ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise sedimentológica da plataforma continental interna rasa da praia de São José da Coroa Grande - Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil

Eduardo Paes Barreto¹, Valdir do Amaral Vaz Manso², Maria das Neves Gregório³, Carlos Fabrício Assunção da Silva⁴, Bruno Ferreira⁵

¹Doutor em Geociências, Mestre em Engenharia Mineral, UFPE edubarretoy@hotmail.com, (autor correspondente)

²Professor e pesquisador do Departamento de Geologia, UFPE vazmanso@oul.com.br ³Professora e Pesquisadora, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, ITEP, nevesgregorio@hotmail.com, ⁴Graduando em Engenharia Cartográfica, Bolsista do Laboratório de Fotogrametria, UFPE carlosfew@outlook.com ⁵Doutor em Geociências, Mestre em Geociências, UFPE brunge2005@gmail.com

Artigo recebido em 23/09/2016 e aceito em 13/01/2017

RESUMO

Esse estudo objetivou caracterizar os sedimentos da Plataforma Interna Adjacente à praia de São José da Coroa Grande, litoral sul de Pernambuco. A área limita-se pelos rios Persinunga, a sul, e Una, a norte. O levantamento sedimentológico foi distribuído em perfis paralelos à linha de costa, totalizando 48 amostras, coletadas com draga Van Veen e o posicionamento da embarcação foi realizado com GPS. Em laboratório, as amostras foram analisadas quanto à granulometria, carbonato de cálcio e bioclastos. As amostras foram analisadas no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM com a metodologia própria. A classificação sedimentológica, parâmetros estatísticos e granulométricos, foi realizada com o software SYSGRAN: diâmetro médio; grau de selecionamento dos grãos, curtose; e teor de carbonato. Os mapas revelaram a distribuição textural dos sedimentos na plataforma, bem como, a influência dos rios na dispersão e seleção dos sedimentos. Os dados mostraram que a plataforma continental é formada predominantemente por areia bioclástica. A fração arenosa, apresenta predominância de quartzo e bioclásticos (foraminíferos, gastrópodes, conchas e algas). Foi possível observar que os sedimentos terrígenos predominam nas áreas mais rasas onde ocorreu maior aporte sedimentar diretamente relacionada à foz dos rios, enquanto as maiores concentrações de sedimentos carbonáticos estão relacionadas com os recifes. Interpretou-se que alguns processos que influenciam a sedimentação atual, estiveram ativos desde o início da transgressão holocênica. O presente estudo não constitui um produto finalizado, mas serve de base para novas pesquisas e levantamentos.

Palavras-chaves: processos, sedimentos, mapeamento, composição, carbonato.

Sedimentological analysis of internal continental platform rasa beach of São José da Coroa Grande - Southern coast of Pernambuco State, Northeastern Brazil

ABSTRACT

This paper aims at characterizing the sediments of the Internal Platform adjacent to Sao José da Coroa Grande beach, southern coast of Pernambuco state in the northeastern Brazil. The area is limited by the rivers Persinunga to the South, and the river Una to the North. The sedimentological categorization was distributed in profiles parallel to the coastline, totalizing 48 samples collected with a Van Veen dredge positioned with a GPS. In laboratory, the samples were analyzed regarding the granulometry, calcium carbonate and bioclasts. The samples analyzed at the Laboratory of Geology and Marine Geophysics – LGGM with our own methodology. The sedimentologic classification and the statistical and granulometric parameters were made with the software SYSGRAN: average diameter; degree of grain selection; kurtosis; and the carbonate content. The maps produced by this research unfolded the textural distribution of sediments on the platform as well as the influence of rivers in the dispersion and selection of sediments. The data showed that the continental platform is predominantly made of bioclastic sand. The sandy portion has the predominance of quartz and bioclasts (foraminifera, gastropods, shells and algae). It was possible to verify that the terrigenous sediments predominate in the shallower areas where it occurs most of the sedimentary contribution directly related to the rivers' mouth, while the biggest concentrations of carbonate sediments are related to the reefs. We conclude that some processes that influence the current sedimentation have been active since the beginning of the holocentric transgression. Although this study is not a finished product, it is useful for new researches and exploratory studies.

Keywords: processes, sediments, mapping, composition, carbonate

Introdução

A plataforma continental, como província fisiográfica, faz parte da estrutura morfológica da margem continental (Heezen e Menard, 1966), sendo a mesma, a extensão submarina do bloco continental. Apresenta-se plana, desde a zona praias até a borda da plataforma, onde a declividade se acentua bruscamente, compondo o talude continental. O caráter amplo e plano resultou das atividades erosivas e deposicionais, intimamente ligadas a uma série de regressões e transgressões marinhas (Chaves, 2005), associadas às variações glácio-eustáticas do Quaternário, ocorridas nas épocas das glaciações globais. A origem da plataforma continental brasileira, bem como as das outras províncias fisiográficas, está relacionada aos mecanismos que geraram a separação entre os continentes Sul-americano e o africano, durante a Era Mesozoica, e aos fatores que agem no espalhamento do fundo oceânico que agem até os dias atuais (Seibold e Berger, 1993). De acordo com Suguio (2003) a plataforma continental pode ser subdividida, levando em consideração a profundidade: em plataforma continental interna (0 até 30 m) e plataforma externa (30 m podendo chegar até 100 m) e, às vezes, admite-se a plataforma média.

