



**Petrografia, Isótopos Estáveis e Geocronologia das Rochas de Praia
Beachrocks do Litoral do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste Brasileiro**
Petrography, Stable Isotops and Geochronology of
Beachrocks from the Coastline of Rio de Janeiro State, SE Brazil

Julia Varella Malta^{1,2} & João Wagner Alencar Castro^{1,2}

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGL,
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21941-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente –
LAGECOST, Quinta da Boa Vista, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mails: jvmalta@ymail.com; jwacastro@gmail.com

Recebido em: 30/01/2018 Aprovado em: 15/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_232_244

Resumo

As rochas de praia (*beachrocks*) marcam linhas de costa pretéritas e a constituição sedimentar de paleopraias. Em ambiente de micromarés definem com precisão a posição do nível médio do mar na ocasião do processo deposicional. No segmento central voltado para o quadrante sul do litoral do Estado do Rio de Janeiro foram identificadas diversas ocorrências de *beachrocks* entre a Ilha do Cabo Frio (Arraial do Cabo) e a Praia da Barra da Tijuca (Rio de Janeiro), entre a altitude de 1,5 m e a profundidade de - 5,0 m. Nesse trabalho são apresentados novos dados petrográficos, isotópicos e geocronológicos envolvendo essas rochas. Foram identificadas em três categorias em relação ao ambiente de formação: (a) precipitação de calcita magnésiana decorrente de temperaturas elevadas da água do mar; (b) precipitação de calcita magnésiana a partir da mistura de água subterrânea com água do mar e (c) precipitação da calcita magnésiana da água capilar em sedimentos. Dados ao radiocarbono sugerem que os *beachrocks* foram litificados entre 11.940 - 11.240 a 3130 - 2860 cal anos AP. Este intervalo de tempo denota temperatura da água do mar mais elevada, favorecendo à precipitação da calcita magnésiana e a cimentação dos *beachrocks*.

Palavras-chave: Petrografia de *beachrocks*; isótopos estáveis de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$; cimentação e litificação em *beachrocks*; datações ao radiocarbono; variação do nível relativo do mar

Abstract

The beachrocks mark a paleocoastline and its composition. In micro-tidal environments, they accurately define the position of the mean sea level at the time of the depositional process. In the central segment of Rio de Janeiro State shore, facing the south quadrant, were identified several occurrences of beachrocks between Cabo Frio Island (Arraial do Cabo) and Barra da Tijuca Beach (Rio de Janeiro), between the +1.5 m and depth of - 5.0 m. In this study, new petrographic, isotopic and geochronological data were presented on these rocks. They were divided in three categories regarding the formation environment: (a) precipitation of magnesian calcite due to high seawater temperatures; (b) precipitation of magnesian calcite from the mixture of ground freshwater with seawater and (c) precipitation of magnesian calcite from capillary water in sediments. The radiocarbon data suggests that the beachrocks were lithified between 11,940 - 11,240 to 3,130 – 2,860 cal years BP. This time interval indicates a higher seawater temperature, favoring the precipitation of magnesian calcite and cementation of beachrocks.

Keywords: Beachrocks petrography; $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Stable isotopes; beachrocks cementation and lithification; radiocarbon dating; relative sea-level changes.

1. Introdução

As rochas de praia (*beachrocks*) definem em geral, a linha de costa pretérita e a constituição sedimentar de paleopraias. O primeiro relato sobre *beachrocks* data de 1817 por Sir Francis Beauford conforme Goudie (1969), seguido por Von Buch (1825), Moresby (1835), Darwin (1841), Dana (1849) e Branner (1904). Desde então, afloramentos de *beachrocks* foram identificados em muitas áreas costeiras em diversas partes do mundo: Ginsburg (1953) na Florida; Cooray (1968) no Sri Lanka; Chivas *et al.* (1986) na Austrália; Meyers (1987) no Hawaii; Khalaf (1988) no Golfo Pérsico; Amieux *et al.* (1989) na África; Holail & Rashed (1992) no Mediterrâneo e no Mar Vermelho; Kindler & Bain (1993) na América Central; Ertek *et al.* (2008) em Chipre; Erginal *et al.* (2008) na Turquia e Thomas (2009) na Índia.

No Brasil estudos sobre as rochas de praia são registrados desde Darwin (1841) e Branner (1904). A maioria dos trabalhos concentra-se no litoral do Nordeste brasileiro, destacando Van Andel & Laborel (1964), Mabesoone (1964), Morais (1967), Bigarella (1975), Coutinho & Farias (1979), Caldas *et al.* (2006), Bezerra *et al.* (1998, 2005), Guerra *et al.* (2005), Ferreira Jr. (2005), Vieira & De Ros (2006), Vieira *et al.* (2007). No litoral do estado do Rio de Janeiro, Macedo (1963), Muehe (1984), Muehe & Ignarra (1987), Mansur *et al.* (2011, 2012), Castro *et al.* (2012), Silva *et al.* (2014), Castro *et al.* (2014) e Malta *et al.* (2017).

Conforme trabalho desenvolvido por Mauz *et al.* (2015), a cimentação das rochas de praia são classificadas em quatro categorias distintas: (a) Precipitação de calcita altamente magnesiana e aragonita da água do mar como resultado de elevadas temperaturas, supersaturação e/ou evaporação do CaCO_3 ; (b) precipitação de calcita e aragonita a partir da mistura de água doce subterrânea com água do mar; (c) precipitação de calcita magnesiana e aragonita por desgaseificação de CO_2 a partir de sedimento e água capilar; (d) precipitação de carbonato de cálcio micrítico como subproduto da atividade microbológica.

O processo de litificação dos *beachrocks* é mais comum em locais de climas mais quentes com temperaturas da água mais elevadas em decorrência do alto índice de evaporação da água do mar

(Friedman & Sanders, 1978; Cooper, 1991; Friedman *et al.*, 1992). Também podem ser encontrados em áreas de clima temperado a frio (Cooray, 1968; Chivas *et al.*, 1986; Khalaf, 1988; Holail & Rashed, 1992; Erginal *et al.*, 2008; Ertek *et al.*, 2008).

De acordo com Coutinho & Farias (1979), a origem do cimento em *beachrocks* está relacionada à precipitação de carbonatos da água do mar pela evaporação da água intersticial, por processos físico-químicos ou crescimento microbológico, que produzem calcita magnesiana. Segundo Moore (1973), o cimento depende das características químicas e físicas das águas onde foi precipitado. A calcita é a forma de CaCO_3 normalmente precipitada a partir da mistura de água meteórica ou freática com marinha, enquanto a aragonita é precipitada a partir de soluções de alto potencial iônico, como a água do mar (Komar, 1976). Segundo Ginsburg (1953) e Scoffin (1970) a evaporação da água do mar é o principal agente de cimentação dos *beachrocks*. A concentração progressiva dos íons aumenta a saturação de CaCO_3 , provocando a precipitação da aragonita e calcita magnesiana.

As rochas de praia são consideradas por muitos pesquisadores como bons indicadores geológicos de projeção vertical de variações do nível relativo do mar (VNRM), entre estes, Alexandersson (1972), Dalongeville & Sanlaville (1984), Goudie (1969), Guilcher (1961), Scholten (1971), Stoddart & Cann (1965), Hopley (1986), Ramsay (1995), Martin *et al.* (1997) e Castro *et al.* (2014). Essas evidências de VNRM identificadas através *beachrocks* foram estudadas no Brasil por Martin *et al.* (1984), Suguio & Martin (1987), Suguio (1999, 2003a, 2003b), Bezerra (1998, 2005), Mansur *et al.* (2011, 2012), Castro *et al.* (2014) e Malta *et al.* (2017).

Das quatro categorias de *beachrocks* classificadas por Mauz *et al.* (2015), três foram identificadas na área de estudo: (a) precipitação de calcita altamente magnesiana da água do mar como resultado de elevadas temperaturas decorrente da supersaturação e/ou evaporação do CaCO_3 ; (b) Precipitação de calcita magnesiana a partir da mistura de água doce subterrânea com água do mar e (c) precipitação de calcita magnesiana e aragonita por desgaseificação de CO_2 a partir de sedimento e água capilar. Os afloramentos encontram-se posicionados entre a plataforma continental interna e a pós-praia atual. Com base nas características

petrográficas, sedimentológicas, isotópicas e temporais (geocronologia) são apresentados novos resultados sobre os *beachrocks* do litoral do Estado do Rio de Janeiro.

