



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

FORAMINÍFEROS RECENTES DO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO, SERGIPE (BRASIL): UMA PROPOSTA DE MODELO ECOLÓGICO E DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Décio Luis Semensatto Jr.^{1, 2}, Dimas Dias-Brito¹

¹ LAMBdA – Laboratório de Análises Micropaleontológicas, Microbióticas e de Ambientes
UNESP, Avenida 24A, 1515, ecoloco@terra.com.br; dimasdb@rc.unesp.br.

² Mestrando em Geociências e Meio Ambiente (UNESP / Rio Claro - SP), bolsista FAPESP
(Processo 01/11786-8) participante do programa PRH-05 ANP / UNESP.

Resumo – Associações de foraminíferos recentes foram utilizadas a fim de se estabelecer um modelo ecológico de distribuição de espécies, diversidade, equitatividade e confinamento do ambiente com implicações para diagnósticos ambientais e reconstruções paleoambientais. A área de estudo compreende um setor do delta do Rio São Francisco, constituído por canais interligados e uma laguna com comunicação com o oceano. Além das variáveis bióticas, consideraram-se, na pesquisa, a salinidade e a granulometria do sedimento das amostras. Uma análise de agrupamento permitiu reconhecer três diferentes biofácies distribuídas ao longo do setor: nos canais, *Miliammina/Arenoparrella*, e na laguna, *Ammonia/Elphidium* e *Quinqueloculina*. Os valores de diversidade e equitatividade crescem da biofácies *Miliammina/Arenoparrella* para a biofácies *Ammonia/Elphidium* e *Quinqueloculina*. Os índices de confinamento demonstram ambientes desde confinados (canais) a pouco restritos à influência marinha em diferentes graus (laguna). A partir dos resultados obtidos, é possível reconhecer que ambientes dominados por textulariinos são caracterizados por baixa diversidade, equitatividade e alto grau de confinamento. Ambientes dominados por rotaliinos e miliolinos tendem a ser mais diversificados, equitativos e pouco restritos à influência marinha. Os resultados aqui obtidos são similares àqueles de outros ambientes estuarinos brasileiros, diferindo apenas na dominância de uma ou outra espécie.

Palavras-Chave: foraminíferos, diversidade, Rio São Francisco, diagnóstico ambiental, reconstruções paleoambientais

Abstract – Recent foraminifera assemblages were studied to determine an ecological model of species distribution, diversity, equitability and confining degree, with implications to environmental diagnosis and paleoenvironmental reconstructions. The study area is inserted in a sector from São Francisco River delta, with interconnected channels and a lagoon connected to the ocean. Besides the biotic variables, sediment salinity and granulometry was considered. An agglomerative hierarchical clustering (AHC) was performed and it was recognized three biofacies distributed along the sector: *Miliammina/Arenoparrella* in the channels, and *Ammonia/Elphidium* and *Quinqueloculina* at the lagoon. The diversity and equitability values increase from the *Miliammina/Arenoparrella* biofacies to the *Ammonia/Elphidium* and *Quinqueloculina* biofacies. The confining indices show environments ranging from confined (channels) to different degrees of low restricted to marine influence. From the results obtained, it is possible to recognize that environments dominated by textulariines are characterized by low diversity, equitability and high confining degree. Environments dominated by rotaliines and miliolines tend to be more diversified, equitable and low restricted to marine influence. The results are similar to other obtained in other Brazilian estuarine environments, differing only on dominance by some species.

Keywords: foraminifers, diversity, São Francisco River, environmental diagnosis, paleoenvironmental reconstructions

1. Introdução

Foraminíferos são protozoários em geral microscópicos, dotados de carapaça passível de fossilização. São essencialmente marinhos, embora ocorram com menor diversidade em ambientes parálicos. Sua sensibilidade às variações ambientais é notória, o que os coloca na posição de excelentes indicadores ambientais.

Apesar de largamente empregados em diversas regiões do planeta (Alve, 1991; Sharifi *et al.*, 1991; Schafer *et al.*, 1995; Wetmore, 1995; Alve & Murray, 1995; Donnici *et al.*, 1997; Alve & Murray, 1999; entre outros), estudos envolvendo a distribuição de foraminíferos recentes e a caracterização ambiental são relativamente escassos para as zonas parálicas brasileiras. A maior concentração de trabalhos provém do litoral paulista (Eichler *et al.*, 1995; Eichler & Bonetti, 1995; Bonetti, 1995; Debenay *et al.*, 1998; Oliveira, 1999; Eichler, 2001, entre outros) e fluminense (Zaninetti *et al.*, 1977; Brönnimann *et al.*, 1981a,b; Dias-Brito *et al.*, 1988, entre outros). Nestes trabalhos, são abordados aspectos taxonômicos e ecológicos envolvendo lagunas e manguezais.

