



Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental
Correlation Between Textural Characteristics of Marine Sediments and Benthic Foraminifera in the Suape Port (PE-Brazil): an Environmental Study

Taiana Regina Silva de Oliveira¹; Luciana Dantas dos Santos¹;
Jéssica Cristina Amorim da Silva²; Patrícia Pinheiro Beck Eichler^{3,4} & Roberto Lima Barcellos¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geociências.
Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, 50740-540, Recife-PE, Brasil

²Faculdade Frassinetti do Recife, Centro FAFIRE, Departamento de Ciências Biológicas.
Av. Conde da Boa Vista, 921, Boa Vista, 50060-002, Recife-PE, Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.
Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Candelária, 59066-800, Natal-RN;

⁴Universidade do Sul de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
Av. Pedra Branca, 25, Cidade Universitária Pedra Branca, 88137 272, Palhoça - SC
E-mails: tayeee@gmail.com; santos.luciana27@yahoo.com.br; jessiamorim25@gmail.com;
patriciaeichler@gmail.com; roberto.barcellos@ufpe.gov.br

Recebido em: 30/10/2018 Aprovado em: 04/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_168

Resumo

A construção do maior complexo industrial portuário do nordeste brasileiro, o Porto de Suape (PE/Brasil), ocasionou mudanças geomorfológicas, sedimentares e ambientais no sistema estuarino-lagunar associado. Este estudo visa avaliar a influência da construção do Porto de Suape nas assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas às características do substrato (teores de carbonato de cálcio e à matéria orgânica total, granulometria). Para isso, 7 amostras foram selecionadas de cada subambiente representativo, nos quais 36 gêneros de foraminíferos foram identificados. Destacam-se as espécies dominantes *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*. Os valores de diversidade se apresentaram mais elevados próximos a plataforma interna, com o menor valor na região do porto que sofre sucessivas dragagens. Os sedimentos de granulação areia dominaram (85,3-99,8%), com exceção da região do canal dragado do rio Tatuoca que apresentou um percentual de argila (30,6%) e o maior percentual de silte (36,2%). Predominam também sedimentos litoclásticos, com teores médios de CaCO₃ de 21,95%. A estação de sedimentos de granulação mais grossa se apresenta com ausência de foraminíferos, o que pode ser associada à forte dinâmica de correntes e a quebra parcial dos recifes para implantação do porto. A laguna de Suape, assim como a plataforma interna adjacente, apresentou os maiores percentuais de lama correlacionados à matéria orgânica, podendo revelar influência positiva aos valores de riqueza e diversidade. A região do canal dragado do Rio Tatuoca demonstrou menor diversidade, provavelmente, devido ao estresse ambiental ocasionado pelo constante revolvimento dos sedimentos, que possivelmente refletiu na dominância da *A. parkinsoniana*. Espécies oportunistas foram dominantes principalmente nas estações mais próximas à costa. Estações mais profundas, localizadas próximas aos *beachrocks* e plataforma interna, apresentaram um dos mais altos valores de diversidade, contribuindo para afirmar a influência marinha na melhoria da qualidade ambiental, uma vez que o ambiente possui menor influência antrópica decorrente de mudanças ambientais devido a construção do porto de Suape.

Palavras-chave: Sedimentos; Foraminíferos bentônicos; Estuário; Porto; Poluição

Abstract

The establishment of the largest industrial port complex of the Brazilian northeast, Suape Port (PE-Brazil), which caused geomorphological, sedimentary and environmental changes. This study investigate the influence of the Suape Port built on Benthic Foraminifera and your influence on marine sediments (calcium carbonate, total organic matter, grain size). To achieve it seven samples were selected from each representative local subenvironment. Thirty-six Foraminifera genera were identified, with the largest number of Rotaliidae Order. The dominant species are *Ammonia tepida* and *A. parkinsoniana*. Diversity values were higher near the inner shelf, with the lowest value in the region of the port that undergoes successive dredging. Sand grains prevail (85.3-99.8%); with the exception of the region of the dredged channel of the Tatuoca River that shows high percentage of clay (30.6%) and the highest percentage of silt (36.2%). Lithoclastic sediments are predominant, with average CaCO₃ contents of 21.95%. Coarser grain size are absent of foraminifera, which can be associated to the strong dynamics of currents and the partial breaking of the reefs for implantation of the port The Suape lagoon. As well as the inner shelf, that presented higher percentage of mud correlated to organic matter, which reveals a positive influence on the values of diversity. The sample from dredged channel of the Tatuoca River showed less diversity probably due to the environmental stress from the reworking of sediments. Opportunistic species were dominant closer to the coast, and deeper stations, located in the shelf and closer of beachrocks show higher values of diversity, contributing to point out the marine influence and the water renovation for the environmental quality.

Keywords: Sediments; Benthic foraminifers; Estuary; Port; Pollution

1 Introdução

O Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado na Baía de Suape, está localizado a cerca de 40 km ao sul da cidade de Recife (8°22'S/34°55'W), e foi criado como uma forma de solução ao crescimento econômico do Estado de Pernambuco (Koenig *et al.*, 2002). A Baía de Suape, formada pelo estuário dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe, sofreu diversas intervenções antrópicas para a implantação do complexo industrial que acarretou em aterros, dragagens e represamento de rios, alterando a hidrologia e sedimentologia local, modificando drasticamente a paisagem e, consequentemente a biota (Braga *et al.*, 1989; Koenig *et al.*, 2002). Com base em estudos realizados por Miranda *et al.* (2007) no Porto de Suape, foram observados níveis consideráveis de contaminação por óleo diesel, e também, toxicidade (Araujo & Santos, 2013). Apesar desses dados, há escassez de pesquisas científicas realizadas no sistema estuarino-lagunar de Suape envolvendo organismos bentônicos.

Os foraminíferos podem ser excelentes bioindicadores, pois são organismos cosmopolitas amplamente estudados para interpretar características ambientais, como salinidade, pH, matéria orgânica, eventos anóxicos e mudanças causadas por impactos humanos (Boltovskoy *et al.*, 1980; Culver & Buzas, 1995; Geslin *et al.*, 2002; Murray, 2006). Carapaças de foraminíferos são comumente abundantes nos sedimentos e são facilmente coletados em estuários, baías, lagoas e lagunas brasileiras (Vilela *et al.*, 2003, 2011; Barbosa *et al.*, 2005; Eichler *et al.*, 2006; Machado & Araújo, 2014).

O objetivo desse trabalho é descrever as assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas aos parâmetros sedimentológicos, assim como a influência antrópica na região estuarina e costeira do Complexo Industrial Portuário de Suape.

