

# Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)

Roberto Lima Barcellos<sup>1</sup>, Luciana Dantas dos Santos<sup>2</sup>, Taiana Regina Silva de Oliveira<sup>3</sup>,  
Thaís de Santana Oliveira<sup>4</sup>, Jéssica Cristina Amorim da Silva<sup>5</sup>

## Resumo

O artigo objetiva a aplicação dos dados, obtidos por meio da análise da fração arenosa, na determinação das variações espaciais da dinâmica de fundo do sistema estuarino-lagunar de Suape (PE), além da avaliação do grau de influência continental, marinha ou antrópica, nos sedimentos do Complexo Industrial Portuário associado. Os sedimentos analisados foram predominantemente litoclásticos arenosos, pobremente selecionados e com baixos teores orgânicos. Na fração arenosa, ocorreu uma predominância de sedimentos terrígenos quartzosos, com ampla ocorrência de fragmentos de rochas, minerais pesados e pouco carbonato de cálcio em todo o sistema, para ambas

## Abstract

*The aim of this article is the coarse fraction analysis employment to determine the spatial bottom dynamics of the Suape estuarine-lagoonal system (PE), and the evaluation of the degree of continental, marine or anthropic influences in the Industrial Port Complex associated to it. The analyzed sediments were, in general, sandy lithoclastic, poorly sorted and with low organic matter contents. In the sandy fraction quartz terrigenous sediments prevailed rock fragments, heavy minerals and low calcium carbonate contents in the whole system, for both fractions. Fine sediments enriched in organic matter were*

1 Professor associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). PhD e mestre em Oceanografia Química e Geológica; e bacharel em Geografia pela Universidade de São Paulo (USP).

2 Mestre em Geologia Sedimentar e Ambiental pela UFPE e licenciada em Geografia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

3 Mestre em Geologia Sedimentar e Ambiental; e bacharel em Biologia pela UFPE.

4 Mestre em Oceanografia; e bacharel em Geografia pela UFPE.

5 Licenciada em Biologia pela Faculdade Frassinetti do Recife (Fafire) e bolsista de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe).

as frações. Sedimentos lamosos enriquecidos em matéria orgânica foram observados no canal de acesso do porto, o que pode estar associado a aportes locais naturais e de origem antrópica.

*observed in the port access channel, directly related to local inputs from natural or anthropic sources.*

**Palavras-chave:** Sedimentos. Subambientes costeiros. Matéria orgânica. Impactos ambientais.

**Keywords:** *Sediments. Coastal subenvironments. Organic matter. Environmental impacts*

## 1. Introdução

A zona costeira consiste na principal área que é fonte de sedimentos de origem continental para as regiões oceânicas adjacentes. Transportados majoritariamente por cursos fluviais, os sedimentos depositados em áreas costeiras e oceânicas são produto da interação entre o aporte de material continental e os sedimentos autóctones, principalmente de origem biogênica, da plataforma continental. Esses depósitos sedimentares guardam em si registros da história evolutiva desse ambiente de transição e de seu comportamento atual, fornecendo parâmetros para a compreensão dos processos que nele ocorrem e de suas relações ecológicas (HASLETT, 2001; MASSELINK; HUGHES, 2003).

O conhecimento dos processos sedimentares em regiões costeiras com base nas características dos sedimentos, conforme apontado por Barcellos e Furtado (2001), tem sido, há muito tempo, limitado à interpretação dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), relacionados à granulometria (diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose) e aos parâmetros composicionais, como de assembleias de minerais pesados e de conteúdos de carbonatos e matéria orgânica. Em certos casos, no entanto, os parâmetros granulométricos não refletem as condições que levam à deposição de grandes quantidades de materiais não siliciclásticos, tais como fragmentos carbonáticos ou vegetais (MAHIQUES *et al.*, 1998). Isto ocorre principalmente em amostras com distribuições bimodais, indutoras de interpretações equivocadas sobre a dinâmica sedimentar do ambiente.

A análise da fração arenosa, *coarse fraction analysis*, foi proposta por Shepard e Moore (1954) como uma técnica sedimentar complementar simples, que pode auxiliar nas interpretações baseadas nos parâmetros granulométricos. Foi originalmente utilizada para a diferenciação entre ambientes costeiros e de plataforma continental.

No presente trabalho, foi utilizada uma técnica análoga, a partir da modificação de Mahiques (1987) da análise proposta por Shepard e Moore (1954), consistindo na identificação e contagem dos grãos componentes das frações arenosas retidas nas peneiras de malhas 0,500 mm (1Ø) e 0,250mm (2Ø). Essa análise permite obter um parâmetro de avaliação da influência continental ou marinha, nos sedimentos, pela detecção dos tipos de fragmentos contidos nas amostras selecionadas. Mahiques *et al.* (1998) inferem que esse tipo de análise pode ser útil como técnica adicional ao estudo da granulometria ou de análise química, permitindo uma caracterização de subambientes em áreas costeiras.

Outro parâmetro sedimentar importante é a morfometria, correspondendo à descrição da forma do grão, expressa pela esfericidade e pelo arredondamento, ao passo que feições superficiais diminutas são referidas como textura superficial do grão. Tais informações são fundamentais para o conhecimento sobre a distribuição espacial dos sedimentos e os processos costeiros, como energia das correntes e ondas, responsáveis pelo transporte, pela deposição e pelo retrabalhamento dos materiais sedimentares em cada porção do litoral (SUGUIO, 2003).

