



Associações de foraminíferos e atividade bacteriana como ferramenta para o diagnóstico ambiental do estuário do rio Itacorubi, Florianópolis – SC

L.L.M. Laut¹, F.S. Silva¹, C. Bonetti², A.G. Figueiredo Jr.¹ & M.A.C. Crapez³

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

2 Departamento de Geociências – LOC – UFSC, cbonetti@cfh.ufsc.br

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

Abstract The aim of this research is analyze the relationship between foraminifer's distribution and bacterial respiratory activity (BRA) in sediment and its ecological significance for the Itacorubi estuary diagnose. Sediment samples were collected in order to perform foraminifer's analysis, BRA (fermentation, nitrification and sulphate reduction), grain-size analysis, organic matter and bacterial carbon. Bottom water samples were taken for inorganic ions analysis. BRA showed similar values in all stations. Sulphate reduction was more important in the inner mangrove area. Twenty-eight species of foraminifera were identified, with dominancy of *A. beccarii* f. *tepida* and *A. mexicana*. Correlation analyses using Spearman coefficient indicated that *A. mexicana* was positively related with organic enrichment, hypoxia and the presence of sulphate reduction bacteria. The opposite occurred with calcareous species mainly *A. beccarii* f. *tepida*. The correlation matrix was performed followed by MDS analysis, which differentiated three stations groups in the Itacorubi estuary, indicating a probable confinement gradient and environment stress: A - marine conditions; B - transitional conditions with abundance of species with no dominancy in the outer estuary; C - exhibited environment features of an inner estuary. These results suggest natural estuarine conditions, despite station 05 being next to the eutrophicated landfill area, indicating a recovering gradient downstream into the Itacorubi estuary.

Palavras-chave: Foraminíferos, bactérias, sedimento, estuários, diagnóstico ambiental.

INTRODUÇÃO Estuários são regiões que possuem grande dinâmica ecológica produzindo uma importante quantidade de nutrientes, servindo de berçário como, também, são importantes na retenção de sedimento fino que impede o assoreamento de canais, baías e lagunas. Por meio de uma série de reações químico-físicas, os estuários associados a manguezais funcionam como uma barreira geoquímica ao transporte de metais pesados para as áreas costeiras adjacentes (Paes 1996).

Programas de diagnóstico, monitoramento e manejo de estuários tornam-se cada vez mais necessários, devido a grande quantidade de impactos gerados pelo despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento. O uso de bioindicadores tem se intensificado nos últimos anos nesse tipo de estudo, principalmente de organismos bentônicos, pois o sedimento acumula grande parte dos poluentes.

Dentro do grupo de organismos bentônicos, os foraminíferos têm se mostrado como uma ferramenta eficiente porque apresentam grande sensibilidade as mudanças ambientais. Contudo, estuários são regiões onde as variáveis físico-químicas podem variar muito em um curto espaço de tempo e isto pode refletir na população de foraminíferos. Debenay *et al.* (2000) propõem que os foraminíferos sejam empregados de forma integrada a outras análises para que se tenham resultados mais completos e confiáveis.

Sedimentos de estuários e manguezais são intensamente colonizados por bactérias e cianobactérias que criam micro-habitats com gradientes físico-químicos e biológicos próprios que vão interagir de forma positiva ou negativa com outros organismos (Silva *et al.* 2005). Os foraminíferos são um importante elo entre a alça microbiana e a teia trófica, pois eles assimilam 80% da energia produzida pelos autótrofos e passam para o nível seguinte 28% dessa energia. No consumo direto, sem passar pelos protozoários, somente 5% da energia é aproveitada (Kirchman 2000). Apesar das relações entre os foraminíferos e as bactérias de regiões tropicais não estarem, ainda, bem estabelecidas (Santos 2005), o emprego simultâneo desses dois grupos em diagnósticos ambientais parece ser promissor.

Buscando colaborar com essa discussão, este estudo tem como objetivo a análise quantitativa e qualitativa de assembléias de foraminíferos associadas à atividade respiratória bacteriana, granulometria, matéria orgânica e nutrientes para, a partir desses dados, avaliar o estado ecológico que se encontra o estuário do Itacorubi - SC.