2 Materiais e Métodos

A área estudada, que originalmente era contínua e com uma conexão livre com o oceano junto ao Cabo de Santo Agostinho, foi aterrada parcialmente

e passou a ser seccionada em três porções distintas: Baía de Suape/Estuário do Rio Massangana, Estuário do Rio Tatuoca e Estuário dos rios Ipojuca/Merepe; apresentando no presente duas desembocaduras artificiais, fruto de aberturas na linha recifal externa por meio de dinamitação dos arenitos de praia (*beachrocks*) que protegiam naturalmente o sistema estuarino original à retaguarda.

Foram coletadas amostras em 07 pontos (Figura 1) no mês de agosto de 2015, no cruzeiro oceanográfico “*Suape-GeoSub IIP*”. As amostras foram coletadas na interface sedimento-água, com amostrador de mandíbulas do tipo *Van Veen* e registradas no Sistema de Posicionamento Global (GPS), sendo denominadas ST03, ST04, ST06, ST08, ST13, ST20, ST29. A profundidade foi medida por um profundímetro portátil do tipo *Sumergible PS-7*.

A seleção das amostras obedeceu a um critério de caracterização de subambientes sedimentares no sistema, denominados: laguna 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 de Suape central (ST20) e a plataforma interna na área abrigada do Porto (ST29).

Os teores de carbonatos (CaCO_3) e de matéria orgânica total (MOT) foram obtidos por diferença de peso seco aferido em balança semi-analítica, antes e após ataque de HCl e H_2O_2 a 10%, respectivamente, de acordo com os métodos descritos em Carver (1971). Os dados dos teores de carbonatos, foram classificados segundo a proposta de Larssonneur *et al.* (1982): litoclástico ($\text{CaCO}_3 < 30\%$); litobioclástico ($30\% < \text{CaCO}_3 < 50\%$); biolitoclástico ($50\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$) e bioclástico ($\text{CaCO}_3 > 70\%$).

A análise granulométrica foi realizada de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem de Suguio (1973) e os resultados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama textural de fácies sedimentares de Shepard (1954) por meio do software *Sysgran3* (Camargo, 2005), obtendo-se o grau de seleção, diâ-

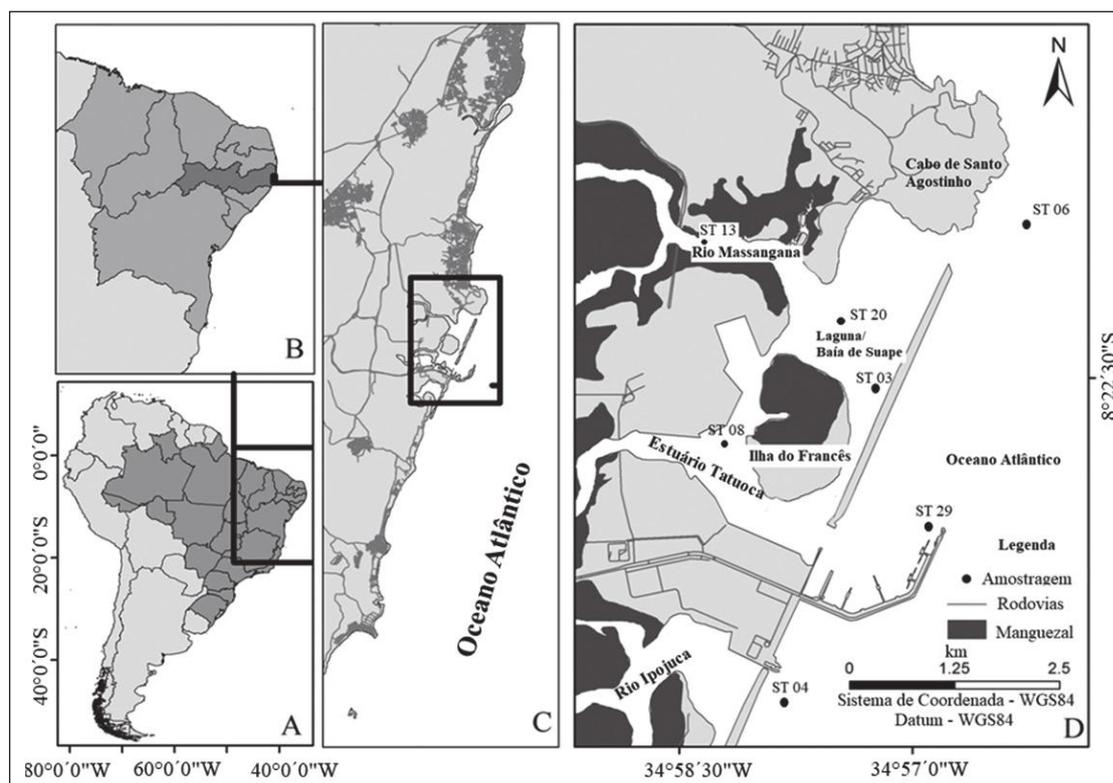


Figura 1 Mapa da área de estudo (A, B, C) e locais de amostragem das estações analisadas em Porto de Suape (D).

metro médio e a composição sedimentar (percentual de cascalho, areia, silte e argila). Os dados sedimentares, posteriormente, foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) para identificar a tendência ambiental através de toda a área através do *software Primer 6* (University of Plymouth), com os seguintes parâmetros: areia (%), silte (%), argila (%), MOT (%) e carbonatos (%),

O tratamento para o estudo da microfauna consistiu em lavagem, peneiramento úmido com peneira de abertura 0,062mm e secagem em estufa a 50°C. As amostras foram divididas, triadas e, posteriormente, 100 espécimes de foraminíferos bentônicos foram identificados. A determinação das espécies seguiu Loeblich & Tappan (1988), a classificação das espécies foi baseada no catálogo de Ellis & Messina (1940), Boltovskoy *et al.* (1980).

A abundância absoluta e relativa de foraminíferos foi avaliada com parâmetros ecológicos de dominância e diversidade de Shannon (H') e equitatividade. A abundância relativa foi calculada e gêneros estatisticamente significantes foram considerados como aqueles com abundância de 5%, mesmo em uma amostra, ou 2%, em pelo menos 2 amostras (Schmiedl *et al.*, 1998).

Índices ecológicos em amostras com menos de 40 espécimes não foram calculados, não sendo incluídas nas análises estatísticas. Espécies com 10% ou mais de abundância relativa nas amostras foram consideradas dominantes (Boltovskoy & Toth, 1985).

A Frequência de Ocorrência foi calculada e as espécies foram agrupadas nas seguintes categorias (Dajoz, 1983): constantes (presentes em mais de 50% das amostras); acessórias (presentes entre 25% e 50% das amostras) e acidentais (presentes em menos de 25% das amostras).

