

PETROLOGIA DOS ARENITOS DE PRAIA (BEACHROCKS) NA COSTA CENTRAL DE PERNAMBUCO

Antônio Vicente FERREIRA JÚNIOR ¹, Tereza Cristina Medeiros de ARAÚJO ¹,
Marcela Marques VIEIRA ², Virgínio Henrique NEUMANN ³, Maria das Neves GREGÓRIO ¹

(1) Laboratório de Oceanografia Geológica, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.
Avenida Acadêmico Hélio Ramos s/n – Cidade Universitária. CEP 50740-530. Recife, PE.

Endereços eletrônicos: aferreira@ufnet.br; tcma@ufpe.br; nevesgregorio@hotmail.com

(2) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN / Campus Universitário Lagoa Nova.
Caixa Postal 1524. CEP 59078-970. Natal, RN. Endereço eletrônico: marcela@geologia.ufrn.br

(3) Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.
Avenida Acadêmico Hélio Ramos s/n – Cidade Universitária. CEP 50740-530. Recife, PE. Endereço eletrônico: neumann@ufpe.br

Introdução
Localização da Área de Estudo
Material e Métodos
Composição do Cimento e Morfologia
Cutícula criptocristalina
Franja prismática isópaca
Agregados Pseudo-Peloidais
Agregados Fibro-Radiais
Cimento Micrítico
Cimento Equante
Marga Infiltrada
Catodoluminescência
Sequência Diagenética
Resultados e Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O objetivo principal deste trabalho é a caracterização morfológica e petrológica dos arenitos de praia na zona costeira e plataforma continental interna na costa central de Pernambuco, visando reconstruir a evolução holocênica da região. Neste estudo, foram utilizadas técnicas que auxiliam na classificação e identificação de processos diagenéticos que afetaram os arenitos de praia. Assim, observou-se que o arenito de praia apresenta valores de 60% a 85% do arcabouço composto por grãos detríticos de quartzo. O cimento carbonático encontrado nas amostras é constituído de calcita rica em Mg. Foi reconhecida a sequência diagenética composta por cutícula criptocristalina; franja prismática isópaca; agregados pseudopeloidais; agregados fibro-radiais; cimento micrítico; e mosaico equante. Além dessas fases cimentantes, identificou-se marga infiltrada. Estes resultados permitiram interpretar que a precipitação do cimento ocorreu em um ambiente marinho raso, com influência de água doce, em ambiente vadoso, de onde se conclui que as praias foram cimentadas na zona de estirâncio.

Palavras-chave: arenitos de praia, diagênese, cimentação.

ABSTRACT – *A.V. Ferreira Júnior, T.C.M. de Araújo, M.M. Vieira, V.H. Neumann, M. das N. Gregório - Petrology of beachrocks in the central coast of Pernambuco.* The main objective of this study is the petrologic characterization of beachrocks in the coastal zone and inner continental shelf in the central coast of Pernambuco. This study used techniques that help in the classification, composition and diagenesis of beachrocks. Thus it was possible to verify that the beachrocks has values of 60% to 85% of the framework composed of detrital grains of quartz. The carbonate cement found in the samples is composed of calcite rich in Mg. The diagenetic sequence was recognized and composed of cryptocrystalline coating; prismatic fringe isopachs; pseudo-peloidal aggregates; radial fibers aggregates; micritic cement, and equant cement. Besides these cementing phases, infiltrated marl was identified. These data indicate that the precipitation of cement occurred in a shallow marine environment under the influence of fresh water from the vadose meteoric environment, which shows that the beaches were cemented in the intertidal zone.

Keywords: beachrocks, diagenesis, cementation.

INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos sobre arenitos de praia ou beachrocks, no Brasil, foram divulgados por Darwin (1841) e Branner (1904). Posteriormente, podem ser

citados diversos estudos, de várias partes do mundo. Os trabalhos no sul da costa leste dos Estados Unidos (Ginsburg & James, 1953), Mar Mediterrâneo

(Alexandersson, 1972), Bahamas (Beier 1985), Egito (El-Sayed 1988), Tunísia (Strasser et al., 1989), Belize (Gishler & Lomando, 1997), Nova Zelândia (Jones et al., 1997) são alguns dos mais importantes.

De acordo com Russel (1962), a ocorrência desses corpos está restrita às regiões tropicais e subtropicais ou ao cinturão quente, entre as latitudes de 35° N e 35° S. Entretanto, alguns autores como Kneale & Viles (2000), Omoto (2001), Rey et al. (2004), Voutsoukas et al. (2007), apontam evidências de corpos de arenitos de praia, mesmo com cimentação incipiente, em zonas temperadas e frias, como na Espanha, Portugal, Itália, Grécia, Escócia e Japão.

No litoral do nordeste do Brasil, diversos trabalhos dedicaram-se ao estudo dos arenitos de praia, com destaque para Andrade (1955), Van Andel & Laborel (1964), Mabesoone (1964), Morais (1967), Ferreira (1969), Bigarella (1975), Coutinho & Farias (1979), Caldas et al. (2006), Bezerra et al. (1998, 2005), Amaral (2000), Guerra (2000), Guerra et al. (2005), Ferreira Jr. (2005), Vieira & Ros (2006), Vieira et al. (2007), entre outros. Nesta região, os arenitos de praia são registros significativos da sedimentação holocênica. A respeito disso, já em 1904, Branner publicou um dos primeiros trabalhos referentes aos arenitos de praia do Nordeste. Segundo este autor: "...não existe fenômeno mais notável na costa nordestina do que os recifes rochosos...".

Diversos autores, a exemplo de Ginsburg & James (1953), Mabesoone (1964), Alexandersson (1972), Davies & Kinsey (1973), Beier (1985), El-Sayed (1988), Strasser et al. (1989), Gishler & Lomando (1997), Jones et al. (1997) sugeriram que os arenitos de praia são formados mediante precipitação carbonática, incluindo vários tipos de cimentação de calcita e aragonita, sendo litificados na zona litorânea com um a dois metros de profundidade. Encontram-se dispostos paralelamente à linha de costa na forma de faixas longas e estreitas, separadas umas das outras por depressões onde são depositadas areias ou lamas.

O processo de cimentação em arenitos de praia, de acordo com Coutinho e Farias (1979), estaria relacionado à precipitação de carbonatos da água do mar, a partir da evaporação da água intersticial, por processos físico-químicos ou por crescimento microbológico que produzem calcita magnesiana. Segundo Moore (1973), o cimento depende das características químicas e físicas das águas a partir das quais ele foi precipitado. A calcita é a forma de CaCO_3 normalmente precipitada a partir da água doce e marinha, enquanto que a aragonita é comumente precipitada a partir de soluções de alto potencial iônico, como a água do mar (Komar, 1976). Stoddart & Cann (1965) sugeriram dois estágios de cimentação: inicialmente

precipitaria a aragonita e, posteriormente, a calcita preencheria as cavidades.

Dentre as diversas teorias referentes à cimentação para a formação dos arenitos de praia, os principais processos evocados por diferentes autores (e.g. Ginsburg & James 1953, Russel 1962, Maxwell 1962, Stoddart & Cann, 1965, Moore 1973, Strasser et al. 1989) são, entre outros:

- 1) precipitação de calcita altamente magnesiana e aragonita da água do mar como resultado das elevadas temperaturas, supersaturação do CaCO_3 por evaporação;
- 2) baixa precipitação de calcita e aragonita a partir da mistura de água doce subterrânea com água do mar;
- 3) alta precipitação de calcita magnesiana e aragonita por desgaseificação de CO_2 a partir de água capilar presente entre os sedimentos;
- 4) precipitação de carbonato de cálcio micrítico, como um subproduto da atividade microbológica.

Para Ginsburg & James (1953) e Scoffin (1970), a evaporação da água do mar é o principal mecanismo de cimentação dos arenitos de praia. A concentração progressiva dos íons aumentaria a saturação de CaCO_3 e provocaria a precipitação de aragonita e calcita magnesiana.

Embora existam vários trabalhos sobre o assunto, ainda não há um consenso quanto ao processo de cimentação: se ligado exclusivamente à água do mar ou sob influência de água doce subterrânea; se originário da mistura de água doce e marinha, ou ainda de natureza biogênica.

Calcita altamente magnesiana e aragonita são cristais de cimentos precoces precipitados na zona intermaré. Após a fase de precipitação, estes cristais metaestáveis são submetidos a processos de substituição, adotando mudanças complexas na sua morfologia e textura, usualmente através da mudança do ambiente (Longman, 1980; Beier, 1985; Meyers, 1987; Gishler & Lomando, 1997; Font & Calvet, 1997; Spurgeon et al., 2003).

Os principais tipos de cimentos observados na literatura são: aragonita micrítica, aragonita acicular, calcita magnesiana micrítica, calcita magnesiana peloidal e calcita magnesiana paliçada. Este tema é bem descrito nos trabalhos de Meyers (1987), Strasser et al. (1989) e Amieux et al. (1989). Diversos autores mostram como incide a distribuição dos cimentos. Para Strasser & Stromehger (1997), esta distribuição está ligada diretamente ao tipo de substrato, de tal modo que, a calcita ocorre principalmente em arenitos de praia siliciclásticos e a aragonita, em arenitos de praia carbonáticos. Além disso, normalmente a calcita é precipitada a partir da água doce e a aragonita, da água do mar (Moore, 1973; Stoddart & Cann, 1965).