2 Diagnóstico Ambiental

O litoral do Estado do Rio de Janeiro do ponto de vista geotectônico, insere-se na Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981), sendo que nesse segmento, registram-se dois domínios geológicos distintos: 1) rochas de embasamento e 2) cobertura sedimentar cenozoica. As rochas de embasamento caracterizam-se por promontórios formados por ortognaissesfélsicos, ortoanfíbolitos e metassedimentos intercalados com anfíbolios, de idade paleoproterozica (Schmitt, 2001). Ocorrem também intrusões alcalinas do Mesozoico-Cenozoico (Ferrari & Riccomini, 2001). A cobertura cenozoica caracteriza-se por sedimentos de origem continental (Formação Barreiras) e por sedimentos costeiros / marinhos depositados em deltas, estuários, praias, cordões litorâneos, dunas, lagoas, lagunas, pântanos e praias (Castro *et al.*, 2014).

Estudos sobre variações do nível relativo do mar no litoral do Estado do Rio de Janeiro realizados por Castro *et al.* (2014) identificaram antigas posições de linha de praia durante todo o Holoceno. Pela primeira vez na costa brasileira foi identificado um registro negativo do nível relativo do mar, envolvendo a transição Pleistoceno-Holoceno. Após a transição, o nível do mar ascendeu relativamente rápido e, há aproximadamente 8.500 anos cal AP, este encontrava-se a - 0,5 m abaixo do nível atual. O “zero” (nível médio atual) foi ultrapassado pela primeira vez no Holoceno há cerca de 7.500 anos AP. Entre 5.500-4.500 cal anos AP, o nível relativo do mar atingiu o máximo holocênico com altura máxima de +2,5 m acima do atual (Mansur *et al.*, 2011, 2012; Castro *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2014). A descida do nível relativo do mar subsequente ao máximo transgressivo, levou à construção da planície costeira atual.

Na área de estudo, os *beachrocks* estão posicionados paralelamente a linha de costa atual. São predominantemente retilíneos com larguras que podem atingir até 20 m. Ocorrem em faixas descontínuas com extensão máxima de cerca de 5 km. Os afloramentos encontram-se entre a altitude de +

1,5 m e batimetria de - 5,0 m. Em geral, as estruturas sedimentares refletem as praias atuais, apresentando estratificações cruzadas de baixo ângulo. O padrão granulométrico reflete as condições deposicionais do ambiente de praia pretérito durante o processo de litificação, que varia de areia média à conglomerados finos a médios (Mansur *et al.*, 2011, 2012; Malta *et al.*, 2015).

O clima de ondas desse segmento de litoral é caracterizado por ondas de bom tempo (vagas) no verão e marulhos durante o inverno. A direção das ondas é predominantemente de nordeste na região de Cabo Frio e de sudeste, sul e sudoeste no restante da área estudada (Castro *et al.*, 2011). A ocorrência de marulhos decorrentes do Anticiclone do Atlântico Sul, associa-se às frentes frias polares, que formam ondas com direção leste-oeste (Silva *et al.*, 2009). O regime de maré é do tipo assimétrico e semidiurno com preamares na ordem de 1,0 m e baixa-mares entre 0,06 e 0,025 m em relação ao nível de redução de 0,67 m definido pela Marinha do Brasil (Silva *et al.*, 2009).

Nessa região ocorre o fenômeno oceanográfico da ressurgência costeira. Esse fenômeno é gerado por ventos de nordeste, produzidos por um centro atmosférico de alta pressão semipermanente sobre o Oceano Atlântico Sul, formando águas frias, ricas em nutrientes. As anomalias de temperatura negativa da superfície do mar causadas pelo direcionamento dos ventos na ressurgência costeira estão presentes na plataforma continental do Sudeste brasileiro, especialmente durante o verão (Gyllencreutz *et al.*, 2012). Quando os ventos de nordeste persistem por vários dias, forte ressurgência pode ocorrer com queda da temperatura da superfície do mar até 15°C próximo da costa de Cabo Frio. Essas temperaturas encontram-se em torno de 10°C mais frias em relação a outros locais da costa do Sudeste brasileiro (Fonseca, 2012).

4 Materiais e Métodos

Foram identificados diversos afloramentos de *beachrocks* no segmento central, voltado para o quadrante sul do litoral do Estado Rio de Janeiro. Encontram-se posicionados entre a plataforma continental interna e a pós-praia. Estudou-se quatro afloramentos na ilha do Cabo Frio em Arraial do Cabo, um afloramento na praia de Jaconé -

Saquarema, um afloramento na praia de Itaipuaçu - Maricá e dois afloramentos na praia da Barra da Tijuca - Rio de Janeiro (Figura 1).

O método de trabalho consistiu na coleta de amostras emersas e submersas de *beachrocks*. As submersas foram obtidas através de mergulho autônomo até a profundidade de 5,0 m. A posição geográfica dos afloramentos foi definida através de um rastreador geodésico DGPS Pro Mark 2.0. Durante essa etapa de trabalho, foram utilizadas as cartas 1503: Enseada dos Anjos - Brasil, costa leste, escala 1:20.000 - datum Córrego Alegre; 1508: Do Cabo Frio a Ponta Negra - Brasil, costa sul, escala 1:75.000 - datum WGS84; 1506: Proximidades da Guanabara - Brasil, costa sul, escala 1:75.000 - datum WGS84, disponibilizadas pela Marinha do Brasil, complementadas por informações obtidas através de um ecobatímetro *Sonar Fishfinder Garmin Echo 551dv*.

Foram coletadas 30 amostras emersas e submersas na plataforma continental interna, praia e

pós-praia entre a Barra da Tijuca - Rio de Janeiro e a Ilha do Cabo Frio (Praia do Farol) - Arraial do Cabo. As amostras emersas em um total de 15 foram coletas na face da praia e na pós-praia das praias de Jacaré e Ilha do Cabo Frio (Praia do Farol) entre 0,0 a +1,5 m. Coletou-se dez amostras submersas nas praias do Farol e Barra da Tijuca entre as profundidades de -1,5 a -5,0 m. Coletou-se mais cinco amostras na Praia de Itaipuaçu, removidas por ondas de tempestade. Mesmo sabendo que os afloramentos submersos se encontram na profundidade a partir de -5,0 m não foi possível realizar mergulho autônomo devido as dificuldades operacionais. A coleta das outras amostras submersas foi realizada por meio de mergulho autônomo, utilizando cilindros de ar comprimido. Os afloramentos emersos foram fotografados através de uma câmera digital *Canon Rebel T3* e os submersos através de uma *Go Pro Hero 3*.

Selecionou-se 15 amostras para a confecção de lâminas delgadas, levando em consideração a

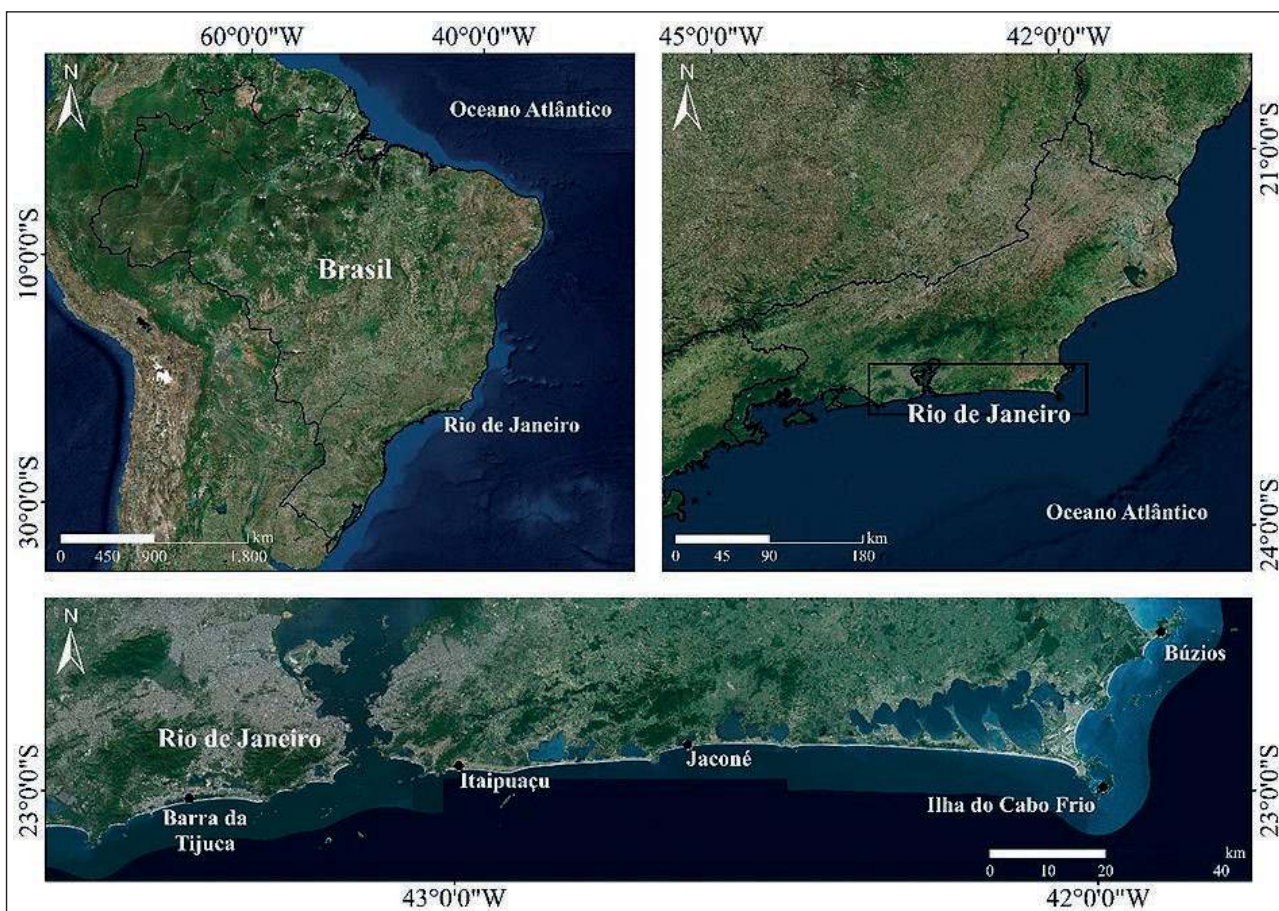


Figura 1 Localização da área no contexto do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste brasileiro.