O estabelecimento de modelos ecológicos de distribuição de foraminíferos com aplicação na paleoecologia também é pouco comum para as zonas parálicas brasileiras, embora possam ser reconhecidos em alguns trabalhos. Closs & Madeira (1966) reconheceram três zonas na Baía de Paranaguá, além da Lagoa de Tramandaí, com duas zonas ecológicas (Closs & Madeira, 1967). Brönnimann *et al.* (1981a) dividiram a Baía de Sepetiba em vários compartimentos ambientais baseando-se na microfauna de foraminíferos, principalmente. Dias-Brito *et al.* (1988) apresentaram um modelo ecológico para a Baía de Sepetiba com base nas associações de foraminíferos e ostracodas. No complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Debenay *et al.* (1998) reconheceram diferentes ambientes caracterizados por associações entre foraminíferos.

A região abrangida por este projeto está inserida no sistema deltaico do Rio São Francisco, no nordeste do Estado de Sergipe. É formada por diversos canais interligados, alguns influenciados pelas águas do São Francisco, outros pelas águas marinhas. Há uma laguna (Canal do Poço) que se comunica com o oceano por meio de um *inlet*. Os ambientes estudados neste trabalho são os canais Carapitanga e Parapuça, e o próprio Canal do Poço (Figura 1).



Figura 1. Mapa esquemático da área de estudo com localização das amostras.

A área ainda mostra pontos bastante preservados, embora já existam, sobretudo na região de Ponta dos Mangues, impactos antrópicos que geram alterações sensíveis no manguezal, conforme relata Dias-Brito (1999). Num contexto geral, os mangues da região são dominados por *Rhizophora mangle*. Os bosques são classificados como tipo “Ribeirinho”, muito ricos e produtivos e com extrema significância devido ao seu potencial energético (Santos & Schaeffer-Novelli, s/d). A salinidade dos canais tem grande variação, com águas desde hipohalinas-salobras até euhalinas, seguindo a classificação de Boltovskoy *et al.* (1980) apresentada na Tabela 1. A granulometria apresenta pontos argilosos, principalmente nos canais, e outros arenosos, sobretudo na laguna.

Tabela 1. Classificação dos ambientes com base nos valores de salinidade (‰).

Salinidade	Tipo de Ambiente
40 – 75	Hiperhalino
30 – 40	Euhalino
18 – 30	Hipohalino-Mixohalino
0,5 – 18	Hipohalino-Salobro
< 0,5	Doce

Fonte: Boltovskoy *et al.* (1980)

Este trabalho objetiva a caracterização ambiental deste setor do delta através da determinação de modelos de distribuição de espécies, diversidade e equitatividade de foraminíferos recentes e grau de confinamento de ambientes. Tais modelos possuem grande potencial de aplicação em diagnósticos de áreas impactadas por diversos poluentes (e. g. hidrocarbonetos), além de servirem de referência às reconstruções paleoambientais de interesse da Geologia do Petróleo.

2. Material e Métodos

As coletas foram realizadas em março de 1996. As amostras referem-se aos 5cm superficiais do sedimento, cada uma com um volume de 250mL. Foram consideradas neste trabalho 22 amostras, algumas previamente analisadas com menor profundidade por Rodrigues (1999) e Semensatto Jr. (2001).

No ato da coleta anotou-se a coordenada geográfica fornecida por GPS, além da tomada de uma alíquota de água para obtenção da salinidade por meio de refratômetro óptico.

As amostras foram processadas conforme descrito por Boltovskoy (1965). Os indivíduos triados e identificados foram acondicionados em *plummer slides* (porta-foraminíferos) e fazem parte da coleção do LAMBdA (Laboratório de Análises Micropaleontológicas, Microbióticas e de Ambientes), localizado na UNESP, em Rio Claro (SP).