MATERIAIS E MÉTODOS Foram realizadas amostragens de sedimento na zona de inframaré com draga *Ekman* ao longo de sete estações no rio

Itacorubi, localizado dentro do perímetro urbano da cidade de Florianópolis, onde se desenvolve o bosque de mangue mais meridional do Brasil.

As estações foram distribuídas desde a região mais externa do estuário (01, 02, 06) até a região mais interna (03, 04, 05) dentro da área de domínio do manguezal. A estação 05 localiza-se ao lado do antigo aterro sanitário da cidade (Fig. 1).

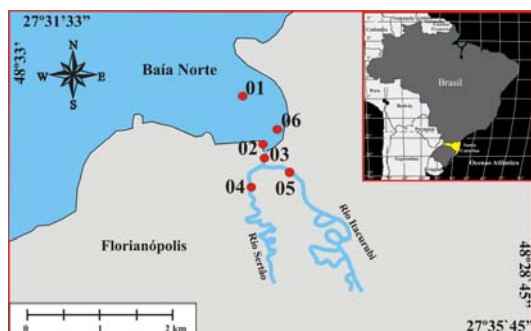


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem ao longo do estuário do Itacorubi

Em cada estação foram coletadas 50 mL de amostras de sedimento para as análises de foraminíferos, 100 g para granulometria e matéria orgânica e 10 mL para atividade respiratória bacteriana e carbono bacteriano. Foram coletadas, também, amostras de água para determinação da concentração de nutrientes inorgânicos ($N-NH_4$, $N-NO_3$, $N-NO_2$, DIN, PO_4 e SiO_3) e medidos os valores de salinidade, temperatura, pH, turbidez e oxigênio dissolvido.

O processamento das amostras de sedimento para as análises dos foraminíferos seguiu a metodologia descrita em Bolovskoy (1965).

As análises granulométricas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita em Ponzi (1995) e as porcentagens de matéria orgânica foram obtidas por calcinação (Byers *et al.* 1978).

As concentrações de nutrientes inorgânicos foram determinadas por meio de métodos colorimétricos (APHA 1992, Aminot & Chaussepied 1983).

Na atividade respiratória bacteriana foi qualificado em meios de culturas o processo de aerobiose, fermentação, desnitrificação e sulfato redução (Alef & Nannipieri 1995).

Para a quantificação do carbono bacteriano foi utilizado um microscópio de epifluorescência para a numeração de células (Kepner & Pratt 1994). A biomassa bacteriana ($\mu gC.g^{-1}$) foi medida com o cromógrafo laranja de acridina (Carlucci *et al.* 1986).

RESULTADOS E DISCUSSÕES A temperatura no estuário variou entre 17,9-18,4°C. Já a salinidade das águas de fundo ficou em torno de 31,9-34,7 ‰. O pH

não variou muito, ficando em torno de 7,17-8,13. O oxigênio dissolvido variou entre 3,35 – 4,05 $mg.L^{-1}$. A turbidez teve uma variação entre 16,9-27,4 NTU (Tab. 1). Esses resultados foram semelhantes aos já encontrados anteriormente por outros autores nesse estuário (Queiroz *et al.* 1998, Soriano-Sierra 1998).

Ponto	T (°C)	HCl (PSU)	pH	Turb (NTU)	O ₂ (mg/L)	MO (%)	Prof. (m)
IT 01	18	34,7	7,68	23,2	4,05	3,61	1
IT 02	17,9	33,4	7,17	27,4	4,04	3,91	1,8
IT 03	18,2	33,5	7,3	17,6	3,98	4,04	1,8
IT 04	18,3	32,2	7,47	16,9	4,02	4,11	1,2
IT 05	18,3	31,9	7,72	22,9	3,35	4,54	1,8
IT 06	18,7	32,2	7,58	20,3	4,02	3,58	3,3

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos das águas de fundo amostradas no estuário

A classe textural dominante na área foi o silte lamoso na parte intermediária e mais arenoso na região mais interna (Tab 1). O teor de matéria orgânica total variou entre 3,58-4,54%. Esses valores são compatíveis ao encontrados em outros estuários impactados, como a Baía de Guanabara (Baptista-Neto *et al.* 2000).