representatividade do fragmento coletado e o grau de intemperismo. Foi realizado um tratamento por impregnação com resina epoxy azul através de técnicas padronizadas de identificação da mineralogia dos cimentos carbonáticos conforme metodologia adotada por Warne (1962) e Friedman (1971). Esse procedimento teve como objetivo determinar aspectos texturais básicos, identificação dos componentes detríticos, individualização de feições diagenéticas e reconhecimento de uma sequência de ocorrência das mesmas. Durante essa fase utilizou o Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional/UFRJ e o Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia - UFRJ.

Na análise petrográfica utilizou-se um microscópio Carl Zeiss® Axioskop 40. Foi realizada em luz transmitida onde se procederam a identificação mineralógica, de microestruturas sedimentares e identificação dos bioclastos presentes. Contou-se 300 pontos para determinar o tipo de rocha. Verificou-se que as rochas com mais de 50% de material siliciclástico foram consideradas rochas siliciclástica. Nas rochas constituídas por mais de 50% de material carbonático foram consideradas nesta análise como carbonáticas.

Foram selecionadas sete lâminas de amostras representativas, perfazendo uma amostra por afloramento. Essas amostras receberam uma cobertura de carbono para realização de análises de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV através do equipamento FEI Quanta 400, equipado com um espectrômetro de energia dispersada - EDS do modelo Bruker® Quantax 800 de propriedade do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. O procedimento teve como objetivo observar de forma detalhada a morfologia dos cristais e as relações texturais do cimento carbonático (composição).

Selecionou-se sete amostras com grande quantidade de cimento ao redor dos grãos, visando a separação. A separação do cimento foi realizada através de canetas pneumáticas *Micro Jack 2*. O material foi encaminhado ao *Laboratory of Chemistry Stratigraphy and Organic Geochemistry* - LGQM da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, visando determinar o ambiente geoquímico de formação através do estudo de isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$. As amostras receberam os códigos A0, A1, B, C, J, I e BR referentes a locais e posicionamento altimétrico – batimétrico.

Foram separados de 20 a 50 mg de pó dessas amostras para se obter uma reação com ácido ortofosfórico a 100%, em condições de alto vácuo, a 25°C, por um dia. O gás carbônico liberado, após criogenicamente limpo, foi analisado em um espectrômetro de massa da marca VG-ISOTECH SIRA II, no LGQM da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Todos os valores foram fornecidos em partes por mil (‰) referentes ao padrão internacional VPDB - *Vienna Pee Dee Belemnite* (Urey *et al.*, 1951; Craig, 1957).

Do ponto de vista temporal (geocronológico) foram selecionadas seis amostras em diferentes posições batimétricas e altimétricas referentes aos ambientes de plataforma continental interna, praia e pós-praia. As amostras foram datadas ao radiocarbono no *Beta Analytic Inc*, Miami - Estados Unidos através do método *Radiometric Plus*. Foram submetidas a um pré-tratamento por condicionamento ácido. Esse procedimento consiste no banho da amostra com água deionizada, visando a remoção de sedimentos orgânicos associados. Em seguida o material foi triturado, submetido a uma série de lavagens com HCl com o intuito de eliminar os componentes secundários do carbonato. O valor do $\Delta \pm R$ utilizado foi de 502 ± 27 , obtido através de Alves *et al.* (2015). As alíquotas enviadas laboratório para datação representavam um todo da amostra, visto que era de extrema complexidade a separação dos tipos de cimento que as envolve. Incorporou-se a esse trabalho mais quatro amostras obtidas por Castro *et al.* (2014), Mansur *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2014).

5 Resultados

Através das análises petrográficas apoiada por um Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV e análises de isótopos estáveis, verificou-se a presença de três categorias de *beachrocks* na área de estudo. A primeira (a) caracteriza-se pela precipitação de calcita altamente magnesianas da água do mar, decorrente de temperaturas elevadas, supersaturação e/ou evaporação de águas superficiais. A segunda (b) é constituída por precipitação de calcita magnesianas a partir da mistura de água subterrânea com água marinha. A terceira (c) é representada por precipitação de calcita magnesianas por desgaseificação de CO_2 a partir de sedimento e água capilar.

A análise de isótopos estáveis de carbono e oxigênio permitiu identificar essas três categorias

nas amostras analisadas. Os *beachrocks* da Ilha do Cabo Frio (Praia do Farol) profundidade de - 3,0m (Amostra A0); Praia de Jacaré no nível do mar atual (Amostra J); Praia de Itaipuaçu, profundidade aproximada de - 5,0 m (Amostra I) e Praia da Barra da Tijuca - Rio de Janeiro, profundidade de -1,5m (Amostra BR) se enquadram na categoria (a). Os *beachrocks* da Ilha do Cabo Frio (Praia do Farol) na profundidade - 4,5 m (Amostra A1) encontram-se na categoria (b). As outras amostras da Ilha do Cabo Frio no nível do mar atual (Amostra B) e na altitude +1,5m (Amostra C) encontram-se na categoria (c).

Do ponto de vista petrográfico os *beachrocks* da área de estudo são compostos por rochas moderadamente bem selecionadas com grãos angulosos a arredondados e circularidade moderada a alta (Figura 2A). Apresentam principalmente grãos flutuantes. São encontrados contatos pontuais,

alongados e côncavo-convexos entre os bioclastos, com porosidade variando entre 10 a 15%. Foram identificadas rochas com mais de 50% de material carbononático. De modo geral apresentam estrutura maciça e laminação cruzada de baixo ângulo.

A concentração de bioclastos varia entre 20 e 90% na composição das rochas estudadas, sendo constituídos principalmente por Rodophyta (entre 15 e 80%) e fragmentos de concha de bivalves (de 5 a 20%). Foram encontrados também fragmentos de concha de gastrópodes, equinodermos e briozoários (Figura 2B). Os cristaloclastos identificados são constituídos principalmente por quartzo entre 5 e 85%, feldspatos, microclina, ortoclásio e plagioclásios em menor proporção entre 5 e 10% (Figura 2C). Identificou-se também fragmentos de rochas sedimentares, ígneas e raros fragmentos de rochas metamórficas (Figura 2D).