Os principais componentes que constituem os sedimentos são a matéria orgânica em vários estados de decomposição, partículas minerais e uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato (WETZEL, 2001). Dessa forma, a matéria orgânica sedimentar e o carbonato de cálcio são indicadores geoquímicos importantes para a avaliação de impactos ambientais em áreas costeiras. A constituição e a distribuição da matéria orgânica sedimentar em ambientes de transição marinhos são sensíveis: às condições hidrológicas, químicas e biológicas da coluna d'água; aos aportes de material marinho e continental; e às características sedimentológicas do ambiente (BADER, 1955; CIFUENTES, 1991), além de terem sido largamente utilizadas na correlação de diversos processos oceanográficos (MEYERS, 1997). O conteúdo em carbonato de cálcio indica a influência marinha na sedimentação (PARAOPKARI *et al.*, 1991).

Este artigo tem como objetivos: a aplicação dos dados, obtidos por meio da análise da fração arenosa e demais parâmetros sedimentares, na determinação das variações espaciais da dinâmica de fundo do sistema estuarino-lagunar de Suape (PE); além da avaliação do grau de influência continental, marinha ou antrópica, nos sedimentos da área do Complexo Industrial Portuário associado.

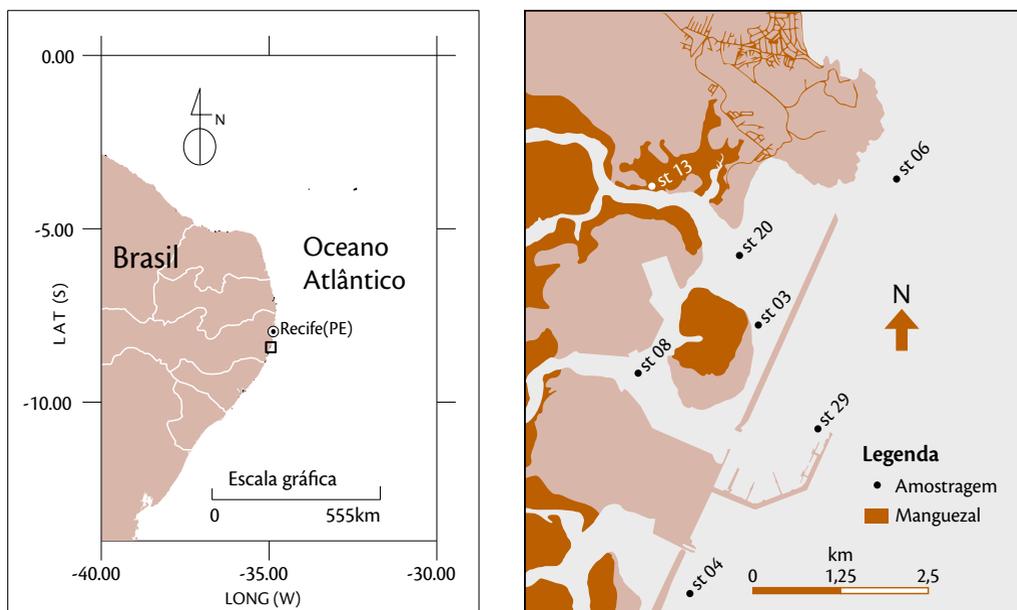
Diante do quadro de desenvolvimento das atividades ocorridas nas últimas quatro décadas, desde a construção, em 1978, do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, mais conhecido como Porto de Suape, estudos sobre a dinâmica sedimentar recente, em todo o seu sistema costeiro, são necessários para que se possa equacionar o potencial da área em

suportar as alterações antrópicas advindas das questões ambientais existentes, além de gerar subsídios científicos para a interpretação de seu comportamento em uma perspectiva futura.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de estudo

O Complexo Industrial Portuário de Suape está localizado na Baía de Suape ( $8^{\circ}20'/8^{\circ}25'S$ - $34^{\circ}55'/35^{\circ}00'W$ ) (Figura 1), a cerca de 40 quilômetros (km) ao sul do Recife, capital do Estado de Pernambuco (PE). A área é formada pela associação dos estuários dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe. Está sujeita a uma série de alterações físicas e estruturais e exposta a processos impactantes como dragagem, assoreamento/erosão, aterros em manguezal e planície costeira, tráfego de embarcações de grande porte, descargas de efluentes industriais e domésticos, entre outros.



**Figura 1.** Localização do sistema costeiro de Suape (PE) e das estações de coleta analisadas

Fonte: Elaborada pelos autores.

O sistema costeiro como um todo é relativamente raso, com áreas mais profundas presentes no canal de acesso e na bacia de evolução do porto (maior que 15 metros de profundidade) (BARROS, 2009). A região lagunar pode ser caracterizada como uma lagoa costeira aberta (KJERFVE, 1986), onde é esperado um nível de troca elevado entre a laguna e o oceano. A circulação do corpo lagunar deve ser dirigida principalmente pelas marés e pelo vento, embora as contribuições de água doce dos rios Massangana e Tatuoca possam vir a produzir gradientes salinos, em especial, durante o período chuvoso (MIRANDA *et al.*, 2002).

