

Atol das Rocas, Litoral do Nordeste do Brasil

Único atol do Atlântico Sul Equatorial Ocidental

SIGEP 33

Ruy Kenji Papa de Kikuchi¹

Rocas é a primeira unidade de conservação marinha criada no Brasil. Ela é uma reserva biológica e por isso a única atividade humana permitida ali é a pesquisa científica. O atol é um recife elíptico com uma área de cerca de 7,5 km². Seu eixo maior (E-W) tem 3,7 km de comprimento e o eixo menor (N-S) tem 2,5 km de comprimento. Uma crista algácea limita o platô recifal, que é dominado por uma associação de algas coralinas-gastrópodes vermetídeos que cresce na forma de pequenas cristas lineares. Na frente recifal (em reentrâncias no recife), nas piscinas e na laguna, são encontrados os corais *Siderastrea stellata*, *Montastrea cavernosa* and *Porites sp.* Perfis de sísmica de refração revelaram a presença de dois estratos em subsuperfície. Em um testemunho de 11,6 m de comprimento, perfurado na parte oeste do recife, com uma taxa de recuperação de 40%, verifica-se que a seqüência holocênica de Rocas foi construída primariamente por algas coralinas e, subordinadamente, por corais, além do foraminífero incrustante *Homotrema rubrum* e por gastrópodes vermetídeos. O crescimento recifal começou antes de 4,8 ka AP com a taxa de crescimento variando de 1,5 a 3,2 m/ka. Os cálices ou “rocas”, permanentemente aflorantes do nível do mar, posicionados acima da altura da maré, e afloramentos de arenitos de praia em uma das ilhas do atol são evidências de um nível do mar pretérito no Holoceno, superior ou igual ao nível atual. O baixo grau de competição por espécies e baixo grau de herbivoria podem ser fatores ecológicos que propiciaram o intenso crescimento das algas coralinas incrustantes em Rocas.

Atol das Rocas, Northeastern Brazilian Litoral - The only atoll of the South Western Equatorial Atlantic

*Rocas is the first marine protected area created in Brazil. It is a Biological Reserve and therefore the only human activity allowed there is scientific research. It is an ellipsoid atoll with an internal area of about 7.5 km². Its largest axis (E-W) is 3.7 km long, and the shortest (N-S) is 2.5 km long. An algal ridge limits the reef flat, that is dominated by a coralline algae-vermetid gastropods association growing as small linear ridges. In the reef front (in some grooves), in the pools and in the lagoon, corals (*Siderastrea stellata*, *Montastrea cavernosa* and *Porites sp.*) are found. Seismic refraction profiles revealed the presence of two subsurface strata. A 11.6 m long drill core on the western part of the reef, with the recovery rate of 40%, shows that the Holocene sequence of Rocas was primarily built by coralline algae and, subordinately, by corals, along with some encrusting foraminifer *Homotrema rubrum* and vermetid gastropods. The reef growth began before 4.8 ky BP with the accretion rate varying from 1.5 to 3.2 m/ky. Subaerially exposed old reef spits, elevated above tidal range, and a beachrock cliff in one of the cays present in the atoll are evidences of a equal to or higher*

than present sea level in Rocas, earlier in the Holocene. Low degree of competition for space and low grazing pressure may be the ecological reasons that promoted such a strong growth of coralline algae in Rocas.

INTRODUÇÃO

Rocas é um sítio geomorfológico, pois é o único atol no Atlântico Sul Ocidental e um dos menores do mundo. Ele foi descoberto em 1503 devido ao naufrágio da nau de Gonçalo Coelho (Rodrigues, 1940). Desse modo, desde seu aparecimento na literatura náutica, seu perfil baixo com apenas duas ilhas arenosas (coroas) e rochas aflorando do mar durante as marés altas têm sido sinônimo de perigo aos navegantes.

Rocas é um sítio geológico pois como um recife é um depósito carbonático que resultou da atividade orgânica construtora de organismos bentônicos em resposta aos fatores ambientais como luz disponível, hidrodinâmica e variações relativas do nível do mar.

Rocas é um sítio paleontológico porque foi construído predominantemente por algas coralinas e apenas secundariamente por corais. Este fato é importante porque é geralmente aceito que algas coralinas não possuem potencial para erigir ou ser construtoras primárias de recifes no Quaternário (Macintyre, 1997).

Por fim, e não menos importante, o Atol das Rocas é um santuário ecológico pois abriga um grande número de aves marinhas migratórias e residentes, que o utilizam para repouso, alimentação e acasalamento. Dentre as aves mais abundantes estão os trinta-réis, as andorinhas-pretas-do-mar, conhecidas também como beneditos no litoral sul da Bahia, os atobás, os mergulhões ou pilotos e as fragatas. Ademais, como em Fernando de Noronha, é um local de intensa atividade de desova da tartaruga-verde e de alimentação da tartaruga-de-pente. Nas águas circunvizinhas ao atol são encontradas, em grande quantidade, espécies de peixes de utilização comercial, tais como albacora ou atum, alguns tipos de agulhões, garoupa rajada, mero e badejo (Rodrigues, 1940). Moluscos e crustáceos também ocorrem em grande abundância; a lagosta, por exemplo, foi uma das causas do atol ter sido alvo de intensa atividade pesqueira predatória num passado recente.

O objetivo deste artigo é apresentar uma descrição geral do atol das Rocas, baseado principalmente em Kikuchi (1994) e Kikuchi & Leão (1997). Dados sobre sua composição e estrutura serão apresentados, de modo a mostrar que as algas coralinas incrustantes são os construtores primários do recife. As razões pelas quais essas algas dominam o ambiente de uma forma tão importante serão discutidas brevemente. Serão apresentadas também as evidências de algumas posições pretéritas do nível do mar mais elevadas do que a atual. Isto reforça o padrão geral da curva relativa do nível do mar na costa brasileira, que

exibe um período transgressivo até cerca de 5,1 ka AP e uma regressão desde então. Um breve comentário sobre o estado de conservação do atol concluirá este capítulo.

LOCALIZAÇÃO

O Atol das Rocas Cresce na porção W do topo aplainado de um monte submarino pertencente à Zona de Fratura de Fernando de Noronha (Figura 1). Situa-se a cerca de 260 km a leste da cidade de Natal, no nordeste do Brasil, e a 145 km a oeste do Arquipélago de Fernando de Noronha (na área definida pelas coordenadas de 3°45'S e 3°56'S e 33°37'W e 33°56'W). As coordenadas do farol ali instalado são 3°51'30"S e 33°49'29"W.

Os dados climáticos disponíveis sobre a área em questão foram obtidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O conjunto de dados utilizados por Kikuchi (1994) consiste de uma série temporal de 9 meses de duração, coletados entre dezembro/91 e agosto/92. De acordo com esses dados, a precipitação é distribuída irregularmente ao longo do ano, com uma média mensal de 860 mm, variando de 183 mm (abril/92) a 2663 mm (agosto/92). No mesmo período, a temperatura atmosférica variou de 17,5°C (abril) a 35,8°C (fevereiro).

Os dados de direção dos ventos indicam que os ventos dominantes de ESE sopram o ano todo, com uma frequência de 45% dos dias avaliados. Entre junho e agosto (inverno do hemisfério sul), ventos de SE ocorrem em 35% dos dias e a frequência de ventos E é de 15% no mesmo período. Entre dezembro e abril (verão do hemisfério sul), ventos SE e E ocorrem em cerca de 20% dos dias com dados disponíveis. Ventos com velocidade variando de 6 a 10 m/s dominam ao longo de todo o ano, mas durante o inverno, ventos com velocidade entre 11 e 15 m/s são comuns. Velocidades superiores a 20 m/s foram registradas com mais frequência durante o verão.