A triagem, ou separação das tecas dos restos orgânicos e grãos de minerais, foi feita a úmido sob estereomicroscópio Wild Leica, com aumentos variando de 40 a 80x. Procurou-se obter 300 indivíduos em cada amostra, número estatisticamente significativo para análises embasadas nas espécies que representam em abundância pelo menos 10% da amostra total (Paterson & Fishbein, 1989). Para identificação das espécies, consultou-se a coleção do LAMBdA, além do auxílio de referências como os trabalhos de Boltovskoy *et al.* (1980) e Loeblich & Tappan (1988).

Partindo-se da premissa que a salinidade representa a variável abiótica com maior influência na distribuição e diversidade dos foraminíferos, seus valores foram prioritariamente considerados na análise. Secundariamente, levou-se em conta a fração granulométrica de cada amostra.

A diversidade é representada pelo índice de McIntosh (McIntosh, 1967), cuja fórmula se segue (Pielou, 1969):

$$U = \sqrt{\sum n_i^2} \quad (1)$$

$$D = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}} \quad (2)$$

Na formulação acima, n_i é a abundância da i -ésima espécie e N é a somatória das abundâncias de todas as espécies na amostra. McIntosh (1967) assume que uma comunidade pode ser representada por um ponto num hipervolume dimensional S , onde S é igual ao número de espécies. A distância euclidiana U apresentada na equação (1) representa a distância da comunidade no hipervolume em relação à origem. Segundo o referido autor, esta distância pode ser entendida como uma medida de diversidade. Posteriormente, Pielou (1969) propõe uma nova formulação, descrita na equação (2), a fim de eliminar o efeito do tamanho amostral e ajustar o índice. Assim, os cálculos de diversidade aqui realizados consideram a formulação proposta por Pielou (1969), já que o valor de N não é uniforme em todas as amostras.

A equitatividade, *i. e.*, a homogeneidade de distribuição das espécies, é dada a seguir (Pielou, 1969):

$$E = \frac{N - U}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}} \quad (3)$$

Na equação (3), N é a abundância total da amostra, U é dado pela equação (1) e S é o número total de espécies da amostra.

As proporções entre as espécies foram utilizadas no cálculo do índice de confinamento (Debenay, 1990 *apud* Eichler, 2001), que reflete o grau de influência marinha sobre o ambiente. Sua fórmula é dada em Eichler (2001):

$$I_c = \frac{\left(\frac{C}{B+C} - \frac{A}{A+B} \right) + 1}{2} \quad (4)$$

Na formulação acima, A representa a soma das frequências relativas das espécies típicas de ambientes marinhos costeiros, tais como *Bolivina striatula* e *Pararotalia* sp., B representa a soma das frequências relativas das espécies de ambientes marinhos moderadamente confinados, tais como *Ammonia tepida*, *Elphidium gunteri* e *Quinqueloculina seminulum*, C representa a soma das frequências relativas das espécies típicas de ambientes com forte confinamento, tais como *Miliammmina fusca*, *Trochammina inflata*, *Arenoparrella mexicana* e *Ammotium cassis*. Ambientes com valores de I_c entre 0 e 0,4 são considerados como marinhos, entre 0,4 e 0,7 são pouco restritos à influência marinha, entre 0,7 e 0,9 são restritos à influência marinha e, entre 0,9 e 1 são confinados.

Os dados de salinidade e granulometria, em conjunto com os valores calculados de diversidade, equitatividade e confinamento foram utilizados em uma análise de agrupamento, realizada com o auxílio do programa XL-STAT 5.2, do Excel. Para o agrupamento foi utilizado o coeficiente de similaridade de Spearman.

3. Resultados e Discussão

No total foram encontradas 54 espécies de foraminíferos bentônicos, somando 5660 indivíduos. Destas espécies, 1 pertence à Subordem Allogromiina, 4 à Miliolina, 17 à Rotaliina e 32 à Textulariina.

A diversidade e equitatividade são menores para os canais Carapitanga e Parapuca, cujos valores são próximos. Nestes ambientes domina *Miliammina fusca*, seguida de *Arenoparrella mexicana*, com a comunidade formada quase que exclusivamente por textulariinos. Alguns miliolinos e rotaliinos ocorrem na ligação entre o Carapitanga e o Canal do Poço (amostras 3 e 4). Este fato deve-se provavelmente ao transporte dessas tecas até esta transição. No Canal do Poço a diversidade e equitatividade aumentam, sendo este subdividido em dois subambientes: a região de Ponta dos Mangues, com dominância de *Quinqueloculina seminulum*, e a região mais próxima ao Carapitanga, com dominância de *Ammonia tepida*, seguida de *Elphidium* spp.

