

ANÁLISE FACIOLÓGICA, PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DE UM TESTEMUNHO DE ROCHA DE PRAIA EM JABOATÃO DOS GUARARAPES-PE

Bárbara Carla Ehrhardt Paes¹
Antônio Vicente Ferreira Jr¹
Virgínio Henrique Neumann²

DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n1p66-80

1-Departamento de Oceanografia UFPE .babiepaes@gmail.com,
ferreirajr_av@hotmail.com

2-Departamento de Geologia–UFPE. neumann@ufpe.br

RESUMO

O estudo tem por objetivo compreender o processo de formação das rochas de praia durante o Holoceno, por meio de descrição de seção colunar, petrografia e geoquímica de um testemunho de sondagem localizado a 5,43m de profundidade em relação ao nível médio do mar atual na Praia de Piedade, situada no município de Jaboatão dos Guararapes- PE, e a 143m de distância da linha de costa em direção ao continente. No testemunho, quatro litofácies foram identificadas apresentando características faciológicas distintas a partir da mudança de granulometria e estrutura sedimentar. A petrografia sugere que as rochas de praia apresentam 71,49% do arcabouço composto por grãos de quartzo, com valores variando de 58,91% a 66,78% para o quartzo do tipo monocristalino e de 2,18% a 18% para o quartzo do tipo policristalino, e que o cimento carbonático (13,5%) é constituído em grande parte por calcita altamente magnesiânica. A calcita altamente magnesiânica foi encontrada nas formas de franjas isópacas (4,15% a 11,95%), cimento micrítico (0,60% a 6,42%) e cimento equante (0,26% a 7,01%) em dez amostras, indicando precipitação em ambiente marinho com influência de água doce. Na análise geoquímica, os elementos químicos SiO₂ (clastos terrígenos) e o CaO (carbonatos biogênicos) apresentam maior significância em dez amostras selecionadas, com porcentagem entre 38,4% e 71% para SiO₂ e entre 20,5% e 51,4% para CaO. Desse modo, as descrições de seção colunar e dados de petrografia caracterizam a deposição dos sedimentos das rochas de praia em ambiente marinho raso e, as concentrações dos elementos químicos estão relacionadas com a entrada de sedimentos marinhos (↑CaO(%)) e a entrada de sedimentos terrígenos (de praia) (↑ SiO₂(%)) ao longo do testemunho, indicando variações do nível do mar durante o Holoceno na Praia de Piedade.

Palavras chave: Testemunho, cimento, ambiente marinho, nível do mar, Praia de Piedade

ABSTRACT

The aim of this work is to understand the beachrocks formation processes during the Holocene through the description of column section, petrography and geochemistry of a core located 5.43m deep relative to the average present-day sea level at Piedade Beach, situated in Jaboatão dos Guararapes-PE municipality and at 143m away from the shoreline towards the mainland. On the core, four lithofacies were identified presenting different facies characteristics from the change in grain size and sedimentary structure. Depositions processes occurred in grains texture of beachrocks sediments ranging from

medium sand to very thick. Petrography suggests that the beachrocks have 71.49% of framework composed by quartz grains, with values ranging from 58.91% to 66.78% for monocrystalline quartz and from 2.18% to 18% for polycrystalline quartz, and the carbonate cement (13.52%) consists largely of high magnesium calcite. High magnesium calcite was found in the forms of isopach fringes (4.15% to 11.95%), micritic (0.60% to 6.42%) and equant cements (2.18% to 66.78%) in ten samples indicating precipitation in a marine environment with freshwater influence. In geochemistry analysis, the chemical elements SiO₂ (terrigenous clasts) and CaO (biogenic carbonates) have greater significance in ten selected samples with percentage between 38.4% and 71.0% for SiO₂ and between 20.5% and 51.4% for CaO. Thus, the column section descriptions and petrography data characterize beachrock sediments deposition in shallow marine environment and, the chemical elements concentrations are related with marine sediment input (↑CaO(%)) and beach sediment input (↑SiO₂(%)) along the core indicating sea level variations during Holocene in Piedade Beach.

Keywords : Core, cement, marine environment, sea level, Piedade Beach

INTRODUÇÃO

Rochas de praia, também denominadas *beachrocks*, consistem em rochas sedimentares formadas a partir de precipitação de carbonato de cálcio, formando a matriz que une os grãos (Turner, 2005). Localizam-se paralelamente à linha de costa, na forma de faixas lineares separadas por meio de depressões de lama e/ou areia, sendo encontrados emersos ou submersos. Situam-se tanto em regiões tropicais, subtropicais, como temperadas e frias, onde, de acordo com estudo realizado por Danjo e Kawasaki (2014), mais de 90% das rochas de praia se localizam entre as latitudes de 40°N e o Trópico de Capricórnio.

No Brasil, arenitos de praia são encontrados na zona de estirâncio e plataforma rasa desde o estado do Ceará até o litoral norte do estado de São Paulo, sendo descritos na forma submersa no estado do Paraná (Simioni *et al.*, 2011). Na região do Nordeste, o primeiro estudo desses depósitos foi realizado por Darwin (1841) que os identificou como arenitos calcíferos com fragmentos de conchas e raros seixos, sendo de acordo com Branner (1904) representativos de antigas linhas

de praia consolidadas por carbonato de cálcio.

Rochas de praia constituem sedimentos litificados na zona de antepraia, que posteriormente sofreram processo de cimentação, onde a litificação dos sedimentos ainda não é perfeitamente conhecida, podendo ocorrer devido a processos como percolação e litificação em profundidade, evaporação da água e aquecimento na superfície, mistura de água doce e salgada e atividade metabólica por algas ou bactérias (Coutinho & Farias, 1979). Segundo Voutsdoukas *et al.* (2007), através do tipo de agente cimentante é possível estudar a origem dos carbonatos costeiros, e, de acordo com Alliot *et al.* (2009), hipóteses existentes relaciona-das à origem do cimento das rochas de praia envolvem a precipitação do carbonato proveniente da água marinha, assim como a circulação de água subterrânea.