Apesar disto, não é possível atribuir um único tipo de cimento a cada um dos processos específicos que ocorrem na sua diagênese, como precipitação e evaporação, mistura de água doce e salgada ou atividades metabólicas por algas ou bactérias.

Apesar de não se conhecer exatamente se a origem dos arenitos de praia é devida a um único fator ou a um conjunto de fatores, sabe-se que seu tempo de formação é extremamente rápido. Friedman (1998) comprovou que a cimentação num ambiente praiar pode ocorrer no prazo extremamente curto. A experiência ocorreu nas Bahamas com uma lata de sardinha que, ao longo de um ano, já havia acumulado aproximadamente 383g de material carbonático oolítico cimentante.

Russel (1959) mostrou que os arenitos de praia podem se formar em apenas centenas de anos. Mabesoone (1964) também descreveu a formação atual

destes arenitos na cidade de Recife. De fato, não é rara a ocorrência de objetos modernos completamente cimentados por cimento carbonático.

Vários estudos relativos ao tipo de composição do cimento dos arenitos de praia apontam que não existe um único processo na sua formação. Um aspecto em comum entre as várias teorias é seu local de formação, que ocorre dentro da zona de estirâncio. Sendo assim, podem-se definir e diferenciar outros depósitos em função desta sua característica singular.

O presente trabalho possui como objetivo principal conhecer e caracterizar os processos de cimentação dos arenitos de praia, na zona costeira e plataforma continental interna na costa central de Pernambuco. Assim, foram utilizadas técnicas que auxiliam na classificação, caracterização composicional e diagenética dos arenitos de praia.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto de estudo localiza-se na zona costeira e plataforma continental do Estado de Pernambuco, e abrange os municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes (Figura 1).

Os arenitos de praia emersos dispõem-se paralelamente à linha de costa e, geralmente, apresentam

uma forma linear, porém com faixas descontínuas, e extensão máxima em torno de 1 km, e largura de até dezenas de metros. O acamamento sedimentar apresenta mergulhos de 10° , em média, no sentido do mar. Em geral, estas rochas ficam submersas na maré alta. As estruturas sedimentares não apresentam fácies

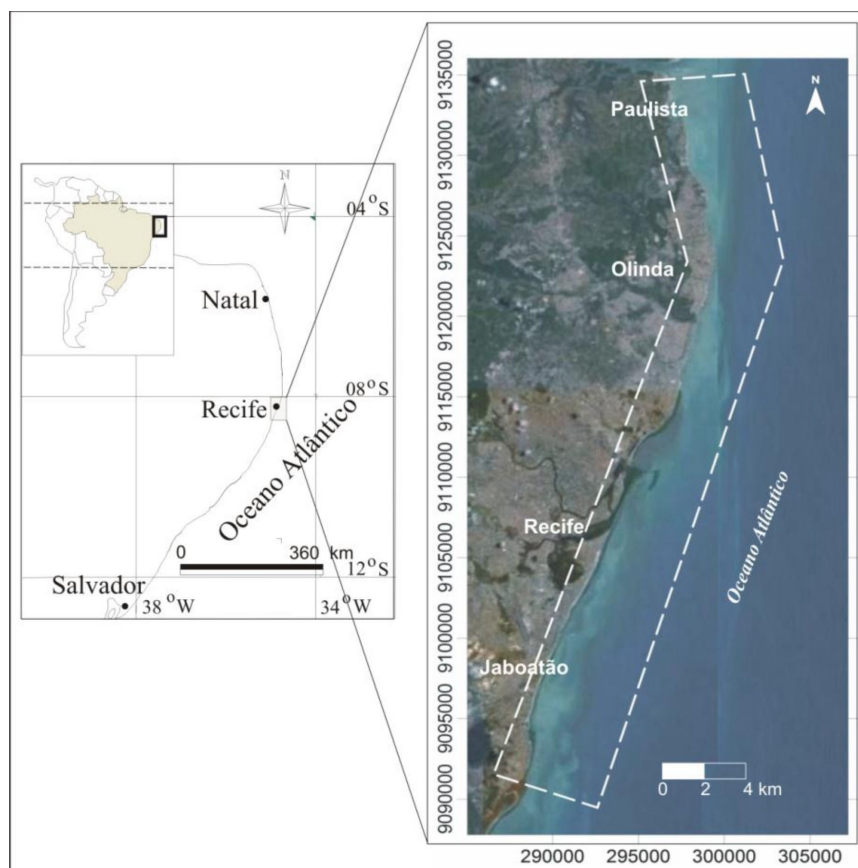


Figura 1. Localização da área de estudo.

claramente identificáveis, entretanto podem ser comparadas com as das praias modernas, sendo possível identificar as estratificações do tipo cruzada de baixo ângulo e cruzada acanalada.

Os corpos dos arenitos de praia localizam-se na zona de estirâncio, apresentando-se extremamente fraturados e em blocos dispersos, associados à erosão e solapamento na base. A erosão é causada por ondas e correntes litorâneas e o fraturamento dos corpos está relacionado a mecanismos de gravidade. Dificultando a descrição de suas fácies há uma imensa colonização

por organismos e, também, a forte ocupação urbana com as construções de casas e calçadas na zona de pós-praia.

Apesar de estes corpos estarem submersos na maré alta, os arenitos de praia, no Município do Recife (Figura 2) estão, em relação ao nível médio do mar (nmm), entre 0,1 m a 0,89 m. Em Jaboatão dos Guararapes (Figura 3), os arenitos de praia encontram-se, em média, entre -0,85 m a 0,20 m do nmm. Em Olinda (Figura 4), estão entre -0,35 m a 0,1 m do nmm, podendo, dependendo da maré, ficar com os topos emersos quando das preamares.



FIGURA 2. Fotografia aérea oblíqua, em baixa-mar, com destaque para o arenito de praia nas praias do Pina e Brasília Teimosa, em Recife (Fonte: CPRH, 2006).



FIGURA 3. Fotografia aérea oblíqua da Praia de Piedade, em Jaboatão dos Guararapes. Observa-se que o arenito de praia não acompanha paralelamente a linha de praia. (Fonte: CPRH, 2006).



FIGURA 4. Aspecto típico do arenito de praia, em Olinda, com superfície recoberta por organismos.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foram amostrados os trechos mais expressivos nos arenitos de praia, isto é, com melhor representação nas estruturas e perfis de maior altitude. Assim, foram coletadas 32 amostras, das quais 27 foram selecionadas para confecção de lâminas delgadas impregnadas para observação em microscópio petrográfico. A confecção das lâminas ocorreu no Laboratório de Laminação da UFRN.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada com objetivo de observar detalhadamente a morfologia dos cristais e relações texturais do cimento carbonático. Assim, foram selecionadas 8 amostras, nas quais foram registradas, em fotografia, os tipos de cimento. Também foram selecionadas quatro amostras de conchas de bivalves com o objetivo de detectar a composição de aragonita e sua textura. As observações foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências da Universidade de Kiel, Alemanha. O equipamento utilizado foi o modelo CanScan CS-44.

O sistema de detecção de energia dispersiva de raios X (EDX) permitiu a identificação de espectros característicos do material analisado, indicando as concentrações relativas dos elementos químicos presentes. As análises de EDX também foram realizadas no mesmo laboratório da Universidade de Kiel e o equipamento utilizado foi da marca Philips PW1710.

Outro método utilizado foi a catodoluminescência, que é a luminosidade ocasionada pelos fenômenos da fluorescência e fosforescência, emitida pelos centros luminogênicos dos minerais bombardeados por um feixe de elétrons. A catodoluminescência permite conhecer as fases de crescimento de diversos minerais, incluindo o quartzo e CaCO_3 encontrados nos arenitos de praia. O trabalho elaborado por Amieux et al. (1989) é considerado como parâmetro metodológico. Foram selecionadas 13 amostras que apresentaram porcentagem maior de cimento, sendo analisadas no Laboratório de Catodoluminescência da UFPE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise petrográfica realizada em seções delgadas auxiliou na avaliação da textura, composição do arcabouço, porosidade, eventos diagenéticos e na classificação da rocha.

Estudos petrográficos revelaram que os arenitos de praia possuem granulação dominante na fração areia média a grossa, com presença de algumas intercalações de grânulos e seixos, segundo a classificação de Wentworth (1922), com grãos pobremente selecionados, variando de subangulosos a subarredondados. O empacotamento é do tipo frouxo, segundo

a classificação de Kahn (1956), reflexo da predominância de grãos flutuantes (Figura 5).