O clima é tropical  $Aw'$ , com temperatura média anual de 25°C e estação úmida no outono-inverno (de abril a agosto) (2000mm.y<sup>-1</sup>), estando o sistema submetido a um regime de meso-marés (2,7 m). A área estuarina onde o Porto se localiza tem por volta de 10 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) de espelho-d'água e pode ser considerada como um sistema estuarino-lagunar associado ao delta intralagunar do rio Ipojuca. Como atualmente este rio ficou isolado da baía de Suape, em razão do aterro portuário, e o rio Tatuoca foi barrado, dragado e convertido no canal de acesso principal do porto, a laguna é submetida, no presente, a uma baixa vazão fluvial do rio costeiro Massangana (2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>).

## 2.2. Atividades de campo e laboratório

Em 02 de agosto de 2015, foi realizado um cruzeiro oceanográfico com a finalidade de coletar sedimentos superficiais de fundo no sistema estuarino de Suape, com a utilização do amostrador de mandíbulas do tipo *Van Veen*. A localização de cada amostra foi obtida por meio de um GPS *Garmin Etrex 20* e as profundidades foram medidas por um profundímetro portátil do tipo *Sumergible PS-7*. A seleção dos pontos amostrais obedeceu a um critério de caracterização de subambientes sedimentares no sistema e, dessa forma, foram obtidas as amostras representativas das seguintes localidades: laguna/baía de Suape (ST03); plataforma interna adjacente ao Rio Ipojuca (ST04); plataforma interna próxima à desembocadura da laguna (ST06); canal dragado do Rio Tatuoca (ST08); estuário do Rio Massangana (ST13); laguna/baía de Suape central (ST20); e plataforma interna na área abrigada do Porto (ST29).

O procedimento de análise granulométrica dos sedimentos de superfície foi efetuado de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973). Após a obtenção dos resultados, os dados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) e do diagrama de fácies sedimentares de Shepard (1954).

Os conteúdos em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica total (MOT) foram determinados a partir da diferença, em peso seco, antes e após o ataque com solução de Ácido Clorídrico (HCl) e Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) diluídos a 10%, respectivamente (CARVER, 1971).

Para auxílio na determinação de subambientes sedimentares, foi realizada a análise da fração arenosa das malhas 0,250 (2Ø) e 0,500 mm (1Ø), como proposto por Mahiques *et al.* (1998). A análise dos constituintes de fração arenosa foi baseada na "coarse fraction analysis", proposta por Shepard e Moore (1954), e modificada por Mahiques (1987), consistindo na identificação e contagem dos grãos componentes das frações retidas nas peneiras de malhas 0,500 mm (1Ø) e 0,250 mm (2Ø).

Os sedimentos foram analisados em lupa binocular e, depois da observação total da amostra, foram contados e identificados de 200 a 300 grãos, a partir de modificação do proposto por Hubert (1971).

De acordo com Mahiques *et al.* (1998), a primeira aproximação para a análise dos dados seria definir um parâmetro numérico que poderia fornecer uma medida da influência biogênica marinha sobre cada amostra. Este indicador, denominado Índice de Biogênicos Marinhos (BM), é definido como a diferença entre a frequência relativa dos constituintes biogênicos marinhos e terrígenos. O índice BM é uma medida do padrão da influência marinha sobre a amostra e isto varia de (-1) a (+1), de modo que valores próximos de (-1) estão relacionados a uma contribuição continental mais alta. A utilização desse índice parte do princípio de que todos os constituintes terrígenos são advindos de uma fonte moderna continental, isto é, sedimentos neotéricos, de acordo com (MCMANUS, 1975 *apud* MAHIQUES *et al.*, 1998).

Os dados obtidos para as frações analisadas, retidas nos intervalos 0,707-0,500 mm (1Ø) e 0,350-0,250 mm (2Ø), foram interpretados separadamente. Essas classes granulométricas, quando sujeitas à ação de correntes, sofrem tipos de transporte distintos, no caso, tração e saltação, respectivamente. Isto ocorre devido a equivalências hidráulicas diferentes, decorrentes das variações na forma e/ou na densidade das partículas, como apontado em Mahiques *et al.* (1998). Segundo o mesmo autor, este comportamento hidráulico distinto entre as frações granulométricas indica a existência de importantes diferenças nas frequências relativas dos constituintes, conforme o tamanho do grão, sendo os fragmentos carbonáticos mais comuns nos grãos 1Ø (0,50mm: areia grossa) do que na fração 2Ø (0,25mm: areias médias), tal qual descrito em Pilkey *et al.* (1967) *apud* Mahiques *et al.* (1998), para praias e dunas arenosas.

Foram identificados, nas amostras: fragmentos de moluscos (MOL), foraminíferos (FOR) e fragmentos de tubos de poliquetas (POL). Equinodermas, colônias de briozoários, cirripédios, fragmentos de crustáceos, espinhas de peixes, ostracodes e fragmentos de coral são descritos como outros biogênicos marinhos (OBM). Observou-se também quartzo (QZO), quartzo limonitizado (QLIM), mica (MICA) e fragmentos vegetais (FVEG). Classificou-se os Minerais pesados, fragmentos de rocha e feldspatos como outros terrígenos (OTR). Os constituintes que compõem as classes outros biogênicos marinhos (OBM) e outros terrígenos (OTR) foram agrupados por ocorrerem em menor frequência que as classes dominantes, nas amostras selecionadas. As siglas (TTR) e (TBM) representam o total de terrígenos e o total de biogênicos marinhos, respectivamente.