Muitos processos de cimentação em carbonatos ocorrem em profundidades rasas, em ambientes diagenéticos equivalentes às zonas freática marinha, vadosa meteórica, freática meteórica, ou zona de mistura

(Longman, 1980), sendo, portanto, a origem dos carbonatos determinada a partir das condições químicas da água durante o processo de precipitação do documento. No Nordeste do Brasil, por meio do contato das águas do lençol freático com as águas salgadas, o carbonato existente nas areias é dissolvido e posteriormente precipitado na forma de calcita (Mabesoone, 1964). Em Pernambuco o arcabouço das rochas de praia é composto, em sua maioria, por grãos detríticos de quartzo, apresentando também feldspato, minerais pesados e bioclastos, e o cimento carbonático constituído por calcita altamente magnesiana.

As rochas de praia proporcionam o registro de mudanças climáticas e oceanográficas ocorridas em áreas costeiras (Erginal *et al.*, 2013). Os intervalos de transição existentes na sequência estratigráfica destes corpos, caracterizados pela mudança na composição e granulometria de seus sedimentos estão relacionados com flutuações do nível do mar, sendo estes corpos, portanto, de fundamental importância para a compreensão da evolução holocênica de uma determinada região. Também protegem a costa do efeito de ondas (Manso *et al.*, 1995), sendo importantes agentes contra a erosão marinha.

Com a finalidade de investigar a evolução holocênica dos arenitos de praia em Pernambuco, foram realizadas nesta pesquisa, descrição das litofácies da seção colunar do testemunho de sondagem da Praia de Piedade, assim como análises petrográficas e de elementos químicos, onde, interpretando os dados provenientes de cada etapa, foi possível compreender o processo diagenético envolvido na formação dos arenitos de praia e, consequentemente, sua origem.

ÁREA DE ESTUDO

A Praia de Piedade localiza-se na cidade de Jaboatão dos Guararapes, no litoral do Estado de Pernambuco (Fig.1), limitando-se ao sul com o Município de Cabo de Santo Agostinho, com 5,6 km de extensão de linha de costa. A área de estudo apresenta temperatura média anual em torno de 27°C e pluviosidade aproximada de 2.000 mm/ano, distribuídos de modo desigual entre os períodos seco e chuvoso (Mallmann *et al.*, 2014).

As águas da costa litorânea pernambucana apresentam os maiores valores de salinidade no período de setembro a fevereiro, atingindo valores de 32,2 a 36 de março a agosto (Cavalcanti & Kempf, 1969). Na plataforma continental, as águas superficiais apresentam uma variação de 27 a 29°C, onde, da superfície até a profundidade de 50 m, a temperatura é constante, iniciando-se um decréscimo a partir de 60 a 75m, que coincide com a borda da plataforma continental e início da termoclina (Coutinho *et al.*, 1997).

Na costa pernambucana, os ventos alísios atuantes surgem principalmente da direção E-SE entre abril e setembro, e da direção N-NE, no período de outubro a março, apresentando maior intensidade nos meses de agosto e setembro (Coutinho *et al.*, 1997). As correntes litorâneas existentes na Praia de Piedade são pouco intensas, sendo significativas quando próximas a foz do Rio Jaboatão (Rollnic, 2002).

O regime de marés característico da região equivale a mesomarés, com amplitude entre 2 e 4m, e marés semidiurnas cujo período médio é de 12,42 horas, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar (Knoppers *et al.*, 2002). Durante esse fenômeno arenitos de praia podem encontrar-se emersos ou submersos, dependendo da maré atuante. Os valores representativos da altura da maré são 2,4m para sizígia máxima; 2,1m para sizígia mínima, 1,1m para a maré

intermediária e 0,7m para a maré de quadratura (Manso *et al.*,1995).

