



Associação de foraminíferos e atividade bacteriana para o diagnóstico ambiental do manguezal do Surui, Baía de Guanabara, RJ

L.F. Fontana¹, L.L.M. Laut¹, A.G. Figueiredo Jr.¹, M.A.C. Crapez², F.S. da Silva¹,
L.T.D. Berriel^{1,3} & F.R.S. Jório^{1,3}

1 Departamento de Geologia, LAGEMAR – UFF. lfontana@igeo.uff.br, laut@igeo.uff.br, alberto@igeo.uff.br, fred@igeo.uff.br

2 Departamento de Biologia, BIOMAR – UFF. mirian@vm.uff.br

3 Departamento de Biologia – FAMATH. lidianeberriel@hotmail.com, flavia_jorio@hotmail.com

Abstract The foraminifera and bacteria relationship can be an essential tool in diagnosis and monitoring of oil-impacted mangroves. Based on this, a sampling of 23 points along a mangrove in Guanabara Bay, impacted by PAHs, was accomplished to analyze ETSA, EST, and bacterial Carbon, PAHs, organic matter and foraminifers. Sterases represent activity of free enzymes acting in larger molecules (600 Da) facilitating the absorption of these by the bacteria. The sterases demonstrated higher activity than ETSA evidencing the presence of larger molecules. PAHs were present in all samples. The organic matter averaged 0.22 g/g of sediment and the bacterial carbon varied from 0.3 to 2.3 $\mu\text{g C.cm}^{-3}$. Twenty-four foraminifer species were identified in the mangrove samples. *A. mexicana*, *H. wilberti*, *T. inflata* and *T. macrescens* were dominant in all samples, with the latter two mostly in the interior region. A multivariate analysis technique (CCA) was applied to infer how PAHs influence the distribution of foraminifer species and enzymatic bacterial activity in the mangrove. It was found that phenol and the xylene are the most influencing compounds. The foraminifers' species *A. cassis* and *A. exiguus*, as well as EST and bacterial carbon had responded positively to these substances. Species *Q. laevigata* and *Saccammina sp.* had responded negatively. *T. macrescens* was the species most neutral to the PAHs. Enzymatic activity of EST demonstrated that autochthonous bacteria are consuming oil and consequently increasing its biomass. This bacterial activity creates favorable conditions for development of foraminifers in oil-impacted mangroves.

Keywords: foraminifera, bacteria, hydrocarbons, mangrove, environmental diagnostic.

INTRODUÇÃO As espécies de foraminíferos variam na seletividade alimentar (Murray 1963), podendo esses utilizar bactérias como fonte de alimento (Bradshaw 1955, Lee *et al.* 1966, Muller & Lee 1969, Lipps & Valentine 1970, Frankel 1974, Alexander & DeLaca 1987, Bernhard & Bowser 1992). Contudo são hábeis a sobreviver na ausência de bactérias, porém falham na sua reprodução (Muller & Lee 1969).

Alguns estudos realizados em plataformas continentais demonstraram que algumas espécies de foraminíferos migram para zonas reduzidas, enquanto que outras somente sobrevivem em regiões aeradas (Langezaal *et al.* 2004), essa preferência é devido ao relacionamento simbiótico com as bactérias (Richardson & Rutzler 1999, Bernhard 2003).

O papel que as bactérias causam sobre a ocorrência dos foraminíferos ainda é indefinido. Bactérias simbiotes pode ser o sustento dos foraminíferos e nesse caso eles demonstrariam ser seletivos para determinados tipos de bactérias vivas.

As bactérias estão amplamente distribuídas em ambientes marinhos, de água-doce e solos (Atlas & Bartha 1973) sendo cruciais na transformação e na

remineralização de carbono orgânico, nitrogênio e outros nutrientes (Azam 1998, Azam *et al.* 1993).

A profundidade de penetração do oxigênio, a disponibilidade de matéria orgânica e as taxas de mineralização da matéria orgânica, governadas pelas bactérias, podem fornecer condições limites para os espaços inabitados pelos foraminíferos, assim como a presença de poluentes orgânicos como os hidrocarbonetos aromáticos. (Lacerda *et al.* 1987, 1988).