A análise morfoscópica permitiu caracterizar o grau de arredondamento e esfericidade dos sedimentos costeiros, por meio de uma lupa binocular com iluminação por reflexão, o que possibilitou visualizar as propriedades morfométricas dos grãos. Para cada amostra analisada, foi contado um total de 100 grãos de areia quartzosa na placa de Petri da fração granulométrica predominante em cada ambiente costeiro. A análise do grau de arredondamento e a da esfericidade foi realizada de acordo com a carta visual de estimativa de arredondamento de Krumbein e Sloss (1963). Assim, os índices de esfericidade 0,3 e 0,5 foram classificados como de grau baixo e os de 0,7 e 0,9, como de alto grau. Por sua vez, o índice de arredondamento foi caracterizado como anguloso em 0,1; subanguloso em 0,3; subarredondado em 0,5; arredondado em 0,7; e bem arredondado em 0,9.

Após a obtenção dos dados de campo e laboratório, essas informações foram tratadas em meio digital para a elaboração dos mapas de distribuição gerados por meio do programa *Surfer for Windows 11.0*.

### 3. Resultados

As localizações das estações de coleta; das profundidades; e os dados das análises sedimentológicas e geoquímicas são ilustrados na Tabela 1. Os dados de  $\text{CaCO}_3$  e MOT são ilustrados na figura 2A e 2B.

**Tabela 1.** Localização, profundidade, sedimentologia e geoquímica das estações de coleta no sistema estuarino-lagunar de Suape

ST	ST <sub>3</sub>	ST <sub>4</sub>	ST <sub>6</sub>	ST <sub>8</sub>	ST <sub>13</sub>	ST <sub>20</sub>	ST <sub>29</sub>
Longitude (W)	-34°09,514'	-34°09,620'	-34°09,367'	-34°09,694'	-34°09,711'	-34°09,580'	-34°09,480'
Latitude (S)	-08°03,696'	-08°04,124'	-08°03,557'	-08°03,081'	-08°03,598'	-08°03,683'	-08°03,909'
Prof(m)	12,0	14,5	17,4	11,0	3,2	2,0	20,0
Cascalho (%)	3,18	7,73	14,01	2,78	5,86	0,20	1,06
Areia (%)	89,84	92,27	85,79	30,50	93,90	99,80	85,33
Silte (%)	6,98	0,00	0,20	36,17	0,23	0,00	13,61
Argila (%)	0,00	0,00	0,00	30,56	0,00	0,00	0,00
Lama (%)	6,98	0,00	0,20	66,73	0,23	0,00	13,61
Folk e Ward (1957)	Areia fina	Areia grossa	Areia grossa	Silte médio	Areia média	Areia grossa	Areia fina
Shepard (1954)	Areia	Areia	Areia	Silte argilo-arenoso	Areia	Areia	Areia
Grau de seleção	Pobrememente selecionado	Moderadamente selecionado	Pobrememente selecionado	Muito Pobrememente selecionado	Pobrememente selecionado	Bem selecionado	Pobrememente selecionado
MOT(%)	7,67	1,37	1,37	19,37	1,53	0,90	5,40
CaCO <sub>3</sub> (%)	16,0	46,5	15,5	21,70	13,00	1,20	39,80

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com exceção da estação 8, localizada no canal dragado do rio Tatuoca, os sedimentos de granulação de areia dominaram em todas as amostras, variando de 85,3-99,8%. Apenas a estação 8 apresentou um percentual de argila em sua composição de 30,56%) e o maior percentual de silte (36,17%), sendo classificada como silte médio, de acordo com os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), e como um silte argilo-arenoso, de acordo com Shepard (1954). O maior percentual de cascalho foi encontrado na estação 6 (14,01%), sendo a única com o teor >10% dentre todo o conjunto de amostras, estando localizada externa ao Porto, na plataforma continental, próxima à desembocadura norte da laguna.

Os teores de CaCO<sub>3</sub> variaram entre 1,20% a 46,50%, com prevalência de sedimentos litoclásticos em 71,42% das amostras, de acordo com a classificação de Larssoneur *et al.* (1982). Duas amostras ST<sub>04</sub> e ST<sub>29</sub>, localizadas na plataforma interna continental, apresentaram valores de CaCO<sub>3</sub> entre 30% e 40%, indicando substrato com características litobioclásticas (46,5% e 39,80%, respectivamente) (Figura 2A).

Os conteúdos de MOT exibem uma variação de 0,9% a 19,4% e, de acordo com Oliveira *et al.* (2014), os percentuais acima de 6% indicam associação a sedimentos de característica lamosa (Figura 2B). Esses dados confirmam as condições dos pontos (ST03, ST08 e ST29) classificados como areia fina, silte médio e areia fina, respectivamente, que apresentam os maiores percentuais lamosos. Dessa forma, demonstram que os sedimentos analisados foram predominantemente litoclásticos arenosos, em geral classificados como pobremente selecionados, e com teores orgânicos, em sua maioria, baixos ao longo das estações de coleta do sistema estuarino-lagunar de Suape.