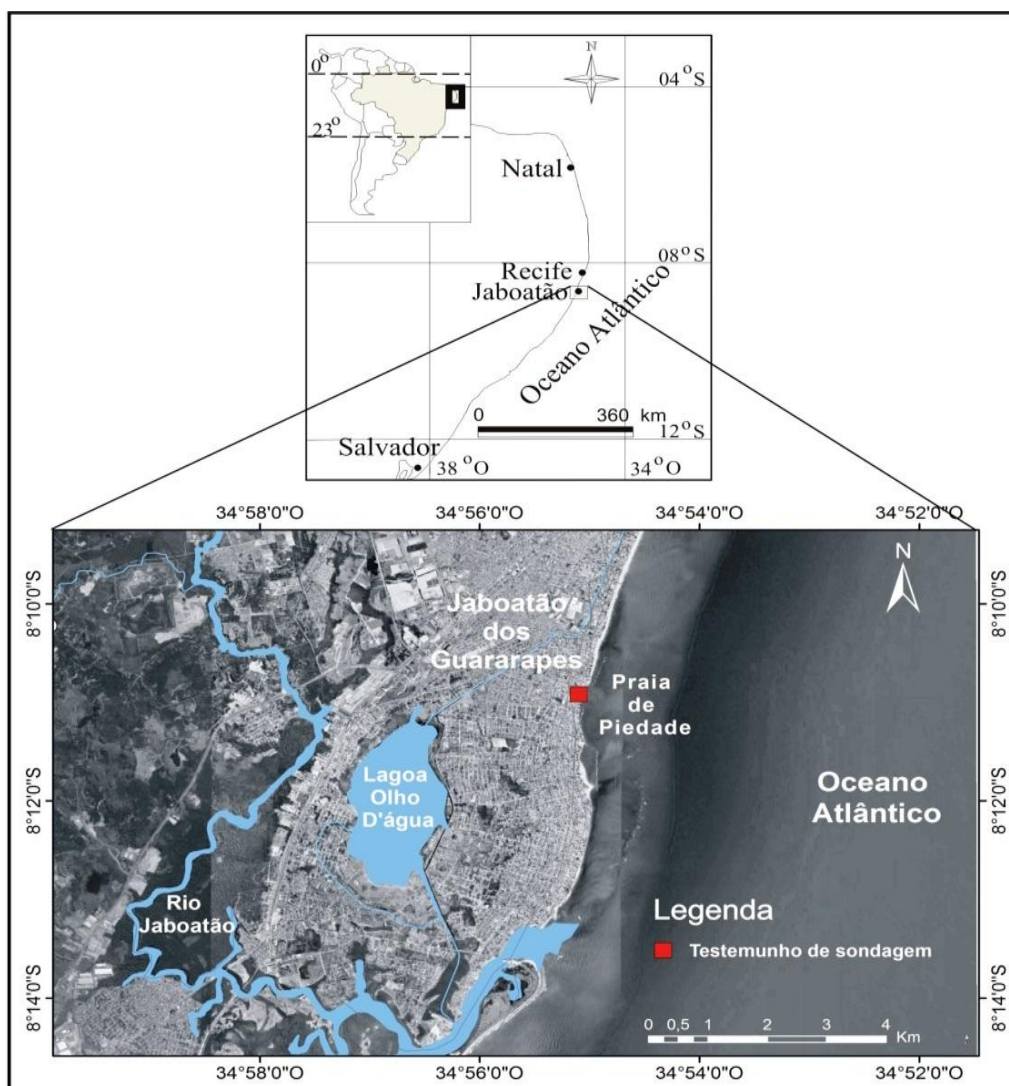


Figura 1 – Localização da área de estudo com testemunho de sondagem localizado na Praia de Piedade, município de Jaboatão dos Guararapes/PE (Fonte: Google Earth 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado um testemunho de sondagem situado a 143m de distância da linha de costa, em direção ao continente, na praia de Piedade no município de Jaboatão dos Guararapes. O testemunho estudado foi concedido pela empresa Ensolo, com comprimento de 2,60m e localizado na Avenida Bernardo Vieira de Melo 3258 com latitude de 8° 11'0''S e longitude de 34°55'0''O.

Foi realizada em campo a medição da profundidade do

testemunho de sonda-gem em relação ao nível médio do mar atual, utilizando uma base RN como referência. O marco utilizado em relação ao testemunho localizou-se a 5,43m acima do nível do mar atual, com distância entre o marco do RN e o topo do testemunho de 1,68m.

O topo do testemunho apresentou distância de 3,75m em relação ao solo e de 6,35m na base. Ajustando as respectivas distâncias com o marco do RN, o topo apresentou

10,10m de profundidade e a base 11,58m, em relação ao nível do mar atual.

Para descrever os processos de diagênese envolvidos na litificação dos arenitos de praia foi necessário o auxílio da petrografia, responsável por indicar, a partir de um microscópio petrográfico, os tipos de cimentos existentes em dez amostras selecionadas de testemunho da praia de Piedade, sendo as mesmas separadas a cada 0,20m.

A porosidade foi estimada durante as descrições das lâminas delgadas utilizando as classificações sugeridas por Flügel, 1982 e Choquette and Pray, 1970.

A etapa da geoquímica compreendeu análise de elementos químicos por fluorescência de raios-X, com amostragens a cada 0,10m. As dez amostras selecionadas contendo cada uma 6g em forma de pó foram secadas em estufa a 100°C. Uma porção de amostra seca foi levada a uma mufla a 1000°C por 2 horas para combustão. Outra porção de amostra seca foi colocada em cápsula de alumínio e prensada em prensa hidráulica com 25 toneladas de força, sendo feita na pastilha prensada, análise química semiquantitativa de elementos pesados e de alguns leves.

Por medida de correção, após a obtenção do resultado da varredura introduziu-se o valor da perda pela combustão e então os valores foram recalculados para 100%. As análises químicas foram realizadas usando-se um espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo RIX 3000, equipado com tubo de Rh e 6 cristais

analísadores e os resultados expressos em peso (%)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Descrição das litofácies

Quatro litofácies foram identificadas no estudo das amostras do testemunho das rochas de praia, cada uma apresentando características faciológicas distintas a partir da mudança de granulação e estrutura sedimentar, sendo as mesmas descritas da base para o topo do testemunho, apresentando um total de 19 amostras (Fig. 2).

A litofácies 1 é encontrada na base do testemunho, no intervalo de profundidade entre 6,35m e 5,95m, apresentando espessura de 0,40m. Trata-se de um arenito maciço composto por areia média e bioclastos. Caracterizada pelas amostras 1,2,3,4 de profundidades equivalentes à 6,25m, 6,15m, 6,05m e 5,95m, respectivamente. Os grãos de areia média, quanto ao arredondamento, classificam-se como muito angulosos, apresentando baixa esfericidade. A estrutura maciça do arenito indica ambiente de baixa energia. Arenitos maciços também foram descritos por Vieira *et al.* (2007) em litofácies existentes na base e topo de seções litológicas descritas no Rio Grande do Norte, com arenito do tipo médio, sendo de mal a bem selecionado, com grãos arredondados a subarredondados, onde os mesmos quando situados na base apresentam elevado grau de friabilidade devido ao maior contato da água marinha com o fundo.