Utilizando-se dos dados bióticos, foi realizada a análise de similaridade de *Bray Curtis*, gerando uma matriz de semelhança para análise de cluster e escalonamento multidimensional (MDS).

3 Resultados

3.1 Análise Sedimentológica e Geoquímica

Os sedimentos, com exceção da amostra da estação 08, apresentam um predomínio da granulção areia com proporção variando de 85,3% a 99,8%, segundo o diagrama faciológico de Shepard (1954).

De acordo com Folk & Ward, apresentam-se como areia fina a areia grossa. Apenas a estação ST08, localizada no canal dragado do rio Tatuoca, apresentou alto teor de lama (66,23%), sendo classificada como silte médio (Folk & Ward, 1957) e como um silte argilo-arenoso (Shepard, 1954) (Tabela 1).

Os pontos (ST03, ST08 e ST29) classificados como areia fina, silte médio e areia fina respectivamente apresentam os maiores percentuais lamosos. Demonstrando, dessa forma, que 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. Em relação à estação ST04, observam-se apenas sedimentos de granulação grossa, com ausência de silte e argila, o que pode ser associado à forte dinâmica de correntes e ondas

da área, localizado em mar aberto adjacente à desembocadura do estuário do rio Ipojuca.

O maior percentual de cascalho foi encontrado na estação ST06 (14,01%), sendo a única com o teor >10% localizada na plataforma interna próxima à desembocadura da laguna, junto ao Cabo de Santo Agostinho a 17,4m de profundidade (Tabela 1).

Os teores de CaCO₃ 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 ST04 e ST29, localizadas na plataforma continental interna, apresentam teor de CaCO₃ entre 30-40%, indicando substrato com características litobioclásticas (46,5% e 39,80%, respectivamente) (Figura 2A), já os conteúdos de MOT variaram de 0,9% a 19,4% (Figura 2B)

ST	Lat. (S)	Long. (W)	Prof. (m)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	Phi Médio	Folk & Ward (1957)	Shepard (1954)	Grau de Seleção
ST03	-08°03.696'	-34°09.514'	12,0	3,18	89,84	6,98	2,21	Areia fina	Areia	Pobremente selecionado
ST04	-08°04.124'	-34°09.620'	14,5	7,73	92,27	0,00	0,22	Areia grossa	Areia	Moderadamente selecionado
ST06	-08°03.557'	-34°09.367'	17,4	14,01	85,79	0,20	0,53	Areia grossa	Areia	Pobremente selecionado
ST08	-08°03.081'	-34°09.694'	11,0	2,78	30,5	66,73	5,52	Silte médio	Silte argilo-arenoso	Muito pobremente selecionado
ST13	-08°03.598'	-34°09.711'	3,2	5,86	93,9	0,23	1,29	Areia média	Areia	Pobremente selecionado
ST20	-08°03.683'	-34°09.580'	2,0	0,2	99,8	0,00	0,69	Areia grossa	Areia	Bem selecionado
ST29	-08°03.909'	-34°09.480'	20,0	1,06	85,33	13,61	2,69	Areia fina	Areia	Pobremente selecionado

Tabela 1 Dados abióticos de latitude (Lat.), longitude (Long.), profundidade (Prof.), dados sedimentológicos e geoquímicos.

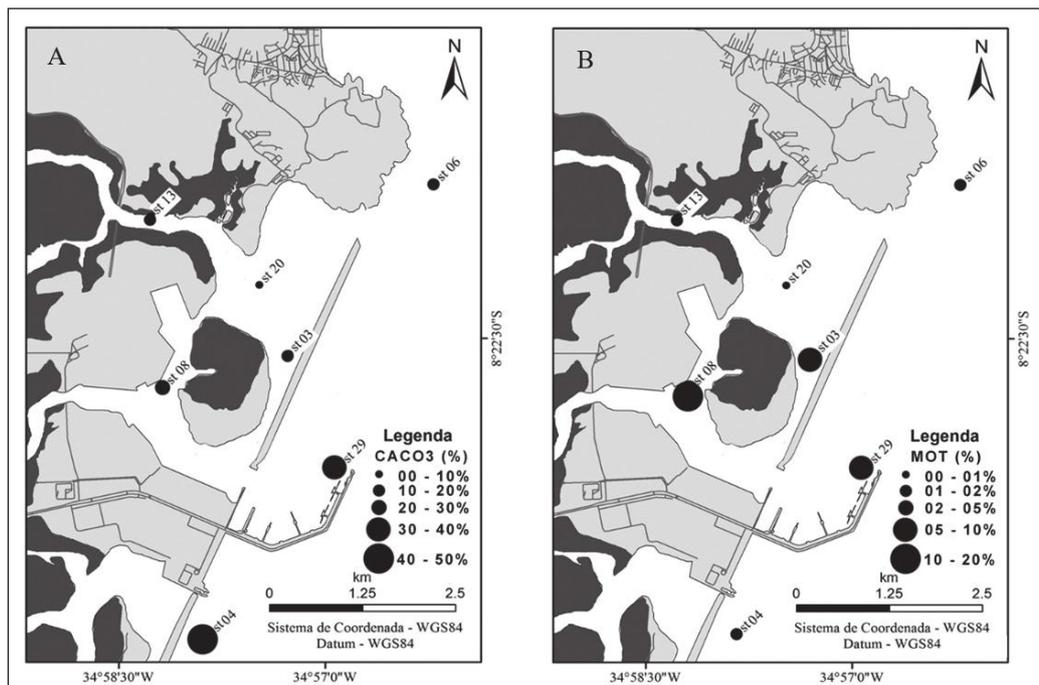


Figura 2 A) Distribuição do CaCO₃ na área de estudo. B) Distribuição da MOT na área de estudo.

Amostras lamosas com teores orgânicos mais altos são encontradas por sua vez nas porções internas do estuário, enquanto que sedimentos mais grossos litobioclásticos com baixos teores de MOT caracterizam a plataforma continental adjacente ao sistema costeiro de Suape.

