Ferreira, E.R. (1999) - *Morfodinâmica praial e previsão de ondas em ambientes de baixa energia – Paraia de Fora, Baía Sul, Ilha de Santa Catarina*. 66p. Tese de Mestrado. UFRGS, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (não publicado).
- Folk R.L. & Ward W.C. (1957) - Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1):3-26.
- Garcia, G.J. & Piedade, G.C.R. (1987) - *Topografia aplicada a Ciências Agrárias*. 5º ed., 255p., Nobel ed., São Paulo, SP, Brasil.
- Gherardi, D. F. M. & Bosence, D. W. J. (1999) - Modeling of the ecological succession of encrusting organisms in recent coralline-algal frameworks from Atol das Rocas, Brazil. *Palaios*. 14(2):145-158.
- Gherardi, D. F. M. & Bosence, D. W. J. (2001) - Composition and community structure the coralline alga reefs from Atol das Rocas, South Atlantic, Brazil. *Coral Reefs*, 19: 205-219. (<http://dx.doi.org/10.1007/s003380000100>)
- 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*, 24: 264–272. (<http://dx.doi.org/10.1007/s00338-005-0475-5>)
- Góes, Camila Aguirre (2006) - *Análise da dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Tropical a partir de correntes geostroficas superficiais derivadas por satélites*. Dissertação de Mestrado, 93p., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-14197-TDI/1099, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em <http://mtc-m17.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.10.14.12>
- Gorini M.A. & Bryan G.M. (1976) - The tectonic fabric of the equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48 (Suplemento):101-119, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- Guilcher, A. (1988) - *Coral reef geomorphology*. 242p., John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0471917559.
- Hoflich, O. (1984) - Climate of the South Atlantic Ocean. In: Van Loon H (ed) *Climates of the oceans*. p. 1-192. Elsevier, Amsterdam.
- Hogben, N. & F. E. Lumb (1967) - *Ocean wave statistics; a statistical survey of wave characteristics estimated visually from Voluntary Observing Ships sailing along the shipping routes of the world*. 263p., Ministry of Technology, National Physical Laboratory, Londres, Reino Unido.
- Kikuchi, R.K.P. (1994) - *Geomorfologia, Estratigrafia e Sedimentologia do Atol das Rocas (Rebio-IBAMA/RN)*.

- Dissertação de Mestrado, 144 p., Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, Brasil. (não publicado).
- Kikuchi, R.K.P. (1999) - Atol das Rocas, Atlântico sul equatorial ocidental, Brasil. *In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (eds.), Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.* (Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio033/sitio033.htm>).
- Kikuchi R.K.P. & Leão, Z.M.A.N. (1997) - Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. *In: H. Lessios and I. Macintyre (eds), Proceedings Of The International Coral Reef Symposium, 1:731-736,* Smithsonian Tropical Research Institute, Panama.
- Ladd, H., Tracey, J. & Gross, M. (1970) - *Deep drilling on Midway Atoll.* US Geological Survey Professional Paper 680-A, 22p..
- Laporte, Leo F. (org.) (1974) - Reefs in time and space; Selected examples from the recent and ancient. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special publication n° 18,* 256p., Tulsa, Ok, USA.
- Montaggioni, L. (1974) - Coral reefs and Quaternary shore-lines in the Mascarene Archipelago (Indian Ocean). *In: Cameron, A.M., B.M. Cambell, A.B. Cribb, R. Endean, J.S. Jell, O.A. Jones, P. Mather and F.H. Talbot (eds). Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium, 2:579-593,* The Great Barrier Reef Committee, Brisbane, Australia.
- Muehe, D. (1996) - Geomorfologia Costeira. *In: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (Eds.), Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.* Bertrand Brasil, 343p., Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8528605485
- Munk, W. H. & Sargent, M. C. (1948) - Adjustment of Bikini Atoll to ocean waves. *US Geol Survey Professional Paper 260(C): 275-280.*
- Ottman F. (1963) - "L'atol das Rocas" dans l'Atlantique sud tropical. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, 2:101-107.*
- Palma, J.J.C. (1984) - Fisiografia da área oceânica. *In: Schobbenhaus, C. (Ed.). Geologia do Brasil,* 501p. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, DF, Brasil.
- Pereira, N. S., Marins, Y. O., Silva, A. M. C., Oliveira, P. G. V. & Silva, M. B. (2008) - Influência do Ambiente Sedimentar na Distribuição dos Organismos Meiobentônicos do Atol das Rocas. *Estudos Geológicos (UFPE) 18(2):67-80.* (Disponível em <http://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2008182/2008182t06.pdf>)
- Richardson, P.L., & Walsh, D. (1986) - Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the tropical Atlantic using ship drifts. *Journal of Geophysical Research, 91: 10537-10550.* (<http://dx.doi.org/10.1029/JC091iC09p10537>)
- Servain, J., Seva, M., Lukas, S. & Rougier, G. (1987) - Climatic atlas of the tropical Atlantic, wind stress and sea surface temperature: 1980-1984. *Ocean-Air Interaction, 1: 109-182.*
- Soares-Gomes, A., Villaça, R. C. & Pezzella, C. A. C. (2001) - Atol das Rocas ecossistema único no Atlântico Sul. *Ciência Hoje, 29(172):32-39.*
- Soares, M. de O., Lemos, V. B. & Kikuchi, R.K.P. (2009) - Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial: considerações sobre a classificação do recife biogênico. *Revista Brasileira de Geociências. 39(2):238-243.* (Disponível em <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/view/13342/10607>)
- Stoddart, D. R. (1969) - Ecology and morphology of recent coral reefs. *Biological Reviews, 44(4):433-498.*
- Suguio, K. (2003) - *Geologia Sedimentar.* 400p. Blucher Ed., São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8521203179.
- Tucker, Maurice E. & Wright, V. Paul (1990) - *Carbonate Sedimentology.* Blackwell Science, 482p., Oxford, Reino Unido. ISBN: 0632014725
- Wilson, J. L. (1974) - Characteristics of carbonate platform margins. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 58(5):810-824.*