As marés são semi-diurnas e sua amplitude na sizígia atinge cerca de 2,7 m. A região do Atol das Rocas é banhada pela Corrente Sul Equatorial, originada nas costas da África, a partir da Corrente de Benguela. A sua deriva tem direção constante para W durante o ano com velocidades que variam de 30 cm/s a 60 cm/s (Richardson & McKee 1984; Silveira, Miranda *et al.* 1994). Valores da ordem de 170 cm/s foram reportados por Rodrigues (1940). De acordo com Hogben & Lumb (1967), 80% das ondas observadas na região incluída neste estudo provêm de E e 15% de NE. São ondas com período curto, de 4 a 7 s, e altura

entre 1 e 2 m. Melo & Alves (1993), contudo, ressaltam que entre dezembro e março esse comportamento pode mudar, com a ocorrência de ondas com período de 15 s e 18 s e alturas de até 2 m, provenientes do hemisfério norte.

A temperatura média da água na parte externa do atol é de 27°C, o valor mínimo é de 25,5°C e o máximo de 28°C. Na região interna do recife, a água pode chegar a 39°C nas piscinas. Os dados de salinidade disponíveis indicam que ela é em média de 37 unidades de salinidade (us), variando de 35 us a 42 us. Alguns dados acerca do pH, obtidos durante alguns dias durante o verão de 1991 na região interna do recife, mostram valores variando de 5 (à noite) a 11 (ao meio dia). Esses parâmetros foram medidos por pesquisadores e guarda-parques nos anos de 1991 e 1992 (Kikuchi, 1994).

A visibilidade da água, em condições de tempo bom é geralmente superior a 20 m. Essa transparência está atestada também em orbitais TM/LANSAT (Figura 2A), onde, na banda azul, foi possível identificar feições a profundidades de até 30 m.

HISTÓRICO

A existência do Atol das Rocas foi registrada pela primeira vez no mapa seiscentista de Cantino (Andrade 1959). O primeiro mapa detalhado de Rocas apareceu em 1852, de autoria do Capitão-Tenente Phillip Lee (Rodrigues 1940). Naquele tempo Rocas ainda era chamado Baixo das Rocas ou Baixo das Cabras. Foi no mapa batimétrico do Comandante Vital de Farias, de 1858, que Rocas foi descrito pela primeira vez como um atol (Rodrigues., 1940). A primeira menção por um naturalista ocorreu no final do século XIX, em 1880, por Jean de Léry (1980), que faz uma breve e muito tênue descrição à distância do atol, quando de sua passagem pelas suas cercanias no retorno à França de sua viagem ao Brasil. Apenas com Andrade (1959) Rocas recebe sua primeira descrição científica mais aprofundada, apesar de baseada numa estada de apenas um dia no atol. Ele usou um fotomosaico de fotografias aéreas verticais para fazer um mapa detalhado do recife. Entre outras coisas, ele descreveu detalhadamente a morfologia do platô recifal, da laguna, de algumas piscinas, os cálices remanescentes e o arenito de praia que ocorre na ilha do Cemitério. Essas duas últimas feições foram tomadas como indicações de um nível marinho pretérito mais elevado que o atual no atol e foram correlacionados com evidências semelhantes encontradas no Holoceno da

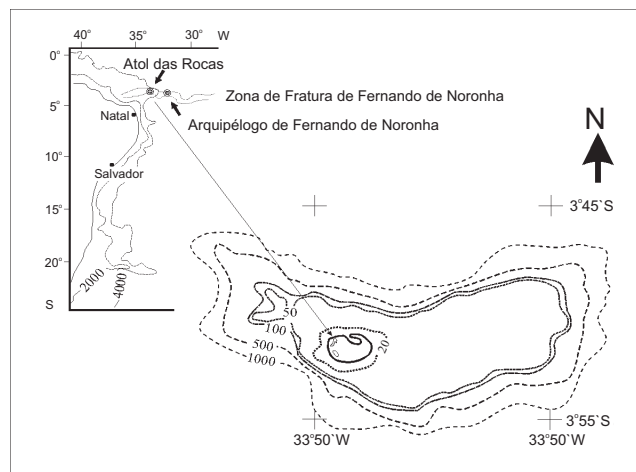


Figura 1: Mapa de localização do Atol das Rocas e a delimitação da reserva biológica (isóbata de 1000 m).

Figure 1: Location map of Rocas atoll and the biological reserve limits (1000 m isobath).

costa de Pernambuco (Andrade, 1959). Isto levou o autor a apontar as flutuações relativas do nível do mar no Holoceno como o fator preponderante no processo de edificação de Rocas. Ottmann (1963) fez algumas observações adicionais sobre a sua geomorfologia, entre elas a existência de dois terraços submersos, a 5 m e 20-30 m de profundidade, que seriam indícios adicionais de posições pretéritas do nível do mar, e corroborou as idéias de Andrade (1959) acerca do mecanismo de crescimento do atol. Devido à exígua ocorrência de corais no platô recifal, Andrade (1959) e Ottmann (1963) sugeriram que Rocas seria inteiramente construído por algas coralinas ou como identificado por eles, por Lithothamnium. Kikuchi (1994) apresentou um mapa mais detalhado de Rocas, baseado não apenas no fotomosaico de Andrade (1959), mas também numa imagem TM/LANDSAT. Além disso, foi feita uma investigação de refração sísmica, bem como uma testemunhagem de cerca de 11 m de profundidade na porção a sotavento do anel recifal. Várias idades ^{14}C de esqueletos de corais permitiram ao autor esquematizar um modelo de evolução recifal durante o Holoceno.

A controvérsia a respeito da classificação de Rocas como sendo um atol começou com o trabalho de Vallaux (1940). Nesse trabalho o autor afirma a composição algácea do recife e que a pouca profundidade da laguna a desqualificaria como tal. O problema se fundamentava na discordância que ocorria na época entre duas teorias acerca do mecanismo controlador da evolução recifal. As idéias de Darwin

acerca dos 3 estágios sucessivos na evolução recifal no Pacífico, das franjas recifais, passando pelas barreiras e finalmente aos atóis, tudo controlado pela isostasia, foi desafiada por Daly que propôs uma hipótese alternativa. Segundo esse autor, as mudanças eustáticas no nível do mar teriam sido as responsáveis pelo crescimento e dissolução do carbonato que forma os recifes. Assim, ao longo da história geológica, elevações e declínios de alta frequência do nível do mar seriam as responsáveis pela evolução dos recifes. A primeira hipótese implica que o crescimento carbonático nos atóis deveria ser espessa, com depósitos datando pelo menos do Terciário, e que a profundidade das lagunas seria uma evidência desse processo. De acordo com a segunda hipótese, a teoria do controle glacial, os recifes em geral (e os atóis em particular) deveriam ser apenas um estrato pleistocênico bastante fino, pois seu substrato não teria mudado de posição ao longo do desenvolvimento dos recifes. Pouco depois, os resultados das testemunhagens nos atóis do Pacífico provaram que as idéias de Darwin estavam corretas como um modelo geral de evolução recifal mas, ao mesmo tempo, verificou-se que a espessura Quaternário dos recifes era reduzida e que as variações eustáticas do nível do mar tiveram um papel importante no desenvolvimento dos recifes. Grigg (1997) apresenta uma síntese sobre o crescimento recifal com base na Tectônica de Placas e no fenômeno dos *hotspots*. Assim, os blocos residuais do recife na parte oriental da superfície do atol e a existência do arenito de praia numa das ilhas não são elementos característicos do atol que invalidariam a classificação de atol a Rocas, como afirmaram Andrade (1959) e depois Ottmann (1963), em apoio às idéias de Vallaux (1940). Com base nas características geomorfológicas do atol e apesar da pouca profundidade da sua laguna, mas ainda assim navegável por pequenas embarcações, será mostrado adiante que Rocas é um atol verdadeiro.