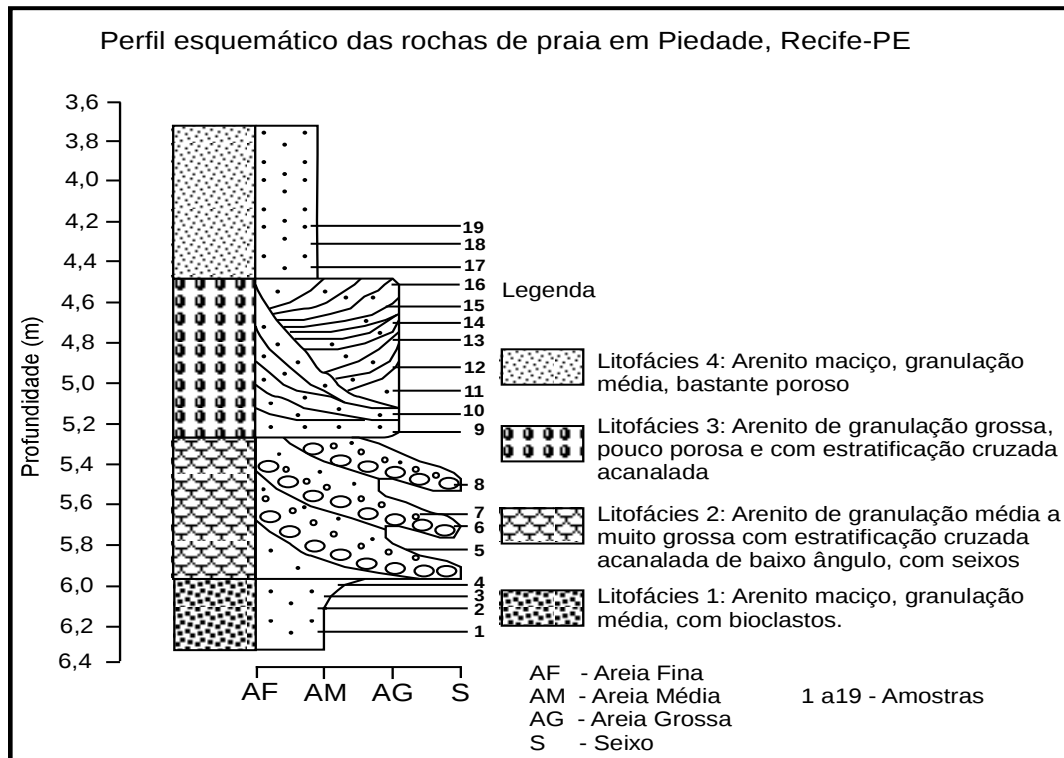


Figura 2 – Intervalo de profundidade do testemunho e descrição das quatro litofácies a partir da mudança na granulometria dos sedimentos e presença ou ausência de estrutura sedimentar.

A litofácies 2 é encontrada no testemunho no intervalo de profundidade entre 5,95m e 5,28m e espessura de 0,67m, constituída por arenito médio a muito grosso com estratificação cruzada acanalada, indicando deposição na zona de estirâncio, parte da praia onde há uma zona de mistura de águas do mar e as que minam do continente. Caracterizada pelas amostras 5,6,7,8 de profundidades equivalentes à 5,85m, 5,75 m, 5,65m e 5,55m, respectivamente. A predominância da granulação areia grossa e presença de seixos pode sugerir ambiente de alta energia, com grãos variando de angulosos a muito angulosos (areia média), podendo ser também arredondados a bem arredondados (seixos), apresentando alta esfericidade. Arenitos de estratificação cruzada de baixo ângulo foram descritos por Mansur et.al (2011), no Rio de Janeiro, sendo caracterizados pela alternância de lâminas e de camadas de

areia grossa a muito grossa e de areia média, com presença de conchas abundantes de bivalves, fragmentadas e de grânulos e seixos de quartzo arredondados a subarredondados. De acordo com os mesmos autores, o mergulho da estratificação em relação ao mar, bem como a boa seleção dos sedimentos, o elevado arredondamento das partículas e a predominância da fração areia grossa, sugerem deposição na face de praia.

A litofácies 3 está situada no testemunho, no intervalo entre 5,28m e 4,5 m, apresentando espessura de 0,78m, composta por arenito grosso, pouco poroso e presença de estratificação cruzada acanalada. Caracterizada pelas amostras 9,10,11,12,13,14,15,16 de profundidades equivalentes à 5,25m, 5,15m, 5,05m, 4,90 m, 4,80m, 4,70m, 4,60m e 4,50m, respectivamente. A textura grossa dos grãos dos sedimentos de arenito indica ambiente de alta energia,

sendo os grãos muito angulosos e de baixa esfericidade e a pouca porosidade existente. Vieira *et al.*(2007) interpreta a presença de estratificação cruzada acanalada em litofácies no Rio Grande do Norte como resultado de deposição a partir do rolamento durante a migração de marcas sinuosas unidirecionais e onduladas com crista em canais. Essa estrutura sedimentar representa deposição na face litorânea superior (Bezerra *et al.*,2005).

A litofácies 4 é encontrada no intervalo entre 4,5m e 3,75m do testemunho, apresentando espessura de 0,75m. Trata-se de um arenito composto por areia grossa com porosidade média. Caracterizada pelas amostras 17,18,19 de profundidades equivalentes à 4,40m,

4,30m e 4,20m, respectivamente. A textura dos grãos dos sedimentos indica ambiente de alta energia com grãos muito angulosos e de baixa esfericidade. Vieira *et. al* (2007) associam a existência de arenitos maciços no topo do testemunho, com características erosivas evidentes no arenito de praia decorrentes de parâmetros físico-químicos e das atividades de organismos como bioerosão, bioturbação e endurecimento de algas.

A partir da descrição das quatro litofácies do testemunho em relação à sua composição e presença ou ausência de estruturas sedimentares, é possível realizar interpretações quanto ao ambiente e processo de deposição (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição de cada litofácies do testemunho e interpretação dos respectivos ambientes ou processos de deposição.

Litofácies	Descrição	Interpretação
4	Arenito maciço grosso com porosidade	Rápido processo de deposição
3	Arenito grosso com pouca porosidade e estratificação cruzada acanalada	Deposição na face litorânea superior
2	Arenito médio a muito grosso com estratificação cruzada de baixo ângulo e presença de seixos	Deposição na face de praia ou estirâncio
1	Arenito maciço médio com presença de bioclastos	Rápido processo de deposição

Petrografia

A partir do estudo petrográfico foi possível identificar os tipos de cimentos existentes nas rochas de praia e, assim, interpretar a respeito do ambiente e condições em que foram formadas. A análise petrográfica realizada em seções delgadas revelou que as rochas de praia apresentam 71,49% do arcabouço constituído por grãos de quartzo, predominando o tipo monocrystalino

(mínimo de 58,91% e máximo de 66,78%) e, em menor quantidade, o tipo policristalino (mínimo de 2,18% e máximo de 18%), com contato pontual dos grãos, ou seja, com contatos tangenciais entre os grãos, indicando baixo grau de compactação mecânica (Fig. 3).

