



**Análise Multivariada de Dados Ecológicos da Baía de Guanabara- RJ,
com Base em Foraminíferos Bentônicos**
Multivariate Ecological Data Analysis from Guanabara Bay - RJ,
Based on Benthic Foraminifera

Priscila Tavares dos Santos¹; Claudia Gutterres Vilela¹; José Antônio Baptista Neto²; Antônio Enrique Sayão Sanjinés³; Yanira del Carmen Pineda Aldana¹ & Marcos da Silveira Pugirá¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro- Instituto de Geociências- Departamento de Geologia

² Universidade Federal Fluminense-LAGEMAR

³ PETROBRAS, CENPES

E-mail: pri.bio@uol.com.br; claudiagvilela@gmail.com

Recebido em: 30/03/2007 Aprovado em: 27/07/2007

Resumo

A baía de Guanabara é um ambiente estuarino situado no litoral do estado do Rio de Janeiro, sob as coordenadas 22° 40' e 23° 00'S e 43° 00' e 43° 20'W. Atualmente, possui uma área de aproximadamente 377 km², tendo sofrido uma redução de 91 km² desde o descobrimento do Brasil, sendo considerada uma das regiões costeiras mais poluídas do país. O monitoramento ambiental da baía de Guanabara torna-se cada vez mais necessário, a fim de que se possam tomar medidas eficazes na sua gestão. Nesse sentido, o uso de organismos bioindicadores, como os foraminíferos, é uma excelente ferramenta, pois eles respondem rapidamente a mudanças ambientais. O objetivo deste trabalho é aplicar aos dados bióticos (foraminíferos bentônicos) análises estatísticas, com o objetivo de observar como eles se comportam na baía de Guanabara. Em novembro de 1999, foram coletadas amostras de sedimento de fundo ao longo da baía de Guanabara, das quais 52 amostras distribuídas por toda a baía foram utilizadas neste estudo. Estas foram tratadas e classificadas de acordo com a metodologia padrão para foraminíferos. Para a ecologia numérica foram realizadas análise de agrupamento e análise de espécie indicadora (ISA), usando os programas Statistica 6.0 e PCORD. Através da análise de agrupamento, observou-se a formação de grupos tanto para as amostras quanto para as espécies. O ISA demonstrou que a melhor espécie para indicar o atual estado da baía de Guanabara é a *Ammonia tepida*. As análises ecológicas multivariadas tiveram uma ótima resposta na avaliação dos padrões de poluição da Baía de Guanabara, com base em foraminíferos bentônicos.

Palavras chave: Baía de Guanabara; análises ecológicas multivariadas; foraminíferos bentônicos

Abstract

Guanabara bay is an estuary environment situated in the seaboard of Rio de Janeiro state, under the coordinates 22° 40' and 23° 00'S and 43° 00' and 43° 20'W. Nowadays, it has an approximate area of 377 km², it has had a reduction of 91 km² since the discovery of Brazil, being considered one of the most polluted seacoast regions of the country. The environmental monitoring of Guanabara bay becomes increasingly necessary in order to be capable of taking effective measures in its management. Therefore, the use of bioindicator organisms, like foraminifera, is an excellent tool because of their rapid response to environmental changes. The goal of this paper is to apply statistical analyses to the biotic data (benthic foraminifera), aiming to observe how they behave in Guanabara bay. In November 1999, samples of bottom sediment were collected along Guanabara bay; 52 of them distributed along all the bay were used in this study. They were treated and classified according to the pattern methodology for foraminifera. For the numerical ecology, grouping analysis and indicating species analysis (ISA) were done using the programs Statistica 6.0 and PCORD. Through the grouping analysis, it was observed the formation of groups in both samples and species. ISA showed what species is the best one to indicate the actual state of Guanabara bay - *Ammonia tepida*. The multivariate ecological analyses had an optimal response in the evaluation of patterns of pollution in Guanabara bay, based on benthic foraminifera.