De acordo com o índice de confinamento, os canais Carapitanga e Parapuca devem ser considerados ambientes confinados. No Canal do Poço a influência marinha cresce em direção à Ponta dos Mangues, podendo-se considerar este ambiente como pouco restrito à influência marinha. Tal comportamento demonstra a importância do *inlet* para a manutenção das populações de foraminíferos no Canal do Poço com maior tolerância à salinidade, além de outros grupos de organismos relacionados aos regimes de salinidade.

A análise de agrupamento é apresentada na Figura 2. É possível reconhecer três biofácies distintas ao nível de corte de 0,88 de similaridade: *Miliammina/Arenoparrella*, *Ammonia/Elphidium* e *Quinqueloculina*.

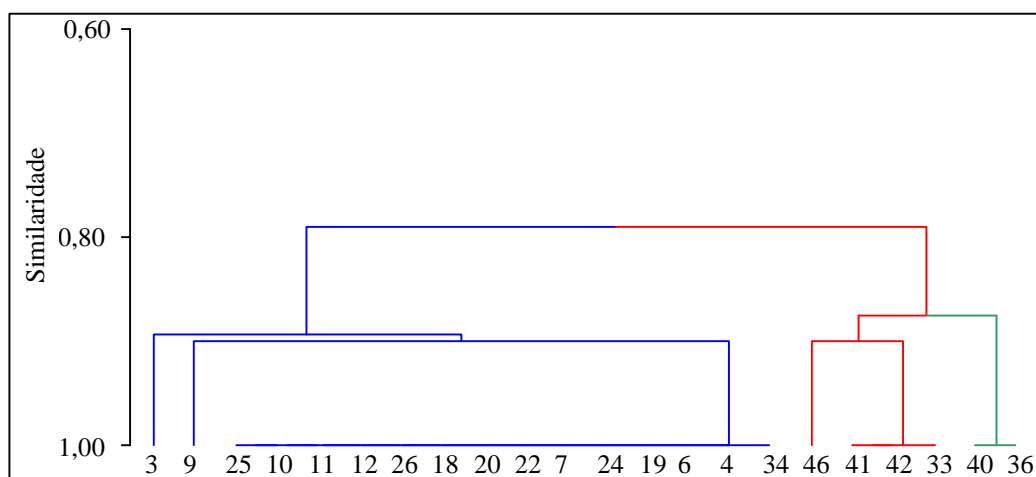


Figura 2. Dendrograma obtido a partir da integração das variáveis estudadas. O grupo verde representa a biofácies *Quinqueloculina*, o grupo vermelho, a biofácies *Ammonia/Elphidium* e o grupo azul, a biofácies *Miliammina/Arenoparrella*.

A Tabela 2 apresenta as diferenças numéricas entre as três biofácies.

Tabela 2. Valores médios e desvios em cada biofácies. Salinidade (%), Argila-Silte (%), D: índice de diversidade de McIntosh; E: equitatividade; I_c : índice de confinamento.

Biofácies	Salinidade	Argila-Silte	D	E	I_c
<i>Miliammina / Arenoparrella</i>	$2,9 \pm 2,08$	$75,8 \pm 18,4$	$0,22 \pm 0,13$	$0,29 \pm 0,17$	$1,00 \pm 0,0$
<i>Ammonia / Elphidium</i>	$31,9 \pm 5$	$39,4 \pm 22,23$	$0,39 \pm 0,11$	$0,51 \pm 0,15$	$0,54 \pm 0,04$
<i>Quinqueloculina</i>	$34,3 \pm 1,06$	$80,3 \pm 19,15$	$0,66 \pm 0,01$	$0,86 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,05$

Com base nestes resultados, é possível reconhecer um modelo preliminar para aplicações na reconstrução de paleoambientes e diagnóstico ambiental. Ambientes com menor restrição à influência marinha apresentam maiores valores de diversidade e equitatividade para a comunidade de foraminíferos, sendo que estas comunidades são compostas essencialmente por miliolinos e rotaliinos. Em ambientes com dominância de espécies textulariinas, sobretudo *Miliammina fusca*, a diversidade e equitatividade tendem a ser menores. Estes ambientes são caracterizados por canais ou lagunas confinados, com mínima influência marinha.