Até o início da década de 90, apenas aspectos biológicos de Rocas tinham sido mais intensivamente investigados. Havia estudos sobre as aves migratórias e residentes, através de anilhamento e censos demográficos feitos pelo Centro de Estudos de Migração de Aves (CEMAVE-IBAMA, Antas & Azevedo Jr., 1990), estudos sobre a ictiofauna (Faria & Silva, 1937), carcinofauna (Faria & Silva, 1937), organismos bentônicos, tais como as macroalgas (Oliveira Filho, 1972; Oliveira Filho & Menezes, 1972; Oliveira Filho & Ugadim, 1974 e 1976) e gastrópodos (Rios, 1979). Equipes de pesquisadores do Projeto Tartarugas Marinhas (Projeto TAMAR-IBAMA) acompanham as desovas da tartaruga verde, ou aruanã

(*Chelonia mydas*) entre dezembro e abril, desde 1990.

O estabelecimento de uma estação permanente na reserva em 1994, permitiu o desenvolvimento de vários projetos científicos desde invertebrados marinhos e flora bêntica, de peixes, da fauna e flora planctônicas. São exemplos desses estudos os desenvolvidos por Echeverría *et al.* (1996) com cnidários, por Rosa & Moura (1997) sobre peixes recifais, e por Gherardi & Bosence (1999) sobre as algas coralinas.

O ambiente tectônico e a característica do substrato do atol foram considerados por Almeida (1955), que afirmou que Rocas, assim como o Arquipélago de Fernando de Noronha, pertenceriam a um alinhamento de montes submarinos que consistiriam numa ramificação da dorsal meso-oceânica. Miura & Barbosa (1973) e Bryan *et al.* (1973) apresentam evidências da continuidade desse alinhamento projetando-se pela plataforma continental brasileira no Estado do Rio Grande do Norte e continente adentro, no estado do Ceará. Damuth & Palma (1979) e Gorini (1981) confirmam a morfologia desse alinhamento de montes submarinos, que o próprio Gorini (1981) nomeia como Zona de Fratura de Fernando de Noronha. Segundo esse autor, essa zona de fratura tem continuidade na Zona de Fratura Jean Charcot, do lado oriental do Atlântico. Cordani (1970), datou rochas de Fernando de Noronha e concluiu que a atividade vulcânica do Arquipélago ocorreu entre cerca de 12 e 1,8 m.a. AP, ou seja, do Mioceno Médio até o início do Pleistoceno. O autor sugere, contudo, que o início da atividade vulcânica que resultou na formação dessas ilhas teve início a cerca de 39 m.a. AP. Por se situar a W do Arquipélago de Fernando de Noronha, mais distante, portanto da dorsal meso-atlântica, o substrato do atol deve ter idades maiores que as apresentadas por Cordani (1970). Contudo, isso não implica que o final da atividade vulcânica também tenha terminado muito antes da verificada em Fernando de Noronha.

Os aspectos sedimentológicos foram apresentados pela primeira vez por Duarte (1938). Contudo, esse autor se detém na composição química do sedimento. Ottmann (1963) realizou algumas análises granulométricas em amostras coletadas nas ilhas, na laguna e nos arredores do atol, e observa que o sedimento das ilhas é cascalho arenoso (mais de 60% de grânulos) e que o sedimento da laguna é predominantemente areia (cerca de 80% de areia). Andrade (1959) mostrou que o arenito da Ilha do Cemitério tem granulometria semelhante à da areia depositada

atualmente na Ilha do Farol. Coutinho & Morais (1970) estudaram os sedimentos coletados nas plataformas de Rocas e Fernando de Noronha e os classificam como areias calcárias biogênicas, compostas principalmente por algas coralinas da sub-família Melobesioidea (Família Corallinaceae), além de algas do gênero *Halimeda* e de foraminíferos bentônicos (principalmente *Amphistegina radiata* e *Archaias* sp). Tinoco (1972) cita as espécies de foraminíferos *Amphistegina radiata* e *Peneroplis proteus* como as mais freqüentes no sedimento de superfície de fundo de Rocas, em amostras coletadas a mais de 45 m de profundidade mas *Archaias angulatus* é a mais abundante nas proximidades do atol. Kikuchi (1994) fez um levantamento detalhado do sedimento no interior e nos arredores do atol e mostrou que as fácies sedimentares (granulometria e composição) refletem os diferentes graus de energia desses dois ambientes recifais bem como as características de produção de sedimento desses ambientes.

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

Geomorfologia

O Atol das Rocas cresce na parte leste do topo de um monte submarino (Figura 1) onde as profundidades estão compreendidas entre as isóbatas de 15 m e 30 m. Apresenta formato elíptico, aberto nas partes ocidental e setentrional. Seu eixo maior, de orientação E-W, tem cerca de 3,7 km de comprimento e o eixo menor, de orientação N-S, tem cerca de 2,5 km de comprimento (Figuras 2A e 2B). Apesar das suas dimensões reduzidas, pode-se distinguir nele claramente a frente recifal, o platô recifal e a laguna (Figura 2).

A frente recifal aparece de duas formas distintas: a barlavento (poções oriental e meridional) que é abrupta, uma parede praticamente vertical, que cai da borda do recife até a profundidade de 10 m onde inicia-se um depósito de talus até os 15 m de profundidade. Nesse nível, existe um terraço horizontal colonizado por algas não esqueletais e algas coralinas, corais e esponjas, que se estende por cerca de 1 km para leste e sul do atol. Apesar de ser colonizado predominantemente por algas verdes e pardas e com pouca acumulação de sedimento, nele se observam corais da espécie *Mussismilia hispida* e espécimens de hidrocoral *Millepora alicornis*, além de diversos tipos de esponjas e rodóides. Este é, possivelmente, o topo da plataforma que serve de substrato ao Atol das Rocas. A sotavento desenvolve-se o contraforte do recife, um sistema de pontões e reentrâncias desde a borda do recife até profundidades de cerca de 18 m.

O platô recifal é a superfície mais ou menos plana da parte superior e interna do recife, circunscrita pela borda externa (Figura 2B). Fica acima do nível do mar durante os períodos de maré baixa. Compreende o anel recifal, cuja largura varia de cerca de 160 m na porção W, a cerca de 700 m no lado E do atol, e o depósito arenoso, que ocupa praticamente toda a porção interna do recife. O anel recifal é interrompido a norte e a oeste por dois canais, denominados respectivamente Barreta Grande e Barretinha (Figura 2B). Desse modo, o anel é subdividido num arco de barlavento e num arco de sotavento.

É no platô recifal que se encontram feições como os canais, as piscinas e as ilhas arenosas (coroas). O recife propriamente dito ou anel recifal é a faixa periférica de pavimento recifal que delimita a parte interna do recife. É circundada pela margem recifal e circunscribe o depósito arenoso e a laguna (Figura 2B). Ele é construído principalmente por algas coralinas incrustantes e gastrópodes vermetídeos. A esses organismos incrustantes associam-se algas rodofíceas geniculadas (*Jania* sp e *Amphiroa* sp), além de clorofíceas e feofíceas, não esqueletais. As algas coralinas e os gastrópodes vermetídeos crescem na forma de cristas algáceas lineares, com alguns centímetros de largura, contínuas ou segmentadas. No anel recifal encontram-se as “rocas” ou cabeços residuais, chamadas de old reef spits em inglês ou féo em francês, segundo Battistini *et al.* (1975). Elas são resquícios de uma estrutura mais elevada do recife que podem atingir hoje cerca de 3-4m de altura (Figura 3). Caneluras entalhadas na base dos cabeços residuais (Figura 3) indicam que a média das preamares atinge cerca de 0,5 m acima da superfície do platô recifal. São compostos primordialmente de algas coralinas incrustantes, ocorrendo também gastrópodes vermetídeos e o foraminífero incrustante *Homotrema rubrum*, sempre de modo acessório. O depósito arenoso (Figuras 2A e B) corresponde à maior parte da feição denominada como “laguna muito rasa” por Andrade (1959) e por Ottmann (1963). É composto principalmente por fragmentos de algas coralinas, de granulação areia média a fina. Mais de 50% dos fragmentos são algas coralinas, com testas de foraminíferos e fragmentos de moluscos aparecendo subordinadamente (com uma freqüência média de 10% cada componente). Nele aparecem formas de leito onduladas que são assimétricas, com cristas descontínuas e arqueadas, produzidas por correntes que varrem a superfície do depósito nas marés enchente e vazante.