Keywords: Guanabara bay; multivariate ecological analyses; benthic foraminifera

1 Introdução

A baía de Guanabara é uma das mais proeminentes baías do litoral brasileiro. Possui uma área de cerca de 377km², englobando praticamente toda a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, estando localizada entre as latitudes de 22°40' e 23°00' Sul e longitude 43°00' e 43°20' Oeste (Figura 1).

Os atuais níveis de poluição da baía de Guanabara são decorrentes de um processo de degradação que se intensificou a partir de 1950, com o elevado crescimento urbano em seu entorno.

Apesar da renovação cíclica de suas águas com as do mar, a baía é receptora de uma significativa bacia hidrográfica, a qual, por sua vez, recebe uma gama variada de lançamentos de esgoto líquidos e sólidos.

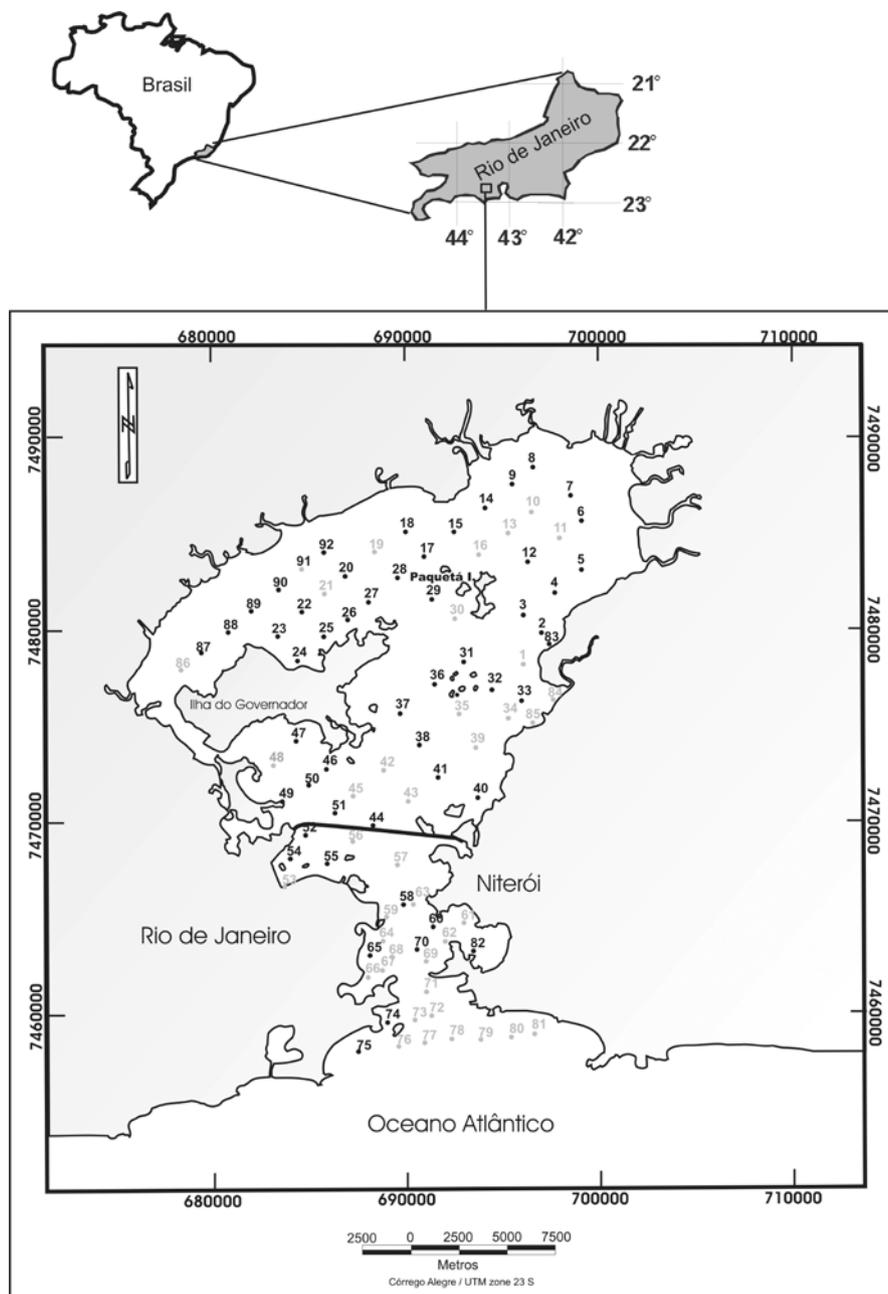


Figura 1 Mapa de localização das amostras na baía de Guanabara, estando em negrito as amostras que foram utilizadas neste trabalho.

Dentre as potenciais fontes poluidoras, encontram-se diversas tipologias industriais, terminais marítimos de produtos oleosos, dois portos comerciais, diversos estaleiros, duas refinarias de petróleo, entre outras atividades econômicas.

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial trouxeram, além da poluição, outros problemas ambientais, tais como a destruição dos ecossistemas periféricos à baía, os aterros de seu espelho d'água, o uso descontrolado do solo e seus efeitos adversos em termos de assoreamento, sedimentação de fundo, inundações e deslizamentos de terra. Sérios problemas de saúde pública vêm caracterizando a região da bacia hidrográfica da baía de Guanabara, refletindo a inadequada gestão dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos. Conseqüentemente, a baía de Guanabara é considerada um dos ambientes mais degradados do litoral brasileiro (Vandenberg & Rebello, 1986; Leal & Wagoner, 1993; Baptista Neto *et al.*, 2000; Faria & Sanches, 2001; Vilela *et al.*, 2004).