Com base na análise de PCA, foi possível observar que a estação ST08 difere das demais (Figura 3A), apresentando o maior teor de lama (~67%), e que segundo classificação proposta por Ungemach (1960 *in* Esteves, 1998), apresenta sedimento classificado como orgânico por apresentar teores acima de 10%. Portanto, um segundo gráfico (Figura 2B) e PCA (Tabela 2) foi calculado sem a estação 8. Com base na tabela 2, dois eixos fatoriais representaram 82,4% da variância total (Tabela 3A). O diagrama e as cargas do PCA (Tabela 2B), excluindo a estação 8 (Figura 2B), revelou que a % lama teve a maior carga positiva (0,597) seguida por % MOT (0,533) no componente principal 1 (PC1) e na carga negativa o % Areia (-0,499). O PC2 foi caracterizado por forte carga positiva para % Cascalho (0,728) e o carregamento negativo mais forte para % areia (-0,504). O % de CaCO₃, influência na carga positiva tanto o PC1 quanto o PC2 (0,351 e 0,369, respectivamente). Outras diferenças foram mínimas, como observado acima, e as cargas (Tabela 3B) foram <0,3 (positivas ou negativas).

3.2 Foraminíferos Bentônicos

Os foraminíferos de modo geral são abundantes e bem preservados, apresentando pequenas dimensões. Foram identificados 36 gêneros, distribuídos nas ordens Rotalida (243 espécimes), Miliolida

A			
PC	Autovetores	%Variação	Cum.%Variação
1	2,5	50,8	50,8
2	1,6	31,6	82,4
3	0,7	13,8	96,1
4	0,2	3,9	100,0
5	0,0	0,0	100,0
B			
Variável	PC1	PC2	
Teor de MOT (%)	0,533	-0,223	
Teor de CaCO ₃ (%)	0,351	0,369	
% Cascalho	-0,184	0,728	
% Areia	-0,449	-0,504	
%Lama	0,597	-0,173	

Tabela 2 A. Variação acumulada (82,4%) de variáveis abióticas. B. Cargas dos parâmetros abióticos para os eixos PCA 1 e 2.

(109 espécimes), Spirillinida (7 espécimes) e Lage-nida (1 espécime).

A abundância absoluta dos foraminíferos bentônicos variou significativamente entre os locais de coleta. A estação ST04 é estéril, e as estações ST13 e ST20 apresentaram baixa densidade, sendo compostos, respectivamente, por apenas 4 e 5 espécimes de foraminíferos.

As espécies de foraminíferos mais comuns foram *Discorbis* spp. (Lamark, 1804), *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), *Cibicides pseudoungeriana* (Cushman, 1922), *Rosalina floridana* (Cushman, 1922), *Quinqueloculina laevigata* (d'Orbigny, 1839), *Nonion grateloupi* (d'Orbigny, 1839), *Wiesnerella auriculata* (Egger, 1893). As espécies oportunistas estão presentes em toda a baía de Suape,

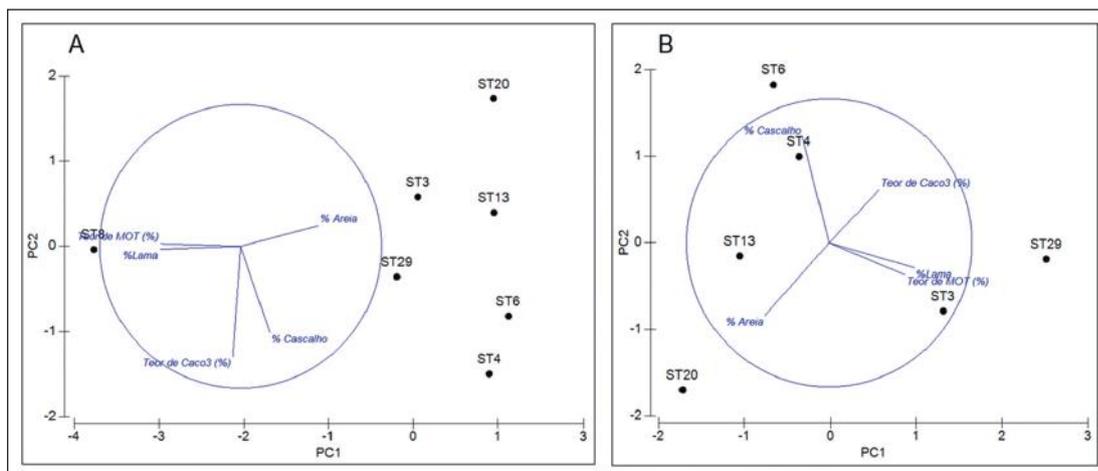


Figura 3 Gráficos das análises de PCA: A) Gráfico da análise do PCA com todas as amostras; B) Gráfico da análise do PCA sem a estação 8.

especialmente na estação ST08, região do Canal dragado do porto interno, onde a espécie *Ammonia parkinsoniana* se apresentou com dominância de 52%. As espécies típicas de ambientes com corais, como *Amphistegina gibbosa*, estiveram presentes apenas nas estações ST03 e ST29.

Na região ST03, *Ammonia tepida* dominou com 20% do total da assembleia. A estação externa a baía de Suape (ST06) assemelha-se consideravelmente com a fauna da região da laguna de Suape, sendo os gêneros *Ammonia* e *Discorbis* spp. dominantes e representaram, respectivamente, 12% e 17% do total da estação. A ST29, localizada na região abrigada do porto externo, é composta também pela dominância da *A. tepida*, com abundância relativa de 10%, e *Discorbis* spp. (13%).

O índice de diversidade de Shannon (H') varia entre 2,04 e 3,20 (Tabela 3), com valor médio maior que 2. A riqueza de espécies foi mais alta na estação ST03, já a região da ST08 obteve o menor valor de riqueza, com 38 e 25, respectivamente. A equitatividade (J'), definida como uniformidade da comunidade, variou de 0,59 (ST08) a 0,90 (ST29).

Amostras	S	J'	H'
ST03	38	0,88	3,19
ST06	31	0,84	2,90
ST08	25	0,59	1,91
ST29	26	0,90	2,94

Tabela 3 Dados ecológicos representados por Riqueza de espécies (S), índice de Equitatividade (J'), Índice de diversidade (H').

3.3 Relação entre Foraminíferos Bentônicos e Sedimentos

Na análise de MDS (Figura 4), somente as amostras ST06, ST03, ST29 ficaram agrupadas, sendo que as estações ST13, ST20, ST08 apresentaram-se de forma isolada, possivelmente devido às diferenças de abundância absoluta e sedimentológicas das estações.

Os principais parâmetros da composição do sedimento, como indicado pelo PCA: % CaCO₃, % MOT e ocorrências de silte e argila, são refletidos no gráfico MDS (Figura 4) de forma que a distribuição das assembleias desses organismos apresenta influência da sua composição sedimentológica.

É possível observar que a ST13 apresenta alto teor de cascalho e assembleia composta de baixa abundância absoluta de foraminíferos; a ST20, também com baixa abundância de foraminíferos, mas, diferentemente, possui baixo teor de cascalho, CaCO₃ e MOT. Apesar da estação ST08 também apresentar alto teor de CaCO₃, ela também apresenta elevada MOT, lama (%) e dominância de 52% de *Ammonia parkinsonian*.