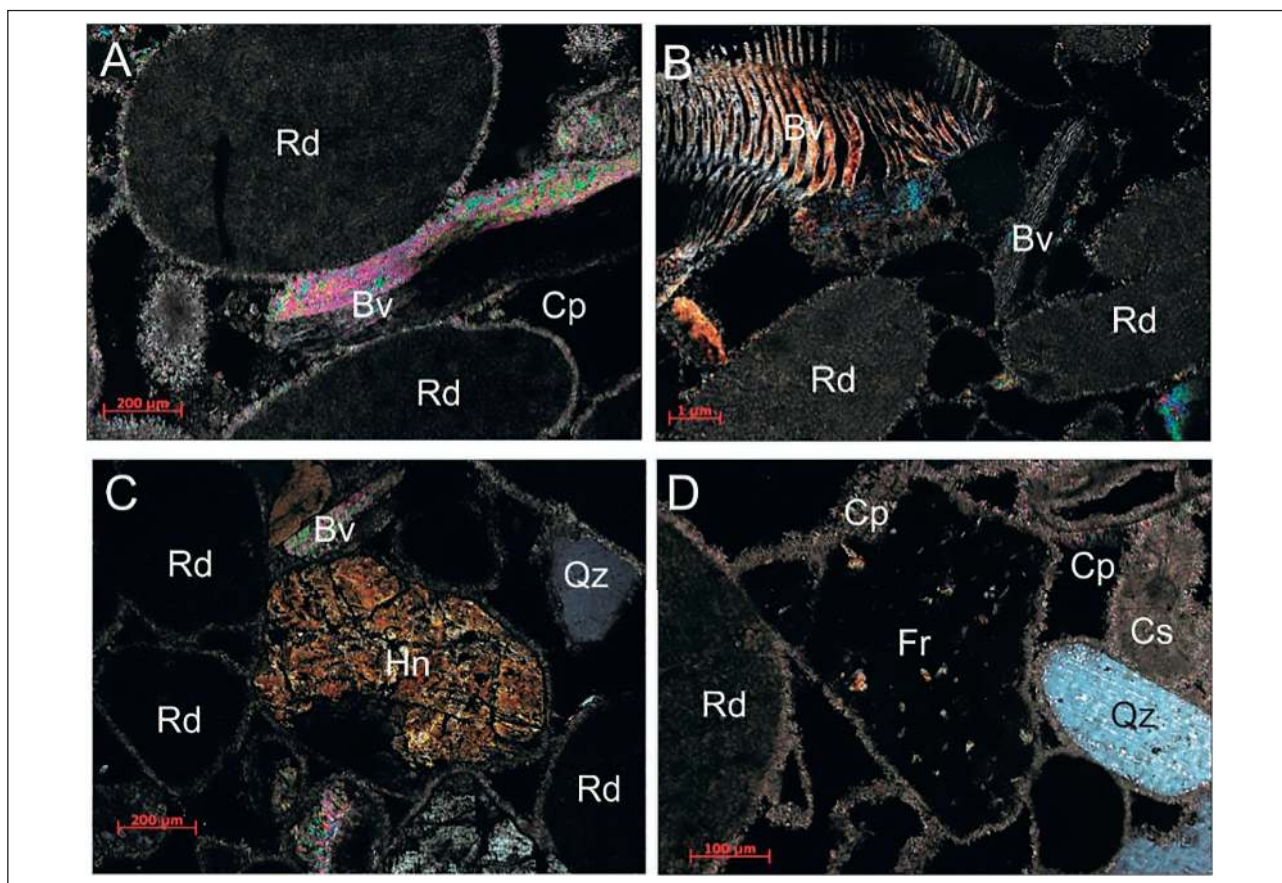


Figura 2 Fotomicrografias dos *beachrocks* do litoral do Estado do Rio de Janeiro. (A) Contato côncavo-convexo entre bioclastos de Rodophyta e fragmento de concha de bivalve, com cimento primário composto por calcita magnesiana ao redor dos grãos; (B). Fragmentos de conchas de bivalve com estruturas do tipo lamelar e *zebra striping*, e bioclasto de Rodophyta com cimento primário composto por calcita magnesiana ao redor dos grãos; (C). Cristaloclasto de hornblenda e bioclasto de Rodophyta com cimento primário composto por calcita magnesiana ao redor dos grãos; (D) Fragmento de rocha sedimentar e bioclasto de Rodophyta com cimento primário composto por calcita magnesiana ao redor dos grãos e cimento secundário composto por calcita magnesiana microcristalina maciça preenchendo poros intergranulares.

Identificou-se dois tipos de cimento através da análise petrográfica e da microscopia eletrônica de varredura. O cimento primário (Figuras 3E, F) é composto franja fibrosa de calcita magnesianiana em torno dos grãos e o secundário constituído por calcita microcristalina homogênea maciça, preenchendo poros intergranulares (Figuras 3G, H).

Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ VPDB obtidos encontram-se apresentados na Tabela 1. O valor máximo de $\delta^{13}\text{C}$ VPDB foi de + 3.503 ‰ e o mínimo de - 4.731 ‰ com média de 0,401 ‰. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ VPDB variaram entre 1,584 ‰ e + 1,049 ‰ com média aritmética de - 0,017‰.

A correlação entre os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ mostraram assinaturas isotópicas em três posições distintas. Na amostra A1, os resultados apresentaram valores negativos de correlação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$.

Amostra	Localização	Posicionamento (m)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ‰	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ‰
A1	Arraial do Cabo	-4,5	- 4,731	-1,584
A0	Arraial do Cabo	-3,0	3,02	1,089
B	Arraial do Cabo	0,0	-0,896	-0,744
C	Arraial do Cabo	1,5	-1,413	-0,748
J	Jaconé	-0,5	-1,877	-
I	Itaipuaçu	-4,5	2,921	0,837
BR	Barra da Tijuca	-1,5	3,503	1,049

Tabela 1 Valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ Vienna Pee Dee Belemnite VPDB conforme Urey *et al.* (1951) e Craig (1957).

Nas amostras C e D os valores atingiram próximos a zero e nas amostras A0, BR e I apresentaram valores positivos de correlação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 4).

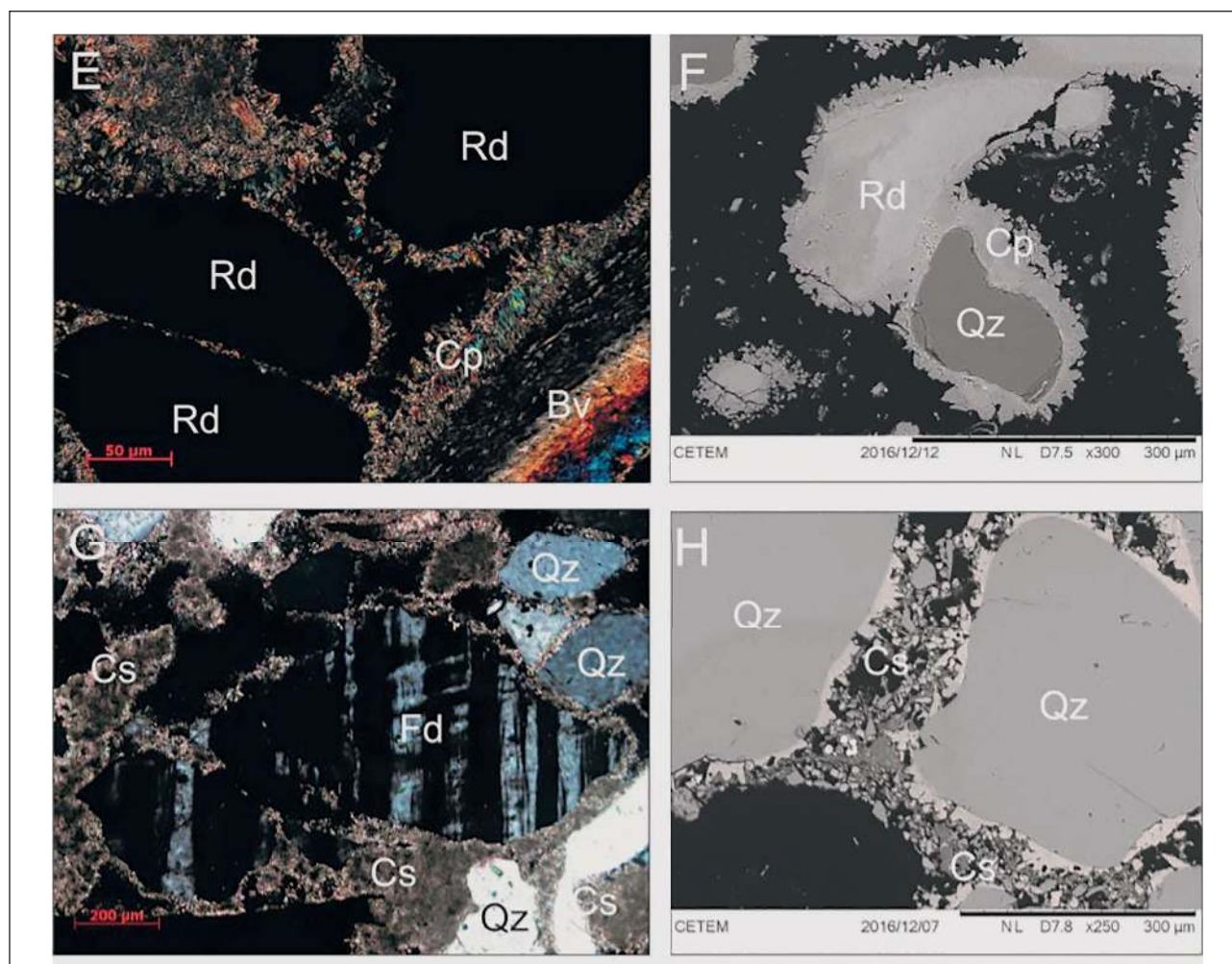


Figura 3 Tipo de cimentos identificados (E) e (F) primário composto por franja fibrosa de calcita magnesianiana ao redor dos grãos. (G) e (H) secundário composto por calcita magnesianiana microcristalina maciça preenchendo poros.