Dessa forma o monitoramento ambiental da baía de Guanabara torna-se cada vez mais necessário, afim de se tomar medidas eficazes na sua gestão. Nesse sentido, o uso de organismos bioindicadores, como os foraminíferos, é muito positivo, pois estes respondem rapidamente a mudanças ambientais.

Os foraminíferos são organismos heterotróficos, pertencentes ao Reino Protocista e ao Filo Granuloreticulosa (Sen Gupta, 1999). Caracterizam-se por apresentar um corpo celular formado por um citoplasma que engloba um ou mais núcleos. São importantes, geologicamente, por desenvolverem tecas que se preservam no sedimento permitindo, desse modo, o registro de condições e eventos que ocorrem e/ou ocorreram no ambiente.

Estes organismos apresentam uma grande sensibilidade a mudanças, sejam elas naturais ou antropogênicas, que podem refletir diretamente na composição da associação ou na ornamentação das tecas (Samir & El Din, 2001). Tanto qualitativa como quantitativamente, os foraminíferos mostram limitações na sua distribuição, motivadas principalmente por temperatura e salinidade, relacionadas com a profundidade e pressão (Madeira-Falceta, 1977). Assim podem ser utilizados na determinação de mudanças ambientais, principalmente no monitoramento de áreas que

sofrem degradação antrópica (Machado, 1981). Além disso, os foraminíferos permanecem e modificam sua morfologia em relação a fatores poluentes, principalmente aos metais pesados, hidrocarbonetos e a matéria orgânica alóctone (Samir, 2000), que são as principais fontes poluidoras da região em estudo.

Um dos métodos de estudo dos efeitos da poluição nestes organismos é a partir da determinação da diversidade taxonômica através de índice de diversidade (Vilela *et al.*, 2004).

Este trabalho tem por objetivo contribuir para o conhecimento dos níveis de poluição da baía de Guanabara, realizando análises estatísticas com os foraminíferos bentônicos, confrontando esses dados com os resultados encontrados em estudos anteriores (Vilela *et al.*, 2003).