A presença dos hidrocarbonetos em sedimentos influenciam as taxas de crescimento bacteriano e as atividades enzimáticas, os quais determinam as taxas de utilização dos hidrocarbonetos de petróleo (Atlas 1995, Leahy & Colwell 1990).

A produção de surfactantes e o aumento da aderência de bactérias ao substrato podem ocasionar complicações na sobrevivência dos foraminíferos. Em contrapartida os foraminíferos podem afetar os padrões de distribuição e a atividade microbiana por meio da predação, influenciando a ciclagem dos nutrientes (Langezaal *et al.* 2004).

O presente estudo tem o objetivo de avaliar a influência das bactérias na distribuição dos foraminíferos nos sedimentos superficiais de um

manguezal impactado por óleo, avaliando o seu potencial para estudos de diagnóstico e monitoramento ambiental.

ÁREA DE ESTUDO A área remanescente de manguezais da baía de Guanabara é de cerca de 30% da cobertura original, estando concentrada em sua maior parte na região da APA de Guapimirim e em Duque de Caxias, somando algo em torno de 80 km² (Amador 1997). O Manguezal de Suruí faz parte da APA de Guapimirim e tem como principal característica a influência de dois rios: o Suruí e o Suruí-Mirim. Em Janeiro de 2000 esse manguezal sofreu com o vazamento de 1.300.000 litros de óleo combustível marinho MF380, caracterizado como mistura de diesel e óleo combustível pesado.

MATERIAIS E MÉTODOS Foram realizados 23 pontos ao longo de uma malha amostral no Manguezal do Suruí (Fig. 1), onde se coletou 50 mL de sedimento para análise dos foraminíferos, 100 mL para granulometria e matéria orgânica, 50 mL para avaliar a atividade bacteriana, carbono bacteriano e hidrocarbonetos aromáticos.

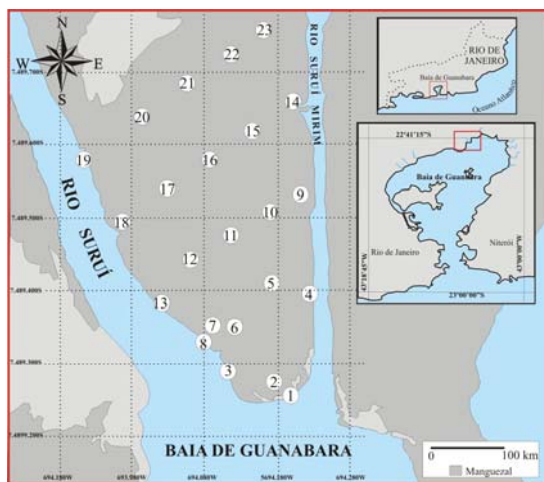


Figura 1. Localização da malha amostral

Para avaliar a atividade bacteriana foram analisadas as atividades do sistema transportador de elétrons (ASTE) (Trevors 1984, Houry-Davignon & Relaxans 1989); a atividade das esterases (ESTE) (Stubberfield & Shaw 1990); e a quantificação do carbono de origem bacteriana (COB) por meio da contagem de células por epifluorescência (Kepner Jr. & Pratt 1994, Carlucci *et al.* 1986). A determinação das concentrações de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, totais e específicos (fenol, benzeno, fenantreno, tolueno, naftaleno, xileno e benzo(a)pireno) foi realizada usando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com

detector de fluorescência por HPLC (Shimadzu LC-10 AT VP).

RESULTADOS A matéria orgânica variou de 0,02 a 0,6 g/g de sedimento, sendo as maiores concentrações, em sua maioria, nos pontos centrais do mangue (Fig. 2).

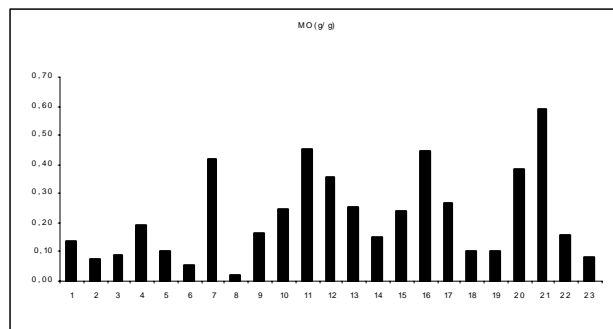


Figura 2. Distribuição da matéria orgânica na malha amostral.