Importante ressaltar que o comportamento de distribuição e diversidade do setor analisado é similar àqueles observados em outros ambientes costeiros brasileiros (Closs & Madeira, 1967; Brönnimann *et al.*, 1981a, b; Eichler & Bonetti, 1995; Debenay *et al.* 1998; Oliveira, 1999; Eichler, 2001), diferindo apenas na troca de algumas espécies no papel de dominantes. Porém, a relação entre a salinidade e a diversidade se repete para as subordens e tipos de ambientes.

4. Conclusões

A análise de variáveis bióticas, tais como dominância, diversidade, equitatividade e confinamento, em conjunto com variáveis abióticas, como a salinidade e granulometria, mostram-se bastante eficientes na caracterização ambiental através de biofácies, mesmo em estudos com poucas amostras.

É importante que os modelos de reconstrução paleoambiental contemplem aspectos relacionados à diversidade e equitatividade, uma vez que estes são indicadores da complexidade e entropia, e fornecem informações valiosas acerca da estrutura do ecossistema. O nível de impacto de uma área também pode ser avaliado de acordo com alterações nos valores de diversidade e equitatividade. Qualquer alteração significativa no ecossistema deverá alterar a estrutura do ecossistema e, assim, ser refletida nos índices.

Embora o projeto tenha apresentado bons resultados, inclusive com similaridade com outros ambientes, a aplicação em situações reais trará um melhor ajuste e eficiência ao modelo.

5. Agradecimentos

Os autores prestam seus agradecimentos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo financiamento deste projeto, através do processo 01/11786-8; ao Prof. Dr. Antonio Camargo e ao técnico Carlos Sanches (LEA – Laboratório de Ecologia Aquática – UNESP / Rio Claro) pela contribuição na obtenção de dados de salinidade em laboratório.

6. Referências

- ALVE, E. Benthonic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in SØrfjord, Western Norway. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 21, n. 1, p. 1-19, 1991.
- ALVE, E.; MURRAY, J. W. Benthic foraminiferal distribution and abundances changes in Skagerrak surface sediments: 1937 (Höglund) an 1992/1993 data compared. *Marine Micropaleontology*, v. 25, p. 269-288, 1995.
- ALVE, E.; MURRAY, J. W. Marginal marine environments of the Skagerrak and Kattegat: a baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 146, p. 171-193, 1999.
- BOLTOVSKOY, E. *Los foraminíferos recientes*. Ed. Eudeba, 1965.
- BOLTOVSKOY, E.; GIUSSANI, G.; WATANABE, S.; WRIGHT, R. *Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic*. Dr. W. Junk bv Publishers, The Hague, 1980.
- BONETTI, C. V. D. H. *Associações de foraminíferos e tecamebas indicadoras de sub-ambientes na zona estuarina do Rio Itapitangui – Cananéia/SP*. Instituto Oceanográfico (dissertação de mestrado), USP, 1995.
- BRÖNNIMANN, P.; MOURA, J. A.; DIAS-BRITO, D. Estudos ecológicos na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil: foraminíferos. *Anais do II Congresso Latino-Americano de Paleontologia*, Porto Alegre, v. 2, p. 861-875, 1981a.
- BRÖNNIMANN, P.; MOURA, J. A.; DIAS-BRITO, D. Foraminíferos da fácies mangue da planície de maré de Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Anais do II Congresso Latino-Americano de Paleontologia*, Porto Alegre, v. 2, p. 877-891, 1981b.
- CLOSS, D.; MADEIRA, M. L. Foraminífera from the Paranaguá Bay, State of Paraná, Brazil. *Bol. Univ. Fed. Paraná. Zoología II*, v. 10, p. 139-162, 1966.
- CLOSS, D.; MADEIRA, M. L. Foraminíferos aglutinantes da Lagoa de Tramandaí, Rio Grande do Sul. *Iheringia*, v. 35, p. 7-31, 1967.
- DEBENAY, J. P.; EICHLER, B. B.; DULEBA, W.; BONETTI, C.; EICHLER-COELHO, P. Water stratification in coastal lagoons: its influence on foraminiferal assemblages in two Brazilian lagoons. *Marine Micropaleontology*, v. 35, p. 67-98, 1998.
- DIAS-BRITO, D.; MOURA, J. A.; WÜRDIG, N. Relationships between ecological models based on Ostracodes and Foraminifers from Sepetiba Bay (Rio de Janeiro, Brazil). In: HANAY, T.; IKEYA, N.; ISHIZAKI, K. (Ed.) *Evolutionary Biology of Ostracoda*, Elsevier, 1988.
- DIAS-BRITO, D. Plant distribution in the intertidal and supratidal zones of a mangrove-lagoon-barrier island coastal complex (São Francisco River Delta, Northeastern Sergipe, NE Brazil). *Anais do VII Congresso da ABEQUA*. Publicação em CD – arquivo: viiabequa_tmp009.pdf, 1999.