2 Material e Métodos

Foram utilizadas 52 amostras de fundo, de um total de 92, coletadas em novembro de 1999 na região da baía de Guanabara. (Figura 1). Essas amostras foram escolhidas segundo um teste de significância, que consistiu na ocorrência $\geq 30\%$ das espécies encontradas, para haver um refinamento dos dados analisados estatisticamente.

As amostras foram coletadas com o equipamento busca-fundo VanVeen e armazenadas em campo em potes plásticos, onde foi adicionado formol (4%). Posteriormente ao armazenamento, essas amostras foram padronizadas em 30 ml e lavadas com peneiras de 0,500 mm e 0,062 mm de abertura de malha para eliminação das argilas, e posteriormente levadas à estufa (aproximadamente 50° C) para secagem.

Após a secagem o material retido na malha de 0,062 mm foi triado sob lupa binocular, com uma contagem mínima de 100 espécimes de foraminíferos por amostra, devido ao ambiente restrito e confinado da baía. Quando necessário, as amostras eram previamente submetidas a quarteamento, conforme metodologia descrita por Boltovskoy & Wright (1976). O material foi condicionado em células porta-foraminíferos e depositado no MicroCentro (UFRJ/ IGEO/ Departamento de Geologia). Todos os espécimes triados foram identificados taxonomicamente.

Para a realização das análises multivariadas com os dados bióticos (foraminíferos bentônicos), foram utilizados os programas Statistica 6.0 e PCORD incluindo-se análise de agrupamento em modo Q (que utiliza as amostras), e modo R, (que utiliza espécies) e análise de espécie indicadora (ISA).

A análise de agrupamento compõe-se de um conjunto de técnicas estatísticas pelas quais se busca reunir os vários indivíduos em grupos, tipos ou classes, tomando como informações para a classificação as medidas de um conjunto de variáveis, características ou atributos de cada indivíduo. Os elementos de um mesmo grupo devem ser o mais semelhante possível entre si, enquanto a diferença entre os grupos, a maior possível. A distância entre pontos é usualmente determinada pela distância euclidiana ou pelo coeficiente de correlação, podendo variar de 0 (variáveis idênticas) a $+\infty$ (variáveis sem relação) (Gong & Richman, 1995). Além disso, este tipo de análise envolve algumas decisões subjetivas, como qual a técnica que se constitui a mais conveniente, conforme as circunstâncias; quais as distâncias a serem consideradas; qual o número ótimo de agrupamentos, dentre outros (Fernau & Samson, 1990; Pollak & Corbett, 1993). Neste trabalho foi utilizado o método de Ward e distância Euclidiana, pois demonstraram ser mais eficientes.

3 Resultados

Foram consideradas 22 espécies de foraminíferos (ocorrência $\geq 30\%$). Sendo elas: *Ammonia parkinsoniana*, *A. tepida*, *Bolivina lowmani*, *B. ordinaria*, *B. striatula*, *Bulimina marginata*, *Bulimina* spp., *Buliminella elegantissima*, *Cassidulina crassa*, *Elphidium discoidale*, *E. excavatum*, *E. gunteri*, *E. poeyanum*, *Elphidium* sp., *Fursenkoina pontoni*, *Nonion depressulum*, *Pseudononion cuevanensis*, *Quinqueloculina seminulum*, *Quinqueloculina* sp., *Rosalina floridana*, *Textularia earlandi* e *Triloculina oblonga*.

A análise de agrupamento em modo Q (Figura 2) demonstrou a formação de três grupos, sendo o grupo I, formado pelas amostras localizadas na área a nordeste da baía, o grupo II na área a noroeste e o grupo III na área central.