Os HPAs foram presentes em todas as estações, sendo a estação 14, ao centro do mangue, a que apresentou os valores mais altos (0,44 g/g) (Fig. 3).

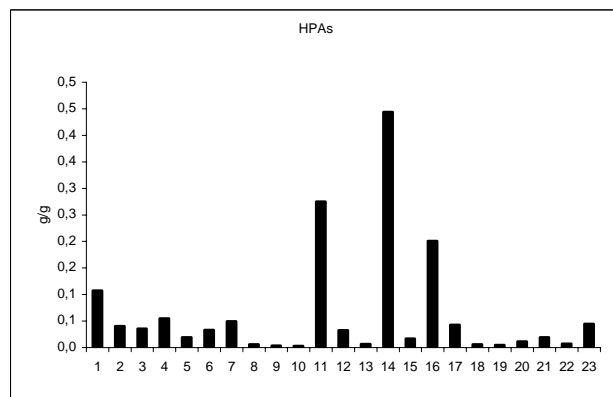


Figura 3. Distribuição dos HPAs na malha amostral.

O COB foi bem variável oscilando de 0,248 a 10,241 µg C.cm⁻³.

A atividade enzimática bacteriana de ASTE variou de 0,004 a 0,248 de uL/O₂/h/g, que de acordo com a malha amostral, não obteve variação na distribuição dos pontos (Fig. 4).

A ESTE variou de 1,35 a 6,52 de µg de fluoresceína/h/g, sendo superior a de ASTE em todos os pontos (Fig. 5).

Foram identificadas 29 espécies de foraminíferos e dois de tecamebas. As mais constantes foram *T. inflata* e *A. mexicana*, presentes em 100% das estações seguidas por *A. salsum*, *H. wilberti*, *M. fusca*, *T. macrescens*, *A. inepta*, *S. lobata*, *T. squanata* e *T. paranaguensis*.

A estação 23 foi estéril em foraminíferos.

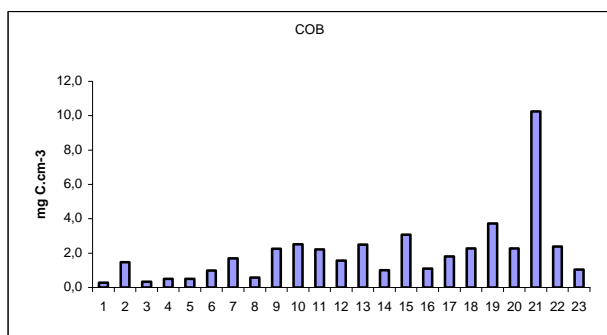


Figura 4. Distribuição do COB na malha amostral

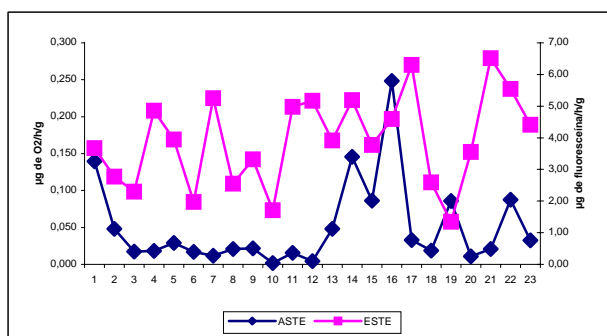


Figura 5. Distribuição das atividades enzimáticas de ASTE e ESTE na malha amostral

A análise de agrupamento no Módulo Q gerou a existência de quatro grupos de estações, enquanto que a análise de agrupamento em Módulo R gerou 5 assembléias de organismos (Fig. 6). Os grupos que melhor se destacaram foram: o Grupo I que esteve correlacionado fortemente à Assembléia A e o Grupo IV que relacionou com a Assembléia E. Os Grupos II e III foram compostos por uma mistura das Assembléias B e C.