Outros elementos, além do quartzo, também foram quantificados nessa análise, com valores em porcentagem (Tabela 2).

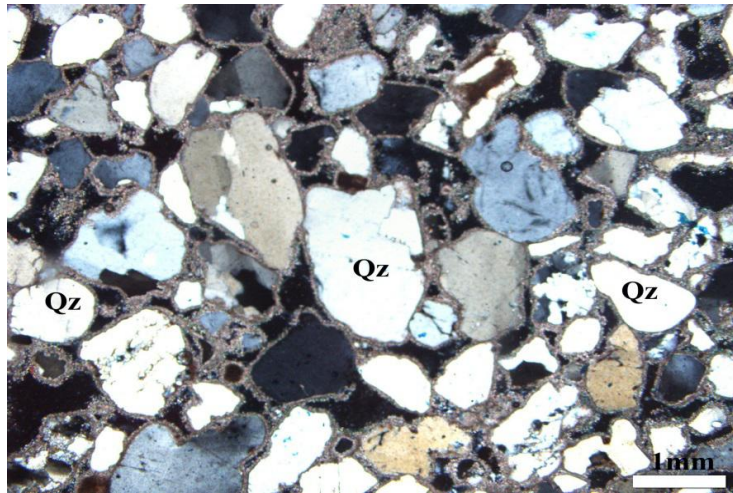


Figura 3– Microfotografia mostrando o aspecto geral da lâmina e indicando grãos de quartzo (Qz) monocristalinos no arcabouço (AM- 1) e a baixa compactação mecânica.

Tabela 2 - Valores percentuais da análise petrográfica dos arenitos de praia de elementos como quartzos, feldspatos, minerais pesados, bioclastos, cimento de óxidos/hidróxidos de ferro e porosidade nas amostras estudadas.

Amostras	Quartzo monocr.	Quartzo polícr.	Feldspatos	Min. Pesados	Bioclastos	Cimento	Óxido de Ferro	Porosi dade
AM – 1	64,14	2,18	-	0,52	5,35	11,93	-	15,88
AM – 2	66,78	9,02	1,31	-	7,32	8,18	-	7,39
AM – 3	60,70	9,99	-	0,82	1,63	16,83	0,57	9,46
AM – 4	61,49	10,07	1,18	6,87	1,78	12,81	-	5,80
AM - 5	62,97	8,97	1,58	0,74	3,87	17,91	-	3,96
AM - 6	58,91	5,32	-	-	8,59	20,11	0,31	6,76
AM – 7	60,21	9,24	0,70	-	5,73	12,11	-	12,01
AM - 8	61,41	18,00	2,00	-	3,98	9,24	-	5,37
AM – 9	63,76	4,13	4,13	-	2,65	12,06	0,24	13,03
AM - 10	61,14	16,57	-	0,34	4,10	13,95	0,14	3,76

Observou-se baixa concentração de feldspato do tipo plagioclásio, variando de 0,70% a 4,13% em seis das amostras selecionadas e também baixa concentração de minerais pesados em cinco das amostras, variando de 0,34% a 6,87%. Os bioclastos foram encontrados em todas as lâminas petrográficas, com porcentagem no

arcabouço variando de 1,63% a 8,59%, sendo eles constituídos por bivalves, foraminíferos, gastrópodes, algas vermelhas, entre outros. Óxido/hidróxido de ferro foi encontrado apenas em quatro lâminas apresentando menor concentração comparado com os demais elementos, variando de 0,14% a 0,57%. A porosidade dominante no arcabouço é do tipo interpartícula

(mínimo de 3,76% e máximo de 15,88%) (Tabela 2).

Três tipos de cimentos foram identificados nas lâminas (Tabela 3), sendo esses equivalentes ao cimento

micrítico e à franja isópaca (Fig. 4) e cristal equante (Fig. 5), com cimento carbonático composto predominantemente por calcita altamente magnesiânica.

Tabela 3 - Distribuição do material diagenético corresponde aos cimentos FPI (Franja Prismática Isopáquica), CM (Cimento Micrítico) e CE (Cristal Equante) observados ao longo das dez amostras analisadas em %.

Amostras	FPI	CM	CE
AM - 1	4,89	3,29	2,65
AM - 2	7,32	0,60	0,26
AM - 3	6,85	6,42	3,02
AM - 4	4,15	2,96	5,70
AM - 5	9,90	1,60	6,41
AM - 6	11,95	1,39	6,77
AM - 7	6,60	0,83	4,68
AM - 8	6,36	1,29	1,59
AM - 9	7,52	1,33	3,21
AM - 10	5,50	1,44	7,01

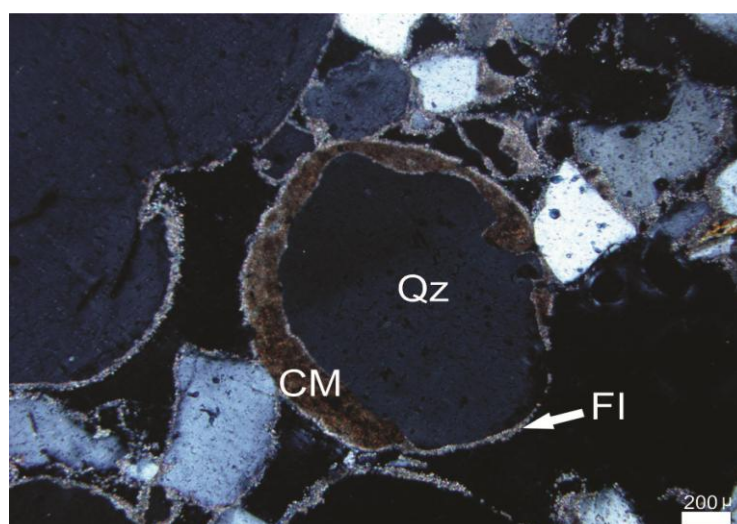


Figura 4—Microfotografia mostrando franja isopáquica (FI) e cimento micrítico (CM) ao redor do grão de Qz.