Observada a fácies do grupamento ST06, ST03, ST29 é possível afirmar que um dos principais parâmetros sedimentológicos em comum entre eles é a composição do sedimento, composto de teores

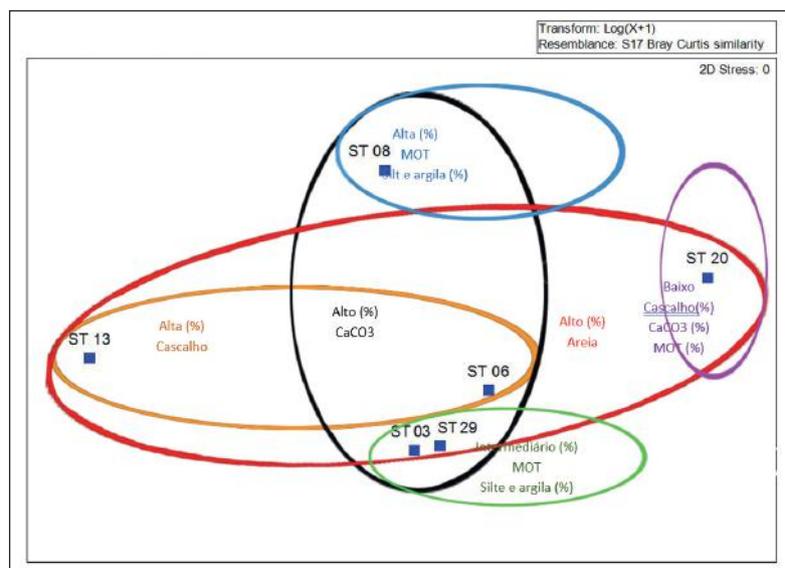


Figura 4 Análise de MDS com a representação das amostras e sua distribuição através de um padrão sedimentológico.

mais elevados de CaCO_3 . Entretanto, nessa fácies composta pelas estações ST06, ST03, ST29, é possível observar (Figura 3B) que a ST06 se distingue um pouco mais das estações ST03 e ST29 por possuir alto teor de cascalho, e areia grossa segundo Folk & Ward (1957), além de possuir uma assembleia significativamente composta de espécies como *Ammonia parkinsoniana* e *A. tepida*, e dominância do gênero *Discorbis* spp. se comparada as demais estações.

As estações ST03 e ST29 apresentam intermediário teor de MOT, silte e argila, por isso encontram-se subagrupadas (Figura 4), constituída de areia fina (Folk & Ward, 1957) e elevada abundância relativa das espécies *Ammonia tepida*, *Amphistegina gibbosa*, *Discorbis* spp., *Quinqueloculina lamarckiana*, *Triloculina oblonga*, *Rosalina floridana*.

4 Discussão

A Baía de Suape apresenta uma fauna diversificada com foraminíferos de diminutas dimensões, característicos de ambientes estuarinos, composta predominantemente por organismos oportunistas, especialmente do gênero *Ammonia*. A composição das assembleias de foraminíferos de Suape se assemelha a outras regiões do Brasil, como no Canal de São Sebastião (Teodoro *et al.*, 2009, 2011), e na Baía de Campos (Yamashita *et al.*, 2018), compostos predominantemente por foraminíferos calcários da ordem Rotaliida.

A abundância absoluta mostrou variação entre as amostras coletadas, de forma que as regiões arenosas do estuário do Massangana e laguna/baía de Suape (ST13 e ST20) apresentam-se compostas de apenas, três e cinco espécimes, respectivamente. Essas estações também são as mais rasas, desta forma, existe a possibilidade de exposição subaérea em momentos de maré baixa de sizígia, em especial para a ST20, o que seria um limitante para a existência desses organismos.

As espécies constantes revelam uma fauna típica de ambiente mixohalino, tolerante a uma ampla gama de condições estressantes, como poluição antrópica e baixos níveis de oxigênio (Murray, 2006). Teodoro *et al.* (2009) associam a maior abundância destas espécies aos sedimentos lamosos, principalmente na fração de silte. Também é possível correlacionar esse alto percentual de sedimento lamoso ao canal interno do porto, principalmente na estação ST08, com maior teor de lama (silte e argila) (Figura 3) à dominância de 52% da espécie *A. parkinsoniana*.

O gênero *Ammonia* foi encontrado por Langer & Lipps (2003) em recifes na lagoa da Papua Nova-Guiné, e também, no canal de Bertioga por Eichler *et al.* (2007), sendo associado a sedimentos finos com alto teor de matéria orgânica. Armynot du Châtelet *et al.* (2009) estudando a costa da França, afirmam ainda que a preferência de *Ammonia* por ambientes com alto teor de matéria orgânica relaciona-se com a alimentação.

Contrao estudo realizado no estuário do rio Pearl, na China, no qual foi observada a abundância relativa da *A. tepida* diminuindo com o aumento profundidade da água (Li *et al.*, 2014), a Baía de Suape, entretanto, não apresentou padrão de distribuição dessa espécie em relação à profundidade. Fato que pode ser decorrente das intervenções antrópicas ocasionadas na implantação do Porto, como as recorrentes dragagens que ocorrem na estação ST08, para manutenção do canal, e também o derrocamento dos *beachrocks* que pode ocasionar uma maior influência marinha nas regiões mais internas da baía de Suape.

Constante na baía de Suape, o gênero *Discorbis* está relacionado a regiões hipersalinas, ricas em nutrientes e que sofrem grande estresse ambiental, como relatado por Badawi *et al.* (2016). Segundo Eichler *et al.* (1995) e Cardoso (2000), *Discorbis* spp. são também designadoras de correntes marinhas de alta densidade que transpassam pelo fundo, característico de alta influência marinha e de penetração da cunha salina (Nurdin *et al.*, 2014). Isto é reforçado pela dominância do gênero na região mais externa do sistema. Cardoso (2000) também descreve que este gênero foi dominante na porção insular do Canal de São Sebastião, local com fluxo mais intenso das correntes, permitindo somente a deposição de sedimentos cascalhos biogênicos (Barcellos *et al.*, 2016), assim como observado na ST06.

No caso do gênero *Rosalina*, Vieira (2004) afirma que este foi coletado nas bacias de Campos e Santos (RJ), com profundidades variando entre 96 a 148 m, portanto na plataforma externa. No caso de Suape, os sedimentos em que esse gênero se apresentou dominante, na ST06 e ST29, encontram-se na plataforma interna, a 17,4 e 20,0m, respectivamente, porém são estações que apresentaram as maiores profundidades de todos os pontos coletados.