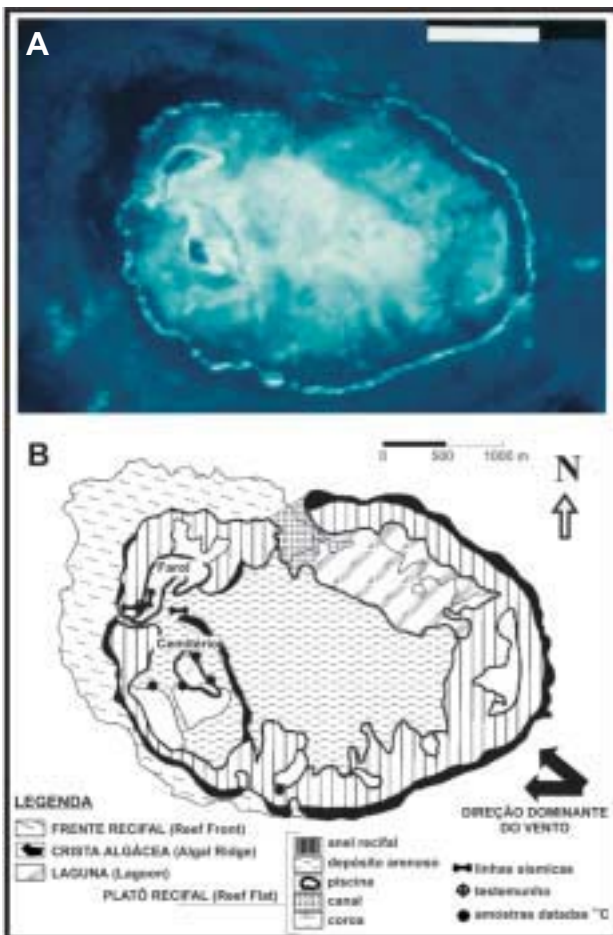


Figura 2: A) Imagem de satélite TM/LANDSAT do Atol das Rocas, banda azul. B) Mapa geomorfológico do Atol das Rocas.
Figure 2: A) TM/LANDSAT satellite image from Rocas atoll, blue band. B) Geomorphology map of Rocas atoll.

A borda do recife é uma crista algácea de cerca de 20-30 m de largura e com cerca de 0,5 m de altura. Esta é uma feição praticamente contínua, desaparecendo apenas no arco de sotavento do atol, a NW da Ilha do Farol. Fica exposta à atmosfera durante os períodos de maré baixa. Na sua parte externa é que se dissipa praticamente toda a energia das ondas que incidirem no recife, constituindo-se, portanto, no local de mais alta energia do recife.

Uma laguna rasa é vista na parte nordeste do recife e ela se comunica com o mar através da Barreta Grande (Figura 2B). Sua profundidade máxima, nas marés de sizígia, varia de 4 m na parte mais central a cerca de 6 m na parte mais interna da Barreta Grande. A largura da Barreta Grande (Figura 3) pode atingir 100 m e a profundidade varia de 6 m na parte mais interna até 10 m, no limite externo do canal. Essa barreta é formada por espaços entre colunas recifais com paredes verticalizadas, o que lhe confere o aspecto de canais meandranes (Figura 4). Nas paredes dessas colunas são vistas com frequência as espécies de corais *Montastrea cavernosa*, *Siderastrea stellata* e *Porites* sp. O fundo dos espaços intercolunares está recoberto por sedimento areno-cascalhoso (Figura 4). Aí, o processo

Figura 3: Foto do platô recifal do arco de barlavento na parte E do atol.
Figure 3: Photography of reef flat in the windward arch, E part of the atoll.



dinâmico que predomina é a alternância do sentido da corrente com as marés.

As piscinas são outro tipo de descontinuidade que ocorre no platô recifal (Figura 2B). Essas aberturas têm profundidades de 3 m nas marés baixas e podem atingir dimensões de até 400 m de comprimento, como é o caso da Piscina das Tartarugas (leste do recife). As piscinas são delimitadas por bordas salientes que desenvolvem uma superfície inferior em negativo, que Andrade (1959) denominou como bordas “em pala de boné”, conhecidas na língua inglesa como overhangs. Nessas regiões, o processo de coalescência de pequenas colunas recifais isoladas com seção aproximadamente circular sugere a maneira como se originou o anel recifal (Figura 5). As piscinas estão preenchidas por sedimento arenoso e nas de maior dimensão, como a das Tartarugas (a leste) e as piscinas do sul do anel, ocorrem colunas recifais isoladas com frequência.

Existem duas coroas arenosas na parte ocidental do atol (Figuras 2A e B). A coroa do sul é chamada Cemitério e possui, na sua face nordeste, encostas de arenitos de praia de cerca de 1,5 m de altura. A altura

desse arenito de praia chega a 2 m acima do nível do platô recifal. Um farol foi construído na coroa norte, chamado por isso de ilha do Farol. Essa coroa tem altura de cerca de 3 m acima do nível do platô e não possui afloramentos de arenito de praia.

O Atol das Rocas é formado por zonas encontradas com frequência nos atóis do Caribe (Kornicker & Boyd, 1962; Stoddart, 1962; Milliman, 1967; Milliman, 1969. Figura 6), apesar das suas dimensões reduzidas e da sua forma em anel semicerrado (Figura 2B e Figura 6). Esta última característica não é uma feição comum nos atóis descritos na literatura (Stoddart, 1965). Contudo, a comparação de Rocas com outros atóis do Atlântico evidencia muitas similaridades na morfologia geral dos recifes, como mostra a Figura 6. Exemplos que podem ser citados são a encosta da frente recifal, comparável com o recife Alacrán (Kornicker & Boyd, 1962), a largura do anel recifal, que é da mesma ordem de grandeza dos atóis da Nicarágua (Milliman, 1969), e a espessura da seção holocênica e sua origem fisiográfica, comparável àquelas do recife Hogsty (Milliman, 1967).

Figura 4: Passagem entre duas colunas recifais na Barreta Grande. A profundidade é de cerca de 6 m e o fundo é recoberto por sedimento cascalhoso.

Figure 4: Passage between two pinnacles in Barreta Grande. Depth is about 6 m and bottom surface is made of gravel.

Figura 5: Piscina na parte sul do atol. Observar o topo das colunas ao nível da água na parte central da foto e a transição para o platô.

Figure 5: Pool on the south part of the atoll. Note the flat top of the pinnacles at water surface level on the central part of the photo and the transition to the reef flat..



Estrutura e composição do recife

Os resultados da investigação sísmica permitiram identificar 3 estratos. Kikuchi & Leão (1997) publicaram uma reavaliação dos dados apresentados em Kikuchi (1994), nas quais as velocidades sísmicas de cada estrato identificado, são:

$$v_0 = 0,33 \text{ m/ms}$$

$$v_1 = 2,50 \text{ m/ms}$$

$$v_2 = 4,70 \text{ m/ms}$$

da mais rasa para a mais profunda. As espessuras dos estratos são:

$$z_0 = 1,7 \text{ m}$$

$$z_1 = 10,0 \text{ m}$$

onde z_0 e z_1 somadas são a espessura da camada holocênica do recife. A profundidade do limite superior do substrato (v_2) no local onde se deu a investigação tem, portanto, um valor mínimo de 11,7 m (Figura 7).