A sedimentação da plataforma continental do nordeste do Brasil reflete as características da área fonte dos sedimentos, do clima, dos sistemas de drenagens e do ambiente tectônico estável. Devido ao clima tropical e à sedimentação terrígena desprezível, a plataforma do nordeste brasileiro é estreita (largura média de 63 km) e rasa (na grande maioria não atinge profundidades superiores a 40 m). É uma das poucas áreas abertas do mundo onde uma plataforma estável e aberta apresenta-se coberta, quase inteiramente, por sedimentos carbonáticos biogênicos (Vital; Silveira; Amaro, 2005). Nela é admirável a quase total ausência de carbonatos inorgânicos (Coutinho, 1996).

As associações faunísticas são compostas principalmente por algas calcárias encrustantes e ramificantes, principalmente nas partes média e externa da plataforma. As do gênero *Halimeda* são predominantes. Foraminíferos e moluscos também estão presentes em grande quantidade, e briozoários são menos comuns (França; Coutinho; Summerhayes, 1976).

A evolução da plataforma está ligada ao continente através da zona costeira, região na qual se realiza o intercâmbio entre os domínios

continentais e marinhos (Manso; Corrêa; Guerra, 2003). Segundo Muehe (2001), a plataforma continental interna, se caracteriza pela intensificação dos processos morfodinâmicos, dissipação de energia das ondas e intensa troca de sedimentos entre a praia e a zona submarina.

A plataforma continental de Pernambuco apresenta-se com reduzida (média de 35 Km) largura, pouca profundidade, declive suave, quebra da plataforma entre 50 e 60 m e quase inteiramente, coberta por sedimentos carbonáticos biogênicos (Manso; Corrêa; Guerra 2003), bem como, águas relativamente quentes e salinidade elevada.

De acordo com Coutinho (1976) a análise da morfologia e a distribuição dos diversos tipos de sedimentos da plataforma continental do Nordeste, mostra uma plataforma limitada pela isóbata de 20 m, com relevos suaves e com irregularidades, devido a presença de recifes, canais e ondulações; capeada por uma areia terrígena, com pouco cascalho e lama.

Com relação à textura dos sedimentos, a maior parte da plataforma externa (a partir dos 40 m de profundidade) é coberta por cascalhos. Em contraste, na plataforma interna (profundidades abaixo dos 20 m), predominam areias com alguns cascalhos. O conteúdo de lama geralmente não atinge 2,5%. A fração carbonática consiste de carbonato biogênico com mais de 75% de CaCO_3 , chegando a 95%. A fração terrígena é composta predominantemente por quartzo, feldspato, minerais pesados e argilas variadas (França; Coutinho; Summerhayes, 1976).

Uma feição morfológica da característica do litoral pernambucano é sem dúvida a presença constante na plataforma continental interna as linhas de arenitos de praia, geralmente paralelas à costa, que servem como substrato para o desenvolvimento de algas e corais, além de constituir uma efetiva proteção à costa, na medida em que absorve grande parte da energia das ondas incidentes, mesmo os arenitos de praia, em sua maior parte serem completamente submersos (Manso; Corrêa; Guerra, 2003). Em relação aos recifes de arenitos, eles geralmente ocorrem em duas ou três exposições, com a primeira quase sempre emersa e próxima à praia e as demais praticamente submersas ou parcialmente emersas, sendo todas relacionadas às antigas linhas de praia (Branner, 1902; Mabe-soone, 1964).

Quando presentes, as linhas de recifes modificam de maneira significativa a energia das ondas incidentes sobre a costa. Além de seu papel de atenuação e transformação da energia das ondas pela arrebentação, as presenças das linhas de recife

tendem a concentrar a essa energia no seu lado interno e reter o material sedimentar através dos processos de refração e difração (Manso, 1997).

Em Pernambuco a plataforma continental é caracterizada por uma ativa produção carbonática orgânica que se traduz pelo desenvolvimento de fundos de algas calcárias. As algas, que formam o principal componente destes sedimentos de fundo, pertencem à família *Coralinaceae*, subfamília *Melobesia*, com uma ou mais espécies do gênero *Lithothamnium*. São constituídas de 75 a 95% de carbonato de cálcio, 4 a 10% de carbonato de magnésio e ainda de oligoelementos. Geralmente o limite superior de ocorrência destas algas calcárias está ligado diretamente ao fim da influência terrígena, normalmente em torno de -20 m, e seu limite inferior está situado entre -80 m e -90 m, raramente atingindo -100 m de profundidade (Manso, 1997). Ao lado das algas coralinas, merecem destaque as algas verdes calcificadas, representadas pelo gênero *Halimeda*, *Udotea* que são igualmente importantes formadoras de sedimentos biogênicos (Coutinho, 1976).

Segundo Coutinho (1976), a predominância de sedimentos carbonáticos orgânicos na plataforma continental de Pernambuco é resultado da interação dos seguintes fatores: a) plataforma estreita, rasa, águas quentes, salinidade elevada e ação das correntes; b) predominância de clima semiárido no interior do continente, resultando no pequeno aporte de sedimento à plataforma e consequentemente, presença de substrato duro, desprovido de sedimentos finos, ideal para fixação da epifauna e da epiflora; c) fraco desenvolvimento de corais hermatípicos e; d) fenômeno de competição, algas calcárias *versus* corais.

Outra característica da plataforma pernambucana é a pequena quantidade de corais, comparada ao grande desenvolvimento de algas. O crescimento desses corais ficou restrito aos substratos litificados, representados pelas antigas linhas de praias ou estruturas de recifes algálicos. O crescimento atual dos corais é restrito ao lado externo dos *beachrocks* ou sobre as construções de algas calcárias incrustantes (Manso, 2003).