A análise petrográfica dos arenitos de praia revela que o arcabouço é constituído de grãos de quartzo (mínimo de 58,2% e máximo de 85,0%), com predominância do tipo monocristalino (mínimo de 30,0% e máximo de 77,4%) e, em menor número, do policristalino (mínimo de 1,3% e máximo de 49,3%; Figura 6). Todos os elementos quantificados na análise petrográfica estão ilustrados, em valores percentuais, no Quadro 1.

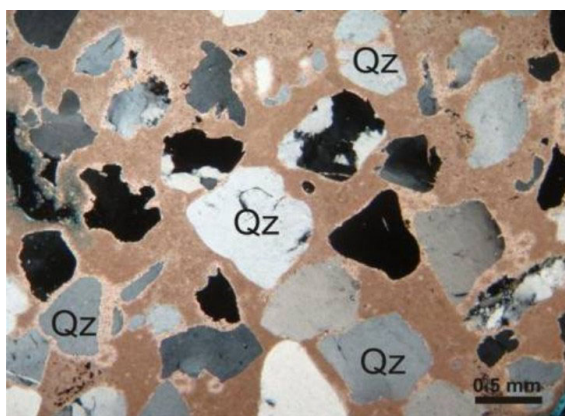


FIGURA 5. Aspecto geral da lâmina com presença abundante de grãos de quartzo (Qz), flutuantes, no arcabouço. Amostra submersa A, polarizadores cruzados (PX).

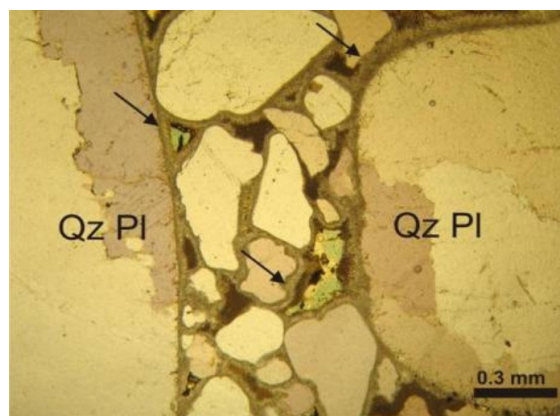


FIGURA 6. Arcabouço pobremente selecionado. Observar a presença de grãos de quartzo policristalino (Qz PI) e franja isópaca de cristais prismáticos (setas). Amostra 14, PX.

QUADRO 1. Valores percentuais da análise petrográfica dos arenitos de praia.

Amostras	Quartzo monocr.	Quartzo policr.	Feldspatos	Min. Pesados	Bioclastos	Cimento	Marga infiltrada	Porosidade
Sub. – A	62,4	7,9	4,1	1,6	0,6	5,5	12	5,8
Sub. – B	51,4	20,6	-	0,6	2,8	5,6	13,7	5,3
AM – 1	63,2	4,8	1,1	0,8	9,5	8,9	-	11,7
AM – 2	58,6	10,1	3,9	1,7	6,9	7,3	-	12,2
AM – 3	65,6	2,5	2,9	1,2	9,3	7,8	-	10,6
AM – 4	58,9	3,3	5,2	3,1	8	5,3	-	16,1
AM – 6	61,3	14,1	-	-	5,4	10,1	4,2	9
AM – 7	61,5	6,7	2,6	4,5	5	7,1	2	12,2
AM – 8	77,4	7,6	1,1	0,4	2,2	11,6	-	0,8
AM – 9	56,1	7	-	1,2	3,5	7,4	8,9	15,9
AM – 10	60,9	1,2	1,8	0,3	5,5	25	-	7,3
AM – 11	65,2	4,7	2,6	-	1,8	16	1,8	13
AM – 12	59,8	2,5	5,9	-	3,3	7	10,5	11,5
AM – 13	48,1	15,9	0,8	1,1	5,2	15,4	6,3	7,2
AM – 14	30	49,3	0,9	-	4,4	14,3	-	1,1
AM – 15	54,5	5,7	-	0,2	2,6	27,1	9,3	0,5
AM – 16	50,4	28,4	-	-	6,3	7,9	5,6	1,5
AM – 17	36	35	3,3	-	7,2	22,8	-	2,9
AM – 18	33,4	32,5	-	-	6,6	31,4	-	2,7
AM – 19	60	5,1	1	0,8	2,9	3,6	24,7	2,1
AM – 20	61,6	1,3	-	0,9	1	33,6	-	1,6
AM – 21	67,3	1,6	1,3	-	5,5	9,9	-	14,4
AM – 22	53,8	4,4	1,5	-	3	32,3	4,5	0,4
AM – 23	60,9	2,7	1,2	0,3	3,8	20,6	-	10,7
AM – 24	68,3	3,1	-	-	2,8	21,3	2,5	2
AM – 25	55,8	6,9	1,8	2	0,5	5	20,4	7,5

Os feldspatos são frequentes em quase todas as lâminas petrográficas examinadas, com concentração em torno de 5%, sendo representados, principalmente, por plagioclásios (Figura 7). Os minerais pesados apresentam-se em pequena porcentagem e são caracterizados principalmente por opacos (Figura 8), turmalina (Figura 9), granada, epidoto e zircão (Figura 10), com máximo de 4,5% na amostra 7. Os bioclastos são constituídos por briozoários, gastrópodes, bivalves,

foraminíferos, algas vermelhas e equinóides, ocorrendo em média de 0,5% a 9,5% do arcabouço (Figuras 11, 12 e 13), sendo os organismos fósseis do tipo bentônicos e planctônicos associados ao ambiente da plataforma rasa.

A porosidade dominante é do tipo interpartícula (mínimo de 0,4% e máximo de 16,1%), ocorrendo também do tipo intrapartícula e de fratura. Há fraturas abertas, sem preenchimento e outras preenchidas por calcita.



FIGURA 7. Detalhe de grão de plagioclásio (P) parcialmente substituído por cimento carbonático. Amostra 13, PX.

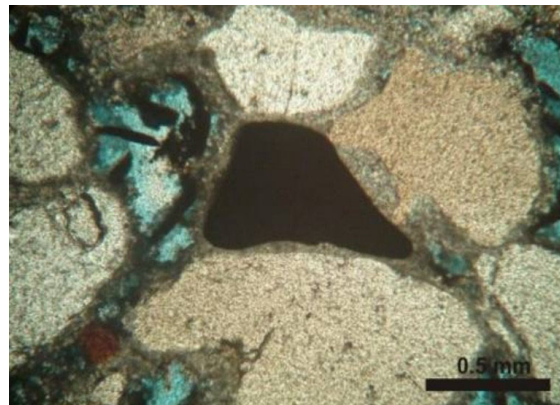


FIGURA 8. Grão de opaco. Objetiva 16 x. Amostra 14, PX.

O cimento carbonático encontrado nas amostras é constituído, exclusivamente, da calcita rica em Mg e com texturas variadas. O cimento carbonático ocupa praticamente todo o espaço poroso, incluindo fraturas,

e promove a substituição na borda de grãos de quartzo corroídos. Contudo, verificam-se também grãos de quartzo monocristalino incrustados por alga vermelha envolvida por franja de cristais prismáticos (Figura 14).

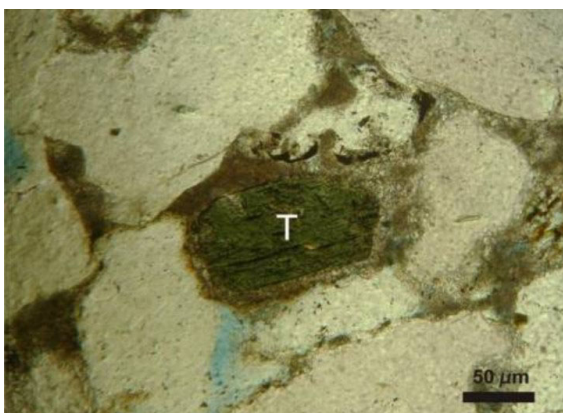


FIGURA 9. Detalhe de grão de turmalina (T). Amostra 7, polarizados descruzados (P//).

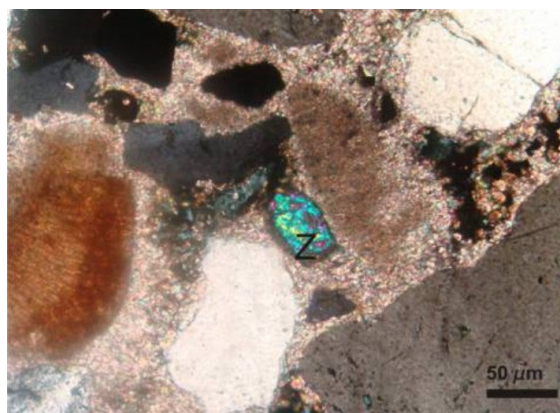


FIGURA 10. Detalhe de grão de zircão (z). Amostra 13, PX.