As duas camadas superiores da seqüência recifal foram identificadas como a camada holocênica do atol, baseando-se nos dados da testemunhagem (Figura 7). A camada superior de baixa velocidade sísmica (z_0) representa um capeamento de recife preenchido por água e ar em seus poros, resultado do nível da maré baixa no momento da investigação. A Seção Holocênica (Figura 7) do Atol das Rocas e foi quase totalmente atravessada pela perfuração. As datações em esqueletos de corais confirmaram a idade holocênica para essa seção. Dessa metragem perfurada, foram recuperados 40% (Figura 7). As algas coralinas são os organismos construtores mais importantes, volumetricamente, no Atol das Rocas, ocorrendo com freqüência sempre superior a 60% no testemunho (Figura 7).

Esse papel importante das algas coralinas, por vezes preponderante, na construção dos recifes é uma característica comum aos recifes brasileiros, tal como os de Abrolhos e os do litoral norte da Bahia. Característica semelhante é observada nos recifes (*boilers*) das Bermudas, estudados por Ginsburg & Schroeder (1973), e também nos recifes das Antilhas, alvo dos estudos de Adey (1978), Adey & Burke (1976), Adey & Burke (1977) e Adey & Vassar (1975). Esqueletos de corais foram recuperados apenas subordinadamente.

São fragmentos de espécimes pequenos das espécies *Siderastrea stellata*, *Favia gravida*, *Mussismilia hispida*, *Agaricia sp* e *Porites sp* e perfizeram cerca de 10% do testemunho. Gastrópodes vermetídeos e o foraminífero *Homotrema rubrum* correspondem a cerca de 6% do testemunho, cada um, e ocorrem associados às algas coralinas incrustantes.

O substrato pré-holocênico do Atol das Rocas pode ser comparado às rochas vulcânicas que aparecem no Arquipélago Fernando de Noronha (rochas vulcânicas ultramáficas a intermediárias, segundo Almeida, 1955). A velocidade de 4,70 m/ms que caracteriza esse refletor é da ordem de grandeza apresentada por rochas basálticas, descritas no atol de Bikini (Dobrin, Perkins *et al.*, 1949; Dobrin & Perkins, 1954; Raitt, 1954), no atol de Kwajalein e no guyot Sylvania (Raitt, 1954) e no atol Eniwetak (Raitt, 1957). Essa Seção Basal (Figura 7) pode ser de uma idade Terciária, tomando-se como base de comparação as idades do vulcanismo no Arquipélago de Fernando de Noronha e datadas por Cordani (1970).

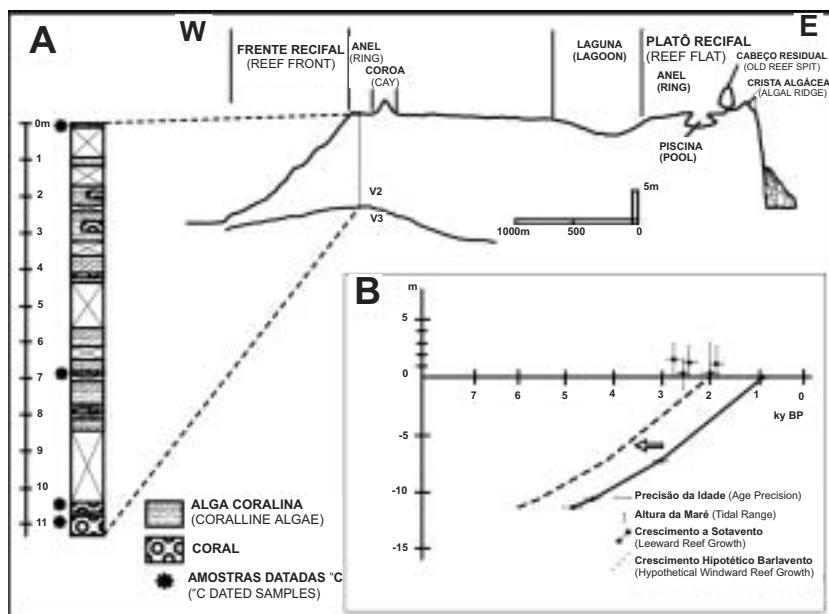
Figura 6: Comparação das características morfológicas do Rocas com outros atóis do Atlântico.

Figure 6: Comparison of morphologic characteristics between Rocas and the other Atlantic atolls.

	ROCAS (Kikuchi 1994)	HOGSTY (Milliman 1967)	ALACRÁN (Kornicker e Boyd 1962)	NICARAGUA (Milliman 1969)	BELIZE (Stoddart 1962)
Diâmetro (km)	2,5 x 3,7	5 x 9	11 x 22	3,5x8,5 a 16x32	7,5x35 a 16x49
Área (km ²)	7,5	±40	259	25 a 260	203 a 530
Declividade da superfície de fundo	0,2° a 0,15°	31° a 61°	0,02°	?	14° a 18°
Profundidade da laguna (m)	0 a 6	6 a 8	15	10 a 20	6 a 43
Largura do anel recifal (km)	0,2 a 1	2	2,5	0,5	
Espessura holocênica (m)	> 11,4	18	33,5	?	?
Continuidade do anel	fechado	aberto a sotavento	aberto a sotavento	aberto a sotavento	aberto a sotavento
Província fisiográfica	monte submarino	monte submarino	plataforma continental	bancos	bancos plataformais

Figura 7: A. Perfil esquemático W-E do Atol das Rocas apresentando a interpretação da refração sísmica e desenho esquemático da composição do testemunho. B. Diagrama das idades do testemunho e do arenito de praia.

Figure 7: A. Schematic W-E profile of Rocas atoll, with interpretation of seismic survey. The core hole is represented on the profile, together with its schematic composition. B. Plot of the ages of the coral skeletons from the core and from the beachrock.



LOCALIZAÇÃO	Nº LAB	MATERIAL	IDADE CONVENCIONAL ¹⁴ C (ka AP)
frente recifal 10 m de profundidade	Bab-1758	Ss	atual
anel recifal sotavento 50 cm acima do platô	Bab-1759	Ss	2,02±0,16
anel recifal sul, superfície	Bab-1803	Ss	0,94±0,14
testemunho, superfície, anel sotavento	Bab-1801	Ss	0,84±0,14
testemunho, 7 m prof., anel sotavento	Bab-1806	Ss	3,06±0,18
testemunho, 10,5 m prof., anel sotavento	Bab-1807	Ss	4,41±0,20
testemunho, 11,2 m prof., anel sotavento	Bab-1808	Ss	4,86±0,21
calcarenito de praia, 1,5 m acima do platô	Bab-1796	Ss	1,91±0,15
calcarenito de praia, 2,0 m acima do platô	Bab-1797	Fg	2,83±0,16
calcarenito de praia, 1,8 m acima do platô	Bab-1798	Mol	2,51±0,17
calcarenito de praia, 0,5 m acima do platô	Bab-1800	Fg	2,63±0,15

Figura 8: Resultados das datações por ¹⁴C (Ss=Siderastrea stellata e Fg=Favia gravida) e conchas de moluscos (mol). da superfície do recife, das amostras do testemunho e do calcarenito de praia da ilha do Cemitério.