O objetivo principal deste artigo é apresentar os resultados do estudo da plataforma continental interna adjacente à praia de São José da Coroa Grande, mostrando a distribuição superficial dos sedimentos que a compõem, bem como, sua relação entre a morfologia de fundo e a dinâmica atuante no meio. Pretende-se, desta forma contribuir para um melhor entendimento dos

ambientes litorâneos modernos nessa porção do litoral pernambucano.

Material e métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A praia de São José da Coroa Grande está localizada a 123 km da capital Recife, no município de São José da Coroa Grande, no litoral sul de Pernambuco, limite com o Estado de Alagoas (Figura 1). A área de estudo limita-se ao norte pelo rio Una, onde se forma um pontal, e, ao sul pelo rio Persinunga, possuindo, aproximadamente 6 km de orla. Está situada entre as coordenadas UTM 262000 mE – 266000 mE e 9018000 mN – 9014000 mN. O município ao qual pertence é o menor do litoral sul de Pernambuco, com aproximadamente 74,7 km² de superfície, apresentando a segunda maior densidade demográfica do segmento litorâneo – 186,91 habitantes km⁻² (IBGE, 2008).

A orla do município está dividida em duas áreas, uma urbana ao sul e dos distritos de Várzea do Una e Abreu do Una. Na parte sul, encontra-se a sede onde há uma maior concentração urbana distribuída do litoral para o interior. Essa ocupação, em termos morfodinâmicos, contribuiu para a predominância de processos de erosão costeira, em razão de aterros e ocupações irregulares (MMA - PROJETO ORLA, 2005).

Segundo a classificação de Koppen (1948), o clima da região é do tipo As' tropical chuvoso, com verão seco - menos de 60 mm de chuva no mês mais seco – com precipitação pluviométrica anual aproximada de 2.000 mm. A estação chuvosa ocorre de abril a setembro, sendo os meses mais chuvosos, maio e junho. Quanto ao regime de ventos, Manso (2003) afirma que o regime de ventos em toda região costeira caracteriza-se por ser bastante regular, sazonal, soprando em 90% do tempo do setor E-SE, com velocidades médias de 3 a 5 m/s.

As marés que atuam em Pernambuco são do tipo mesomaré, dominadas por ondas, e sob ação constante dos ventos alísios. As marés do litoral pernambucano são do tipo semidiurna, com período médio de 12.42 h, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar; os valores representativos da altura da maré são de 2.4 m para sizígia máxima; 2.1 (esse valor deve ter sido copiado errado, sizígia mínima é a maré baixa) para sizígia mínima (Coutinho *et al.*, 1997).

Figura 1. Localização da área de Estudo.

A Praia de São José da Coroa Grande está situada sobre uma planície costeira que se formou durante o Quaternário. As transgressões e regressões marinhas retrabalharam o Grupo Barreiras durante este período (Bittencourt *et al.*, 1983 e Dominguez *et al.*, 1990), formando os terraços marinhos arenosos, sendo o produto da última Transgressão os cordões holocênicos, quando o nível do mar atingiu 5 m acima do nível atual a aproximadamente 5.000 anos A. P.

Em geral, a praia estudada é constituída por sedimentos arenosos de granulação média a fina, apresentando um perfil com baixa declividade e uma berma pouco desenvolvida. As ondas observadas na arrebentação são do tipo deslizante, estas características são de praias do tipo dissipativa segundo os estágios propostos por (Wright & Short, 1984). Na plataforma interna adjacente há ocorrência de recifes que acompanham a linha de costa de forma paralela, servindo de proteção natural ao sistema praiar.

Segundo Sanderson & Eliot (1996) a refração e difração de ondas sobre os recifes induz a formação de saliências e embaixamentos ao longo da costa. Nas áreas protegidas pelos recifes a linha de costa apresenta uma formação de saliências, elas são formadas em zonas de sombra, quando há diminuição da energia da onda incidente favorecendo a sedimentação. O contrário ocorre nos embaixamentos, que estão relacionados à áreas onde há abertura nos recifes, favorecendo um recuo da linha de costa, em relação aos embaixamentos (Figura 2).

As amostras dos sedimentos de fundo da plataforma foram coletadas utilizando a draga do tipo *Van Veen* como amostrador (Figura 3), a qual pontualmente recolheu o material sedimentar penetrando cerca de 10 a 20 cm na camada superficial do fundo oceânico. Os pontos de coletas dos sedimentos foram 48, com espaçamento de aproximadamente 100 m. O posicionamento para os pontos de coleta das

amostras foi realizado com o auxílio de um GPS (Global Position System), que indica a exata posição do mesmo (Figura 4).

Figura 2. Saliências e embaimentos da linha de costa resultantes da difração e refração das ondas sobre os recifes.

Quando era verificado que a draga chegava ao fundo, esta era recolhida. O material sedimentar da draga foi colocado em uma caixa plástica, para posteriormente ser armazenado em sacos plásticos (Figura 3). Os dados das coordenadas do ponto amostral foram anotados comitadamente, assim como os horários iniciais e finais da coleta e o número de vezes que a draga foi lançada. Todos os sedimentos foram analisados no LGGM (Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha - UFPE), segundo a metodologia de Suguio (1973). Na análise granulométrica, foi utilizada 100grs de cada amostra, pesado em balança de precisão, onde primeiramente se fez o peneiramento úmido, para separação da fração lamosa e eliminação de sais solúveis, utilizando-se peneiras de 2,0 e 0,62 mm de abertura.