Os índices de diversidade obtidos se assemelham aos valores encontrados em outras regiões restritas, como o norte da baía de Guanabara (Vilela *et*

al., 2002), que é considerada uma das áreas costeiras brasileiras mais poluídas, próxima às principais refinarias de petróleo do Rio de Janeiro (Vandenberg & Rebello, 1986; Leal & Wagener 1993). Li *et al.* (2014) observaram que as variáveis como riqueza, abundância e diversidade revelam uma tendência de aumento rápido dos valores, do curso superior para o exterior do estuário do rio Pearl. Com exceção da região do canal dragado, os índices ecológicos não indicam uma variação tão abrupta do curso superior para o exterior do estuário, em sua porção mais marinha. Observou-se o valor mais alto no índice de diversidade na região da laguna (ST03) com uma diminuição na desembocadura da laguna (ST06) e na plataforma (ST29). Esse padrão, possivelmente, não ocorre devido às intervenções ocasionadas para implantação do porto, tais como dragagens e rompimento de recifes para instalação do Porto.

Apesar dos índices ecológicos relativamente altos (Tabela 3), possivelmente estes valores se devem à heterogeneidade ambiental, devido à influência dos fluxos marinho, limnético e do próprio manguezal próximo à região, condicionando desta maneira, a maior diversidade de foraminíferos, representados por espécies resistentes a estresse ambiental e, também, marinhas, como a *Amphistegina gibbosa* que demonstra ambientes de recifes (Hallock, 2011). Valores de diversidade elevados também foram observados em estudo com base em fitoplâncton, na Baía de Suape, no estuário do rio Ipojuca (Koenig *et al.*, 2002), contudo, foi considerado que as espécies são em sua maioria oportunistas e não especialistas, o que indica um ambiente estuarino de baixa qualidade ambiental.

Em relação aos dados ecológicos, os valores de equitatividade se aproximaram a 1 ($J'=1$) (Bruno & Araújo, 2012), desta a forma as associações de foraminíferos se apresentaram relativamente homogêneas, com exceção da amostra ST08. Sendo assim, é possível inferir que a região em estudo apresenta alta equitatividade, que pode relacionar-se à localização das estações, onde as estações ST29, ST06 que possuem maior influência de águas marinhas, apresentam maior tendência de homogeneidade das espécies (equitatividade), corroborando Semensatto-Jr & Dias-Brito (2004) sobre a importância da influência marinha na distribuição das espécies. O menor valor de equitatividade apresentado na ST08 está relacionado à característica oportunista da espécie *A. parkinsoniana* e ao gênero *Discorbis*, em que o ambiente orgânico se torna favorável ao estabele-

cimento dessas espécies, o que pode ser claramente visualizado na fácies criada no MDS (Figura 4).

Hyams-Kaphzan *et al.* (2008) afirmam que a característica do substrato é uma das variáveis mais importantes para condicionar a distribuição dos foraminíferos. As amostras ST04 e ST29, localizadas na plataforma continental interna, apresentam teor de CaCO_3 entre 30-40%, indicando substrato com características litobioclásticas (46,5% e 39,80%, respectivamente) (Figura 2A), denotando uma maior influência marinha na sedimentação se comparada às estações mais próximas à costa. Os conteúdos de MOT variaram 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).

Como observado na Figura 2, as porções internas do estuário apresentam maior teor de lama com índices orgânicos mais altos, e os sedimentos grossos com baixos teores de MOT estão presentes na plataforma continental. Esse padrão de distribuição espacial é característico, e foi também observado em outros estuários da costa pernambucana, tais como os sistemas estuarinos dos rios Jaboatão (Barcellos *et al.*, 2016), Formoso (Santos & Barcellos, 2017), Goiana (Barcellos *et al.*, 2016) e Capibaribe (Oliveira *et al.*, 2014). No gráfico do PCA, é possível observar que o ambiente na amostra ST08 sofre influência do alto valor de MOT e lama. Essa estação apresentou dominância da *Ammonia parkinsoniana* (Figura 3), e possui alto teor de (%) MOT e (%) silte e argila na sua composição sedimentológica. Em trabalho realizado por Jeshma *et al.* (2017) nos estuários de Puravadayanan e Vettar (Índia), a espécie *A. beccari* esteve associada a alto teor de MOT, que variaram de 1,02% a 3,72% e Pereira *et al.* (2004) mostrou que a porcentagem de carbono orgânico é positivamente correlacionada a dominância de *A. tepida* nas partes mais restritas da baía de Guanabara. Na Baía de Suape e no canal portuário, os valores de MOT (Tabela 2) se apresentam muito maiores do que os estuários anteriormente citados, permitindo associá-los à elevada abundância dessa espécie.

A sedimentologia local da estação ST04 apresenta sedimentos de granulometria grossa, que é associada à forte dinâmica de correntes e, também, às ondas locais que fragmentam os grãos carbonáticos. Essa região, localizada em mar aberto, adjacente à desembocadura do rio Ipojuca, sofreu mudanças para implantação do Porto de Suape, como a quebra parcial dos recifes para permitir a comunicação do

mar com o rio Ipojuca, o que condicionou mudanças no ciclo das marés, e também uma grande sedimentação na área, com consequências na diminuição da transparência da água (Neumann-Leitão *et al.*, 1994; Neumann *et al.* 1998, 1999). Possivelmente a ausência de organismos decorre da modificação da sedimentação sofrida na área, associada à alta dinâmica de correntes local.

5 Considerações Finais

Os sedimentos do Sistema Estuarino-Lagunar de Suape são, em geral, litoclásticos, predominantemente arenosos, classificados como mal selecionados, e apresentam baixos teores de MOT (<10%), com exceção da região do canal dragado do rio Tatuoca (ST08). A estação ST04 apresentou ausência de espécies em todas as amostras, com sedimentos de granulometria grossa associada à forte dinâmica das correntes em mar aberto adjacente à foz do estuário do rio Ipojuca. Adicionalmente, esta estação sofreu modificações antrópicas que causaram quebra parcial do recife, ocasionou diminuição da transparência da água, o que pode justificar também a ausência desses organismos.

A assembleia de foraminíferos bentônicos encontrada nas outras amostras é composta principalmente por organismos tolerantes à instabilidade ambiental, com predomínio do gênero *Ammonia* sobre os demais, possivelmente decorrente do estresse ocasionado pela ação antrópica associada ao complexo portuário. A dominância deste gênero revela uma associação com regiões impactadas ricas em matéria orgânica associadas à presença de sedimentos finos e lamosos.