Figure 8: ¹⁴C ages of coral skeletons (Ss = Siderastrea stellata, Fg = Favia gravida) and mollusk shells (mol) from the reef surface, the core samples and the Cemitério island beachrock

Figura 9: Taxas de crescimento do recife, calculadas a partir das idades obtidas no testemunho. A referência (0m) corresponde à superfície do recife.

Figure 9: Reef growth rates, calculated from the ages of the coral skeletons obtained in the core. Depth calculated with reference to reef flat level.

INTERVALO (m)	TAXA (mm/ano)
0 - 7,0	3,2
7,0 - 10,5	2,4
10,5 - 11,2	1,5
média	2,8

Crescimento do recife e posição do nível do mar

As idades ^{14}C obtidas do testemunho são 4,86 ka AP à profundidade de 11,2 m, 4,41 ka AP à profundidade de 10,5 m, 3,06 ka AP à profundidade de 0,84 ka AP na superfície (Figuras 7 e 8), e elas indicam que o estrato com velocidade de 1,58 m/ms corresponde à seqüência holocênica do recife. Conseqüentemente, o recife deve ter começado a crescer há cerca de 5 ka AP, elevando-se até o presente nível do mar a uma taxa média de crescimento de 2,8 m/ka (variando de 1,5 m/ka a 3,2 m/ka, Figura 9). A idade do esqueleto de *S. stellata*, de 2,02 ka AP, achado em posição de vida num pequeno cabeço residual na parte sudoeste do arco de barlavento 0,5 m acima do nível do platô recifal, indica que o recife atingiu o nível atual há pelo menos 2000 anos atrás. As idades fornecidas pelos esqueletos de corais e pelos fragmentos de gastrópodes do calcarenito de praia da ilha do Cemitério variam de 1,91 a 2,83 ka AP (Figura 6). Essas idades são coincidentes com a idade fornecida pela colônia de *S. stellata* do cabeço residual, mencionada acima, o que reforça a hipótese que partes do recife já haviam chegado à posição atual do nível do mar entre 3000 e 2000 anos atrás.

A idade ^{14}C mais antiga obtida no testemunho (4,86 ka AP, Figura 8) pode não representar o exato início do desenvolvimento do recife. Pode haver uma diferença entre as idades do arco a barlavento e do arco a sotavento, de onde o testemunho foi retirado. Isto é sugerido pelo que se segue: i) pela presença de uma crista algácea contínua e bem desenvolvida na borda do arco de barlavento, ao contrário do que ocorre no arco de sotavento, onde a crista algácea é apenas uma feição muito sutil e descontínua; ii) presença dos cabeços residuais, acima do nível do mar atual, no arco de barlavento (Figura 4); iii) as idades dos esqueletos coletados no platô recifal, no cabeço residual e no calcarenito de praia indicam uma diferença de cerca de 2000 anos entre a chegada do recife ao nível atual na porção a barlavento o mesmo evento na porção a sotavento. Considerando que o recife cresceu a uma mesma taxa (2,8 m/ka, Figura 9) no dois arcos, infere-se que o crescimento do recife deve ter começado antes no arco a barlavento, por volta de 6 ka AP (Figura 7). Ele se desenvolveu como um atol aberto a sotavento e as alturas dos cabeços residuais indicam que há 2000 anos atrás o recife deve ter chegado a pelo menos 3 m acima do nível do platô. O arco a sotavento começou a se desenvolver há cerca de 5000 anos atrás, com uma taxa de crescimento variando de 1,5 m/ka até 3,2 m/ka. Conseqüentemente, o recife pode ter adquirido seu formato semicerrado apenas recentemente, depois

que o arco a sotavento atingiu seu nível atual, há cerca de 1000 anos atrás (Figura 8).

Flora e fauna construtora do recife

A superfície do recife é predominantemente recoberta por macroalgas e uma associação de algas coralinas incrustantes e gastrópodes vermetídeos. Um estudo realizado por Gherardi e Bosence (1999) indicou a ocorrência dos gêneros *Porolithon*, *Lithophyllum*, *Sporolithon* e *Lithoporella*, entre as coralinas incrustantes. Corais maciços, com *Siderastrea stellata*, *Montastrea cavernosa* e *Porites sp* ocorrem apenas em áreas protegidas da energia das ondas, principalmente na laguna, nas piscinas e em algumas reentrâncias da frente recifal. Echeverría et al. (1996) publicou uma lista dos cnidários encontrados em Rocas, na qual aparecem os corais hermatípicos *Madracis decactis*, *Agaricia agaricites*, *Porites astreoides*, *Porites branneri*, *Favia gravida*, *Mussismilia hispida*, além das mencionadas anteriormente e discute possíveis controles na distribuição das espécies encontradas.

Dois aspectos acerca da diversidade dos organismos construtores do atol merecem algumas palavras. O primeiro deles, é a dominância atual das algas coralinas, que se verificou também ter ocorrido durante todo o seu crescimento. O segundo, mesmo se considerarmos apenas os corais construtores do recife, que têm um papel secundário na sua edificação, verifica-se o domínio acentuado de apenas uma espécie, a *Siderastrea stellata*.

Apesar de se argumentar que as algas coralinas têm em geral um papel limitado na construção de recifes (Macintyre, 1997) devido a restrições ecológicas e ambientais e à sua baixa taxa de crescimento vertical (Adey & Vassar, 1975; Steneck & Adey, 1976; Adey, 1978; Steneck, 1986), Rocas é um exemplo de que esses organismos podem crescer verticalmente a taxas relativamente elevadas (2,8 m/ka). Figueiredo (1997) mostra que também em Abrolhos a taxa de crescimento das algas coralinas é mais elevada que em ambientes recifais de outras partes do mundo. Além de energia hidrodinâmica elevada, baixa competição inter-específica e um certo grau de herbivoria são condições que favorecem o desenvolvimento das algas coralinas (Steneck, 1997). É possível que essas condições sejam encontradas (e otimizadas) em Rocas. O baixo número de espécies de corais e a reduzida cobertura do recife por esses animais resultam em uma redução de competição por espaço entre eles e as algas coralinas. Por outro lado, apesar da biomassa de peixes herbívoros em Rocas ser equivalente a dos recifes em

outras localidades no Brasil ou no Caribe, por exemplo, apenas um gênero de peixe pastador em algas coralinas, *Sparisoma*, foi encontrado no atol (Rosa & Moura, 1997). Ademais, as espécies do gênero citado têm os músculos das mandíbulas menos potentes que os dos peixes papagaio do gênero *Scarus*, que são os pastadores mais potentes do ecossistema recifal e não ocorrem em Rocas. Essa diferença na estrutura da comunidade de peixes de Rocas pode ter contribuído também para o incremento do potencial de crescimento e preservação das algas coralinas incrustantes, visto que a herbivoria por peixes papagaio é um dos controles ecológicos mais importantes no desenvolvimento das algas coralinas (Adey & Vassar, 1975; Steneck & Adey, 1976; Adey, 1978; Steneck, 1986).

Quanto ao domínio da *Siderastrea stellata*, Echeverría *et al.* (1996) sugerem que a tolerância a fatores ambientais como alta energia de ondas, e a grandes variações de temperatura possa ser a causa principal do sucesso dessa espécie no atol. A geomorfologia do atol contribui para essa avaliação visto que por causa das dimensões reduzidas do atol, a água com temperatura elevada pela exposição do platô durante as baixa-mares acaba influenciando também a laguna, que é o segundo tipo de feição onde os corais cresce em maior profundidade.