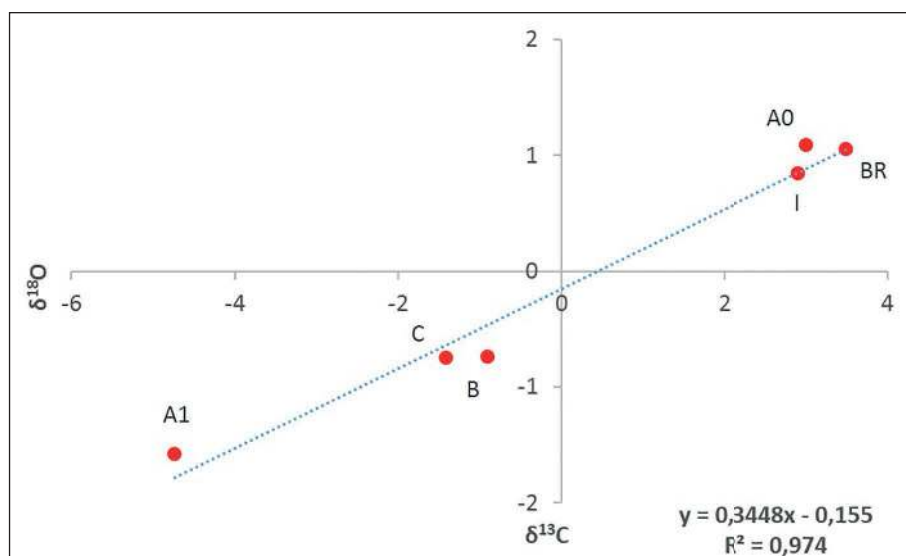


Figura 4 Correlação entre os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ nos afloramentos de *beachrocks* da costa central do Estado do Rio de Janeiro.

As datações ao radiocarbono (^{14}C) apresentam idades calibradas entre 11.200 - 11.762 cal anos AP (mais antiga) e 2.731 - 3.115 cal anos AP (mais recentes). Na amostra A1, profundidade de - 4,5 m, a idade foi de 11.200 - 11.762 cal anos AP, calibrada em 2σ . Na amostra A0, profundidade de - 3,0 m, a idade foi de 11.024 - 11.263 cal anos AP, calibrada em 2σ entre. Na amostra B correspondente ao nível médio atual, 0,0 foi de 7.388 - 7.601 cal anos AP, calibrada em 2σ . Na amostra C acima +1,5 m do nível médio atual foi de 2.731 - 3.115 cal anos AP, calibrada em 2σ . As idades obtidas nos *beachrocks* da praia de Jaconé, municípios de Maricá e Saquarema, em fragmento de concha no nível do mar atual 0,0 m foi de 8198 - 7.827 cal anos AP e no cimento 6008 - 5.786 cal anos AP, calibrada em 2σ (Mansur *et al.*, 2011, 2012). Na praia de Itaipuaçu, município de Maricá, dados obtidos em fragmentos de concha foram de 7.173 - 7.149 cal anos AP, calibrados em 2σ (Silva *et al.*, 2014). Na praia da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro, datou-se duas amostras em níveis batimétricos distintos. Na amostra BR1 na profundidade de -1,5 m a idade foi de 5.247 - 5.626 cal anos AP, calibrada em 2σ e na amostra BR2 na profundidade de -5,0 m a idade foi de 3.980 - 4.285 cal anos AP, calibrada em 2σ (Tabela 2).

6 Discussão

Das quatro categorias de *beachrocks* propostas por Mauz *et al.* (2015) foram identificadas na área de estudo três categorias constituídas por (a) precipitação de calcita altamente magnésiana decorrente de temperaturas elevadas e supersaturação e/

Amostra	Laboratório	Localização	Altimetria / batimetria (m)	Idade cal anos AP in 2σ
A1	Beta Analytic 248721	Ilha do Cabo Frio	- 4,5	11,762 - 11,200
A0	Beta Analytic 243863	Ilha do Cabo Frio	- 3,0	11,263 - 11,024
B	Beta Analytic 248722	Ilha do Cabo Frio	0,0	7601 - 7388
C	Beta Analytic 248723	Ilha do Cabo Frio	+ 1,5	3115 - 2731
J	Mansur et al. (2011) CAIS - Georgia	Praia de Jaconé	0,0	8198 - 7827
I	Silva et al (2014) CAIS - Geogia	Praia de Itaipuaçu	- 4,0	8551 - 8385
BR1	Castro (2007) CCDL - Ukraine	Praia de Barra da Tijuca	- 1,5	5626 - 5247
BR2	Beta Analytic 440372	Praia de Barra da Tijuca	- 5,0	4151 - 3915

Tabela 2 Idades calibradas ao radiocarbono (^{14}C) de amostras de *beachrocks* do litoral do Estado do Rio de Janeiro.

ou evaporação da água do mar que favorece a precipitação do carbonato de cálcio; (b) precipitação de calcita magnésiana a partir da mistura de água subterrânea com água marinha e (c) precipitação de calcita magnésiana por desgaseificação de CO_2 a partir de sedimento e água capilar. Resultados obtidos para as categorias (b) e (c) sugerem que os *beachrocks* são indicadores precisos de variações do nível relativo do mar principalmente em ambiente de micromaré como é o caso da costa do Sudeste brasileiro. Essa informação corrobora trabalhos realizados por Hopley (1986), Ramsay (1995), Suguio *et al.* (2013), Castro *et al.* (2014) e Malta *et al.* (2017).

Em geral, os resultados aqui obtidos apresentam algumas semelhanças com as características dos *beachrocks* encontrados no litoral do Nordeste brasileiro, descritos por Ferreira Jr. (2005), Vieira (2005) e Chaves & Sial (1998). Verificou-se que a variedade de bioclastos é bastante diferente. Na área de estudo, a porcentagem de bioclastos é maior, identificada principalmente em Rodophytas e bivalves. No Nordeste, as rochas apresentam uma diversidade maior de bioclastos, tais como gastrópodes, bivalves, foraminíferos, algas e equinoides vermelhos (Vieira, 2005; Ferreira Jr, 2005).

Quanto à composição do cimento Castro *et al.* (2011) descrevem a cimentação carbonática composta por franja de calcita nos *beachrocks* da Ilha do Cabo Frio (Praia do Farol, Arraial do Cabo) enquanto que no presente trabalho identificou-se a composição do cimento sendo calcita magnesiana. Hanor (1978) propôs que a perda de CO₂ a partir de águas praias saturadas em carbonato é o processo responsável pela precipitação dos cimentos em *beachrocks*. De acordo com Coutinho & Farias (1979), a origem do cimento está relacionada à precipitação de carbonatos de água do mar devido à evaporação da água intersticial da zona vadosa por processos físico-químicos que produzem calcita magnesiana, conforme Malta *et al.* (2017).

O cimento primário de franjas prismáticas isópacas ao redor dos grãos, identificados por Vieira (2005) e Ferreira Jr. (2005) em *beachrocks* dos litorais do Rio Grande do Norte e Pernambuco, respectivamente, foram precipitados em ambiente marinho com influência continental, ou seja, em ambiente de praia ou freático marinho (Figura 5). Vieira (2005) e Ferreira Jr. (2005) consideraram que o cimento secundário de calcita magnesiana microcristalina registrado naqueles *beachrocks* é associado a ambientes marinhos de alta evaporação.

Com relação ao ambiente de formação, Branner (1904), Russel (1962), Mabesoone (1964), Bigarella (1975) e Muehe & Ignara (1984) sugerem que os *beachrocks* são formados em ambiente de inframaré. Posteriormente são cimentados por carbonato de cálcio e, finalmente, expostos pela remoção de areia da faixa de praia. Longman (1980) e Moore (1973) apresentaram uma classificação do ambiente de cimentação carbonática que sumariza a diagênese dos carbonatos com base na descrição do tipo de textura, composição dos cimentos e porosidade. A

Figura 5 mostra os ambientes diagenéticos, divididos em quatro zonas: vadosa, freática de água doce ou meteórica, freática de mistura de água doce e salgada e freática marinha.

Conforme Milliman (1974) a variação da composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ em carbonatos é resultado direto do ambiente de deposição. O fracionamento dos isótopos de oxigênio é sensível às mudanças climáticas. A assinatura isotópica do oxigênio pode ser utilizada para determinar essas mudanças, envolvendo paleotemperatura, enquanto o fracionamento isotópico do carbono associa-se às condições paleoambientais. Geralmente os carbonatos formados em ambientes marinho apresentam assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ em VPDB próxima à zero. Assim como os carbonatos formados em ambientes de mistura de água doce subterrânea e/ou meteórica apresenta valores negativos para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de VPDB e valores positivos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de VPDB são associados à ambientes de alta evaporação. Na costa central do Estado do Rio de Janeiro foram identificadas essas duas assinaturas isotópicas.