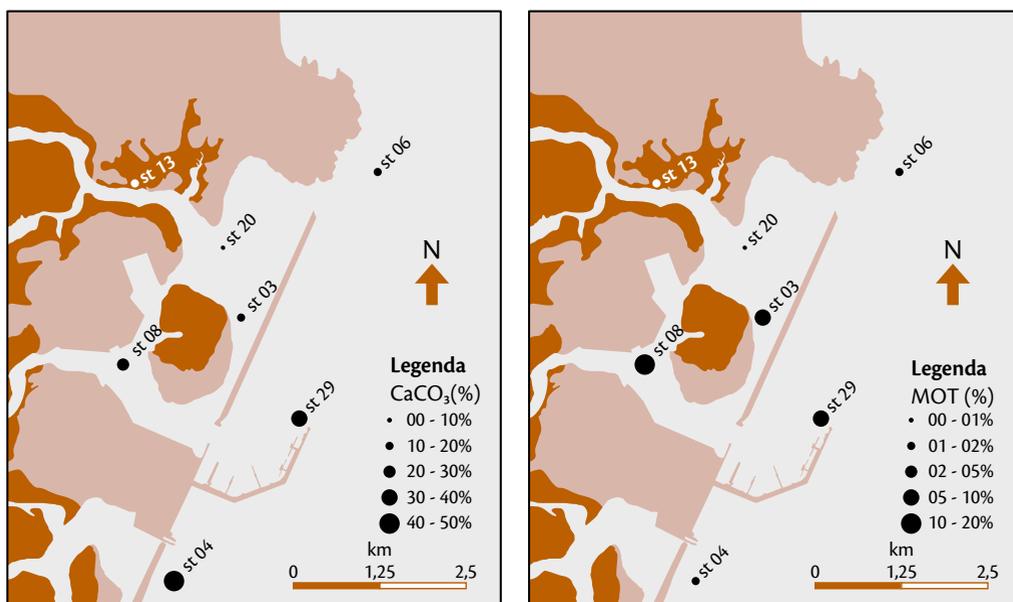


Figura 2. A) Distribuição do Carbonato de Cálcio sistema estuarino-lagunar de Suape. B) Distribuição da Matéria Orgânica Total

Fonte: Elaborada pelos autores.

Amostras lamosas, com teores orgânicos mais altos, são encontradas, por sua vez, nas porções internas do estuário, enquanto que sedimentos mais grosseiros, litobioclásticos, com baixos teores de MOT, caracterizam a plataforma continental adjacente ao sistema costeiro de Suape. Esse padrão de distribuição espacial foi também observado em outros estuários da costa pernambucana, tais como os sistemas estuarinos dos rios Jaboatão (BARCELLOS *et al.*, 2016a), Formoso (SANTOS; BARCELLOS, 2017), Goiana (BARCELLOS; ALVES; FETTER, 2016) e Capibaribe (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

**Tabela 2.** Percentuais da análise da fração arenosa das malhas 0,250 e 0,500mm

0,250 mm							
Tipos de grãos/Percentuais	ST03	ST06	ST04	ST13	ST08	ST29	ST20
Quartzo	64	50	20	88	10	20	100
Quartzo limonitizado		20	10				
Mica	6				5		
Minerais Pesados	2	10	9	12			
Fragmentos de Rocha	10	19	40		30	30	
Fragmentos Vegetais			6		40		
M. Gastropoda		1					
Fragmentos de coral			15			20	
Frag. Não identificado	18				15		
Escafópoda						10	
Outros Marinhos						20	
0,500 mm							
Tipos de grãos/Percentuais	ST03	ST06	ST04	ST13	ST08	ST29	ST20
Quartzo	80	30	30	95	2	20	100
Quartzo limonitizado		45	50				
Mica	8						
Minerais Pesados					8		
Fragmentos de Rocha	4	25	15	5	60	20	
Fragmentos Vegetais					20		
Outros Terrígenos					10		
M. Gastropoda	8						
Frag. Não identificado						20	
Escafópoda							
Outros Marinhos			5			40	

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2 representa os dados da análise da fração arenosa referentes à porcentagem relativa de cada amostra nas malhas 0,250 e 0,500 mm, respectivamente. A Tabela 3 apresenta os dados do índice B.M e a Tabela 4, os resultados das análises morfoscópias. Os gráficos 1 e 2 demonstram as porcentagens das malhas de 250 mm e 500 mm respectivamente.

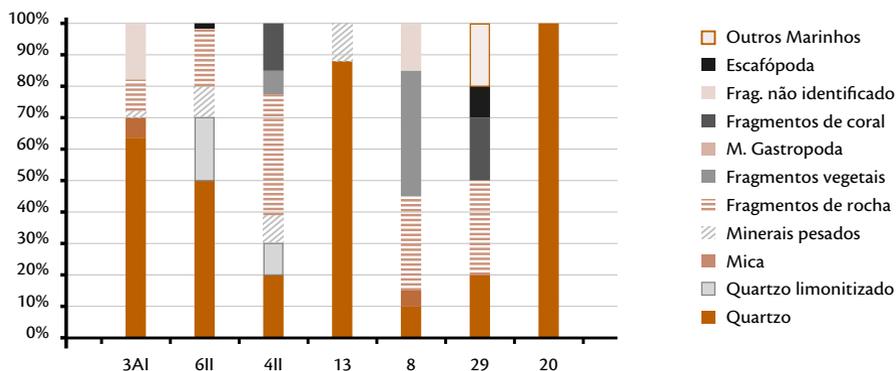


Gráfico 1. Gráfico das porcentagens da análise da Fração Arenosa da malha de 250 mm

Fonte: Elaborado pelos autores.