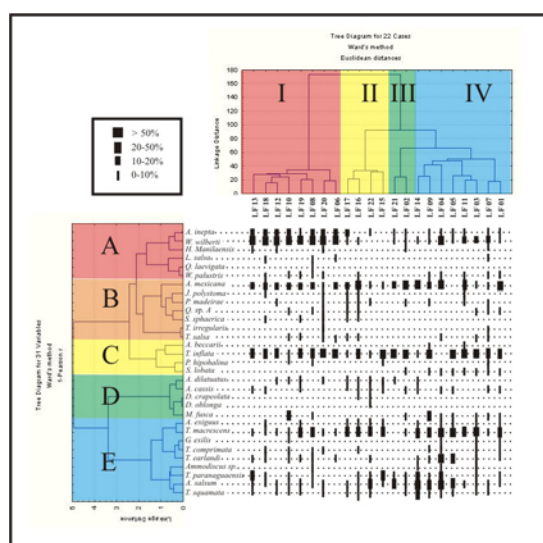


Figura 6. Análise de agrupamento com base na frequência relativa das espécies de foraminíferos

Uma análise de correspondência canônica foi realizada para analisar a estrutura apresentada pela comunidade e sua relação como as variáveis ambientais medidas. Das variáveis medidas a Aste e a Este foram as que tiveram maior influência sobre a comunidade. Secundariamente, a distribuição das espécies de foraminíferos parece estar relacionada às porcentagens de matéria orgânica (Fig. 7).

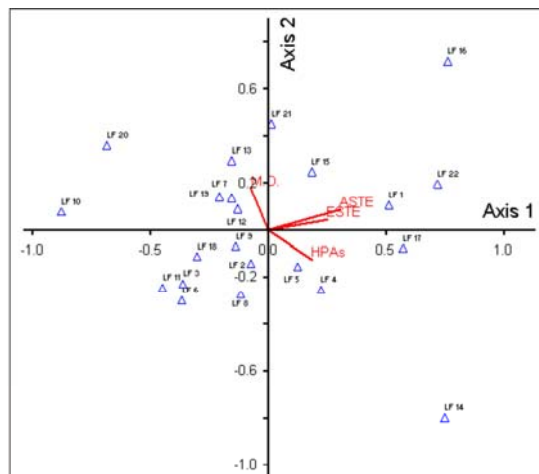


Figura 7. Análise em CCA das estações amostrais demonstrando maior influência de ASTE e ESTE e em menor escala de matéria orgânica (M.O.).

A maior parte das espécies demonstrou favorecida pela maior quantidade de matéria orgânica (*J. Polystoma*, *M. fusca*, *D. oblonga*, *D. crapeolata*, *A. cassis*, *A. dilatatus*, *H. wilberti*, etc).

Diante dos parâmetros medidos os hidrocarbonetos na análise em CCA desmostram uma posição neutra (45°) na destruição das espécies de foraminíferos (Fig. 7). Contudo analisando-se somente os tipos de HPAs, o Fenol e o Xileno foram os compostos de maior expressão na população (Fig. 8). As espécies mais tolerantes a esses compostos foram os trocamínídeos e as espécies de *Ammobaculites* e *Ammotium*.

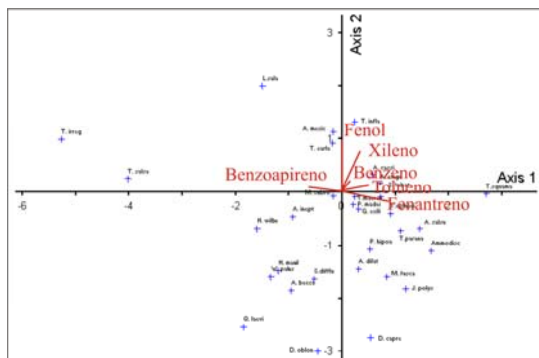


Figura 8. Análise em CCA das espécies em relação aos HPAs



DISCUSSÃO Os altos valores de matéria orgânica e o padrão de distribuição em manchas encontrado são típicos desse tipo de ambiente (Wasserman *et al.* 2001, Kehrig *et al.* 2003, Warsseman *et al.* 2005).