O material foi levado à estufa a temperatura de 60 °C para secagem, no período médio de 48 h. Posteriormente foi feito o peneiramento seco na fração areia, utilizando-se o intervalo de peneiras de $\frac{1}{2}\Phi$. As diversas frações foram pesadas para o tratamento posterior dos dados.

Os sedimentos foram classificados segundo Folk e Ward (1956), através dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose), e analisados segundo o Software SYSGRAM desenvolvido por Camargo's Corp. (1999). Os resultados obtidos foram convertidos em informações estatísticas descritivas e posteriormente construídos gráficos e mapas.

Figura 3. (A) Draga de Van Vem utilizada para coleta de sedimentos (B) Amostras coletadas.

Figura 4. Distribuição dos pontos de coleta dos sedimentos na plataforma continental interna da praia São José da Coroa Grande.

Quantificação do teor de carbonatos

Quanto à quantificação do Teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) foi realizada em um total de 48 amostras da plataforma continental interna. O teor de carbonato de cálcio das amostras dos sedimentos foi determinado através do método descrito por Loring & Rantala (1992), o qual consiste na dissolução do CaCO_3 por ácido clorídrico (HCl) (Figura 5). Assim, alíquotas secas de 10 g de cada amostra bruta foram postas sob reação com uma solução de HCl a 37% a frio.

Devido à grande quantidade de bioclastos, a reação durou 24 h; desta forma, considerou-se que todo o CaCO_3 foi dissolvido. Após este procedimento, as alíquotas foram lavadas com água destilada por três vezes, levadas à estufa a 60°C e, depois de secas, o peso das amostras foi aferido em balança de precisão. A diferença entre a massa inicial e a final corresponde à ao total de CaCO_3 e o resultado foi apresentado em porcentagem.

Os resultados das análises foram introduzidos em planilhas de programas de computação para a geração do mapa que

representasse a distribuição e porcentagens de Carbonato de cada amostra. Para a elaboração do mapa de carbonatos foi utilizado um Software que interpola os valores relativos aos atributos de cada amostra.

Resultados e discussão

Sedimentologia

Para Suguio (2003) a determinação das propriedades físicas dos sedimentos é fundamental para estudar os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou. No entanto, a propriedade mais importante dos sedimentos é a dimensão das partículas que os compõem, pois permite deduzir indicações preciosas, tais como: proveniência, transporte e ambientes deposicionais.

Distribuição granulométrica

Os resultados da análise granulométrica, dos sedimentos apresentaram as frações: cascalho, areia e lama. Os valores obtidos mostram o predomínio da fração arenosa sobre as demais (cascalho e lama), indicando um ambiente com elevada capacidade de transporte de frações grossas.

Fra Fração cascalho

A fração cascalho corresponde a fração grossa, ou seja, com granulometria superior a 2 mm, com pouca distribuição e elevada representatividade em algumas amostras na área estudada, apresentando proporções que variaram entre 0,1% a 60% (Figura 5).

Com relação à sua distribuição espacial, observa-se que os teores de cascalho apresentaram valores inferiores os 2% a 10% em 30 amostras (Figura 6). Os teores observados entre 10 e 20% estão localizados na parte norte e ao sul da plataforma, encontrados em 12 amostras. Quanto aos teores mais elevados, acima de 30%, as concentrações estão localizadas na parte central e ao sul da área, esses pontos que apresentaram um maior teor de cascalho foram observados nas maiores profundidades, entorno de 2 a 10 metros em 6 amostras (Figura 6).

Figura 5. Distribuição da fração cascalho, segundo o percentual de participação amostral.

A fração cascalho se mostrou predominantemente carbonática, sendo essencialmente constituída basicamente por sedimentos Bioclásticos, tais como fragmentos de algas coralinas, *Halimeda*, de conchas de moluscos, de briozoários e subordinadamente por

grãos de quartzo. A predominância das algas coralinas, moluscos e briozoários nesta fração estão diretamente relacionados ao seu diâmetro médio, bem como, pela sua constituição mais resistente aos processos de fragmentação. Nos constituintes bioclásticos presentes na fração

cascalho se observa em sua maior parte um aspecto retrabalhado, fragmentados e com uma coloração amarelo-amarronzado, apresentando uma película de óxido de ferro na superfície dos grãos.

Entretanto foram observados fragmentos e carapaças de organismos recentes nesta fração. Os constituintes siliciclásticos estão representados em

sua maioria por grãos de quartzo, onde foram observados grãos bem arredondados, foscos e com uma película de óxido de ferro. Através das características observadas nos grãos bioclásticos e siliciclásticos da fração cascalho pode-se evidenciar que esta fração corresponde a sedimentos relíquia e palimpséstica.

Figura 6. Mapa de distribuição dos teores de cascalho na área estudada.

Fração areia

Esta fração é predominante em toda área estudada. Das amostras analisadas, todas apresentaram teores de areia em suas frações, com valores que variaram entre 20 a 100% (Figuras 7 e 8). A fração areia é constituída principalmente por grãos de quartzo e subordinadamente por sedimentos

bioclásticos. Possui tanto componentes terrígenos (principalmente quartzo) quanto bioclásticos (algas, foraminíferos, briozoários e outros) em diversas proporções.