ESTADO DE CONSERVAÇÃO

O Atol das Rocas é uma reserva biológica que pertence ao Estado do Rio Grande do Norte. Foi a primeira reserva biológica a ser estabelecida no Brasil, pelo Decreto Lei nº 83.549 de 5 de julho de 1978. No Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), uma reserva biológica é a categoria de proteção aplicada à conservação integral da biodiversidade. Nenhuma atividade recreativa ou exploração dos seus recursos é permitida dentro dessas áreas. Contudo, visitas destinadas à pesquisa científica e objetivos educativos podem ser permitidos em casos especiais, com autorização prévia do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A Reserva Biológica do Atol das Rocas inclui não só o recife mas também todo o topo do monte submarino limitado pela isóbata de 1000 m. Sua área totaliza 360 km². Apesar de ter sido criada em 1978, apenas em 1990 as atividades de conservação começaram efetivamente e de modo continuado. O primeiro acampamento da estação de fiscalização foi estabelecido sob os auspícios da Fundação Pró-TAMAR e do Projeto Peixe-Boi Marinho (IBAMA).

No final de 1993, o acampamento foi substituído por uma estação de fiscalização/pesquisa definitiva, construída em madeira e abastecida com energia solar, criada pelo Laboratório de Pesquisa da Madeira (LPM) do IBAMA. Esta estação é uma adaptação do projeto Antártida desenvolvido pelo instituto.

A viagem até o atol geralmente leva 26 horas, partindo da cidade de Natal (Rio Grande do Norte). As equipes de fiscalização e pesquisa são compostas em geral por 8 pessoas e revezam-se a cada 25 dias. Cada equipe é composta de 2 agentes de fiscalização do IBAMA e mais 6 pessoas, entre cientistas, estudantes e voluntários. A comunicação com o continente é feita através de sistemas de rádio SSB e VHF.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos organizadores da presente obra pelo convite e pela oportunidade de escrever sobre um assunto tão caro a mim. À Professora Dra. Zelinda M. A. N. Leão, que me possibilitou dar consequência ao meu mergulho no ambiente carbonático. Ao senhor Gilberto Sales, ex-chefe, e à Srta. Zélia Brito, atual chefe, da Reserva Biológica do Atol das Rocas, pelas oportunidades de desenvolver os trabalhos de campo e pela sua colaboração durante os mesmos trabalhos. A imagem TM/LANDSAT foi adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adey, W. e R. B. Burke (1976). Holocene Bioherms (algal ridges and bank barrier reefs) of the Eastern Caribbean. *Geological Society of America Bulletin* **87**: 95-109.
- Adey, W. e R. B. Burke (1977). Holocene bioherms of Lesser Antilles - Geologic control of development. *Reefs and related carbonates - Ecology and Sedimentology*. S.H. Frost, M. P. Weiss e J. B. Saunders. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists. **4**: 67-81p.
- Adey, W. H. (1978). Algal ridges of the Caribbean sea and West Indies. *Phycologia* **17**: 361-367
- Adey, W. H. e J. Vassar (1975). Colonization, succession and growth rates of tropical crustose coralline algae (Rhodophyta, Cryptonemiales). *Phycologia* **14**: 44-69.
- Almeida, F. F. M. (1955). Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Rio de Janeiro, DNPM/DGMp.
- Andrade, G. O. (1959). O recife anular das Rocas (Um registro das recentes variações eustáticas no Atlântico equatorial). *Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros* **XI**: 29-61.
- Antas, P. T. Z. e J. Azevedo, S. M. (1990). Expedição ao Atol das Rocas - fevereiro/março de 1990. Relatório das atividades com aves. Relatório para a direção da Reserva Biológica do Atol das Rocas. Natal, IBAMA/RN: 2.
- Battistini, R., F. Bourrouilh, et al. (1975). Éléments de terminologie récifale Indopacifique. *Téthys* **7**(1): 1-111.
- Bryan, G. M., N. Kumar, et al. (1973). The north Brazilian ridge and the extension of equatorial fracture zones into the continent. *Anais XXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém, SBG-Norte.
- Cordani, U. G. (1970). Idade do vulcanismo do Atlântico Sul. *Boletim do Instituto de Ciências e Astronomia - USP* **1**: 9-76.

- Coutinho, P. N. e J. O. Morais (1970). Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte-nordeste del Brasil. Symposium on Inventory of Resources of the Caribbean Sea and Adjoining Region, Curaçao.
- Damuth, J. E. e J. C. Palma (1979). Geomorfologia do fundo atlântico equatorial oeste. Geomorfologia da Margem Continental Brasileira e das áreas oceânicas adjacentes, PETROBRÁS/CENPES/DINTEP. **7**: 53-88p.
- Dobrin, M. B. e J. Perkins, Beaugard (1954). Seismic studies of Bikini Atoll. Bikini and nearby atolls, Part 3 Geophysics. *Geological Survey Professional Paper* **260-J**: 487-505.
- Dobrin, M. B., J. Perkins, Beaugard, et al. (1949). Subsurface constitution of Bikini Atoll as indicated by a seismic refraction survey}. *Bulletin of the Geological Society of America*
- Duarte, P. J. (1938). O Atoll das Rocas. *Arquivo de Pesquisas Agrônomicas* **1**: 61-70.
- Echeverría, C. A., D. O. Pires, et al. (1996). Cnidarians of the Atol das Rocas. Proc. 8th Int. Coral Reef Sym, Panama, Allen Press.
- Faria, A. e D. Silva (1937). A fauna ictiológica de Rocas. Observações sobre a maturidade dos órgãos genitais e frequência das principais espécies. *Revista D.N.P.A. Ministério da Agricultura* **IV**(1-2-3): 1-38
- Faria, A. e D. Silva (1937). Os Palinurídeos do Brasil (Crustacea-Macrura). *Revista D.N.P.A. Ministério da Agricultura* **IV**(4-5-6): 1-47.
- Figueiredo, M. A. O. (1997). Colonization and growth of crustose coralline algae in Abrolhos, Brazil. Proc. 8th Int. Coral Reef Sym, Panamá, Allen Press.
- Gherardi, D. F. M. e D. W. J. Bosence (1999). Modeling of the ecological succession of encrusting organisms in recent coralline-algal frameworks from Atol das Rocas, Brazil. *Palaios* **14**(2): 145-158.
- Ginsburg, R. N. e J. H. Schroeder (1973). Growth and submarine fossilization of algal cup reefs, Bermuda. *Sedimentology* **20**: 575-614.
- Gorini, M. A. (1981). The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. H. E. Asmus. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, CENPES, DINTEP. **9**: 11-116p.
- Grigg, R. W. (1997). Paleooceanography of coral reefs in the Hawaiian-Emperor Chain - revisited. *Coral Reefs* **16**: S33-S38.
- Hogben, N. e F. E. Lumb (1967). *Ocean wave statistics*. London, National Physical Lab, Ministry of Technology.
- Kikuchi, R. K. P. (1994). *Geomorfologia, Estratigrafia e Sedimentologia do Atol das Rocas* (Rebio-IBAMA/RN). Pós-Graduação em Geologia. Salvador, Universidade Federal da Bahia: 144.
- Kikuchi, R. K. P. e Z. M. A. N. Leão (1997). Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. Proc. 8th Int. Coral Reef Sym, Panama, Allen Press.
- Kornicker, L. e D. W. Boyd (1962). Shallow-water geology and environments of Alacran Reef Complex, Campeche Bank, Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* **46**: 640-673.
- Léry, J. d. (1980). *Viagem à terra do Brasil*. São Paulo, Editora Itatiaia/Ed. da Universidade de São Paulo.
- Macintyre, I. G. (1997). Reevaluating the role of crustose coralline algae in the construction of coral reefs. Proc 8th Int Coral Reef Sym, Panamá, Allen Press.
- Melo, F., Eloi e J. H. G. M. Alves (1993). Nota sobre a chegada de ondulações longínquas à costa brasileira. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado, ABRH.
- Milliman, J. D. (1967). The Geomorphology and history of Hogsty Reef, a Bahamian atoll. *Bulletin of Marine Science* **17**(3): 519-543.
- Milliman, J. D. (1969). Four southwestern Caribbean atolls: Courtown Cays, Albuquerque Cays, Roncador Bank and Serrana Bank. *Atoll Research Bulletin*(129).
- Miura, K. e J. C. Barbosa (1973). Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, SBG.
- Oliveira Filho, E. C. (1972). As algas marinhas bentônicas do Atol das Rocas. *Ciência e Cultura* **24**(6): 328 (supl).
- Oliveira Filho, E. C. e N. A. Menezes (1972). Notas biológicas sobre o Atol das Rocas. *Ciência e Cultura* **24**(6): 361 (supl).
- Oliveira Filho, E. C. e Y. Ugadim (1974). New references of benthic marine algae to Brazilian flora. *Boletim de Botânica* **2**: 71-91.
- Oliveira Filho, E. C. e Y. Ugadim (1976). A survey of the marine algae of Atol das Rocas (Brazil). *Phycologia* **15**(1): 41-44.
- Ottmann, F. (1963). "L'Atol das Rocas" dans l'Atlantique sud tropical. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* **2**: 101-107.
- Raitt, R. W. (1954). Seismic-refraction studies of Bikini and Kwajalein atolls. Bikini and nearby atolls. Part 3. Geophysics. US Geological Survey Professional Paper **260S**: 507-527.
- Raitt, R. W. (1957). Seismic-refraction of Eniwetak atoll. Bikini and nearby atolls. Part 3. *Geophysics*. US Geological Survey Professional Paper **260S**: 685-698.
- Richardson, P. L. e T. K. McKee (1984). Average Seasonal-Variation of the Atlantic Equatorial Currents From Historical Ship Drifts. *Journal of Physical Oceanography* **14**(7): 1226-1238.
- Rios, E. C. (1979). Novas ocorrências de moluscos para o Atol das Rocas. V Encontro de Malacologistas Brasileiros, Mossoró, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.
- Rodrigues, O. A. A. (1940). O Atol da Rocas. *Revista Marítima Brasileira* **LIX**(11-12): 1181-1228.
- Rosa, R. S. e R. L. Moura (1997). Visual assessment of reef fish community structure in Atol das Rocas Biological Reserve, off northeastern Brazil. Proc 8th Int Coral Reef Symp, Panama.
- Silveira, I. C. A., L. B. Miranda, et al. (1994). On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research* **99**(C11): 22501-22512.
- Steneck, R. S. (1986). The ecology of coralline algal crusts: Convergent Patterns and Adaptive Strategies. *Annual Review of Ecology and Systematics* **17**: 273-303.
- Steneck, R. S. (1997). Crustose corallines, other algal functional groups, herbivores and sediments: complex interactions along reef productivity gradients. Proc 8th Int Coral Reef Sym, Panamá, Allen Press.
- Steneck, R. S. e W. H. Adey (1976). The role of the environment in control of morphology in *Litbophyllum congestum*, a Caribbean algal ridge builder. *Botanica Marina* **XIX**: 197-215.
- Stoddart, D. R. (1962). Three Caribbean atolls: Turneffe Islands, Lighthouse Reef, and Glover's Reef, British Honduras. *Atoll Research Bulletin* **87**: 1-151.
- Stoddart, D. R. (1965). The shape of atolls. *Marine Geology* **3**: 369-383.
- Tinoco, I. M. (1972). Foraminíferos dos bancos da costa nordestina, Atol das Rocas e Arquipélago de Fernando de Noronha. Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco **13**: 49-60.
- Vallaux, C. (1940). La formation atollienne de Rocas (Brésil). *Bulletin de L'Institut Océanographique* **37**(784): 1-8