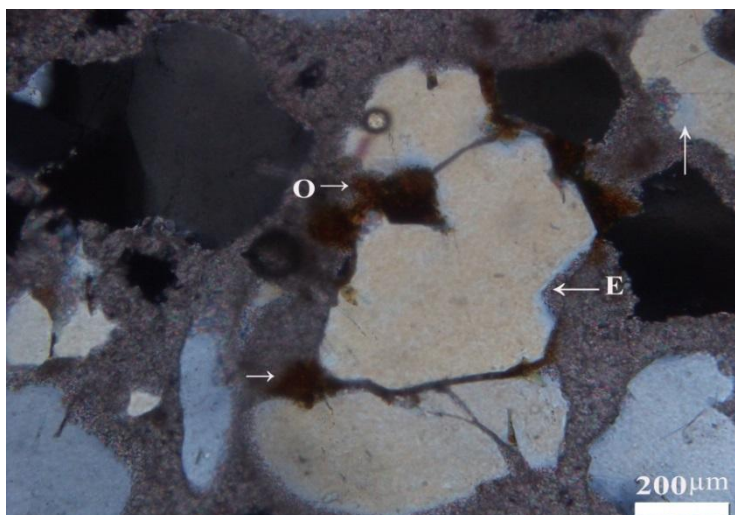


Figura 5 - Em destaque, cristal equante (E) preenchendo os espaços porosos entre os grãos de quartzo e óxido de ferro (O) (AM-6).

A franja prismática isopáquica apresentou variação de 4,89% a 11,95% nas lâminas analisadas, constituindo o cimento mais abundante em cada amostra. De acordo com Longman (1980), esse tipo de cimento é gerado na zona freática marinha. Compreende um dos principais cimentos marinhos e apresenta geralmente comprimento máximo de 60μm, sendo composto de prismas alongados perpendiculares à superfície do grão, ocupando grande parte dos espaços interpartícula.

O cimento micrítico, equivalente à calcita magnesiana micrítica, também considerado um dos principais cimentos marinhos, frequente em arenitos de praia, apresentou variação de 0,60% a 6,42%. De acordo com Erginal *et al.* (2010) sua presença indica condições meteóricas ricas em carbonato, a partir da mistura de águas marinhas e meteóricas que ocasionam a precipitação do cimento.

O cimento equante variou de 0,26% a 6,77% nas amostras analisadas nesse estudo. Conforme Longman (1980), esse tipo de cimento indica precipitação em um ambiente marinho vadoso quando o mesmo for responsável pela formação de calcita altamente magnesiana. Consiste em

cimento composto por agregados de cristais de calcita responsáveis pelo preenchimento completo da porosidade, com tamanho variando de microcristalino a mesocristalino.

Nesse estudo realizado na Praia de Piedade, tendo como referência os tipos de cimentos encontrados nos arenitos de praia e suas respectivas porcentagens, acredita-se que os mesmos foram formados em ambiente marinho raso com influência de água doce.

Elementos químicos

A distribuição de elementos em sedimentos marinhos pode ser utilizada como um indicador de condições químicas em antigos ambientes deposicionais, sendo a geoquímica dos sedimentos relacionada com a sua respectiva textura e mineralogia (Ward *et al.*, 1995).

Dos vários elementos existentes utilizados para distinguir litofácies, neste trabalho, o SiO₂ e o CaO apresentaram maior significância nas dez amostras selecionadas (amostras 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 e 19), com porcentagem que variam

entre 38,4 e 71% para SiO₂ e entre 20,5 e 51,4% para CaO.

Curvas equivalentes a SiO₂ e ao CaO foram estabelecidas, com valores em porcentagem, sendo relacionadas com as litofácies do testemunho de arenito da Praia de Piedade por meio de comparações entre alterações nas concentrações desses componentes químicos e mudanças energéticas em ambientes deposicionais (Fig.6).

As curvas referentes à porcentagem dos componentes SiO₂ e CaO ao decorrer do testemunho são inversas e apresentam maior valor de SiO₂ (71%) na amostra 1, correspondente à litofácies 1 (arenito maciço médio com presença de bioclastos), e menor valor (38,4%) na amostra 13, correspondente à litofácies 3 (arenito grosso com pouca porosidade e estratificação cruzada acanalada). Já o maior valor de CaO (51,4%) foi encontrado na amostra 11, também existente na litofácies 3 e menor valor (20,5%) na litofácies 1 correspondente à base.

Altas concentrações de CaO são indicativos de carbonato biogênico, enquanto que altas concentrações de SiO₂ são provenientes de clastos terrígenos. O primeiro é um componente mineralógico encontrado em sedimentos modernos de superfície das Baías Halifax e Cleveland, na Austrália, e o segundo, componente comum em fácies representativas de mangue e de linha de costa (Ward *et al.*, 1995).

Ambientes de baixa energia e hidrodinâmica apresentam grande concentração de areia quartzosa com presença de clastos terrígenos, o que favorece a deposição de SiO₂, sendo a litofácies 1, dessa forma, representativa de linha de costa com 71,0% desse composto. A quantidade de CaO encontrada nessa litofácies (20,5%) foi proveniente de bioclastos e pode ter surgido também da percolação de águas ricas em carbonato.

Condições óxicas são estabelecidas por meio da circulação de água intersticial através dos poros de sedimentos de areia de litofácies representativas de linha de costa, favorecendo migração de elementos químicos a partir de uma sequência estratigráfica holocênica. Condições óxicas e anóxicas de litofácies estão intimamente relacionadas com a porosidade dos grãos. Condições óxicas são favorecidas pela maior porosidade dos mesmos, havendo maior permeabilidade. Já as condições anóxicas são favorecidas pela menor porosidade, sendo, portanto, menos permeáveis.