Fração lama (silte e argila)

Das 48 amostras analisadas, 6 apresentaram percentuais inferiores a 5% de lama, 42 amostras

apresentaram percentuais entre 10 a 30%, Com base nesses dados pode-se afirmar que a presença de lama, na plataforma, é pouco significativa em termos percentuais (Figura 9). Na sua distribuição em silte e argila, mostra valores pouco diferenciados em termos de deposição de sedimentos próximos e distantes das desembocaduras. Na porção Norte, sul e centro da área em estudo foram observados baixos percentuais de lama, sendo esta representada por pequenas manchas em frente à desembocadura dos rios Persinunga, ao sul e Una ao norte; e na faixa intermediária, indicando que esses rios contribuem atualmente com os sedimentos de granulometria fina para grãos maiores da plataforma continental (Figura 10).

A origem desses depósitos provavelmente está relacionada ao atual aporte de sedimentos efetuados pelas desembocaduras. Os depósitos atualmente estão submetidos a um significativo grau de energia representado pela ação de ondas, correntes litorâneas e correntes de maré, os quais são responsáveis pelo retrabalhamento e selecionamento dos sedimentos. Crockett & Nittrouer (2004) atribuem a variabilidade do tamanho de grão transversalmente à costa, de areia a lama, a interações dinâmicas entre descargas fluviais, subsequentes a eventos de ondas que ressuspendem os sedimentos finos, originando um depósito residual de areia.

Figura 7. Distribuição da fração areia, segundo o percentual de participação amostral.

Figura 8. Mapa de distribuição dos teores de areia na área estudada.

Figura 9. Distribuição da fração lama (silte e argila), segundo o percentual de participação amostral.

Figura 10. Mapa de distribuição dos teores de lama na área estudada.

Parâmetros estatísticos

Para a representação espacial, dentre os parâmetros estatísticos definidos por Folk & Ward (1957), foram selecionados o diâmetro médio, o desvio padrão, a assimetria e a curtose por serem os mais considerados para a compreensão dos processos de distribuição dos sedimentos.

A determinação das propriedades físicas do tamanho dos sedimentos é fundamental no estudo da geologia sedimentar, tanto em termos de classificação dos depósitos sedimentares, como também para o estabelecimento dos mecanismos dinâmicos atuantes durante a deposição, transporte e a sua classificação (CORREIA, 1980).

Para McLaren (1981), a análise desses parâmetros contribui para a interpretação da tendência da direção preferencial do transporte dos sedimentos, ajudando no entendimento da dinâmica sedimentar.

Diâmetro médio

O mais significativo parâmetro estatístico em sedimentologia é certamente o diâmetro médio.

No que se refere à geologia, esse parâmetro revela a média do tamanho dos grãos dos sedimentos que estão correlacionados com a fonte de suprimento de material, processo de deposição e velocidade da corrente.

As análises dos sedimentos mostraram que o tamanho médio dos grãos que compõe os sedimentos da plataforma continental interna apresentaram uma classificação de areia fina, areia muito fina, em um total de 42% (Figura 11). Foram observados valores do tamanho médio do grão em outros dois grupos bem distintos: um de areia média (26%), e outro de areia grossa (32%).

Constatou-se que os sedimentos da plataforma continental interna apresentaram características sedimentológicas bem distintas, em relação à presença das linhas de recifes. Os sedimentos que se localizam mais próximo à região da praia, e antes dos recifes, ou seja, na direção *onshore*, variaram de areia fina a areia muito fina, entretanto há predominância de areia fina distribuída ao longo da plataforma. Observa-se, também, que a areia média e a areia grossa, se

localizam nas profundidades mais próximas ao início dos recifes, ou seja, a uma profundidade média de 8 a 10 m.

Figura 11. Distribuição granulométrica percentual do diâmetro médio.

Verificou-se que a areia média (26%) a areia grossa (32%) apresentam-se com percentuais significativos, no que diz respeito ao tamanho dos grãos nos sedimentos da plataforma em estudo. Isso, provavelmente se deve a região ser dominada por sedimentos carbonáticos, constituídos principalmente por algas calcárias. E que, estas algas estão em constante crescimento e fragmentação, favorecendo à afirmação de um fundo com predomínio a classes de sedimentos com diâmetros maiores, esses resultados corrobora com os dados obtidos nas análises do carbonato da referida área, onde pode-se encontrar percentuais a cima 90%. Testa & Bonsence (1999) observaram que os sedimentos tornam-se mais grossos a partir da região onde estão presentes os complexos recifais, em direção *offshore*.

A composição dos sedimentos transversalmente à plataforma continental da área demonstra que ocorre um aumento dos constituintes bioclásticos da plataforma continental interna em direção *offshore*, ocorrendo o oposto com os constituintes siliciclásticos (Figura 11). Este padrão foi detectado por França, Coutinho & Summerhayes (1976), Leão & Machado (1989) e Coutinho (1996) em seus estudos. Este aumento dos constituintes bioclásticos provavelmente estão relacionados, entre outros fatores, com a diminuição do grau de energia das ondas e correntes, diminuição da turbidez da água, aumento da profundidade, presença de altos topográficos e de sedimentos de granulometria fina a grossa na plataforma, bem como a pouca influência do aporte continental através das desembocaduras na área (Figura 12).

Figura 12. Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio nos sedimentos superficiais.