As árvores de mangue contribuem com quantidades consideráveis de matéria orgânica autóctone para o sedimento, mas também recebem águas contaminadas por esgoto, devido ao sistema de rios que drenam áreas industriais e residenciais próximas ao Mangue de Suruí.

As altas taxas de matéria orgânica favorecem o seqüestro de hidrocarbonetos aromáticos, tornando-os não disponíveis à biodegradação (Kubicki & Apitz 1999), explicando a presença de compostos voláteis, como benzeno, tolueno e xileno nos sedimentos do manguezal de Suruí.

A distribuição dos HPAs indica fontes variadas de contaminação, sendo que no ano de 2000 ocorreu um derramamento de óleo importante (Mitchell 2000) danificando áreas extensas da orla da Baía de Guanabara.

Os valores de COB obtidos na maior parte das estações são consideravelmente maiores do que os observados em sedimentos de praia (Bispo 2000, Fontana *et al.* 2005), isso se deve ao fato dos sedimentos anóxicos de mangue armazenarem nutrientes (Knoppers *et al.*, 1999), incluindo fósforo e nitrogênio, os quais influenciam, consideravelmente, o crescimento bacteriano em sedimentos de mangue, podendo dessa maneira aumentar o consumo crescente dos hidrocarbonetos de petróleo (Ramsay *et al.* 2000). A atividade enzimática de EST é associada com a quebra de polímeros da matéria orgânica como celulose, proteínas, e lipídios (Stubberfield & Shaw 1990), assim onde os teores de matéria orgânica e HPAs foram altos, as concentrações de EST também foram altas.

As atividades de ASTE indicaram que as bactérias estão metabolizando ativamente a matéria orgânica nos pontos 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 19 e 21, em sua maioria localizada no centro do mangue, onde se encontra o ponto com maior valor de HPAs. Os elevados valores de ASTE indicam que embora haja concentrações extremamente altas de matéria orgânica, essa fonte de energia não está prontamente disponível e as bactérias têm que gastar um pouco de energia metabólica para degradação. Provavelmente, alguns dos tipos de hidrocarbonetos sejam degradados simultaneamente.

Os altos valores de riqueza de espécies de foraminíferos encontrados no manguezal nos levam a crer que o regime de marés é eficiente na renovação de nutrientes. Já a homogeneidade na distribuição das espécies pode ser interpretada como uma resposta aos teores de matéria orgânica (Bates & Spencer 1979).

Todas as espécies identificadas são típicas de ambientes anóxicos e manguezais.

Os agrupamentos gerados demonstraram a existência de quatro Grupos de foraminíferos dentro do manguezal que são o reflexo de tensores ambientais. As espécies mais sensíveis (Assembléia E) foram mais representativa nas áreas mais inundáveis do mangue sob influência do rio Suruí Mirim caracterizando uma zona de intermarés (Grupo IV), já ao Grupo II composto por espécies da Associação D, representam a região mais distal do mangue (supramaré). O Grupo I, composto predominantemente pelos organismos da Assembléia A, representam a região de intermarés sob influência do rio Suruí.

A análise multivariada em CCA com as variáveis ambientais nos levou a concluir que a ocorrência e a distribuição das espécies de foraminíferos são mais fortemente influenciadas pelas atividades enzimáticas ASTE, EST e matéria orgânica, do que pela concentração de HPAs. Isto indica que a distribuição dos organismos estava sendo favorecida pela quantidade de alimento disponibilizada pela atividade bacteriana. Outro fator que deve ser analisado é de que os grupos formados pela análise multivariada não são os mesmo gerados pela análise de agrupamento, isso indica que outras variáveis ambientais, como topografia, salinidade, pH, que não foram medidos, podem ser condicionantes dessa configuração espacial da população de foraminíferos.

Mesmo os HPAS não tendo uma influência tão representativa na distribuição espacial dos foraminíferos o fenól e o xileno foram os que mais apresentaram influência. As espécies de trochaminídeos, *Ammotion* e *Ammobaculites* apresentaram maior tolerância aos HPAs isto já foi observado por Bonetti (200) no estuário de Santos. Provavelmente uma análise de densidade da população e de testas mal-formadas, demonstraria melhor o impacto desses compostos nos foraminíferos, pois HPAs têm consideráveis efeitos nas propriedades estruturais e funcionais das membranas celulares (Crapez 2001).