Vieira (2005) no Estado do Rio Grande do Norte e Ferreira Jr. (2013) no Estado do Ceará, verificaram assinaturas isotópicas próximas a zero em *beachrocks* em razão do ambiente de formação homogêneo e a uniformidade dos parâmetros físico-química do cimento, que apontaram para ambiente estritamente marinho. Estudos realizados por Chaves & Sial (1998) no litoral do Estado de Pernambuco identificaram assinaturas isotópicas com valores positivos e negativos para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de VPDB. Spurgeon *et al.* (2003) identificaram assinaturas negativas para $\delta^{18}\text{O}$ de VPDB em *beachrocks* no Estado da Flórida - Estados Unidos. Os valores de assinatura isotópica nos *beachrocks* das Bahamas oscilam entre positivo e negativo (Beier, 1985). Comportamento encontrado nos *beachrocks* estudados nesse trabalho. Essas variações sugerem mudanças no ambiente de formação dessas rochas ou mudanças climáticas ao longo do Holoceno na área de estudo.

Conforme modelos de Milliman (1974) e Moore (2001), elaborou-se um gráfico identificando a origem do cimento carbonático através da assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, conforme observado na Figura 6. Verificou-se que as assinaturas isotópicas dos *beachrocks* da área de estudo dividem-se em três

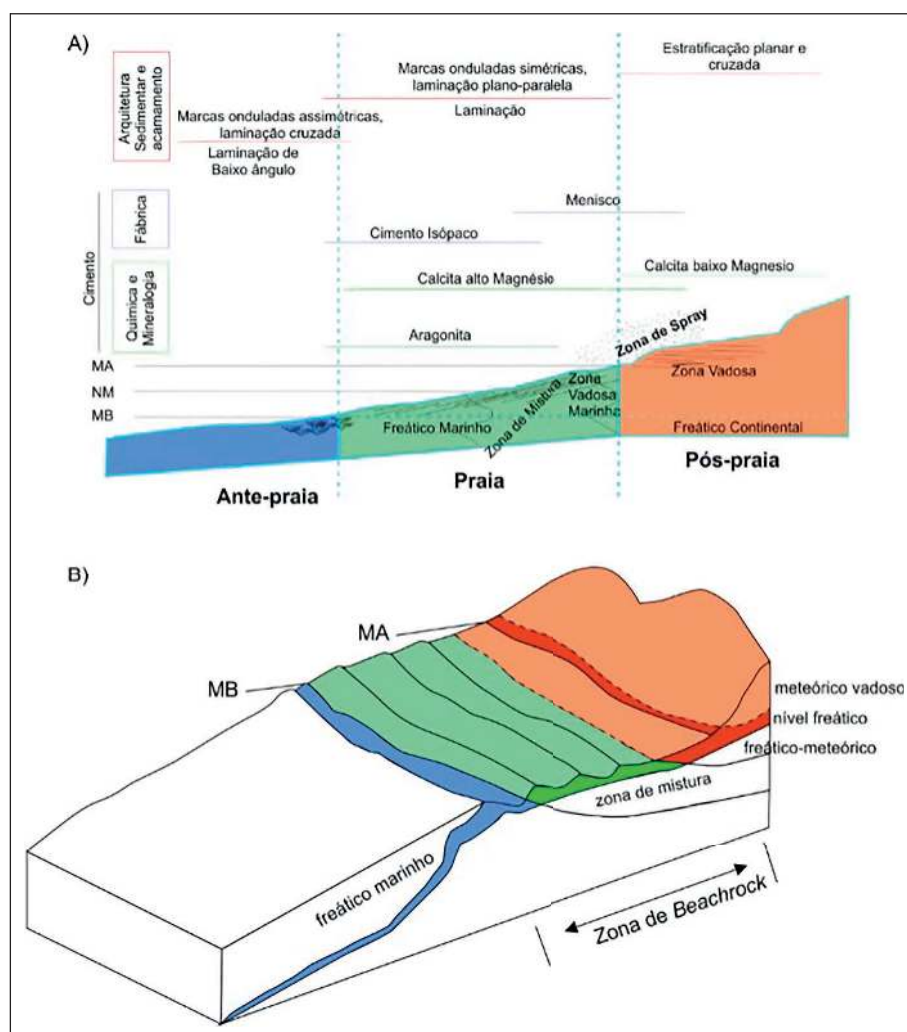


Figura 5 Distribuição espacial em 2D e 3D das zonas de cimentação de beachrocks envolvendo mistura de água doce e salgada, vadosa marinha e o ambiente marinho-freático (adaptado de Mauz *et al.*, 2015).

agrupamentos distintos. O primeiro, com assinaturas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ negativas, identificado também por Beier (1985) e Spurgeon *et al.* (2003), é descrito como depósito químico recente precipitado a partir da mistura de água marinha com água meteórica ou subterrânea. O segundo agrupamento apresenta valores de assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ próximos a zero e caracteriza-se como cimento carbonático precipitado em ambientes marinho raso. Os mesmos resultados foram encontrados por Vieira (2005), Ferreira Jr. *et al.* (2013), Chaves & Sial (1998) e Beier (1985). O último agrupamento corresponde a cimento carbonático com assinatura isotópica positiva, precipitado em ambiente de alta evaporação. Trabalhos realizados por Rohling (2013), Milliman (1974) e Beier (1985) encontraram as mesmas condições ambientais.

Resultados obtidos a partir das datações ao radiocarbono apresentam idades entre 11.762 e 2.731 cal anos AP. O primeiro resultado representa

o único registro da transição Pleistoceno / Holoceno no litoral do sudeste brasileiro (Castro *et al.*, 2014) e o segundo caracteriza a fase inicial do fenômeno da ressurgência costeira no litoral do Estado do Rio de Janeiro (Castro *et al.*, 2014; Oliveira, 2016). Destaca-se o intervalo entre 11.762 a 7.388 cal anos AP, onde verificou-se maior distribuição espacial e temporal de beachrocks nesse segmento de litoral. Essa informação corrobora com as condições de temperatura mais elevadas da água do mar durante o processo de cimentação, favorecendo à precipitação de carbonato (calcita magnesiana) em relação às condições atuais.

7 Conclusão

Análises de isótopos estáveis de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ identificaram três categorias de beachrocks para a área de estudo. A primeira categoria caracteriza-se pela precipitação de calcita magnesiana da

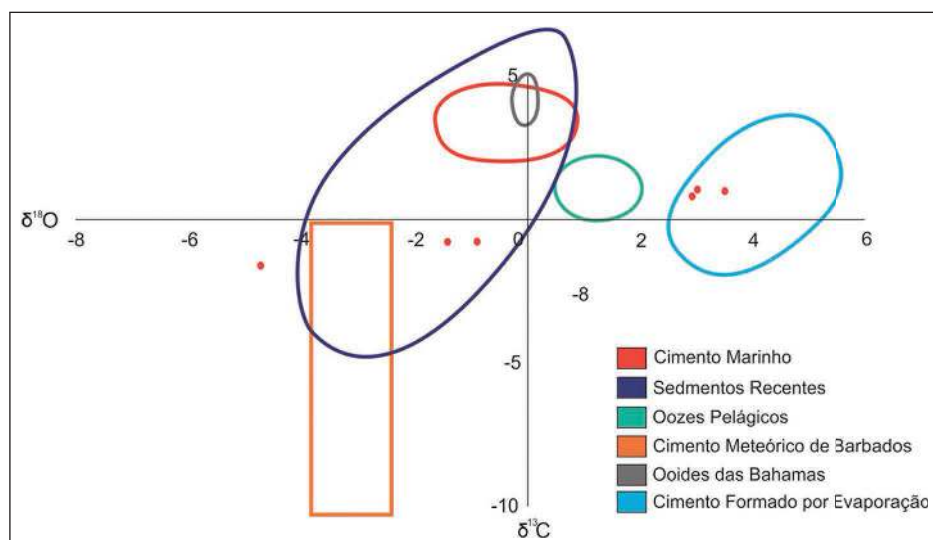


Figura 6 Distribuição de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ no litoral do Estado do Rio de Janeiro (modificado de Milliman, 1974, e Moore, 2001).

água do mar em função de temperaturas elevadas e evaporação de águas superficiais a qual foi identificada nas amostras analisadas na praia de Itaipuaçu, Barra da Tijuca e na Ilha do Cabo Frio (profundidade de -3,0m). A segunda é constituída por precipitação de calcita magnesiana decorrente da mistura de água subterrânea com água marinha, encontrada na Ilha do Cabo Frio (profundidade de -4,5 m) e a terceira envolve a precipitação da calcita magnesiana a partir dos sedimentos e água capilar, identificada Ilha do Cabo Frio (no nível atual 0,0m e à +1,5 m acima do nível atual). Dados petrográficos também constataram o registro dessas três categorias. O processo de litificação envolvendo a primeira categoria aponta ambiente marinho raso e da segunda e terceira categorias, apontam para o desenvolvimento de beachrocks na zona de intermaré. Sendo assim, sugere-se que os afloramentos estudados podem ser considerados indicadores geológicos de variações do nível relativo do mar durante o Holoceno.