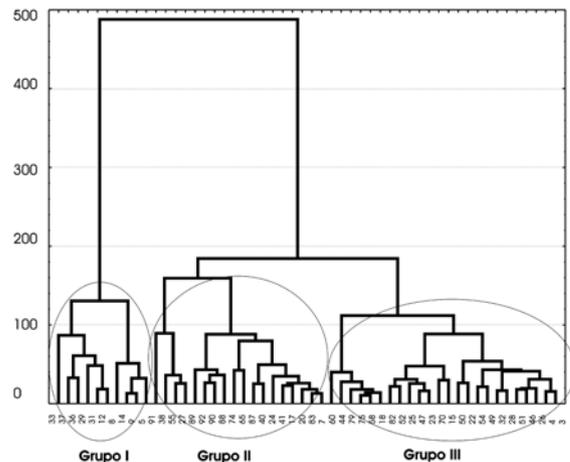


Figura 2 Análise de agrupamento em modo Q.

A análise de agrupamento em modo R (Figura 3) demonstrou a formação de quatro grupos, sendo o grupo I representado por *Ammonia tepida*, o grupo II representado por *Textularia earlandi* e *Buliminella elegantissima*, grupo III representado por *Elphidium poeyanum* e *Quinqueloculina seminulum* e o grupo IV pelas demais espécies.

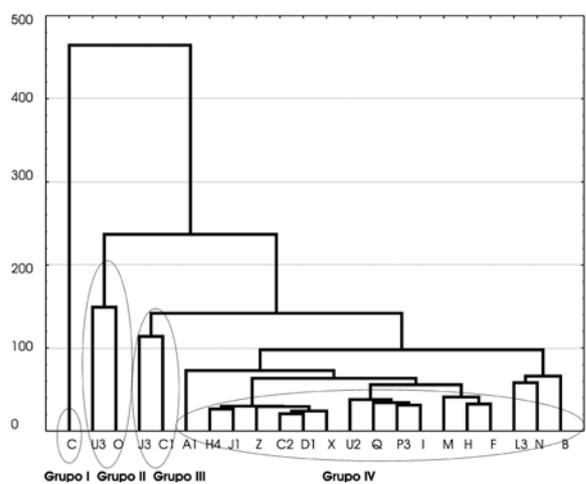


Figura 3 Análise de agrupamento em modo R. Sendo as siglas representativas das seguintes espécies: *Ammonia parkinsoniana* (B); *A. tepida* (C); *Bolivina lowmani* (F); *B. ordinaria* (H); *B. striatula* (I); *Bulimina marginata* (M); *Bulimina* spp. (N); *Buliminella elegantissima* (O); *Cassidulina crassa* (Q); *Elphidium discoidale* (X); *E. excavatum* (Z); *E. gunteri* (A1); *E. poeyanum* (C1); *Elphidium* sp. (D1); *Fursenkoina pontoni* (J1); *Nonion depressulum* (C2); *Pseudononion cuevanensis* (U2); *Quinqueloculina seminulum* (J3); *Quinqueloculina* sp. (L3); *Rosalina floridana* (P3); *Textularia earlandi* (U3) e *Triloculina oblonga* (H4).

A análise de espécie indicadora (ISA) é um teste estatístico que permite detectar a espécie indicadora como resposta a condições ambientais (Valentin, 2000). Os resultados da ISA demonstraram ser a *Ammonia tepida* melhor bioindicador.

4 Discussão

Baptista Neto *et al.* (2006) dividiu a baía de Guanabara em quatro áreas segundo os níveis de poluição por metais pesados, sendo a primeira área a noroeste, a qual recebe descarga dos rios mais poluídos de toda a baía, e abriga uma das principais refinarias de petróleo do país. A segunda área, a nordeste, com uma concentração de metais pesados mais baixa, quando comparada com a região noroeste, pois apresenta condições ambientais melhores, devido à preservação das áreas de mangue na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim. A terceira área é localizada na entrada da baía de Guanabara, que é uma área afetada por fortes processos marinhos de troca de água, com uma sedimentação arenosa e baixas concentrações de matéria orgânica e metais pesados. A última área é uma zona transicional entre as áreas onde ocorrem as maiores concentrações de metais pesados e as áreas com as menores concentrações. Esses dados são muito semelhantes aos resultados encontrados neste trabalho na análise de agrupamento em modo Q, onde foi observada a formação de três grupos, sendo o grupo I, formado pelas amostras localizadas na região nordeste da baía, o grupo II na região no noroeste e o grupo III na região central e entrada da baía. Assim, pode-se aferir que esse padrão de agrupamento está relacionado às condições ambientais da baía.