CONCLUSÕES Os teores de matéria orgânica no manguezal do Suruí são altos em decorrência do despejo de esgoto.

Os teores de matéria orgânica somados a presença de HPAs potencializam as atividades enzimáticas de ASTE e EST.

Um grande número de espécies de foraminíferos foi identificado com domínio de *A. mexicanana*, *H. wilberti*, *T. inflata*, *T. macrescens*, *A. salsum*. Todas essas são adaptadas a condições de anoxia e



resistentes a grandes concentrações de matéria orgânica.

A distribuição das espécies mostrou estar mais condicionada pela presença de bactérias. Dessa

maneira as bactérias criam condições favoráveis para a população de foraminíferos mesmo sob a presença de hidrocarbonetos.

Referências

- ALEXANDER S.P. & DE LACA T.E. 1987. Feeding adaptations of the foraminiferan *Cibicides refulgens* living epizoically and parasitically of the Antarctic scallop *Adausium colbecki*. *Biol. Bull.*, **173**:136-159.
- AMADOR E.S. 1997. Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza. Edição do Autor, Rio de Janeiro, 539 p.
- ATLAS R.M. 1995. Petroleum Biodegradation and oil spill Bioremediation. *Marine Pollution Bull.* **31**(4-12):178-182.
- ATLAS R.M. & BARTHA R. 1973. Abundance, distribution and oil biodegradation potential of microorganisms in Raritan Bay. *Environ. Pollution* **4**:291-300.
- AZAM F. 1998 Microbial control of oceanic carbon flux: the plot thickens. *Science* **280**:694-696
- AZAM F. SMITH D.C., STEWARD G.F. & HAGSTROM A. 1993. Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. *Microbial Ecology*, **28**:167-179
- BATES J.M. & SPENCER R.S. 1979. Modification of foraminiferal trends by the Chesapeake Elizabeth sewage outfall, Virginia Beach, Virginia. *Journal of Foraminiferal Research*, **9**(2):125-140.
- BERNHARD J.M. & BOWSER S.S. 1992. Bacterial biofilms as a trophic resource for certain benthic foraminifera. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **83**:263-272.
- BERNHARD J.M. 2003. Potential symbionts bathyal foraminifera. *Science* **299**:861.
- BISPO M.G.S. 2000. A influência da matéria orgânica na degradação de Benzeno, Tolueno e Xileno. Dissertação de Mestrado, Departamento de Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, 85 p.
- BONETTI C. 2000. Foraminíferos como bioindicadores do gradiente de estresse ecológico em ambientes costeiros poluídos. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, USP, p.195.
- BRADSHAW J.S. 1955. Preliminary laboratory experiments on ecology of foraminiferal populations. *Micropaleontology*, **1**:351-358.
- CARLUCCI A.F., CRAVEN D.B., ROBERTSON D.J. & WILLIAMS P.M., 1986. Surface-film microbial populations diel amino acid metabolism, carbon utilization and growth rates. *Marine Biology*, **92**:289-297.
- CRAPEZ M.A.C., CAVALCANTE A.C., BISPO M.G.S & ALVES P.H. 2001. Distribuição e atividade enzimática de bactérias nos limites inferior e superior entre-marés na Praia de Boa Viagem, Niterói, RJ, Brasil. In: MORAES R. et al. (eds) *Efeito de poluentes em organismos marinhos*, São Paulo, Arte e Ciência, Villipress, 129-138.
- FONTANA L.F., DA SILVA F.S., KREPSKY N., BARCELOS M.A. & CRAPEZ M.A.C. 2006. Natural attenuation of aromatic hydrocarbon from sandier sediment in Boa Viagem Beach, Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Geochemica Brasiliensis*, **20**(1)xxx-xxx.
- FRANKEL L. 1974. Subsurface feeding in foraminifera. *J. Paleontol.* **49**:563-565.
- HOURI-DAVIGNON C. & RELEXANS J-C. 1989. Measurement of actual electron transport system (ETS). Activity in marine sediments by incubation with INT. *Environmental Technology Letters*, **10**:91-100.
- KEHRIG H.A., PINTO F.N., MOREIRA I. & MALM O. 2003. Heavy metals and methylmercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil. *Org. Geochem.*, **34**: 661-669.
- KEPNER JR. & PRATT J.R. 1994. Use fluorochromes for direct enumerations of total bacteria in environmental samples: past and present. *Microbiological Reviews*, **58**:603-615
- KNOPPERS B.A., CARMOUZE J.P. & MOREIRA-TURCQ P.F. 1999. Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro. In: B.A. KNOPPERS, E.D. BIDONE & J.J. ABRÃO (Eds.) *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro*, Brazil, Vol. 6 UFF/FINEP, p. 123-154.
- KUBICKI, J.D. & APITZ, S.E; 1999. Models of natural organic matter and interactions with organic contaminants. *Organic Geochemistry*, **30**: 911-927.
- LACERDA L.D., PFEIFFER W.C. & FISZMAN M. 1987. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, S. E. Brazil. *The Science of the Total Environment*, **65**:163-173
- LACERDA L.D., JOSÉ D.M.V. & FRANCISCO M.C.F. 1988. Nutritional status and chemical composition of mangrove seedlings during development. *Revista Brasileira de Biologia* **48**:401-405
- LANGEZAAL A.M., VAN BERGEN P.F. & VAN DER ZWAAN G.J. 2004. The recovery of benthic foraminifera and bacteria after disturbance: experimental evidence. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **312**:137-170.
- LEAHY J.G. & COLWELL R.R. 1990. Microbial Degradation of Hydrocarbons in the Environment. *Microbio. Rev.* **54**(3):305-315.
- LEE J.J., MCENERY M., PIERCE S., FREUDENTHAL H.D. & MULLER W.A. 1966. Tracer experiments in feeding littoral foraminifera. *J. Protozool.*, **13**:659-670.
- LIPPS J.H. & VALENTINE J.W. 1970. The role of foraminifera in the trophic structure of marine communities. *Lethaia*, **3**:279-286.