Grau de assimetria

A assimetria refere-se à posição da mediana em relação à média aritmética de uma distribuição granulométrica, sendo, assim, adimensional (Folk e Ward, 1957). A análise da assimetria vem sendo adotada para interpretação de processos de deposição ou erosão em ambientes de sedimentos modernos. Através da correlação entre a assimetria e o regime, ou nível de energia atuante é possível caracterizar um ambiente de sedimentação. Sedimentos mais grossos são representados por valores negativos de assimetria, significando uma área de energia mais intensa. Valores próximos da média de distribuição representam simetria, indicando a ciclicidade da intensidade da energia no ambiente. Por fim, a assimetria positiva indica área de menor energia com predomínio de sedimentos mais finos, conforme (Folk & Ward, 1957).

Do total de amostras analisadas, 49% apresentam características muito positiva, em 21%, aproximadamente simétrica, em 16% positiva, em 10% muito negativa e assimetria negativa em 4% (Figura 13). Estes dados refletem os níveis de

energia no sistema, possibilitando a deposição simultânea de material grosso e fino.

A distribuição espacial revelou que os valores de assimetria positiva a muito positiva dominam principalmente nas proximidades da desembocadura dos rios Persinunga (sul), Una (norte) e central da plataforma estudada (Figura 14), onde predominam os sedimentos mais finos. A assimetria com características muito negativas, negativas e simétricas, indica área sob ação de energia mais intensa. Nestas áreas há predomínio de material mais grosso, constituído principalmente por areias médias a grossas e se distribuem no setor sul e central da plataforma, é pertinente destacar que apresentam pouca representatividade. Segundo Martins (2003), valores negativos a muito negativos estão normalmente associados ao ambiente costeiro. Estes valores caracterizam um ambiente de sedimentação relacionado a uma intensa hidrodinâmica capaz de retirar o material mais fino e o depositar em locais mais calmos.

Figura 1. Distribuição granulométrica percentual de assimetria.

A relação direta que pode ser feita é que quanto mais finos presentes nas amostras, mais positiva será a assimetria. O contrário também é verdadeiro, ou seja, quanto mais sedimentos grossos existirem nas amostras, mais negativa será a assimetria. No entanto, a hipótese de Duane (1964) também poderá ser aplicada a área estudada nos setores onde a assimetria apresentou valores relativamente positiva (porção sul, central e norte)

pode ocorrer a deposição de sedimentos, sob regime hidrodinâmico relativamente calmo. Onde a hidrodinâmica é mais forte a assimetria apresenta valores negativos (onde predominam sedimentos grossos). Segundo McLaren (1981), em ambientes cujos sedimentos sofrem deposição/remoção seletiva a assimetria é positiva, mesmo sendo proveniente de fontes com assimetria negativa.

Figura 14. Mapa de distribuição dos valores de assimetria nos sedimentos superficiais da plataforma continental de São José da Coroa Grande.

Curtose

A curtose pode ser utilizada como parâmetro para diferenciação de ambientes,

sugerindo que exista um processo agindo no sentido de alterar as caudas de distribuição. Ela mede o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. As distribuições

leptocúrticas representam sedimentos unimodais, ou seja, um sedimentos relativamente bem selecionados na parte central da distribuição, representando um ambiente de maior movimento, enquanto as distribuições platicúrticas correspondem a sedimentos bimodais ou polimodais, ou seja, indicando baixa movimentação (Dias, 2004).

Segundo Dias (2004), os valores de curtose estão relacionados às condições de movimentação no ambiente sedimentar. As amostras que apresentam distribuições leptocúrtica e muito

leptocúrtica são de ambientes de maior movimentação; platicúrtica e muito platicúrtica são de ambientes de baixa movimentação; e distribuições mesocúrticas, de movimentação intermediária.

A análise da curtose permitiu identificação nos sedimentos analisados um equilíbrio entre os percentuais leptocúrticas a muito leptocúrticas (48%) e mesocúrticos (15%), enquanto as platicúrticas a muito platicúrticas representam (35%) e extremamente leptocúrtica (2%) (Figura 15).

Figura 15. Distribuição granulométrica percentual da curtose.

Figura 16. Mapa de distribuição dos valores de curtose nos sedimentos superficiais da plataforma continental de São José da Coroa Grande.

O mapa de distribuição de curtose (Figura 16) revelou que as distribuições muito platocúrtica, platocúrtica, mesocúrtica e leptocúrtica, ocorrem de maneira expressiva na plataforma continental interna, ao longo de toda área de estudo com manchas significativas nas porções norte, intermediária e sul. Enquanto, os valores mais baixos curtose (muito leptocúrtica e extremamente leptocúrtica) foram encontrados ao sul da área com menor representatividade.

Desvio padrão

O desvio padrão mede o grau de seleção de um sedimento e indica a flutuação do nível energético do ambiente deposicional. O mesmo está relacionado com a capacidade de diferentes agentes geológicos em selecionar, com maior ou menor competência, um determinado grão, refletindo o índice da variação das condições atuais do fluido transportador (Dias, 2004). Porém, se não existir, na área fonte, material disponível entre as diferentes populações granulométricas, as flutuações de energia do meio deposicional não serão registradas geologicamente (Sahu, 1964).