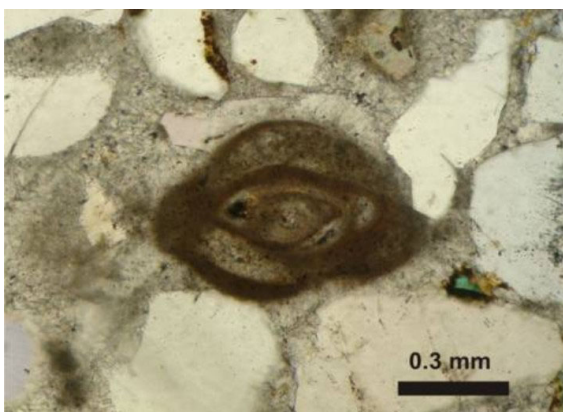


FIGURA 11. Em destaque, no centro da foto, foraminífero do tipo quinqueloculina. Amostra 10, P//.

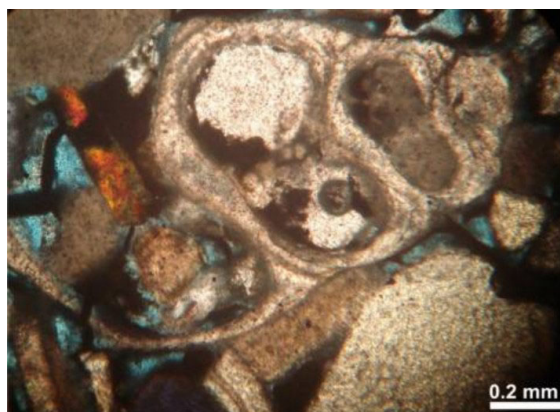


FIGURA 12. Gastrópode recristalizado com bioerosão. Amostra 1, PX.

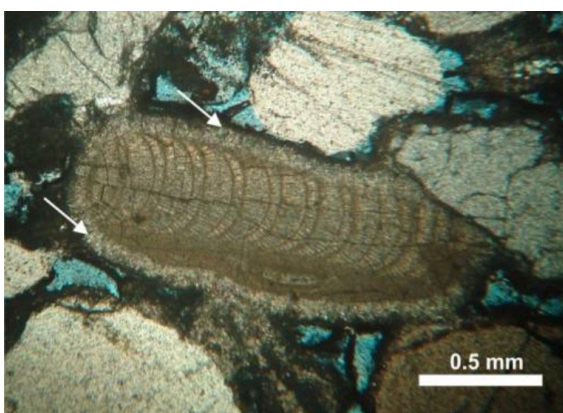


FIGURA 13. Alga vermelha coralínea com estrutura reticulada típica. Setas indicam cimentação por franja isópaca de cristais prismáticos. Amostra 17, PX.



FIGURA 14. Grão de quartzo monocristalino (Qz) incrustado por alga vermelha envolvida por franja de cristais prismáticos (seta). Amostra submersa A, PX.

COMPOSIÇÃO DO CIMENTO E MORFOLOGIA

Os cristais de calcita rica em Mg^{2+} (*high magnesium calcite* – HMC) foram identificados como cimento predominante dos arenitos de praia estudados, sendo encontrados desde 0,89 m a -5,8 m (nmm), preenchendo parcial ou completamente os espaços intergranulares e intragranulares. São formados, em sua maioria, por cristais rômnicos, com diâmetro entre 4 e 30 μm (Moore, 1973 e Milliman, 1974).

Os resultados das amostras de energia dispersiva de raios X indicam que os arenitos de praia são compostos, principalmente, por quartzo e calcita magnesiana, ocorrendo eventualmente feldspato. Não foi encontrado estrôncio nas amostras o que caracteriza ausência de aragonita (Neumeier, 1998).

Nas amostras selecionadas, estes cristais apresentam-se com hábitos e morfologias diferenciadas (Figuras 15 a 28). As principais formas encontradas foram: (i) cutícula criptocristalina; (ii) franja prismática isópaca; (iii) agregados pseudo-peloidais; (iv) agregados

fibro-radiais; (v) cimento micrítico; e (vi) cimento equante. Além destas fases cimentantes, identificou-se marga infiltrada (Quadro 2). A seguir veremos uma descrição mais detalhada de cada um destes produtos diagenéticos.

Cutícula Criptocristalina

A cutícula criptocristalina apresenta-se como o estágio inicial de cimentação dos arenitos de praia, enquanto a infiltração de marga com bioclastos indica o estágio final de diagênese.

Este cimento envolve, em maior número, os grãos siliciclásticos e, em menor número, os bioclásticos, possuindo dimensão heterogênea (mínimo de 10 e máximo de 120 μm) e predominantemente descontínua. Em geral, é coberto por franja isópaca, podendo separar duas gerações da mesma (Figura 15). Sua presença indica que foi desenvolvido sob condições freáticas. Esse tipo de textura representa, em média, 2,5 % do volume total das amostras analisadas, sendo o volume máximo de 6,3 %, encontrado na amostra 07.

QUADRO 2. Distribuição do material diagenético distribuído ao longo das 27 amostras de lâminas analisadas (valores em porcentagem).

Amostras	CC	FPI	APP	AFR	CM	CE	MI	HF	Total
Sub. - A	0,3	4,6	0,6	-	-	-	12	-	17,5
Sub. - B	0,3	3,2	1,1	-	-	-	13,7	1	19,3
Am - 1	0,4	3,8	-	-	4,7	-	-	-	8,9
Am - 2	5,5	1,8	-	-	-	-	-	-	7,3
Am - 3	-	0,4	-	-	7,1	-	-	0,3	7,8
Am - 4	2,8	2,5	-	-	-	-	-	-	5,3
Am - 6	-	5,1	0,8	-	-	-	4,2	-	10,1
Am - 7	6,3	0,8	-	-	-	-	2	-	9,1
Am - 8	0,4	0,3	-	1	9,9	-	-	-	11,6
Am - 9	-	3,7	3,2	1	-	-	9,4	-	17,3
Am - 10	-	-	0,4	2	8,7	13,9	-	-	25
Am - 11	-	0,2	0,8	5	10	-	1,8	-	17,8
Am - 12	-	4,8	-	0,5	1,7	-	10,5	-	17,5
Am - 13	-	2,8	-	-	13,6	-	5,3	-	21,7
Am - 14	0,4	6,5	-	-	7,4	-	-	-	14,3
Am - 15	-	1,9	2,8	-	22,4	-	9,3	-	36,4
Am - 16	-	1,1	3,8	-	1,9	-	5,6	1,1	13,5
Am - 17	-	3,5	1,3	-	18	-	-	-	22,8
Am - 18	-	3,2	14,5	-	13,7	-	-	-	31,4
Am - 19	-	2,3	-	-	-	1,3	24,7	-	28,3
Am - 20	-	7,5	11,6	-	12	-	-	2,5	33,6
Am - 21	0,2	6,1	-	-	3,2	-	-	0,4	9,9
Am - 22	4,5	2,2	2,6	-	-	-	24	3,5	36,8
Am - 23	-	-	-	-	20,2	-	-	0,4	20,6
Am - 24	-	0,2	20,3	-	0,8	-	2,5	-	23,8
Am - 25	-	1	-	-	2,8	1,2	20,4	-	25,4

Legenda: CC: Cutícula criptocristalina; FPI: Franja prismática isópaca; APP: Agregados pseudo-peloidais; AFR: Agregados fibro-radiais; CM: Cimento micrítico; CE: Cimento equante; MI: Marga infiltrada; HF: Hidróxido de Ferro.

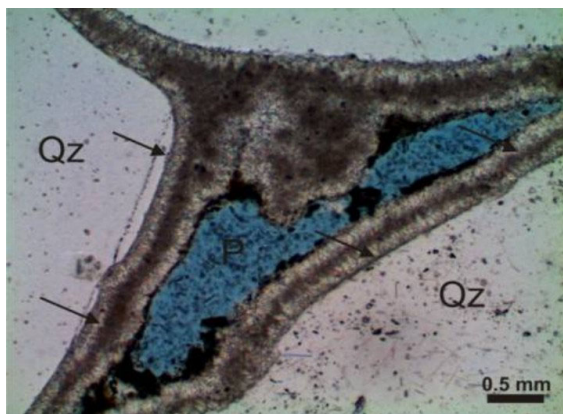


FIGURA 15. Duas gerações de franja de cristais prismáticos separadas por cutícula micrítica (setas). Amostra submersa B, P//.

Franja Prismática Isópaca

A franja prismática isópaca é um dos principais cimentos marinhos. Foi descrita, entre outros trabalhos pioneiros, por James & Ginsburg (1979), com largura de 3-5 μm e comprimentos de 20-80 μm . Estudo realizado por Meyers (1987), no Havaí, sugere que a cimentação por franja prismática isópaca dos arenitos de praia desenvolva-se somente depois que a permeabilidade foi reduzida. Longman (1980) interpretou diferentes texturas de cimentos carbonáticos e indicou a franja isópaca como gerada em zona freática marinha.

É composta de prismas alongados, perpendiculares à superfície do grão, ocupando, em sua maioria, os espaços interpartícula. O comprimento máximo dos prismas é geralmente de 60 μm . A franja isópaca representa 3,6 %, em média, do volume total das lâminas analisadas, sendo o valor máximo de 7,5 %, na amostra 20.