- MITCHEL J. 2000. Assessment and recommendations for the oil spill cleanup of Guanabara Bay, Brazil. *Spill Science & Technology Bulletin*, **6**: 89-96.
- MULLER W.A. & LEE J.J. 1969. Apparent indispensability of bacteria in foraminifera nutrition. *J. Protozool.*, **16**:171-178.
- MURRAY J.W.; 1963. Ecological experiments on foraminifera. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **43**:621-642.
- RAMSAY M.A., SWANNELL R.P.J., SHIPTON W.A., DUKE N.C. & HILL R.T. 2000. Effect of bioremediation on the microbial community in oiled mangrove sediments. *Mar. Poll. Bull.*, **41**(7-12): 413-419.
- RICHARDSON, S.L. & RUTZLER, K; 1999. Bacterial endosymbionts in the agglutinating foraminiferan *Spiculidendron coralicolum*. *Symbiosis*, **26**:299-312.
- STUBBERFIELD, L.C.F. & SHAW, P.J.A; 1990. A comparison of tetrazolium reduction and FDA hydrolysis with other measures of microbial activity. *Journal of Microbiology Methods*, **12**:151-162.
- TREVORS J. 1984. Effect of substrate concentration, inorganic nitrogen, O₂ concentration, temperature and pH on dehydrogenase activity in soil. *Water Research*, **77**:285-293.
- WASSERMAN J.C, BOTELHO A.L.M., CRAPEZ M.A.C., BISPO M.G.S., DA SILVA F.S. & FILGUEIRAS C.M. 2006. Hydrocarbons and Bacterial Activity in mangrove sediments from GUANABARA BAY, BRAZIL. *Geochemica Brasiliensis*, **20**(1)xxx-xxx.
- WASSERMAN J.C., FIGUEIREDO A.M.G., PELLEGGATTI F. & SILVA E.V. 2001. Elemental composition of sediment cores from a mangrove environment using neutron activation analysis. *J. Geochem. Explor.*, **72**(2):129-146