Na análise de agrupamento em modo R, o grupo I é representado por *Ammonia tepida*, que é uma espécie capaz de resistir à contaminação por esgoto doméstico, metais pesados e efluentes químicos (Yanko *et al.*, 1994; Alve, 1995; Culver & Buzas, 1995; Sen Gupta *et al.*, 1999) podendo assim, ser considerada uma espécie oportunista, que resiste em ambientes onde as demais espécies desaparecem (Vilela *et al.*, 2004). Essa espécie foi considerada pelo ISA o bioindicador, e isso confirma os dados que apontam na baía condições ambientais estressantes. O grupo II é representado por *Textularia earlandi* e *Buliminella elegantissima*, que segundo Alve (1995) são encontradas como dominantes

em áreas contaminadas com matéria orgânica, e sua abundância é aumentada próxima a áreas onde há o despejo de esgotos, devido à diminuição da salinidade. *B. elegantissima* que é citada na bibliografia como característica de áreas com alta taxa de matéria orgânica, seja esta proveniente de esgoto doméstico ou natural, e com baixa taxa de oxigênio dissolvido. O grupo III é representado por *Elphidium poeyanum* e *Quinqueloculina seminulum*, que são também espécies relacionadas a ambientes poluídos e sob estresse (Culver & Buzas, 1995, Sharifi *et al.*, 1991; Yanko *et al.*, 1994).

Vilela *et al.* (2003) dividiu a baía em compartimentos baseados em índice de diversidade e valores de carbono orgânico total (COT), que são inversamente proporcionais. Foi visto que na entrada da baía os valores de COT são baixos e os de diversidade alto. Na região central há um aumento do COT e a diversidade diminui. Na região nordeste e noroeste os valores de COT são altíssimos, tendo então uma baixíssima diversidade. Este mesmo trabalho indicou como espécies dominantes *Ammonia tepida*, *Buliminella elegantissima* e *Quinqueloculina seminulum*.

Ao se fazer uma superposição da análise de agrupamento em modo Q e em modo R, percebemos que a região a noroeste (grupo II em modo Q) é caracterizada pela espécie *Ammonia tepida* (grupo I em modo R). A região a nordeste (grupo I em modo Q) é caracterizada não só por *A. tepida*, como também por *Elphidium poeyanum* e *Quinqueloculina seminulum* (grupo III em modo R).

A região central (grupo III em modo Q) é caracterizada por *Buliminella elegantissima* (grupo II em modo R).

A utilização dos foraminíferos bentônicos, em análises ecológicas multivariadas, confirmam a caracterização da baía de Guanabara como ambiente altamente impactado.

Neste trabalho, observou-se a compartimentação da baía em regiões (nordeste, noroeste e central). As mesmas espécies apontadas como dominantes no trabalho de Vilela *et al.* (2003) foram algumas das espécies significativas para a formação dos grupos deste trabalho, confirmando os dados e ocorrência relacionados às condições ambientais estressantes da baía.

5 Conclusões

As análises ecológicas multivariadas confirmaram os padrões de poluição da baía de Guanabara, com base em foraminíferos bentônicos, caracterizando, como um ambiente altamente impactado.

A análise de agrupamento em modo Q mostrou um padrão de distribuição das amostras, havendo um grupo a nordeste, outro a noroeste e um terceiro na região central da baía.