No geral, a franja apresenta uma forma isópaca muito regular, no entanto, os cristais prismáticos podem se apresentar sub-perpendiculares (Figuras 16 e 17) ou caóticos ao redor dos siliciclastos (Figura 18), enquanto nos grãos de bioclastos, em sua maioria, são perpendiculares a sua superfície. Observou-se, também, em algumas lâminas, a presença da franja isópaca apenas ao redor de bioclastos (Figura 19).

A ausência ou truncamento dos cristais prismáticos é decorrente tanto da dissolução por água doce ou da interrupção do seu crescimento na interface água – ar na zona vadosa (Neumeier, 1998).

Agregados Pseudo-Peloidais

Sua textura foi descrita no Havaí (Meyers, 1987), em Belize (Gischler e Lomando, 1997) e nas Ilhas Reunião (Font & Calvet, 1997). Meyers (1987) e Amieux et al. (1989) descrevem o diâmetro médio, respectivamente, como 25 μm e 10 μm e resultariam

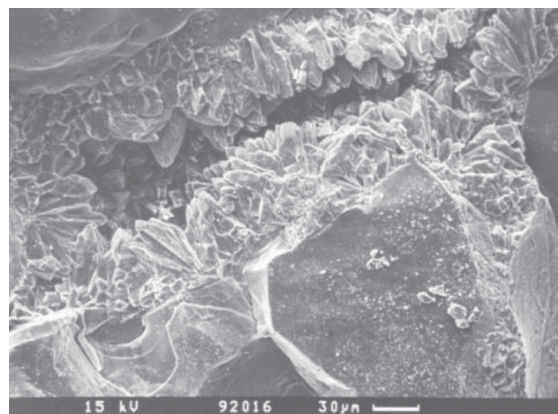


FIGURA 16. Franja de cristais prismáticos, regular e isópaca, com dimensão entre 5 e 50 μm , ao redor dos grãos de quartzo. Observar a orientação sub-perpendicular dos cristais em relação ao grão de quartzo. Amostra 10, MEV.

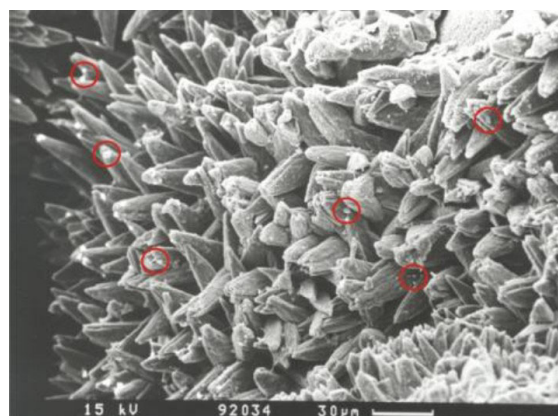


FIGURA 17. Detalhe de cristais prismáticos, com ocorrência de pontos de sódio (círculo vermelho). Amostra submersa B, MEV.

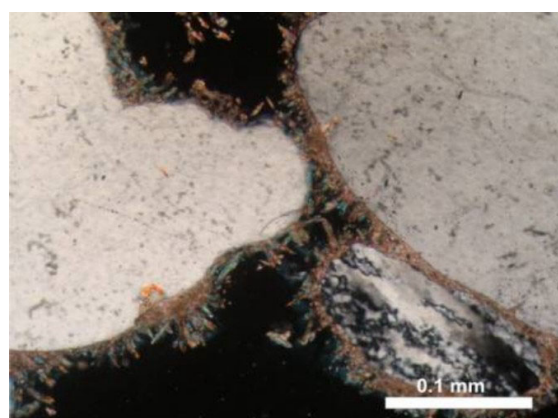


FIGURA 18. Cristais prismáticos sub-perpendiculares a caóticos ao redor dos grãos. Amostra 13, PX.

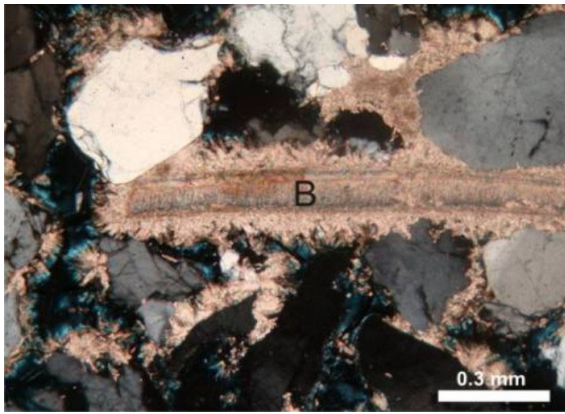


FIGURA 19. Cristais prismáticos bem desenvolvidos ao redor do bivalve (B), porém ausentes ou descontínuos ao redor dos grãos terrígenos. Amostra 9, PX.

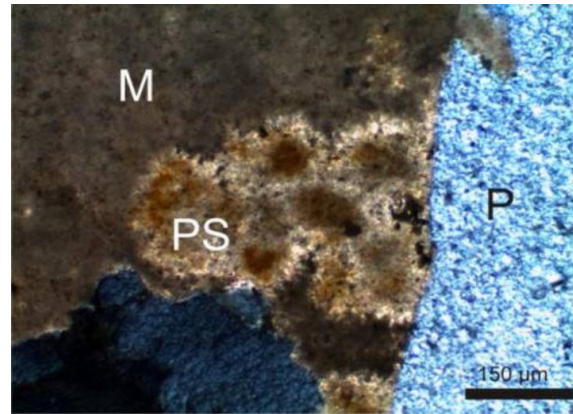


FIGURA 20. Espaço poroso (P) ocupado por agregado pseudo-peloidal (PS) e cimento micrítico (M). Amostra 15, PX.

de atividades de cianobactérias e microbiológicas, na zona freática.

Este cimento possui forma esférica a subsférica, com 40 a 100 μm de diâmetro. Seu arranjo é bastante espaçado e variado, podendo preencher totalmente a porosidade da amostra. Está presente em praticamente metade das amostras analisadas, representando, em média, 4,5 % do volume total das mesmas, sendo o valor máximo de 14,5 %, na amostra 18. Está associada, sobretudo, ao cimento micrítico e à franja isópaca (Figuras 20, 21 e 22).

Agregados Fibro-Radiais

Vieira & De Ros (2006) identificaram este tipo de cimento cujos cristais apresentam largura e comprimento médio de 11,4 μm e 69,9 μm, respectivamente, sendo considerados um produto de nucleação limitada, a qual favoreceria a disposição radial, ocorrendo preferencialmente nos grãos siliciclásticos.

O cimento fibro-radial foi identificado, em poucas amostras, dispostos radialmente a partir do núcleo, em geral isolados ou associados aos cimentos pseudo-peloidais ou cristais equantes (Figuras 23 e 24). Constitui em média 1,9% do volume total encontrado nas amostras analisadas, com volume máximo de 5 % na amostra 11.

Cimento Micrítico

O cimento micrítico é um dos principais cimentos marinhos e um dos mais abundantes encontrados nos arenitos de praia. Longman (1980) indica este tipo de cimento como de origem na zona freática. Meyers (1987) o interpreta como uma precipitação interna microcristalina. Foi igualmente descrito por Bathurst (1974), Schroeder (1979), El Sayed (1988), Gischler & Lomando (1997), Vieira & De Ros (2006).

A calcita magnésiana micrítica é um cimento composto de cristais com dimensão de 0,5 a 4 μm.

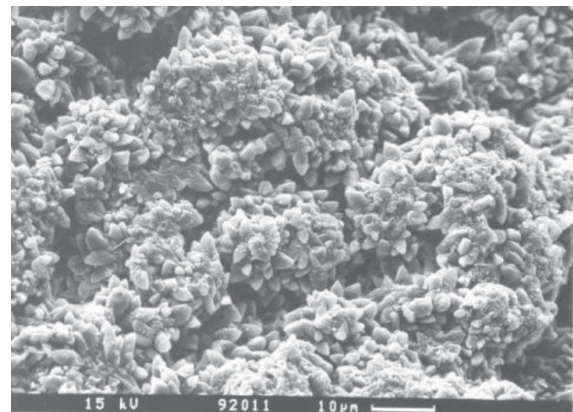


FIGURA 21. Agregado pseudo-peloidal, mostrando os cristais escalanoédricos que formam os pseudo-peloides. Amostra submersa B, MEV.

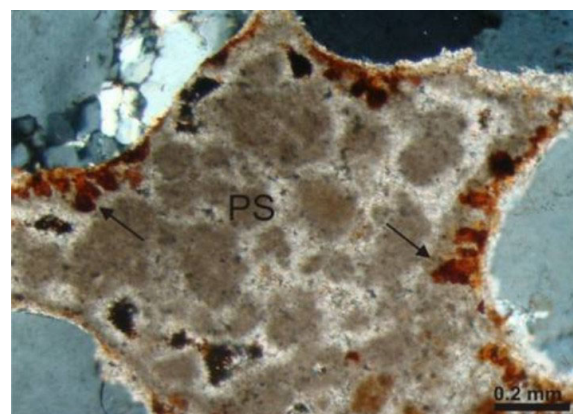


FIGURA 22. Agregado pseudo-peloidal (PS) ocupando espaço interpartícula. Presença de hidróxido de ferro (setas), provável contribuição dos sedimentos terciários da Formação Barreiras. Amostra 20, PX.