O modelo proposto por McLaren & Bowles (1985) permite relacionar a distribuição espacial do sedimento com a área fonte. Segundo estes autores, a seleção do sedimento aumenta na direção do transporte onde a média tende a diminuir e a assimetria tende para grãos cada vez mais finos à medida que ocorre um distanciamento

da área fonte. Entretanto, este modelo não poderia ser usado quando houvesse mais de uma área fonte, coesão de partículas finas, floculação, sendo os sedimentos necessariamente de origem siliciclástica. De acordo com Tucker & Wright (1996), a análise estatística da distribuição do tamanho dos grãos, selecionamento e assimetria devem ser usado com cautela quando aplicado a sedimentos de origem carbonática, uma vez que a adição de partículas biomineralizadas ao sedimento não irá indicar necessariamente o grau de retrabalhamento e tamanho dos grãos e sim o tamanho dos organismos e estágio de crescimento. Como a maior parte dos sedimentos presentes na plataforma continental de São José da Cora Grande é de origem bioclástica, os parâmetros estatísticos devem ser usados com maior prudência uma vez que os ambientes deposicionais são de natureza carbonática e mista.

Os valores percentuais do desvio padrão nas amostras analisadas da área de estudo, apresentaram a maior predominância da classe pobremente selecionados com 79% do total, seguidos da categoria moderadamente selecionada com 21% (Figura 17). O mapa de desvio padrão apresentou a dominância de distribuição de sedimentos pobremente selecionados, nos revelando à unimodalidade das amostras, ou seja, há uma predominância de uma população sobre as demais.

Figura 17. Distribuição granulométrica percentual do grau de seleção.

Através da Figura 18, pode-se observar de forma bem expressiva os sedimentos pobremente selecionados na plataforma interna de São José da Cora Grande, os mesmos distribuem-se da porção Sul a norte da área de estudo. Quanto aos grãos moderadamente selecionados encontram-se

distribuídos nas desembocaduras dos rios Una a norte e a sul do rio Persinunga com pequenas manchas. Para Suguio (2003) o desvio padrão nos sedimentos marinhos está associado à flutuação do nível energético, do agente responsável pela deposição e classificação dos sedimentos. Estes

valores caracterizam um ambiente de sedimentação ligado a uma intensa hidrodinâmica representada pela ação de ondas, correntes de maré, de deriva litorânea e fluviais, que retiram o material mais fino e os depositam em locais mais calmos.

Figura 18. Mapa de distribuição dos valores de desvio padrão nos sedimentos superficiais da plataforma continental de São José da Coroa Grande.

Quantificação do teor de carbonato de cálcio

Em relação ao teor de carbonato de cálcio presente em cada amostra, foi possível a confecção de um mapa de teores de CaCO_3 (Figura 20).

A análise do teor de CaCO_3 foi realizada em um total de 48 amostras, sendo que destas 7 apresentaram concentrações que variaram de 0 a 30%, outras 7 amostras apresentaram concentração variando 30% a 50%, 7 amostras apresentam valores entre 50% a 70% e 27 amostras com concentrações entre 70% a 100%. É pertinente destacar que a concentração predominante de CaCO_3 na plataforma continental estudada é superior a 70%, já as menores concentrações ocorrem em pontos isolados próximos as desembocaduras dos rios que deságuam.

A partir das observações visuais das amostras e dos resultados obtidos nas análises,

observou-se que os sedimentos carbonáticos são dominados por algas calcárias (Figura 19). Uma forte relação entre algas calcárias e a concentração de CaCO_3 , indica que as algas calcárias são os principais representantes dos sedimentos carbonáticos.

A alta concentração de carbonato de cálcio verificado nas amostras analisadas evidência um baixo aporte de sedimentos terrígenos. Na maior parte da área de estudo verifica-se altas concentrações de CaCO_3 . Entretanto foi encontrada em algumas áreas altas concentrações carbonáticas provenientes de ambientes pretéritos, quando o nível do mar se encontrava mais baixo que o atual, sendo estes depósitos representados por sedimentos relíquias.

Figura 19. Grãos de Halimeda, fragmentos de conchas e coral presentes nos sedimentos da plataforma continental de São José da Coroa Grande.

Figura 20. Mapa Teor de Carbonato de Cálcio dos sedimentos da plataforma continental de São José da Coroa Grande.

Conclusão

A metodologia utilizada se mostrou bastante promissora, demonstrando ser viável para a obtenção de dados em campo e laboratório, além da manipulação e elaboração dos produtos cartográficos. Compreendendo um passo importante na integração entre métodos tradicionais e as modernas ferramentas computacionais de geoprocessamento.

A fração areia é predominante em toda área estudada constituída principalmente por grãos de quartzo e bioclásticos. Os grãos bioclásticos são formados por algas, foraminíferos, briozoários. A presença de lama, na plataforma, é pouco significativa em termos percentuais, sendo representada por pequenas manchas em frente à desembocadura dos rios Persinunga, ao sul e Una ao norte indicando que esses rios contribuem com os sedimentos de granulometria fina. A fração cascalho se mostrou predominantemente carbonática, sendo essencialmente constituída basicamente por sedimentos Bioclásticos.

As características de assimetria variaram de assimetria muito positivas, a negativa, refletindo assim os níveis de energia no sistema, que possibilita a deposição simultânea de material grosso e fino. A análise da curtose permitiu identificação nos sedimentos analisados em sua maioria percentuais de distribuições leptocúrtica, representando um ambiente de maior movimento.

O desvio padrão apresentaram uma predominância da classe pobremente selecionados, s caracterizando um ambiente de sedimentação ligado a uma intensa hidrodinâmica pela ação de ondas, correntes de maré, de deriva litorânea e fluviais.