Por fim, este estudo indicou que a região possui um alto valor de diversidade, equitatividade e riqueza, porém, possivelmente estes valores são justificados pela localização geográfica em um ambiente misto, que tem influência dos manguezais, dos rios e do oceano. Este fato é observado na alta dominância de espécies oportunistas, o que indica que a Baía de Suape tem sido fortemente influenciada pelas modificações ocasionadas pela implantação do Porto de Suape, provavelmente de resíduos no Canal do Porto (Tatuoca), e também, pela poluição da costa, possivelmente de esgoto. Foi possível inferir que a assembleia de foraminíferos da estação ST03 reflete a modificação ocasionada pela dinamitação dos *beachrocks* para implantação do Complexo industrial, uma vez que a estação apresenta elevada abundância de *Amphistegina gibbosa* e *Discorbis* spp., indicando influência de águas de origem marinha na laguna de Suape.

Assim, modificações ambientais ocasionadas na implantação do Porto de Suape podem estar associadas ao aumento de assembleias de foraminíferos compostas de espécies oportunistas que respondem a essas mudanças.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à FACEPE (Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste artigo, por meio do Projeto de Apoio à Pesquisa FACEPE (APQ-0260-1.08/15): “Sedimentação holocênica na região de influência do complexo industrial portuário de Suape (PE) (Suape-GeoSub)” e de Iniciação científica (PIBIC – 3621-1.08/16): “Distribuição espacial de foraminíferos bentônicos no Sistema Estuarino Lagunar do Complexo Portuário Industrial de Suape (PE)”.

7 Referências

- Armynot du Châtelet, E.; Degre, D.; Sauriau, P-G. & Debenay, J-P. 2009. Distribution of living benthic foraminifera in relation with environmental variables within the Aiguillon cove (Atlantic coast, France): improving knowledge for paleoecological interpretation. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 180:131-144.
- Araújo, C.F. & Souza-Santos, L.P. 2013. Use of the microalgae *Thalassiosira weissflogii* to assess water toxicity in the Suape industrial-port complex of Pernambuco, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89(1): 212-221.
- Badawi, A. & El-Menhawey, W. 2016. Tolerance of benthic foraminifera to anthropogenic stressors from three sites of the Egyptian coasts. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(1): 49-56.
- Barbosa, C.F.; Scott, D.B.; Seoane, J.C.S. & Turcq, B.J. 2005. Foraminiferal zonation as baselines for Quaternary sealevel fluctuations in south-southeast Brazilian mangroves and marshes. *Journal of Foraminiferal Research*, 35(1): 22-43.
- Barcellos, R.L.; Flores-Montes, M.J.; Alves, T.M.F. & Camargo, P.B. 2016. Modern Sedimentary Processes and Seasonal Variations of Organic Matter in an Urban Tropical Estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. *Journal of Coastal Research*, 75: 38-42.
- Barcellos, R.L.; Alves, C.S. & Filho, A.F. 2016. *Geoquímica e Dinâmica Sedimentar do Sistema Estuarino do Rio Goiana*. Sambrucken, Novas Edições Acadêmicas. 96 p.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S. & Wright, R. 1980. *Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic*. The Hague, Dr W. Junk Publishers, Springer. 147 p.
- Boltovskoy, E. & Totah, V. 1985. Diversity, similarity and dominance in benthic foraminiferal fauna along one transect of the Argentine shelf. *Revue de Micropaléontologie*, 28: 23-31.
- Braga, R.A.P.; Uchoa, T.M.M. & Duarte, M.T.M.B. 1989. Impactos Ambientais Sobre o Manguezal de Suape - Pe. *Acta Botânica Brasileira*, 3(2): 9-19.
- Bruno, R.L.M. & Araújo, T.M.F. 2012. Distribuição dos foraminíferos na plataforma de transição carbonato-siliciclástico, região de Ilhéus, Bahia. *Gravel*, 10(1): 23-33.
- Cardoso, P. 2000. *Caracterização de foraminíferos e sua utilização como indicadores de massas d'água e de parâmetros ambientais, no canal de São Sebastião (SP)*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 108p.
- Carver, R. 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York. 653 p.
- Camargo, M. G. SYSGRAN 3.0: Análises e gráficos sedimentológicos. Open source under GNU license, 2005.
- Culver, S.J. & Buzas, M.A. 1995. The effect of anthropogenic habi-

- disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 25(3): 204-211.
- Dajoz, R. 1983. *Ecologia geral*. Petrópolis, Vozes. 472 p.
- Geslin, E.; Debenay, J.-P.; Duleba, W. & Bonetti, C. 2002. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: comparison between polluted and non-polluted areas. *Marine Micropaleontology*, 45(2): 151-168.
- Eichler, B.B.; Debenay, J.-P.; Bonetti, C. & Duleba, W. 1995. Répartition des foraminifères benthiques dans la zone Sud-Ouest du Système laguno-estuarien d'Iguape-Cananéia (Brésil). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 43(1): 01-17.
- Eichler, P.P.B.; Castelão, G.P.; Pimenta, F.M. & Eichler, B.B. 2006. Avaliação da saúde do sistema estuarino de Laguna (SC) baseada nas espécies de foraminíferos e tecamebas. *Pesquisas em Geociências*, 33: 101-115.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.B.; Miranda, L.B. & Rodrigues, A. R. 2007. Modern foraminiferal facies in a subtropical estuarine channel, Bertioiga, São Paulo, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 37(3): 234-247.
- Ellis, B.F. & Messina, A. 1940. *Catalogue of Foraminifera*. New York, American Museum Natural History. 2115 p.
- Esteves, F. 1998. Fundamentos de limnologia. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, Interciência, 602 p.
- Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- Hallock, P. 2011. Modern coral reefs under global change: new opportunities to understand carbonate depositional hiatuses. In: STANLEY JR, J.D. (ed.). Coral and reefs crises, collapse and change, Cambridge, p. 121-130.
- Hyams-Kaphzan, O.; Almogi-Labin, A.; Sivan, D. & Benjamini, C. 2008. Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to falloff of Nile-derived silicoclastics. *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaeontologie Abhandlungen*, 248: 315-344.
- Jeshma, P.; Gandhi, M.S. & Rao, N.R. 2017. Benthic foraminifera and geochemical assessment of Puravadayyanar and Vettar estuaries, Karaikal, south east coast of India—Implication for pollution monitoring studies. *Regional Studies in Marine Science*, 9: 76-88.
- Koenig, M.L.; Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S. & Macêdo, S.J. 2002. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). *Acta Botanica Brasílica*, 16(4): 407-420.
- Langer, M.R. & Lipps, J.H. 2003. Foraminiferal distribution and diversity, Madang reef and lagoon, Papua New Guinea. *Coral reefs*, 22(2): 143-154.
- Larssoneur, C.; Bouysse, P. & Aufret, J.P. 1982. The Superficial Sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*, 29(6): 851-864.
- Leal, M.L.S & Wagener, A.L.R. 1993. Remobilization of anthropogenic copper deposited in sediments of a tropical estuary. *Chemical speciation and bioavailability*, 24(1): 31-39.
- Li, T.; Xiang, R.; Li, T. 2014. Influence of trace metals in recent benthic foraminifera distribution in The Pearl River Estuary. *Marine Micropaleontology*, 108: 13-27.
- Loeblich, A. & Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold. 970 p.
- Machado, A.J. & Araújo, H.A.B. 2014. Characterization of the Caravelas River Estuary (Bahia) from a Temporal Distributional Analysis of the Foraminifera Microfauna. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2): 23-38.
- Miranda, R.C.; Souza, C.S.; Gomes, E.B.; Lovaglio, R.B; Lopes, C.E. & Sousa, M.F.V.Q. 2007. Biodegradation of diesel oil by yeasts isolated from the vicinity of suape port in the state of Pernambuco – Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(1): 147-152.
- Murray, J.W. 2006. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. New York, Cambridge University Press. 426 p.
- Neumann, V.H.M.L.; Queiroz, C.M. & Ivo, P.S. 1994. Bottom sediments of the Suape lagoon, Pernambuco - Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE 14TH INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS (RECIFE-PE, BRASIL), Recife, 1994. *Resumos expandidos*, Recife, UFPE, p. 59-60.
- Neumann, V.H.; Medeiros, C.; Parente, L.; Neumann-Leitao, S. & Koenig, M.L. 1998. Hydrodynamism, Sedimentology, Geomorphology and Plankton Changes at Suape Area (Pernambuco - Brazil) after a Port Complex Implantation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2): 313-323.
- Neumann-Leitão, S.; Koenig, M.L.; Macedo, S.J.; Medeiros, C.; Muniz, K. & Feitosa, F.A.N. 1999. Plankton disturbance at Suape estuarine area- Pernambuco-Brazil after a Port Complex implantation. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 34, Grécia, 1999. *Resumos expandidos*, Grécia, p. 47-56.
- Nuridin, N.; Gustiantini, L.; Marina, S.; Yosi, M. 2014. Analyses of foraminifera microfauna as environmental bioindicators in Kotok Besar, Kotok Kecil and Karang Bongkok Islands, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Province. *Bulletin of the Marine Geology*, 29(1): 21-28.
- Oliveira, T. S.; Barcellos, R. L.; Schettini, C. A. F. & Camargo, P.B. 2014. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 14(3): 399-411.
- Pereira, E.R.; Eichler, P.P.B. & Eichler, B.B. 2006. Foraminifera as proxies in environmental diagnostic in Guanabara Bay, RJ. *Journal of Coastal Research*, 39: 1395 – 1398.
- Santos, L. D. & Barcellos, R. L. 2017. *Sedimentação Atual Do Estuário Do Rio Formoso (PE, Brasil)*. 1.ed. Saarbrücken, Alemanha, Novas Edições Acadêmicas. 96 p.
- Schmiedl, G.; Hemleben, C.; Keller, J. & Segl, M. 1998. Impact of climatic changes on the benthic foraminiferal fauna in the Ionian Sea during the last 330,000 years. *Paleoceanography*, 13: 447-458.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal of Sedimentary Petrology Research*, 24(3):151-158.
- Semensatto-Jr, D.L. & Dias-Brito, D. 2004. Análise ambiental de uma área arálica no delta do rio São Francisco, Sergipe-Brasil, com base na sinecologia de foraminíferos e tecamebas (protista). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(1): 53-66.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Editora Blucher. 317 p.
- Teodoro, A.C.; Duleba, W. & Lamparelli, C. 2009. Associações de foraminíferos e composição textural da região próxima ao emissário submarino de esgotos domésticos de Cigarras, Canal de São Sebastião, SP, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 36(1): 79-94.
- Teodoro, A.C.; Duleba, W. & Gubitoso, S. 2011. Estudo Multidisciplinar (Geoquímica e Associações de Foraminíferos) para Caracterizar e Avaliar Intervenções Antrópicas na Baía do Araçá, Canal de São Sebastião, SP. *Geologia USP*, 11(1): 113-136.
- Ungemach, H. 1960. *Sediment chemismus und seine Beziehung zum Stoffhaushalt in 40 europäischen Seen*. Germany, Universitat Kiel. 420 p.
- Vandenberg, C.M.G. & Rebello, A.L. 1986. Organic-copper interactions in Guanabara Bay, Brazil - an electrochemical study of copper complexation by dissolved organic material in a tropical bay. *Science of the Total Environment*, 58(1-2):37-45.
- Vieira, F.S. 2004. *Padrões de distribuição de foraminíferos bentônicos na plataforma externa e talude superior das bacias de Campos e Santos, área de abrangência do Estado do Rio de Janeiro*. Programa de pós-graduação em oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de mestrado, 68 p.
- Vilela, C.G.; Baptista Neto, J.A.; Mendonça Filho, J.G.; Sanjinés, A.E.S.; Batista, D.S. & Barbosa, C.F. 2002. Benthic foraminifera occurrence in subenvironments on Guanabara Bay, Rio de Janeiro, southeast Brasil. In: FORAMS 2002 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAMINIFERA, Perth, 2002. *Resumos*, Perth. 70 p.
- Vilela, C.G.; Sanjinés, A.E.S.; Ghiselli Jr., R.O.; Mendonça Filho, J.G.; Baptista Neto, J.A. & Barbosa, C.F. 2003. Search for bioindicators of pollution in the Guanabara Bay: integrations of ecologic patterns. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26: 25-35.
- Vilela, C.G.; Batista, D.S.; Baptista Neto, J.A. & Ghiselli Jr., R.O. 2011. Benthic foraminifera distribution in a tourist lagoon in Rio de Janeiro, Brazil: a response to anthropogenic impacts. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10): 2055-2074.
- Yamashita, C.; Sousa, S.H.M.; Vicente, T.M.; Martins, M.V.; Nagai, R.H.; Fabrizio, F.; Godoi, S. S.; Napolitano, D.; Burone, L.; Carreira, R.; Figueira, R.C.L.; Taniguchi, N.K.; Rezende, C.E. & Koutsoukos, E.A.M. 2018. Environmental controls on the distribution of living (stained) benthic foraminifera on the continental slope in the Campos Basin area (SW Atlantic). *Journal of Marine Systems*, 181: 37-52.