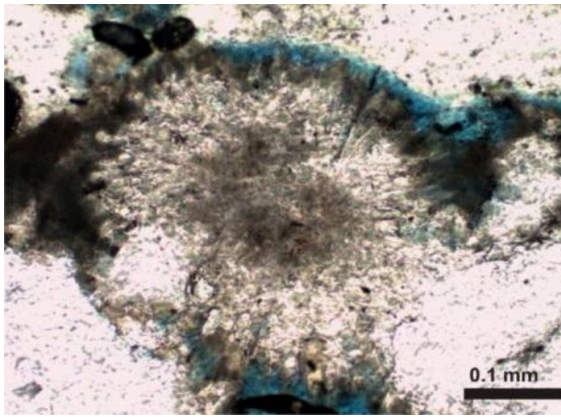


FIGURA 23. Agregado fibro-radial desenvolvido ao redor de um núcleo pseudo-peloidal. Amostra 9, P//.

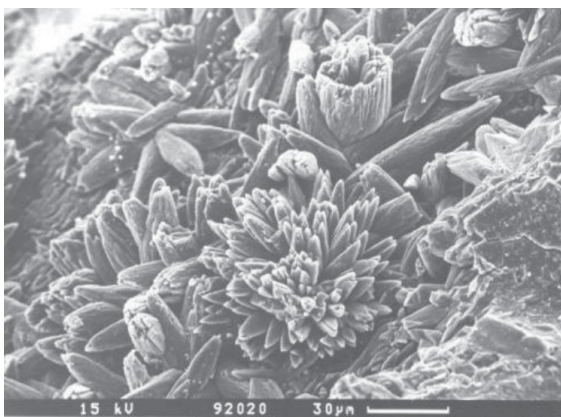


FIGURA 24. Agregados fibro-radiais, dispostos ao redor dos grãos, com dimensão, em média, de 60 μm. Amostra emersa 12, MEV.

Apresenta-se em lâmina com coloração marrom a acinzentado (Neumeier, 1998).

Este cimento foi encontrado em mais de 60 % das amostras analisadas. Sua textura apresenta-se como uma massa escura homogênea, preenchendo completamente os espaços intragranulares e intergranulares. É composto por cristais microcristalinos com tamanho máximo de 4 μm, sendo encontradas, em algumas lâminas, pequenas impurezas, formadas principalmente por pequenos grãos detríticos. Este cimento representa, em média, 8,6 % do volume total das amostras analisadas, sendo o valor máximo de 22,4 % na amostra 15 (Figuras 20 e 25).

Apesar de Moore (1973) descrever este cimento como resultado de um desenvolvimento a partir de atividades biológicas, não foi encontrado nos arenitos de praia estudados componentes que apontem esta origem.

Cimento Equante

Este cimento é formado por agregados de cristais anédricos e subédricos de calcita que preenchem completamente a porosidade (Figuras 26 e 27). Seu

tamanho varia de microcristalino a mesocristalino. Constitui em média 5,8% do volume total encontrado nas amostras analisadas, com volume máximo de 13,9 %, na amostra 10.

De acordo com Longman (1980), a calcita rica em Mg formada por cimento equante nos arenitos de praia, indica precipitação em um ambiente marinho raso.

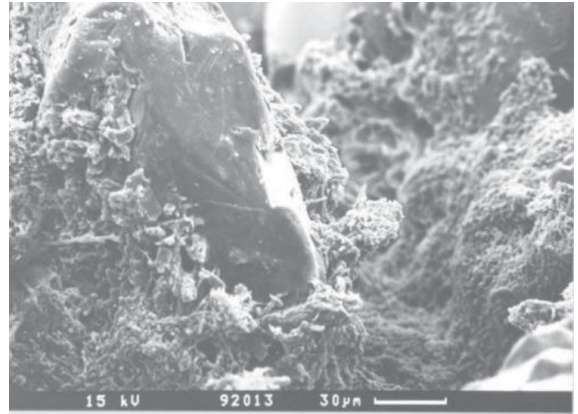


FIGURA 25. Cimento micrítico no entorno do grão de quartzo. Amostra emersa 3, MEV.

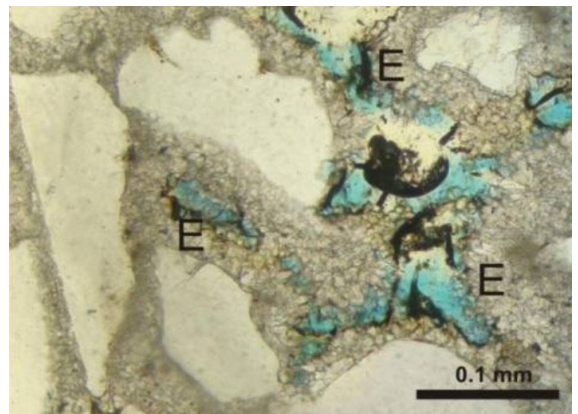


FIGURA 26. Porosidade intergranular ocupada por cristais equantes (E). Amostra 10, P//.

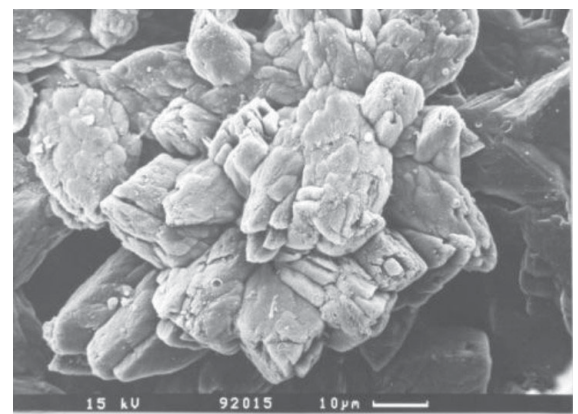


FIGURA 27. Detalhe dos cristais equantes, ocupando o espaço poroso. Amostra emersa 14, MEV.

Marga Infiltrada

É composta por bioclastos (incluindo planctônicos), seguidos por grãos detriticos (sobretudo, quartzo), fluando em uma mistura de micrita e argila. Possui estrutura maciça, preenchendo a porosidade interpartícula e, em alguns casos, os poros intrapartículas de bioclastos (Figura 28). Sua eventual ocorrência sob a forma de menisco é um indicativo de deposição em zona vadosa.

A marga infiltrada constitui, em média, 13,9 % de material constituinte, nas amostras analisadas, com valor máximo de 24,7 %, na amostra 19.

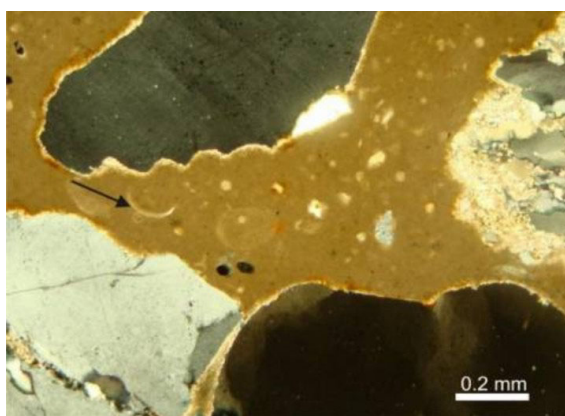


FIGURA 28. Marga infiltrada ocupando espaço poroso com presença de foraminífero planctônico (seta). Amostra 25, PX.

CATODOLUMINESCÊNCIA

De acordo com Amieux et al. (1989), a catodoluminescência demonstrou ser uma ótima ferramenta para interpretar os processos de cimentação dos arenitos de praia da costa de Togo (oeste da África), permitindo o reconhecimento de três estágios diagenéticos. Inicialmente, a calcita magnésiana foi precipitada na zona freática marinha, representada por luminescência intensa, variando de laranja escuro a azul escuro, com hábitos cristalinos de cristais prismáticos e cimento micrítico peloidal. O segundo estágio é marcado com intensa luminescência alaranjada, com cimentos acicular e equante, formados na zona freática de mistura de água doce e salgada. O terceiro estágio de cimentação apresenta estrutura zonada de luminescência de azul escuro e laranja, com cimento esparítico interpretado como típico de zona freática de água doce.

De acordo com os autores acima referidos, o Mn^{2+} é o principal ativador da luminescência, e o ferro o principal inibidor. Sendo estes dois elementos pouco solúveis, em ambientes abertos, os mesmos não podem substituir o carbonato na estrutura de cristais de calcita e aragonita. Por esta razão, de acordo com Major (1991), os cimentos marinhos modernos não são lumi-

nescentes, com exceção de ambientes fechados e ricos em Mn^{2+} . Neumeier (1998) conclui que a não luminescência dos cimentos carbonáticos dos arenitos de praia indica um ambiente de formação bem oxigenado e com importante circulação de fluidos.