A superposição da análise de agrupamento em modo Q e em modo R, demonstrou que as espécies que são responsáveis pela formação dos três grupos, em modo Q, são características de ambientes altamente impactados

O ISA apontou a *Ammonia tepida* como a espécie bioindicadora de poluição, da baía de Guanabara.

Os dados de metais pesados e COT na baía de Guanabara integrados aos resultados de ecologia numérica evidenciaram a resposta dos foraminíferos bentônicos aos padrões de poluição.

6 Agradecimentos

Ao PR2/CENPES pela concessão da bolsa de mestrado e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa.

7 Referências

Alve, E. & Murray, J.W. 1995. Benthic foraminiferal distribution and abundance changes in Skagerrak surface sediments: 1937 (Höglund) and 1992/1993 data compared. *Marine Micropaleontology*, 25: 269-288.

Baptista Neto, J.A.; Smith, B.J. & Mcalliste, J.J. 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, SE Brazil. *Environmental Pollution*, 109(1): 1-9

Baptista Neto, J.A.; Gingele, F.X., Leipe; T. & Brehme, I. 2006. Spatial distribution of trace elements in surficial sediments from Guanabara Bay - Rio de Janeiro/ Brazil. *Environmental Geology*, Alemanha,

49:1051-1063.

Boltovskoy, E. & Wright, R. 1976. *Recent Foraminifera*. Dr. W. Junk b. v., Publishers, The Hague, 515p.

Culver, S.J. & Buzas, M.A. 1995. The effect of anthropogenic habitat disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 25(3): 204-211.

Faria, M.M. & Sanchez, B.A. 2001. Geochemistry and mineralogy of recent sediments of Guanabara Bay (NE sector) and its major rivers – Rio de Janeiro State – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 73(1): 121-133.

Fernau, M.E.; Samson, P.J. 1990. Use of cluster analysis to define periods of similar meteorology and precipitation chemistry in Eastern North America. Part I: Transport patterns. *Journal of Applied Meteorology*, Michigan, 29:735-761.

Gong, X.; Richman, M.B. 1995. On the application to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, Oklahoma, 8:897-931.

Leal, M. & Wagener, A. 1993: Remobilization of anthropogenic copper deposited in sediments of a tropical estuary. *Chemical speciation and bioavailability*, 24(1): 31-39.

Madeira-Falceta, M. 1977. Ecological distribution of Thecamoebian and foraminiferal associations in the mixohaline environments of South Brazilian Littoral. *Anais da Academia Brasileira Ciências*, 46: 667-687.

Machado, A.J. 1981. *Foraminíferos dos sedimentos superficiais e subsuperficiais (Plio/Holoceno) da margem continental do Maranhão*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 151p.

Pollak, L.M. & Corbett, J.D. 1993. Using GIS datasets to classify maize-growing regions in Mexico and Central America. *Agronomy Journal*, 85:1133-1139.

Samir, A.M. 2000. The response of benthic foraminifera and ostracods to various pollution source: a study from two lagoons in Egypt. *Journal of Foraminiferal Research*, 30(2):83-98.

Samir, A.M. & El Din, A. B. 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphological abnormalities as pollution proxies in two Egyptian Bays. *Marine Micropaleontology*, 41:193-227

- Sharifi, A.R.; Croudace, I.W. & Austin, R.L. 1991. Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, UK. *Journal of Micropaleontology* 10: 109-113
- Sen Gupta, B.K. 1999. Modern Foraminifera. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 371p
- Valentin, J.L. 2000. *Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos*. Ed. Interciência. 117p.
- Vandenberg, C. & 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. *The Science of the Total Environment*, 58(1-2):37-45.
- 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/UFRJ*, 26:25-35.
- Vilela, C.G.; Batista, D.S.; Baptista Neto, J.A.; Crapez, M. & McAllister, J.J. 2004. Benthonic Foraminifera distribution in a high polluted sediment from Niterói Harbour (Guanabara Bay), Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(1): 1-11.
- Yanko V.; Kronfeld J & Flexer A. 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24: 1-17.