Dados obtidos através de datação ao radiocarbono (^{14}C) sugerem que os beachrocks da costa central do Estado do Rio de Janeiro foram litificados no intervalo de tempo entre 11.940 - 11.240 a 3130 - 2860 cal anos AP. Este intervalo caracteriza-se por temperatura da água do mar mais elevadas. Assim como que já houve nível relativo do mar abaixo do atual; -4,5m (11.940 - 11.240 cal anos AP) e -3,0m (11.263 - 11.024 cal anos AP) na Ilha do Arraial do Cabo. À aproximadamente -4,0m (8198 - 7827 cal anos AP) na praia de Itaipuaçu. A -5,0m (4151 - 3915 cal anos AP) e -1,5m (5626 - 5247 cal

anos AP) na praia da Barra da Tijuca. Essas condições ambientais favoreceram à precipitação do carbonato, constituído por calcita magnesiana e a consequente cimentação dos beachrocks. Esse processo foi interrompido com a chegada da ressurgência costeira nesse segmento de litoral brasileiro.

8 Referências

- Alexandersson, T. 1972. Mediterranean beachrock cementation: marine precipitation of Mg-calcite. In: STANLEY, D.J. (Ed.), *The Mediterranean Sea: a Natural Sedimentation Laboratory*. Stroudsburg, Dowden, Hutchinson & Ross. p. 203-223.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-19.
- Alves, E.; Macario, K.; Souza, R.; Pimentac, A.; Douka, K.; Oliveira, F.; Chanca, I. & Angulo, R. 2015. Radiocarbon Reservoir Corrections on the Brazilian Coast from pre-bomb Marine Shells. *Quaternary Geochronology*, 29: 30-35.
- Amieux, P.; Bernier, P.; Dalongeville, R. & Medwecki, V. 1989. Cathodoluminescence of Carbonate Cemented Holocene Beachrock from the Togo Coastline (West Africa): an Approach to Early Diagenesis. *Sedimentary Geology*, 65: 261-272.
- Beier, J.A. 1985. Diagenesis of Quaternary Bahamian Beachrock: Petrographic and Isotopic Evidence. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55: 755-761.
- Bezerra, F.H.R.; Amaral, R.F.; Lima-Filho, F.P.; Ferreira Jr., A.V.; Sena, E.S. & Diniz, R.F. 2005. Beachrock Fracturing in Brazil. *Journal of Coastal Research*, 42(Special Issue): 169-182.
- Bezerra, F.H.R.; Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 1998. Holocene Sea-level History on the Rio Grande do Norte State Coast, Brazil. *Marine Geology*, 196: 73-89.
- Bigarella, J.J. 1975. Reef Sandstones from Northeastern Brazil (a Survey on Sedimentary Structures). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47: 395-409.
- Branner, J.C. 1904. *The Stone Reefs of Brazil, their Geological and Geographical Relations, with a Chapter on the Coral Reefs*. Museum of Comparative Zoology, Harvard

- College, Cambridge, Geological Series 7.
- Caldas, L.H.O.; Statterger, K. & Vital H., 2006. Holocene Sea Level History: Evidence from Coastal Sediments of the Northern Rio Grande do Norte Coast, NE Brazil. *Marine Geology*, 228: 39-53.
- Castro, J.W.A.; Fernandes, D. & Dias, F.F. 2011. Monitoramento do Processo de Erosão Costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras - Estado do Rio de Janeiro / Brasil: Aplicação de Metodologia Quantitativa. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(3): 355-368.
- Castro, J.W.A.; Suguio, K.; Seoane, J.C.S.; Cunha, A.M. & Dias, F.F. 2014. Sea-level Fluctuations and Coastal Evolution in the State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(2): 671-683.
- Castro, J.W.A.; Suguio, K.; Cunha, A.M.; Guedes, E.; Tâmega, F.T.S. & Rodriguez, R.R. 2012. Rochas de Praia (Beachrocks) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo: Registro Geológico Ímpar da Transição Pleistoceno-Holoceno no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 35(1): 236-241.
- Chaves, N.S. & Sial, A.N. 1998. Mixed Oceanic and Freshwater Depositional Conditions for "Beachrocks" of Northeast Brazil: Evidence from Carbon and Oxygen Isotopes. *International Geology Review*, 40: 724-754.
- Chivas, A.; Chippell, J.; Polach, H.; Pillans, B. & Flood, P. 1986. Radiocarbon Evidence for the Timing and Rate of Island Development, Beachrock Formation and Phosphatization at Lady Elliot Island, Queensland, Australia. *Marine Geology*, 69: 273-287.
- Cooper, J.A.G. 1991. Beachrock Formation in Low Latitudes: Implications for Coastal Evolutionary Models. *Marine Geology*, 98(1): 145 - 154.
- Cooray, P.G. 1968. A Note on the Occurrence of Beachrock along the West Coast of Ceylon. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38: 650 - 654.
- Coutinho, P.N. & Farias, C.C. 1979. Contribuição à Origem dos Recifes do Nordeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, Natal, 1979. *Anais*, Natal, SGG, p. 236-240.
- Craig, H. 1957. Isotopic Standards for Carbon and Oxygen Correction Factors for Mass Spectrometric Analysis of Carbon Dioxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 12: 133-149.
- Dalongeville, R. & Sanlaville, P. 1984. Essai de Synthèse sur le Beach-rock. In: DALONGEVILLE, R. & SANLAVILLE, P. (Eds.). *Le beach-rock*. Paris, Travaux de la Maison de l'Orient 8. Groupement d'Interdisciplinaires. p. 41-50.
- Dana, J.D. 1849. *United States Exploring Expedition. During the years 1838, 1839, 1840, 1841, 1842*. Under the command of Charles Wilkes, U.S.N. Vol. X. Geology, C. Sherman, Philadelphia.
- Darwin, C.R. 1841. On a Remarkable Bar of Sandstone off Pernambuco, on the Coast of Brazil. *Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine*, 19: 257 - 260.
- Erginal, A.E.; Kiyak, N.G.; Bozcu, M.; Ertek, A.; Güngöres, H.; Sungur, A. & Türker, G. 2008. On the Origin and Age of the Ariburnu Beachrock, Gelibolu Peninsula, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17: 803-819.
- Ertek, T.A.; Erginal, A.E.; Bozcu, M. & Türker, G. 2008. The Formation of Beachrock on the North Cyprus Coast. *Journal of Black Sea and Mediterranean Environment*, 14: 107-118.
- Ferrari, A.L. & Riccomini, C. 2001. Controle Tectônico dos Eventos de Magmatismo Mesozóico e Cenozóico da Área Emersa Adjacente às Bacias de Campos e Santos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9, SBG, Rio de Janeiro, 2001, *Anais*, SGS, p. 67.
- Ferreira Junior, A.V. 2005. *Mapeamento da Zona Costeira Protegida por Arenitos de Praia (beachrocks) em Nísia Floresta - RN*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 105p.
- Fonseca, R.B.M. 2012. *Evolução Batimétrica e Sedimentológicas do Banco de Areia "Sandbar" da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 92p.
- Friedman, G.M. 1971. Staining. In: CARNER, R.E. (Ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, Wiley, p. 511-530.
- Friedman, G.M. & Sanders, J.E. 1978. *Principles of Sedimentology*. New York, John Wiley, 792p.
- Friedman, G.M.; Sanders, J.E. & Kopaska-Merkel, D.C. 1992. *Principles of Sedimentary Deposits*. New York, MacMillan, 328p.
- Ginsburg, R.N. 1953. Beachrock in South Florida. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23(2): 85-92.
- Goudie, A. 1969. A Note on Mediterranean Beachrock: its History. *Atoll Research Bulletin*, 126: 11-14.
- Guerra, N.C.; Kiang, C.H. & Sial, A.N. 2005. *Carbonate Cements in Contemporaneous Beachrocks, Jaguaribe Beach, Itamaracá Island, Northeastern Brazil: Petrographic, Geochemical and Isotopic Aspects*. NEGLABISE, Departamento de Geologia, UFPE, Recife. v.77, n.2.
- Guilcher, A., 1961. Le "Beach-rock" ou Gre's de Plage. *Annales de Géographie*, 376: 11-125.
- Gyllencreutz R.; Mahiques M.M.; Alves D.V.P. & Wainer I.K.C. 2012. Mid- to Late-Holocene Paleogeographic Changes on the Southeastern Brazilian Shelf Based on Grain Size Records. *The Holocene*, 20(6): 863 - 875.
- Hanor, J.S. 1978. Precipitation of Beachrock Cements: Mixing of Marine and Meteoric Waters vs. CO₂ Degassing. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48(2): 489-501.
- Holail, H. & Rashed, M. 1992. Stable Isotopic Composition of Carbonate-cemented Recent Beachrock along the Mediterranean and Red Sea Coasts of Egypt. *Marine Geology*, 106: 141-148.
- Hopley, D. 1986. Beach-rock as a Sea-level Indicator. In: VAN de PLASSCHE, O. (Ed.), *Sea-Level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Norwich: Geo-Books.
- Khalaf, F.I. 1988. Quaternary Calcareous Hard Rocks and the Associated Sediments in the Intertidal and Offshore Zones of Kuwait. *Marine Geology*, 80: 1-27.
- Kindler, P. & Bain, R.J. 1993. Submerged Upper Holocene on San Salvador Island, Bahamas: Implications for Recent Sea-level History. *Geol Rundschau*, 82: 241-427.
- Komar, P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 429p.
- Longman, M.W. 1980. Carbonate Diagenetic Textures from near Surface Diagenetic Environments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64: 461-487.
- Mabesoone, J.M. 1964. Origin and Age of the Sandstone Reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil). *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 715-726.
- Macedo, A.C.M. 1963. Testemunhos Geológicos da Evolução do Litoral no Estado da Guanabara. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43(3/4): 832.
- Malta, J.V.; Castro, J.W.A.; Oliveira, C.A. & Reis, C.C. 2017. Rochas de Praia "Beachrocks" da Ilha do Cabo Frio - Litoral do Estado do Rio de Janeiro - Sudeste Brasileiro: Gênese e Geocronologia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(2): 397-409.
- Malta, J.V.; Castro, J.W.A.; Oliveira, C.A. & Reis, C.C. 2015. Os Beachrocks são ou não são Indicadores Precisos de Variações do Nível Relativo do Mar? In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 14, Imbé, 2015. *Resumos Expandidos*, Imbé, ABEQUA, p. 181-182.
- Mansur, K.L.; Ramos, R.R.C.; Godoy, J.M.O. & Nascimento, V.M.R. Beachrock de Jaconé, Maricá e Saquarema - RJ: importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. *Revista Brasileira de*