Poucas lâminas analisadas apresentaram luminescência. Verificou-se luminescência nas lâminas com agregados pseudo-peloidais e marga infiltrada, nesta última, possivelmente, por apresentar argilominerais com prováveis cátions ativadores em suas composições (Figuras 29 e 30).

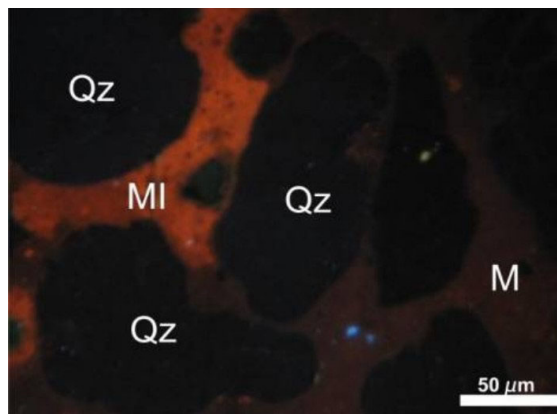


FIGURA 29. Cimento micrítico sem luminescência (M) e marga infiltrada a esquerda da foto (MI), com luminescência laranja escuro. Observar a baixa intensidade do grão de quartzo, com ausência de luminescência. Amostra 22, CL.

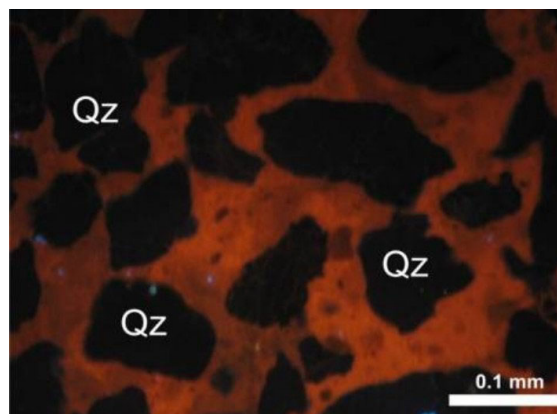


FIGURA 30. Marga infiltrada, com luminescência laranja escuro. Amostra 15, CL.

SEQUÊNCIA DIAGENÉTICA

Várias fases de precipitação da calcita rica em Mg^{2+} foram identificadas nos arenitos de praia estudados, sendo que cada fase possui um ambiente diferente com mecanismo de precipitação própria. Não foi observado um padrão estratigráfico entre as camadas, pois a sequência diagenética varia tanto vertical-

mente, quanto horizontalmente.

O ponto inicial das várias fases distintas do cimento foi a partir da superfície do grão em direção ao espaço poroso. Observam-se sucessivas gerações de texturas, que podem ser sumarizados na Figura 31. Em geral, ocorre como primeiro evento diagenético a precipitação da cutícula criptocristalina, seguido pela primeira geração da franja isópaca. Esta sequência pode repetir-se em inúmeras lâminas. Após a preci-

pitação da franja isópaca, deu-se o preenchimento da porosidade através do cimento equante acompanhado, na maioria das vezes, dos cimentos pseudo-peloidal e fibro-radial. O próximo evento, na maioria das amostras estudadas, foi o preenchimento, por cimento micrítico, o qual pode ser seguido da infiltração de marga, último evento que afetou as rochas estudadas, podendo selar por completo sua porosidade com grãos detriticos e bioclastos depositados sob condições vadasas.

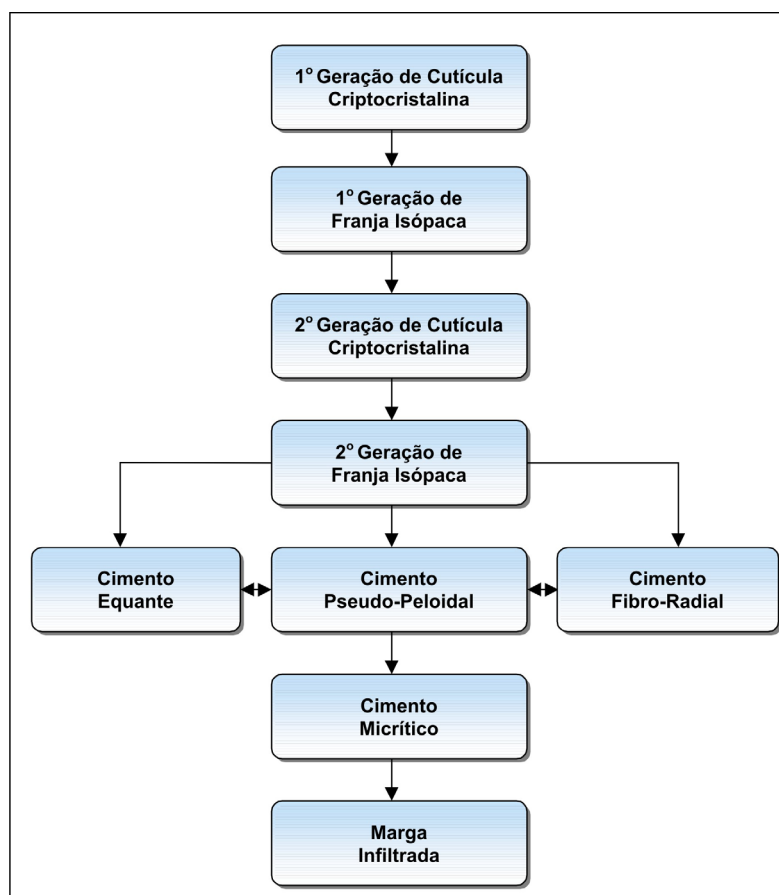


FIGURA 31. Sequência diagenética dos arenitos de praia estudados.

CONCLUSÕES

O estudo petrológico e geoquímico dos arenitos de praia permitiu as seguintes conclusões:

- A litologia dos arenitos de praia estudados é composta, principalmente, de arenito médio a muito grosso e arenito conglomerático, com granocrescência ascendente, em algumas lâminas. Em geral, apresenta grãos de quartzo arredondados, moderadamente selecionados. Estes grãos, em geral, são bastante fraturados e com bordas corroídas, o que evidencia respectivamente a compactação mecânica e a ação de dissolução. A porosidade dominante é do tipo interpartícula, ocorrendo também as do tipo intrapartícula e fratura. Há fraturas abertas, sem preenchimento, e algumas estão preenchidas por calcita.
- O cimento carbonático encontrado nas amostras é constituído da calcita rica em Mg^{2+} que, por si só, já caracteriza um ambiente deposicional sob forte influência marinha, mais especificamente de precipitação na zona de estirâncio, o que é confirmado pelas análises geoquímicas. Contudo, após a fase de litificação que ocorreu na zona de estirâncio, houve uma redução da influência marinha, devido ao influxo de água doce, em um ambiente meteórico vadoso. Os arenitos de praia apresentam, predominantemente, ausência de catodolu-

minescência, indicando que sua cimentação ocorreu sob condições oxidantes.

- c) Foram identificadas 6 morfologias do cimento carbonático. As principais formas foram: (i) cutícula criptocristalina; (ii) franja prismática isópaca; (iii) agregados pseudo-peloidais; (iv) agregados fibro-radiais; (v) cimento micrítico; e (vi) cimento equante. Além destas fases cimentantes, identificou-se marga infiltrada.
- d) Em geral, ocorre como primeiro evento diagenético a precipitação da cutícula criptocristalina, seguido pela primeira geração da franja isópaca. Após a precipitação da franja isópaca, há o preenchimento da porosidade, através do cimento equante acompanhado, na maioria das vezes, dos cimentos pseudo-peloidal e fibro-radial. O próximo evento foi o preenchimento por cimento micrítico, o qual pode ser seguido da infiltração de marga, último evento que afetou as rochas estudadas, podendo

selar por completo sua porosidade com grãos detríticos e bioclastos, depositados sob condições vadasas. Entretanto, estas feições diagenéticas não ocorrem de forma regular e homogênea, nas amostras analisadas. Mudanças de parâmetros químicos diferenciam o processo de diagênese dos arenitos estudados, durante a sua fase de litificação.