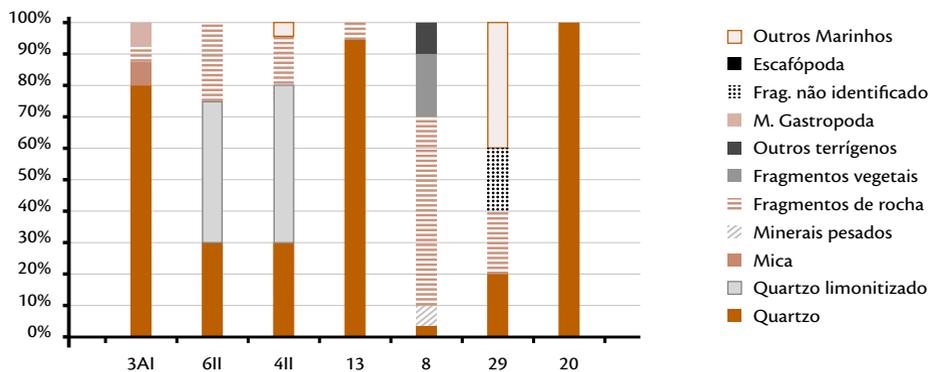


Gráfico 2. Gráfico das porcentagens da análise da Fração Arenosa da malha de 500 mm

Fonte: Elaborado pelos autores.

No geral, houve uma predominância de sedimentos terrígenos de composição quartzosa (índice B.M. = < -0,64), com ampla ocorrência de fragmentos de rochas e minerais pesados em todo o sistema, para ambas as frações. Os sedimentos com maiores conteúdos de grãos biogênicos marinhos e percentual de  $\text{CaCO}_3$  (10%) encontram-se na estação 29 (B.M. = 0,00 e 0,20 para peneiras de 0,250 e 0,500 mm, respectivamente), mais externa ao complexo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Frequência dos fragmentos terrígenos e marinhos e Índice B.M. das amostras

Amostras	Terrígenos	Marinhos	Total	Índice BM
<b>0,250mm</b>				
3	82	18	100	-0,64
6	99	1	100	-0,98
4	85	15	100	-0,7
13	100	0	100	-1
8	85	15	100	-0,7
29	50	50	100	0
20	100	0	100	-1
<b>0,500mm</b>				
3	92	8	100	-0,84
6	100	0	100	-1
4	95	5	100	-0,9
13	100	0	100	-1
8	90	10	100	-0,8
29	40	60	100	0,2
20	100	0	100	-1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação à morfoscopia, o que corresponde a 57,14% das amostras, foi observada a presença de brilho, indicando que tais sedimentos foram retrabalhados em ambientes subaquoso. A alta esfericidade foi predominante para as amostras dos grãos maiores (0,500 mm) e a baixa esfericidade, para os grãos menores (0,250mm). Essa constatação era esperada, visto que a esfericidade aumenta com o aumento do tamanho do grão. O arredondamento dos grãos variou de subanguloso a bem arredondado. Os dados obtidos em diferentes pontos da área estudada apontaram uma

predominância de grãos subangulosos (57,14%), nas frações mais finas (0,250mm), indicando um possível transporte pouco eficiente. Para a fração de grãos mais grossos (0,500mm), por sua vez, há um predomínio de grãos subarredondados a bem arredondados (Tabela 4).

**Tabela 4.** Textura e grau de arredondamento e esfericidade das amostras da malha de peneiras de 0,250mm e de 0,500mm

Amostras	Textura	Arredondamento	Esfericidade
<b>0,250mm</b>			
3	Brilhoso	0,3	0,5
6	Brilhoso	0,3	0,5
4	Fosco	0,3	0,5
13	Brilhoso	0,5	0,5
8	Fosco	0,3	0,5
29	Fosco	0,7	0,5
20	Brilhoso	0,5	0,9
<b>0,500 mm</b>			
3	Brilhoso	0,5	0,9
6	Brilhoso	0,5	0,9
4	Fosco	0,5	0,9
13	Brilhoso	0,3	0,9
8	Fosco	0,5	0,3
29	Fosco	0,9	0,7
20	Brilhoso	0,3	0,9

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 4. Discussão

De acordo com as tabelas e com os mapas de distribuição elaborados, ocorre uma predominância de sedimentos terrígenos e arenosos litoclásticos em todo o sistema, apresentando, quase que estritamente, valores do índice BM abaixo de -0,50, com um percentual relativo de grãos

terrígenos acima de 80% e conteúdo de areia acima de 98,0%, em 71,4% das amostras. Em geral, são sedimentos de composição quartzosa, ricos em fragmentos de rochas, minerais pesados e com baixo conteúdo de carbonato de cálcio (< 5%).

A abundância de fragmentos de rocha relaciona-se ao aporte oriundo da área continental com pouca influência marinha. Os sedimentos mais ricos em fragmentos de rochas são os das estações 6, 4 e 8, sendo a amostra ST8 a mais interna do sistema e as amostras 6 e 4, mais externas. Apesar dessas duas amostras, ST 6 e ST 4, serem mais externas, a influência marinha não foi muito presente. Isso provavelmente pode ser explicado pelo aporte continental em trazer os sedimentos terrígenos em suspensão até o sul do sistema. BARCELLOS *et al.* (2016b) no Rio Goiana (PE), Siqueira (2007) e Barcellos *et al.*, (2005) no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) também encontraram resultados semelhantes com o predomínio de sedimentos terrígenos nestes estudos.

No caso dos sedimentos com maiores conteúdos de grãos biogênicos marinhos, estes encontram-se na ST 29, com valores de índice BM variando de 0 a 0,20, indicando que esta porção do sistema sofre uma maior influência marinha no processo sedimentar. Isto se deve, primordialmente, à sua localização mais externa do sistema, na área abrigada do píer externo de atracação.