- DONNICI, S.; BARBERO, R. S.; TARONI, G. Living benthic foraminifera in the Lagoon of Venice (Italy): populations dynamics and its significance. *Micropaleontology*, v. 43, n. 4, p. 440-454, 1997.
- EICHLER, B. B.; BONETTI, C. Distribuição de foraminíferos e tecamebas ocorrentes no manguezal do Rio Bagaçu, Cananéia, São Paulo – Relações com parâmetros ambientais. *Pesquisas*, v. 22, n. 1-2, p. 35-40, 1995.
- EICHLER, B. B.; DEBENAY, J. P.; BONETTI, C.; DULEBA, W. Répartition des Foraminifères benthiques dans la zone Sud-Ouest du système laguno-estuarien d'Iguape-Cananéia (Brésil). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 43, n. 1, p. 1-17, 1995.
- EICHLER, P. P. B. *Avaliação e diagnóstico do Canal de Bertioga (São Paulo, Brasil) através da utilização de foraminíferos como indicadores ambientais*. Instituto Oceanográfico (tese de doutorado), USP, 2001.
- LOEBLICH Jr., A. R.; TAPPAN, H. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold, 1988.
- McINTOSH, R. P. An index of diversity and the relations of certain concepts of diversity. *Ecology*, v. 48, p. 392-404, 1967.
- OLIVEIRA, D. *Análise ambiental dos canais da bacia hidrográfica do Rio Itanhaém – SP, Brasil, com base em tecamebas e foraminíferos*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (dissertação de mestrado), UNESP, 1999.
- PATERSON, R. T.; FISHBEIN, E. Re-examination of the statistical methods used to determine the number of points counts needed for micropaleontological quantitative research. *Journal of Paleontology*, v. 63, n. 2, p. 245-48, 1989.
- PIELOU, E. C. *Mathematical Ecology*. John Wiley and Sons, 1969.
- RODRIGUES, J. F. *Distribuição de foraminíferos e tecamebas no Canal Parapuça, Delta do Rio São Francisco, Sergipe*. Instituto de Biociências (trabalho de formatura), UNESP, 1999.
- SANTOS, M. M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Estudo comparativo da estrutura de bosques de mangue das regiões costeiras norte e sul do Estado de Sergipe, Brasil (10°30'00" a 11°31'05")*. Administração Estadual do Meio Ambiente – Governo de Sergipe, s/d.
- SCHAFER, C. T.; WINTERS, G. V.; SCOTT, D. B.; POCKLINGTON, P.; COLE, F. E.; HONIG, C. Survey of living foraminifera and polychaete populations at some canadian aquaculture sites: potential for impact mapping and monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 25, n. 3, p.243-259, 1995.
- SEMENSATTO JR., D. L. *Foraminíferos e tecamebas do Canal do Poço, Sergipe: distribuição e condicionantes*. Instituto de Biociências (trabalho de formatura), UNESP, 2001.
- SHARIFI, A. R.; CROUDACE, I. W.; AUSTIN, R. L. Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, U. K. *Journal of Micropaleontology*, v. 10, n.1, p.109-113, 1991.
- WETMORE, K. L. *Foraminifera: life and ecology*. University of California, Museum of Paleontology, Berkeley, Estados Unidos, 1995. Disponível em: www.ucmp.berkeley.edu/foram/foramlh.html. Acesso em: 08/01/2001.
- ZANINETTI, L. BRÖNNIMANN, P.; BEURLIN, G.; MOURA, J. A. La mangrove de Guaratiba et la Baie de Sepetiba, état de Rio de Janeiro, Brésil: foraminifères et écologie. *Archive des Sciences de Genève*, v. 30, n. 2, p. 161-178, 1977.