O litoral do nordeste brasileiro possui características que possibilitam a formação de arenitos de praia, tais como: supersaturação de CaCO_3 , temperatura da água elevada e regime mesomare que gera um ciclo de ambiente seco e úmido e que favorece a precipitação de carbonato de cálcio. A ausência de estruturas orgânicas sugere que o mecanismo por trás da cimentação dos *beachrocks* é essencialmente inorgânico, muito provavelmente através da evaporação de água do mar aprisionada nos poros, mecanismo este apontado por Scoffin (1970) como principal responsável pela cimentação dos arenitos de praia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES/DAAD pela bolsa de pesquisa concedida ao primeiro autor. Ao financiamento da FINEP através do Projeto Monitoramento Ambiental - Avaliação dos processos de erosão costeira nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEXANDERSSON, T. Intergranular growth of marine aragonite and Mg calcite: evidence of precipitation from supersaturated sea-water. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 42, p. 441-460, 1972.
2. AMARAL, R.F. **Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa**. Porto Alegre, 2000. 252 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
3. AMIEUX, P.; BERNIER, P.; DALONGEVILLE, R.; MEDWECKI, V. Cathodoluminescence of carbonate-cemented Holocene beachrock from the Togo coastline (West Africa): an approach to early diagenesis. **Sedimentary Geology**, v. 65, p. 261-272, 1989.
4. ANDRADE, G.O. **Itamaracá: contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana**. Recife: Imprensa Oficial do Estado de Pernambuco, 84 p., 1955.
5. BATHURST, R.G.C. Marine diagenesis of shallow water calcium carbonate sediments. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 2, p. 257-274, 1974.
6. BEIER, J.A. Diagenesis of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 55, p. 755-761, 1985.
7. BEZERRA, F.H.R.; AMARAL, R.F.; LIMA-FILHO, F.P.; FERREIRA JR., A.V.; SENA, E.S.; DINIZ, R.F. Beachrock fracturing in Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 169-182, 2005.
8. BEZERRA, F.H.R.; LIMA-FILHO, F.P.; AMARAL, R.F.; CALDAS, L.H.O.; COSTA-NETO, L.X. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWART, I.S. & VITA-FINZI, C. (Coords.), **Coastal Tectonics**. Geological Society, Special Publications, v. 146, p. 279-293, 1998.
9. BIGARELLA, J.J. Reef sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE O QUATERNÁRIO, 1, 1975, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1975, p. 395-410.
10. BRANNER, J.C. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter of the coral reefs. **Harvard College Museum Comparative Zoology Bulletin**, v. 44, p. 1-285, 1904.
11. CALDAS, L.H.O.; STATTEGGER, K.; VITAL, H. Holocene sea-level history: evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. **Marine Geology**, v. 228, p. 39-53, 2006.
12. COUTINHO, P.N. & FARIAS, C.C. Contribuição à origem dos recifes do Nordeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, 1979, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia / Núcleo Nordeste, 1979, p. 236-240.
13. DAVIES, P.J. & KINSEY, D.W. Organic and inorganic factors in recent beach rock formation, Heron Island, Great Barrier Reef. **Journal Sedimentology Petrology**, v. 43, p. 59-81, 1973.
14. DARWIN, C. On a remarkable bar of sandstone of Pernambuco on the coast of Brazil. London: **Magazin & Journal Sciences**, p. 257-261, 1841.
15. EL-SAYED, M.K. Beachrock cementation in Alexandria, Egypt. **Marine Geology**, v. 80, p. 29-35, 1988.
16. FERREIRA, Y.A. Recifes de arenito de Salvador, Bahia. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 41, p. 542-548, 1969.
17. FERREIRA JUNIOR, A.V. **Mapeamento da zona costeira protegida por arenitos de praia (beachrocks) em Nísia floresta – RN**. Natal, 2005. 91 p. Dissertação (de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

18. FONT, Y. & CALVET, F. Beachrocks Holocenos de la Isla de la Reunión, Océano Índico. **Cuadernos de Geología Ibérica**, v. 22, p. 81-102, 1997.
19. FRIEDMAN, G.M. Rapidity of marine carbonate cementation – implications for carbonate diagenesis and sequence stratigraphy: perspective. **Sedimentary Geology**, v. 119, p. 1-4, 1998.
20. GINSBURG, R.N. & JAMES, N.P. Beach rock in South Florida. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 23, p. 85-92, 1953.
21. GISCHLER, E. & LOMANDO, A.J. Holocene cemented beach deposits in Belize. **Sedimentary Geology**, v. 110, p. 277-297, 1997.
22. GUERRA, N.C. Mecanismo de sedimentação em sedimentos marinhos recentes, exemplos beachrocks do litoral pernambucano. Rio Claro, 2000. 194 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
23. GUERRA, N.C.; CHANG, H.K.; SIAL, A.N. Carbonate cements in contemporaneous beachrocks, Jaguaribe beach, Itamaracá island, northeastern Brazil: petrographic, geochemical and isotopic aspects. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, p. 343-352, 2005.
24. JAMES, N.P. & GINSBURG, R.N. The seaward margin of Belize barrier and atoll reefs. **International Association of Sedimentology**, Special publication 3, 179 p., 1979.
25. JONES, B.; ROSSEN, M.R.; RENAULT, R.W. Silica-cemented beachrock from lake Taupo, North Island, New Zealand. **Journal of Sedimentary Research**, v. 67, p. 805-814, 1997.
26. KAHN, J.S. The analysis and distribution of the properties of packing in sand-size sediments. 1. On the measurement of packing in sandstones. **Journal of Geology**, v. 64, p. 385-395, 1956.
27. KNEALE, D. & VILES, H.A. Beach cement: incipient CaCO₃-cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland. **Marine Geology**, v. 132, p. 165-170, 2000.
28. KOMAR, P.D. **Beach process and sedimentation**. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 417 p., 1976.
29. LONGMAN, M.W. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic Environments. **AAPG Bulletin**, v. 64, p. 461-487, 1980.
30. MABESOONE, J.M. Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil). **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 34, p. 715-726, 1964.
31. MAJOR, R.P. Cathodoluminescence in post-Miocene carbonates. In: BARKER, C.E. & KOPP, O.C. (Eds.), **Luminescence microscopy and spectroscopy: Qualitative and quantitative applications**. SEPM Short Course, v. 25, p. 149-153, 1991.
32. MAXWELL, W.G.H. Lithification of carbonate sediments in the Heron Island Reef, Great Barrier. **Reef. Journal Geology Society Australia**, v. 8, p. 217-238, 1962.
33. MEYERS, J.H. Marine vadose beachrock cementation by cryptocrystalline magnesian calcite- Maui, Hawaii. **Journal of Sedimentary Petrology**, p. 57, v. 558-570, 1987.
34. MILLIMAN, J.D. **Marine Carbonates: Recent sedimentary carbonates**. Berlin: Springer Verlag, 379 p., 1974.
35. MOORE, C.H. JR. Intertidal carbonate cementation, Grand Cayman, West Indies. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 43, p. 591-602, 1973.
36. MORAIS, J.O. Contribuição ao estudo dos “beachrocks” do nordeste do Brasil. **Trabalhos Oceanográficos**, v. 9, p. 79-94, 1967.
37. NEUMEIER, U. **Le rôle de l'activité microbienne dans la cimentation précoce des beachrocks (sédiments intertidaux)**. Geneva, 1998. 183 p. PhD (Thesis) – University of Geneva.
38. OMOTO, K. Radiocarbon ages of beach rocks and late Holocene sea-level changes in the southern part of the Nansei Island, Southwest of Japan. **Radiocarbon**, v. 43, p. 887-898, 2001.
39. REY, D.; RUBIO, B.; BERNABEU, A.M.; VILAS, F. Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex (Ria de Arousa, Galicia, NW Spain). **Sedimentary Geology**, v. 169, p. 93-105, 2004.
40. RUSSELL, R.J. Caribbean beachrock. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 3, p. 227-236, 1959.
41. RUSSELL, R.J. Origin of beachrock. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 6, p. 1-16, 1962.
42. SCHROEDER, J.H. Carbonate diagenesis in Quaternary beachrock of Uyombo, Kenya: sequence of processes and coexistence of heterogenic products. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 68, n. 3, p. 894-919, 1979.
43. SCOFFIN, T.P. A conglomeratic beachrock at Bimini, Bahamas. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 40, p. 756-758, 1970.
44. SPURGEON, D.; DAVIS, J.R.A.; SHINN, E.A. Formation of beach rock at Siesta Key, Florida and its influence on barrier island development. **Marine Geology**, v. 200, p. 19-29, 2003.
45. STODDART, D.R. & CANN, J.R. Nature and origin of beachrock. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 35, p. 243-247, 1965.
46. STRASSER, A. & STROHMENGER, C. Early diagenesis in Pleistocene coral reefs, southern Sinai, Egypt: response to tectonics, sea level and climate. **Sedimentology**, v. 44, p. 537-558, 1997.
47. STRASSER, A.; DAVAUD, E.; JEDOUI, Y. Carbonate cement in Holocene beachrock: example from Bahiret el Biban, southeastern Tunisia. **Sedimentary Geology**, v. 62, p. 89-100, 1989.
48. VANANDEL, T.H. & LABOREL, J. Recent high relative sea level stand near Recife, Brazil. **Reprinted from Science**, v. 3632, p. 580-581, 1964.
49. VIEIRA, M.M. & ROS, L.M. Cementation patterns and genetic implications of Holocene beachrocks from northeastern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 192, p. 207-230, 2006.
50. VIEIRA, M.M.; ROS, L.M.; BEZERRA, F.H.R. Lithofaciology and palaeoenvironmental analysis of Holocene beachrocks in northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 23, p. 1535-1548, 2007.
51. VOUSDOKAS, M.; VELEGRAKIS, A.; PLOMARITIS, T. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth-Science Reviews**, v. 85, p. 23-46, 2007.
52. WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 30, p. 377-392, 1922.

*Manuscripto Recebido em: 17 de janeiro de 2010
Revisado e Aceito em: 12 de maio de 2011*