A alta concentração de CaO na amostra 11 (51,4%) pode ser explicada pela existência de arenito grosso, indicativo de ambiente de alta energia, juntamente com a pouca porosidade dos grãos de sedimentos, que estabelece condições anóxicas e de baixa pressão na litofácies 3 e diminui a solubilidade do CaCO₃ e do CO₂. A concentração de SiO₂ (38,4%) na amostra 13 existente na mesma litofácies, no entanto, pode ser explicada pela presença de estratificação cruzada acanalada que evidencia deposição em ambiente praias sob condições de maré baixa.

Analizando todas as litofácies, é possível determinar intervalos de diminuição e aumento da concentração de SiO₂ e CaO da base ao topo do testemunho. O primeiro intervalo de diminuição de SiO₂ compreende as amostras 1,3,5 (litofácies 1) e 7 (litofácies 2), variando de 71,0% a 45,3%, entre as amostras 7 e 9 (litofácies 2), ocorrendo aumento da concentração de 45,3% a 55,8%. O segundo intervalo de diminuição compreende as amostras 9 (litofácies 2), 11 e 13 (litofácies 3), variando entre 55,8% e 38,4%. O segundo intervalo de aumento da concentração desse composto, no entanto, ocorre entre as amostras 13 e 15 (litofácies 3) e 17,19 (

litofácies 4), variando de 38,4% a 53% (Fig. 6).

Com relação ao CaO, o primeiro intervalo de aumento em sua concentração ocorre entre as amostras 1,3,5 (litofácies 1) e 7 (litofácies 2) e varia de 20,5% a 44%, seguido do primeiro intervalo de diminuição entre as amostras 7 e 9 (litofácies 2), que varia de 44,0% a 33,3%. Entre as amostras 9 (litofácies 2) e 11 (litofácies 3) ocorre o segundo aumento de CaO, com variação de 33,3% a 51,4%. A diminuição de sua concentração é evidente na parte superior do testemunho equivalente às amostras 11,13,15 (litofácies 3), 17 e 19 (litofácies 4), variando de 51,4% a 37,6% (Fig.6).

A partir do intervalo existente entre as litofácies do testemunho é possível explicar variações tanto na concentração de SiO₂ como na de CaO conforme mudança de energia de antigos ambientes deposicionais.

Entre as litofácies 1 e 2 (amostras 5 e 7) ocorre aumento de energia, evidenciado pela mudança na

granulação dos sedimentos que variam areia média a muito grossa e através da presença de seixos na litofácies 2, havendo diminuição na concentração de SiO₂ e aumento na concentração de CaO. Entre as litofácies 2 e 3 (amostras 9 e 11) ocorre decréscimo de energia, sendo os ambientes deposicionais representativos de cada litofácies de alta energia, com sedimentos cujas granulações variam de areias médias a muito grossas, com estratificação cruzada de baixo ângulo e presença de seixos, indicativos de ambiente alta energia, no início da deposição, variando posteriormente para grossos com baixa porosidade e estratificação cruzada acanalada, havendo também diminuição da concentração de SiO₂ e aumento na concentração de CaO. Entre as litofácies 3 e 4 (amostras 17 e 19), ocorre decréscimo de energia, evidenciado pela ausência de estruturas sedimentares que indicam ambiente de alta hidrodinâmica na litofácies 4, havendo aumento na concentração de SiO₂ e diminuição na concentração de CaO.

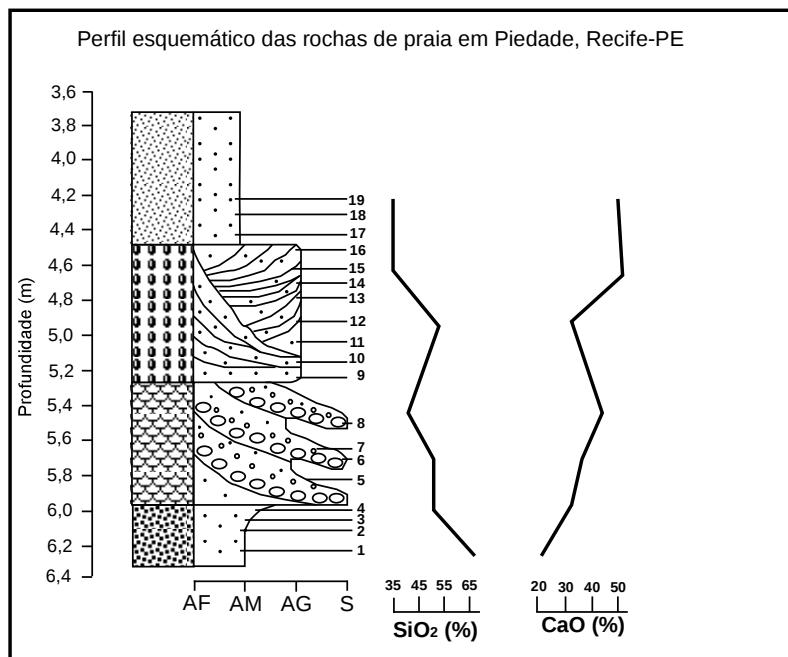


Figura 6—Perfil do testemunho da rocha de praia em Piedade e curvas de SiO₂ e CaO com valores em %.

CONCLUSÕES

A partir da descrição das quatro-litofácies observadas no testemunho, quanto à composição do arenito e presença ou ausência de estruturas sedimentares, é possível interpretar ambientes e processos de deposição, assim como mudanças energéticas.

Os processos de deposição ocorreram na região costeira na Praia de Piedade nas zonas de estirâncio e face litorânea superior com textura dos grãos de sedimentos de arenito variando de areia média a muito grossa.

A distribuição de cimentos em amostras de rochas de praia, determinada com o auxílio da petrografia, indica a provável origem desses depósitos. Na Praia de Piedade foi encontrado em grande parte o cimento equivalente à calcita altamente magnesiânica. A calcita altamente magnesiânica foi encontrada nas formas de franjas isópacas, cimento micrítico e cimento equante, indicando precipitação em ambiente marinho com influência de água doce.