A área de estudo apresentou uma alta concentração de carbonato de cálcio, apresentando a evidência de um baixo aporte de sedimentos terrígenos. Em algumas áreas as altas concentrações carbonáticas são provenientes de ambientes pretéritos, quando o nível do mar se encontrava mais baixo que o atual, representados por sedimentos relíquias

Os dados granulométricos indicaram a predominância de frações grossas, que indicam um ambiente de transporte hidráulico com elevada energia. A fração cascalho está associada a áreas de maior profundidade, corroborando com a interpretação de um ambiente de alta energia, onde os clastos maiores são transportados por rastejo até as regiões mais distantes da praia.

Essa porção da costa pernambucana vem sendo amplamente estudada recentemente, o que vem trazendo luz sobre a temática da dinâmica sedimentológica plataformal nos últimos tempos. O objetivo do presente estudo foi contribuir com esse processo de pormenorização dos estudos sedimentológicos na região. No entanto, não representa um produto finalizado, necessitando de novas abordagens e metodologias que possibilitem o refinamento dos resultados e novas interpretações.

Agradecimentos

O presente artigo faz parte da tese de doutorado defendida no Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) intitulada “Processos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos na plataforma continental interna da praia de São José da Coroa Grande, litoral sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil”. Faz-se necessário agradecer ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico - Capes, pela concessão de bolsa de Doutorado. Como também ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM da UFPE, na pessoa de seu coordenador, o prof. Dr. Valdir Manso, pelo apoio imprescindível nos trabalhos de campos.

Referências

- Bittencourt, A. C. S. P. 1983. Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa do Estado de Sergipe e da Costa Sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 13, n. 2, p. 93-97.
- Branner, J. C. 1902. Geologia de Pernambuco. *Revista Instituto arqueológico Histórico e geográfico de Pernambuco*, Recife, v 10, n. 58, p. 381-402.
- BRASIL. 2012. Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA/MPO, 2004. p.11-30. Disponível em <http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021_PUB_ProjOrla_subsidios.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.
- Chaves, M. S. 2005 Dinâmica costeira dos campos petrolíferos Macau/Serra, Litoral, Setentrional do estado do Rio Grande do Norte. 2005. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica). Natal. –

- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- Correia, I. C. S. 1980. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental entre São Paulo e Santa Catarina. Pesquisas em Geociências, v. 13, p. 109-142.
- Coutinho, P. da N. 1976. Geologia Marinha da Plataforma Continental. Alagoas - Sergipe. 1976. 119 p. Tese. Recife. (Livro Docência)– Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco.
- Coutinho, P. da N. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos marinhos do Brasil. Programa REVIZEE. Oceanografia Geológica. 1996. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/_arquivos/levarte.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012
- Crockett, J. S.; Nittrouer, C. A. 2004. The sandy inner shelf as a repository for muddy sediment: an example from Northern California. Continental Shelf Research, v. 24, n. 1, p. 55-73, jan. 2004.
- Dominguez, J. M. et al. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Geociências, v. 20, n. 1-4, p. 208-215, mar./dez. 1990.
- Folk, R. L.; Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, v. 27, n. 1, p. 3-26,
- França, M. C., Coutinho, P. N.; Summerhayes, C. P., 1976. Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. Revista Brasileira de Geociências, 6:71-88.
- Heezen, B. C.; Menard, H. W. 1966. Topography of the deep sea floor. In: HILL, M. N. (Ed.). The Sea, v. 3. New York: Interscience Publ., p. 233-280.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal Cid@des. 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 20 ago. 2012.
- Leão, Z. M. de A. N.; Machado, A. de J. 1989. Variação da cor dos grãos carbonáticos de sedimentos marinhos atuais. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 87-91.
- Manso, V. do A. V.; Corrêa, I. C. S.; Guerra, N. C. 2003. Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos – Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. Pesquisa em Geociências, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 17-25.
- Manso, V. do A.V. 1997. Geologia da planície costeira e da plataforma continental interna adjacente da região entre Porto de Galinhas e Tamandaré – litoral Sul de Pernambuco. 1997. 171 f. Tese (Doutorado em Geociências)– Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Milliman, J. D.; Barretto, H. T. 1975. Background. In: Milliman, J. D.; Summerhayes, C. P. (Eds.). Upper continental margin sedimentation off Brazil. p. 1-10. (Contributions to Sedimentary Geology, v. 4).
- Mclaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain measure. Journal of sedimentary petrology, v. 51, n. 2, p. 611-624.
- Muehe, D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. Rev. Bras. de Geomorfologia, Uberlândia, v.2, n.1, p.35-44.
- Pérès, J. M.; Picard, J. 1964. Nouvean mamaiel de bionnome bentique de la méditerranée. Rec.Trav. Sta. Mar. Endoume Bull, Marseille, v. 37, n. 47, p. 5-137.
- Sanderson, P. G.; ELIOT, I. 1996. Shoreline salients, cusate forelands and tombolos on the coast of Western Australia. Journal of Coastal Research, v. 12, p. 761-773.
- Seibold, E.; Berger, W. H. The sea floor: an introduction to marine geology. 2. ed. Berlin: Springer Verlag, 1993. 356 p.
- Suguio, K. 2003. Geologia Sedimentar. São Paulo: Blucher., 400 p.
- Testa, V. 1999. Bosence, D. W. J. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the northeast Brazilian Shelf. Sedimentology, v. 46, n. 2, p. 279-302, apr.
- Vital, H.; Silveira, M.; Amaro, V. E. 2005. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira – Área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 3, p. 233-241.
- Wright, L. D.; Short, A. D. 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: A synthesis. Marine Geol, v. 56, n. 1-4, p. 93-118.