Com relação aos grãos estudados, foram observados a presença de brilho e o predomínio da textura brilhosa nas amostras, indicando que tais sedimentos são realmente retrabalhados em ambiente subaquoso. Além disso, a ocorrência de textura fosca pode estar associada à incidência de argila nos sedimentos, ocasionando um falso fosqueamento.

Esfericidade corresponde a uma grandeza que expressa numericamente o grau de aproximação da forma de uma partícula do tamanho areia com aquela de esfera perfeita. A esfericidade reflete as condições de deposição no momento da acumulação, embora em grau mais limitado seja modificada também pela abrasão (SUGUIO, 2003; BARROS *et al.*, 2007). Foi observado, na maioria das amostras, que a alta de esfericidade é predominante nos grãos maiores (0,500mm), comprovando a afirmação de Reineck e Singh (1980), na qual os grãos de areia se tornam mais esféricos com a intensificação do desgaste e da fragmentação durante o transporte e a esfericidade, por sua vez, cresce conforme o aumento do tamanho do grão.

De uma maneira geral, o grau de arredondamento aumenta com a duração do transporte e do retrabalhamento. Os dados obtidos em diferentes pontos da área estudada apontaram uma predominância de grãos subangulosos (57,14%), nas frações mais finas (0,250mm), indicando, assim, uma intensa abrasão capaz de fraturar os grãos de quartzo maiores que, segundo Blatt

(1970) *apud* McLane (1995), não conseguem mais ficar bem arredondados e/ou são resultado de um transporte pouco eficiente.

Marques *et al.* (2011), ao estudar a geoquímica de metais nos sedimentos da zona estuarina do Porto de Suape, também encontraram alta concentração de MOT (11%) em amostras colhidas no porto interno, próximo à Ilha de Cocaia. Para Chagas (2003), esta concentração representa um reflexo das atividades locais relacionadas à área portuária, como descargas de esgoto não tratado.

A faixa de concentração de MOT registrada no presente estudo (0,19 a 19,4%), em relação à observada por Oliveira *et al.* (2014) nas amostras localizadas no porto do Recife, foi inferior para o período chuvoso (6,03 a 24,43%) e superior para o seco (3,60 a 13,43%). Por sua vez, foi superior para os dois períodos, quando comparada às concentrações encontradas na orla de Santos por Ferraz *et al.* (2012) (1,5 e 3,0% no verão e 1,0 e 4,0% no inverno).

De acordo com a Resolução CONAMA 454/12, os valores de MOT em 14% dos sedimentos coletados estão com concentrações acima do valor alerta (> 10% de carbono), o qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente.

## 5. Conclusões

Ocorre uma predominância de sedimentos terrígenos e arenosos litoclásticos em todo o sistema, para ambas as frações arenosas.

Os sedimentos são, em geral, de composição quartzosa, com ampla ocorrência de fragmentos de rochas, minerais pesados e baixo conteúdo de carbonato de cálcio. As maiores concentrações de  $\text{CaCO}_3$  decorrem de influências, como localização na plataforma, e são amostras compostas, em geral, por sedimentos arenosos e cascalhosos.

A presença de brilho foi predominante, assinalando que tais sedimentos são realmente retrabalhados e constantemente transportados em ambiente subaquoso. Isso também é refletido pela alta esfericidade, em especial nos grãos maiores (0,500 mm), bem como no maior grau de arredondamento das partículas sedimentares, correspondendo a mais indicativos deste processo de transporte.

Em síntese, as características dinâmicas das correntes estuarinas do sistema condicionam o processo de sedimentação da matéria orgânica e do carbonato de cálcio da área e indicam, ainda, uma distribuição sedimentar espacial marcada, onde podem ser identificadas áreas preferenciais de deposição: 1) sedimento lamoso com muita MOT e  $\text{CaCO}_3$  no canal de acesso ao porto interno; 2) amostras essencialmente litoclásticas e com baixos teores de MOT da laguna e no Massangana; e 3) as amostras mais enriquecidas de  $\text{CaCO}_3$  na plataforma interna.

A presença de altos teores de MOT pode ser indicativa de: um ambiente, no geral, de baixa dinâmica, em especial, no canal dragado do porto; bem como da existência de um aporte local perene e considerável de material orgânico (natural e antropogênico) que fica retido nos sedimentos estuarinos. Os valores de MOT encontrados estão, em sua maioria, abaixo do valor alerta estipulado pela legislação. Estudos mais aprofundados, envolvendo a composição elementar da matéria orgânica (C e N) e as suas razões de isótopos estáveis, além de análises de metais no sedimento, irão complementar o presente estudo inicial sobre a área, permitindo realizar avaliações ambientais mais aprofundadas sobre esta localidade.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe) pelo suporte financeiro ao projeto de apoio à pesquisa (APQ-0260-1.08/15): "Sedimentação holocênica na região de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE) (*Suape-Geosub*)", que possibilitou a realização deste artigo. Agradecem, do mesmo modo, pelos projetos de Iniciação Científica (Pibic-Facepe): (BIC-2426-1.08/15) "Análise dos componentes da fração arenosa (0,25mm e 0,50mm) do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)" e (BIC-3621-1.08/16) "Distribuição espacial de foraminíferos bentônicos no sistema estuarino-lagunar do complexo Portuário Industrial de Suape (PE)".