¹ Departamento de Ciências Exatas,
Universidade Estadual de Feira de Santana
BR-116, Km 3 s/n, Campus Universitário,
Feira de Santana, Bahia, Brazil
CEP 44.031-460
rkpkikuchi@geocities.com

Parte 6

SÍTIO ÍGNEO

Pico do Cabugi, RN

Registro do mais jovem magmatismo continental do Brasil

SIGEP 39

Valderez Pinto Ferreira¹
Alcides Nóbrega Sial¹

O Pico do Cabugi, 7 km a oeste de Lages, Rio Grande do Norte, NE Brasil, é um dos muitos *necks* da província basáltica alcalina Terciária do Rio Grande do Norte, registrando o mais jovem (19,7 Ma) magmatismo continental do Brasil. Consiste de ankaratritos, basanitos e olivina-basaltos com afinidades basaníticas ou toleíticas, sendo composto principalmente de olivina, titanoaugita, minerais de óxido de ferro, plagioclásio, apatita e vidro ocasional. Nódulos de espinélio lherzolito, ainda que pequenos, são inclusões comuns, sendo compostos de olivina, ortopiroxênio, cromo-diopsódio e espinélio. Os basaltos são moderadamente a fortemente subsaturados em sílica, SiO₂ variando de 39% a 45%, com quase todas as amostras sendo nefelina-normativas, e exibindo concentrações altas de alguns elementos incompatíveis, como Ti, K, Sr, e Ba. Dois nódulos mostram razões iniciais Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ de 0,70575 e 0,7042, mais altas que aquelas dos basaltos hospedeiros, interpretadas como uma fonte única para os magmas basálticos ou fontes mais homogêneas que a porção do manto litosférico acima que proveu a suite de nódulos. Estes resultados revelam uma heterogeneidade isotópica e um enriquecimento em Sr⁸⁷ no manto do nordeste do Brasil. Valores de rocha total de $\delta^{18}\text{O}$ para basaltos desta suite estão entre +6,7 e 7,7‰_{SMOW}, e os valores para piroxênios dos nódulos variam de +6,5 a +7,2‰_{SMOW}, atestando que esses valores são primários. O posicionamento desta suite basáltica Terciária está relacionado ou a um reajuste interno dentro da placa Sul-americana, durante seu deslocamento para oeste, ou a um alívio de pressão de zonas arqueadas formadas no Mesozóico Superior durante a abertura do Oceano Atlântico sul.

The Cabugi Peak, State of Rio Grande do Norte - The record of the youngest continental magmatism of Brazil

The Cabugi Peak, 7 km west of Lages, State of Rio Grande do Norte, NE Brazil, is one of the many necks in the Tertiary alkalic basaltic province of Rio Grande do Norte. It records the youngest (19.7 Ma) continental magmatism in Brazil. It consists of ankaratrites, basanites and olivine-basalts with basanitic or tholeiitic affinities, mainly composed of olivine, titanoaugite, iron oxide minerals, plagioclase, apatite and occasional glass. Spinel lherzolite nodules, although small, are common inclusions, composed of olivine, orthopyroxene, chrome diopside and spinel. The basalts are moderately to strongly silica undersaturated, SiO₂ contents varying from 39% to 45%, with almost all samples being nepheline-normative, and exhibit high concentrations of some incompatible elements such as Ti, K, Sr, and Ba. Two nodules show initial ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values of 0.70575 and 0.7042, higher than those for the host basalts, interpreted as a single source for the basaltic magmas or sources more homogeneous than the portion of the lithospheric mantle above it that provided the nodule suite. These results reveal isotopic heterogeneity and

⁸⁷Sr-enrichment in the mantle of the northeastern Brazil. Whole rock $\delta^{18}\text{O}$ values for basalts of this suite vary from +6.7 to +7.9‰_{SMOW}, and values for pyroxenes from nodules vary from +6.5 to +7.2‰_{SMOW}, confirming that these are primary oxygen isotope values. The emplacement of this Tertiary basaltic suite is related either to internal readjustments within the South American plate during its westward displacement, or to the Tertiary pressure release of arched zones formed in the Upper Mesozoic during the opening of the South Atlantic ocean.