Os arenitos de praia apresentam 71,49% do arcabouço constituído de grãos de quartzo predominando o tipo monocristalino (mínimo de 58,91% e máximo de 66,78%) e, em menor quantidade, o tipo policristalino (mínimo de 2,18% e máximo de 18%),

com contatos entre os grãos do tipo pontual, com contatos tangenciais entre os grãos, indicando baixo grau de compactação mecânica.

Maiores concentrações do composto químico CaO(%) estão relacionadas com períodos transgressivos (entrada de sedimentos marinhos) enquanto que maiores concentrações de SiO₂ com períodos regressivos (entrada de sedimentos de praia), o que indica variações holocênicas do nível do mar na Praia de Piedade.

Essa pesquisa por meio dos dados obtidos é de fundamental importância para o conhecimento da evolução holocênica da Praia de Piedade, podendo ser aplicada a mesma metodologia em outros trabalhos que visam a compreensão de paleoníveis marinhos holocênicos, formação, origem e geoquímica de rochas de praia.

A ocupação urbana aumenta cada vez mais nos litorais de Pernambuco, principalmente na Praia de Piedade, dessa forma, é válido realizar pesquisas futuras que abordem a evolução holocênica dessa região em contraste com a ocupação urbana no litoral, indicando medidas de prevenção contra avanços do mar e processos erosivos, assim como estabelecendo medidas de gerenciamento costeiro que preservem a praia.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Ensolo que concedeu o testemunho de sondagem.

REFERÊNCIAS

Aliotta, S.; Spagnuolo, J. O. & Farinati, E. A., 2009. Origen de una roca de playa en la región costera de Bahía Blanca, Argentina. *Pesquisas em Geociências*, 36(1): 107-116.

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*, v. 42, p.169-182.

Branner, J. C., 1904. 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.

Cavalcanti, L. B. & Kempf, M., 1969. Estudo da Plataforma

- Continental na Área do Recife (Brasil). II. Meteorologia e Hidrologia, v. 9-11, p. 149-158.
- Choquette, P. W., and L. C. Pray, 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 54, p. 207-250.
- Coutinho, P. N.; Lima, A. T. O.; Queiroz, C. M.; Freire, G. S. S.; Almeida, L. E. S. B.; Maia, L. P.; Manso, V. A. V.; Borba, A. L. S.; Martins, M. H. A.; & Duarte, R. X., 1997. Estudo da erosão marinha nas praias de Piedade e Candeias e no estuário de Barra de Jangadas, Município de Jaboatão dos Guararapes-PE. Relatório Técnico, 154p.
- Coutinho, P.N. & Farias, C. C., 1979. Contribuição à origem dos recifes do Nordeste. *Anais, Simpósio de Geologia do Nordeste*, p. 236-240.
- Danjo, T.; Kawasaki, S., 2014. Characteristics of Beachrocks: A Review. *Geotech Geo Eng.*, 32: 215-246.
- Darwin, C. R., 1841. On a remarkable bar of sandstone off Pernambuco, on the coast of Brazil. *Magazin & Journal Sciences*, n. 19, p. 257-261.
- Erginal, A. E., 2013 et al. First record of beachrock on Black Sea coast of Turkey: Implications for Late Holocene sea-level fluctuations. *Sedimentary Geology*, v. 294, p. 294-302.
- Mansur, K. L.; Ramos, R. R. C.; Godoy, J. M. O. & Nascimento, V. M. R., 2011. 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.
- Erginal, A. E.; Kiyak, N. G.; Ozturk, B. 2010. Investigation of Beachrock Using Microanalyses and OSL Dating: A Case Study from Bozcaada Island, Turkey. *Journal of Coastal Research*, 26(2): 350-358.
- Flügel, E., 1982, Microfacies Analysis of Limestones: New York, Springer-Verlag, 633 p.
- Knoppers, B. A.; Ekau, W. ; Figueiredo Júnior, A. G. & Soares Gomes, A. 2002. Zona costeira e plataforma continental do Brasil. *Interciência*, p. 353-361.
- Longman, M. W. Carbonate diagenetic textures from near surface diagenetic Environments. *AAPG Bulletin*, v. 64, p. 461-487, 1980.
- Mabesoone, J. M., 1964. Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil). *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 34, p. 715-726.
- Mallmann, D. L. B.; Araújo, T. C. M.; Droguett, E. L., 2014. Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 05(2): 137-154.
- Manso, V. A. V., Coutinho, P. N., Lima, A. T. O., Almeida, L. E. S. B., Medeiros, A. B., Barbosa, A. L. S., Lira, A. R. A., Pedrosa, F. J. A., Martins, M. H. A., Chaves, N. S., Duarte, R. X., Ivo, P. S., 1995. Estudo da erosão marinha da Praia de Boa Viagem: Recife. *Tech. Rep.*, 65 p.
- Rollnic, M., 2002. Hidrologia, Clima de Ondas e Transporte Advectivo na Zona Costeira de Boa Viagem, Piedade e Candeias-PE. Programa de Pós-graduação em Oceanografia- UFPE, 111p.
- Simioni, B. V.; Ângulo, R. J.; Veiga, F. A.; Sial, A. N., 2011. Cimentos, Idades e Isótopos Estáveis de

- Arenitos Submersos do Litoral Paranaense- Brasil. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA.
- Turner, R. J., 2005. Beachrock. Kluwer Academic Publishers, p.183-186.
- Vieira, M. M.; De Ros, L. F.; Bezerra, F. H. R., 2007. Lithofaciology and Palaeoenvironment Analysis of Holocene Beachrocks from Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 23, Issue 6: pp. 1535-1548.
- Vousdoukas, M. I.; Velegrakis, A. F.; Plomaritis, T. A., 2007. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, v. 85, n. 1-2, p. 23-46.
- Ward, I. A. K.; Larcombe, P.; Cuff, C., 1995. Stratigraphic control of the geochemistry of Holocene inner-shelf facies, Great Barrier Reef. *Marine Geology*, v. 129, p. 47-62.