- Geociências*, 41(2): 290-303.
- Mansur, K.L.; Ramos, R.R.C. & Furukawa, G.G. Beachrock de Jacóné, RJ - Uma pedra no caminho de Darwin. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M.; SALLUN FILHO, W.; QUEIROZ, E.T. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 20/11/2012 no endereço <http://sigep.cprm.gov.br/sitio060/sitio060.pdf>. 2012. 19p.
- Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. 1997. *Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. Belo Horizonte, CPRM. 112p.
- Martin, L.; Flexor, J.M. & Suguio, K. 1984. Enregistrement des Périodes de Fortes et Faibles Énergies à L'embouchure d'un Fleuve. Le Cas du Paraíba do Sul (Brésil): Implications paléoclimatiques. *CR AcadSci II A*, 299: 661-664.
- Mauz, B.; Vacchi, M.; Green, A.; Hoffmann, G. & Cooper, A. 2015. Beachrock: a Tool for Reconstructing Relative Sea Level in the Far-field. *Marine Geology*, 362: 1-16.
- Maxwell, W.G.H. 1962. Lithification of carbonate sediments in the Heron Island Reef, Great Barrier Reef. *Journal of the Geological Society of Australia*, 8: 217-238.
- Meyers, J.H., 1987. Marine vadose beachrock cementation by cryptocrystalline magnesian calcite- Maui, Hawaii. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 558-570.
- Milliman, J.D. 1974. Marine Carbonates. Berlin, Springer-Verlag. 375 p.
- Moore, C.H. 1973. Intertidal Carbonate Cementation, Grand Cayman, West Indies. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43: 591-602.
- Moore, C.H. 2001. Carbonate reservoirs - Porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. *Developments in Sedimentology*, 55: 460.
- Morais, J.O. 1967. Contribuição ao Estudo dos "Beachrocks" do Nordeste do Brasil. Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. *Trabalhos Oceanográficos*, 9: 79-94.
- Moresby, R.M. 1835. Extracts from Commander Moresby's report on the northern atolls of the Maldives. *Journal of the Royal Geography Society of London*, 5: 398-404.
- Muehe, D. 1984. Evidências de Recuo dos Cordões Litorâneos em Direção ao Continente no Litoral do Rio de Janeiro. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R. & TURCQ, B. (Eds.), *Restingas: Origem, Estruturas e Processos*. CEUFF - Universidade Federal Fluminense, p. 75-80.
- Muehe, D. & Ignarra, S. 1987. O Arenito de Praia de Itaipuaçu e sua Influência no Fluxo de Sedimentos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1, Rio de Janeiro, 1987. *Anais*, Rio de Janeiro, SBG, p. 57-62.
- Oliveira, C.A. 2016. *Estudo dos Vermetídeos como Bioindicadores de Variações do Nível Relativo do Mar durante o Holoceno na Enseada dos Anjos - Arraial do Cabo-RJ*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 125p.
- Ramsay, P.J. 1995. 9000 Years of Sea-level Change along the Southern African Coastline. *Quaternary International*, 3(1): 71-75.
- Rohling, E.J. 2013. Oxygen Isotope Composition of Seawater. *The Encyclopedia of Quaternary Science*, 2: 915-922.
- Russell, R.J. 1962. Origin of Beachrock. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 6: 1-16.
- Schmitt, R.S. 2001. *A Orogenia Búzios - Caracterização de um Evento Tectono-metamórfico Cambro-ordoviciano no Domínio Tectônico de Cabo Frio - Sudeste da Faixa Ribeira*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 271p.
- Scholten, J.J. 1971. Beach Rock: a Literature Study with Special Reference to the Recent Literature. *Zentralblatt für Mineralogie und Palaeontologie*, 9/10: 655 - 672.
- Scoffin, T.P. 1970. A Conglomeratic Beachrock in Binimi, Bahamas. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 756-758.
- Silva, A.L.C.; Silva, A.M.; Souza, R.S. & Pinto, M. L.V. 2014. The Role of Beachrocks on the Evolution of the Holocene barrier systems in Rio de Janeiro, southeastern Brazil. In: GREEN, A.N. & COOPER, J.A.G. (Eds.), Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa), *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 70: 170-175.
- Silva, A.C.; Castro, J.W.A.; Almeida, C.N. & Dias, F.F. 2009. Caracterização de Minerais Pesados na Plataforma Continental Interna de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista da DHN*, 68: 79-87.
- Spurgeon, D.; Davis, J.R. A. & Shinn, E.A. 2003. Formation of Beach Rock at Siesta Key, Florida and its Influence on Barrier Island Development. *Marine Geology*, 200: 19-29.
- Stoddart, D.R. & Cann, J.R. 1965. Nature and Origin of Beach Rock. *Journal of Sedimentary Petrology*, 35: 243-273.
- Strasser, A.; Davaud, E. & Jedoui, Y. 1989. Carbonate Cements in Holocene Beachrock: Example from Bahiret el Biban, Southeastern Tunisia. *Sedimentary Geology*, 62: 89-100.
- Suguio, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Passado + Presente - Futuro*. Paulo's Editora, São Paulo, 236p.
- Suguio, K. 2003a. *Geologia Sedimentar*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 324p.
- Suguio, K. 2003b. Tópicos de Geociências para o Desenvolvimento Sustentável: as Regiões litorâneas. *Boletim Geologia USP, Série Didática*, 2(1): 1-40.
- Suguio, K.; Barreto, M.F.; Oliveira, P.E.; Bezerra, F.H.R. & Vilela, M.C.S.H. 2013. Indicators of Holocene Sea Level Changes along the Coast of the States of Pernambuco and Paraíba, Brazil. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, 13(4): 141-152.
- Suguio, K. & Martin, L. 1987. Classificação de Costas e Evolução Geológica das Planícies Litorâneas Quaternárias do Sudeste e Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 1, São Paulo, 1987. *Anais*, São Paulo, ACIESP, 1: 1-28.
- Urey, H.C.; Lowestam, H.A.; Epstein, S. & McKinney, C.R. 1951. Measurements of Paleotemperatures and Temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark and Southeastern United States. *Geological Society of American Bulletin*, 62: 399-416.
- Van Andel, T.H. & Laborel, J. 1964. Recent High Relative Sea Level Stand Near Recife, Brazil. *Science*, 3632: 580-581.
- Vieira, M.M.; De Ros, L.F. & Bezerra, F.H. 2007. Lithofaciology and palaeoenvironmental analysis of Holocene beachrocks in Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 23(6): 1535-1548.
- Vieira, M.M. & De Ros, L.F. 2006. Cementation Patterns and Genetic Implications of Holocene Beachrocks from Northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, 192: 207-230.
- Vieira, M.M. 2005. *Aspectos Sedimentológicos e Petrológicos dos Beachrocks do Estado do Rio Grande do Norte*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 243p.
- Von Buch, L. 1825. *Physikalische Beschreibung der Canarischen Inse*. In: Hofdruckerei der Königlichen Akademie, Berlin. 1-43.
- Warne, S.J. 1962. A Quick Field or Laboratory Staining Scheme for the Differentiation of the Major Carbonate Minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32: 29-38.