## Referências

BADER, R.G. Carbon and nitrogen relations in surface and subsurface sediments. **Geochimical & Cosmochimical Acta**, v. 7, n.5/6, p. 205-211. 1955.

BARCELLOS, R.L.; ALVES, C.S.; FETTER-FILHO, A.F.H. **Geoquímica e dinâmica sedimentar do sistema estuarino do Rio Goiana**. 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Edições, 2016b. v. 1. 89p.

BARCELLOS, R.L.; BERBEL, G.B.; BRAGA, E. de S.; FURTADO, V.V. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 19, n. 1, p. 22-36. 2005.

BARCELLOS, R.L.; FURTADO, V.V. Caracterização dos componentes da fração arenosa (0,500mm/0,250mm) no Canal de São Sebastião (SP). **Pesquisas em Geociências** v. 28, n. 2, p. 35-51. 2001.

BARCELLOS, R.L.; MONTES, M.J.F.; ALVES, T.M.F.; CAMARGO, P.B. Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 75, p. 38-42. 2016a.

BARROS, L.C.; VALENÇA, L.M.M.; MANSO, V. A. V.; MADRUGA, J. D. & OLIVEIRA, J. A. R. Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de santa cruz e do rio timbó, norte do estado de Pernambuco. **Estudos Geológicos** v. 17 (1), 2007.

BARROS, L.C. **Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape**. 186f. Tese (Doutorado) - CTG-UFPE. Recife, 2009.

CARVER, R. E. Settling analysis. **Procedures in sedimentary petrology**. New York: Wiley-Interscience. 1971. p. 427-452.

CHAGAS, A.C.O. **Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape – PE – Brasil**. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. 2003.

CIFUENTES, L. A. Spatial and temporal variations in terrestrially-derived organic matter from sediments of delaware estuary. **Estuaries**, v. 14, n. 4, p 414-429. 1991.

COMPLEXO Industrial Portuário de Suape. **Site**. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/>. Acesso em: 03 jul. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 454**, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material

a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>.

FERRAZ, M.A., CHOUERI, R.B., FIORI, E.F., NOBRE, C.R., CESAR, A., PEREIRA, C.D.S., 2012. Avaliação da qualidade dos sedimentos da orla de Santos empregando-se ensaios de toxicidade e caracterização da estrutura da comunidade macrobentônica. *Mundo Saúde* 36, 625–634.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos River Bar: Study of the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, n. 27, p. 3-27. 1957.

HASLETT, S.K. **Coastal systems**. London, New York: Routledge, 2001. 217p.

HUBERT, J.F. Analysis of heavy-mineral assemblages. In: CARVER, R.E. (ed.). **Procedures in sedimentary petrology**. New York: Wiley-Interscience. 1971. p. 453-478.

KJERVFE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, D.A. (ed.) **Estuarine variability**. New York: Academic Press, 1986. p. 63-81.

KRUMBEIN, W.C.; SLOSS, L.L. **Stratigraphy and sedimentation**. New York: WH Freeman, 1963. 660 p.

LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFRET, J.P. The Superficial sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*, v. 29, n. 6, p. 851-864. 1982.

MAHIQUES, M. M. de. **Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro**. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico - USP, São Paulo, 1987.

MAHIQUES, M.M. de; TESSLER, M.G.; FURTADO, V.V. Characterization of energy gradient in enclosed bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n. 47, p. 431-446. 1998.

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 4, p. 379-387. 2011.

MASSELINK, G.; HUGHES, M. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. 2003.

McLANE, M. **Sedimentology**. New York: Oxford University Press, 1995. 423p.

MEYERS, P.A. Organic geochemical proxies of paleoceanography, paleolimnologic and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry** n. 27, p. 213-250. 1997.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 424 p. (Coleção Acadêmica).

OLIVEIRA, T.S.; BARCELLOS, R.L.; SCHETTINI, C.A.F.; CAMARGO, P.B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 399-412. 2014.

PAROPKARI, A.L.; IYER, S.D.; CHAUHAN, O.S.; BABU, C.P. Depositional environments inferred from variations of calcium carbonate, organic carbon, and sulfide sulphur: a core from southeastern Arabian Sea. **Geo-Marine Letters**, n. 11, p. 96-102. 1991.

REINECK, H.E.; SINGH, I.B. **Depositional sedimentary environments**. 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1980. 549 p.

SANTOS, L.D.; BARCELLOS, R.L. Sedimentação atual do estuário do Rio Formoso - PE (Brasil). 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Novas Edições Acadêmicas, v. 1, 2017. 113 p.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on Sand-Silt-Clay Ratios. **Journal of Sedimentary Petrology Research**, v. 24, n. 3, p. 151-158. 1954.

SHEPARD, F.P.; MOORE, D.G. Sedimentary environments differentiated by coarse fraction analysis. **Bull. An. Assoc. Petrol. Geol.**, v. 38, n. 8, p. 1792-1802. 1954.

SIQUEIRA, B.K. **Contribuição ao processo sedimentar atual no Canal do Ararapira, sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)**. 90 f. Dissertação (Mestrado) - IOUSP, 2007.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Ed Edgard Blücher, 2003. 416 p.

\_\_\_\_\_. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Ed Edgard Blücher, 1973. 317 p.

WETZEL, R.G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3. ed. San Diego, CA: Academic Press, 2001. 1006 p.