O nitrogênio amoniacal ($N-NH_4$) só foi detectado no ponto 5. O $N-NO_3$ só não foi detectado no ponto 1; nos outros pontos variou entre 0,12–0,28 $mg.L^{-1}$; sendo que no ponto 05 teve o maior valor (0,40 $mg.L^{-1}$). O $N-NO_2$ também seguiu o $N-NO_3$, não sendo encontrado no ponto 01 e variando entre 0,01–0,02 $mg.L^{-1}$ nos pontos mais internos do mangue. A somatória desses elementos nutritivos (DIN) variou entre 0,13-0,98 $mg.L^{-1}$; o maior valor ocorreu no ponto 05. O PO_4 variou entre 0,09-0,23 $mg.L^{-1}$ e o SiO_3 entre 0,87-1,77 $mg.L^{-1}$, sendo encontrado no ponto 5 o valor mais alto (Tab. 2). Esses valores altos de nutrientes podem estar indicando que há um processo de eutroficação em estabelecimento nesse estuário (Silva *et al.* 2005).

Amostras	N - $NH_{3,4}$ (ppm)	N- NO_3 (ppm)	N- NO_2 (ppm)	DIN (ppm)	P- PO_4 (ppm)	SiO_3 (ppm)
IT 01	Nd	Nd	Nd	0,00	0,23	0,87
IT 02	Nd	0,28	0,01	0,29	0,21	1,21
IT 03	Nd	0,21	0,01	0,22	0,13	1,19
IT 04	Nd	0,19	0,02	0,21	0,15	1,29
IT 05	0,56	0,40	0,02	0,98	0,15	1,77
IT 06	Nd	0,12	0,01	0,13	0,09	1,42

Tabela 2. Nutrientes inorgânicos do estuário do Itacorubi

A atividade respiratória bacteriana se apresentou muito semelhante em todos os pontos com aerobiose, fermentação e desnitrificação. A sulfato redução

começa a aparecer nos pontos 02, 03, 04 e 05. Normalmente, os processos aeróbicos deveriam ser dominantes no estuário. O domínio de processos anaeróbicos implica em perda de nitrogênio para a atmosfera e produção de sulfetos, substâncias tóxicas para os seres vivos. O carbono bacteriano variou entre 0,009-0,031 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ com o valor mais alto no ponto 05 (Tab.3).

Pontos	Aero	Ferm	Desnitr	Sulfato	CB
IT 01	P	P	P	N	0,3
IT 02	P	P	P	N	0,2
IT 03	P	P	P	V	0,4
IT 04	P	P	P	V	0,2
IT 05	P	P	P	P	0,7
IT 06	P	P	P	N	0,4

P = positivo; N = negativo; V = variável e CB ($\mu\text{g C.g}^{-1}$)

Tabela 3. Resultado da Atividade respiratória bacteriana e do carbono bacteriano no estuário do Itacorubi

Foram identificadas 28 espécies de foraminíferos com dominância do gênero *Ammonia* nas estações 01, 02 e de *Arenoparrella mexicana* nas estações 03, 04, 05 (Tab. 4). Ambas as espécies dominantes têm caráter oportunista extremo, indicando que o ambiente é estressante para a fauna marinha. Contudo as estações mais externas apresentaram maior riqueza de espécies, indicando uma diminuição no gradiente de impacto no sentido da região mais interna para a mais externa.

Uma análise de correlação, usando o coeficiente não paramétrico de Spearman foi realizada para se saber como as variáveis ambientais e os organismos estão se correlacionando no estuário do Itacorubi. A frequência relativa de *A. mexicana* esteve relacionada positivamente ao enriquecimento orgânico, hipoxia e a presença de bactérias sulfato-redutoras. O oposto ocorreu com as espécies hialinas, sobretudo *A. beccarii* f. *tepida*.

A partir da matriz de correlação aplicou-se uma análise MDS (Multidimensional Scaling), diferenciando-se três grupos de estações no estuário do Itacorubi, provavelmente distribuídos em relação ao gradiente de confinamento e de estresse ambiental (Fig. 2): Grupo A (estações 01 e 02) - zona com condições tanto bióticas quanto abióticas indicadoras de ambiente predominantemente marinho, típicas da baía adjacente; Grupo B (estação 06), representando um ambiente transicional entre a baía e o estuário, com grande riqueza de espécies e sem dominância, e Grupo C (03, 04, 05) apresentando-se com condições ambientais de estuário interno.

Espécies	IT 01	IT 02	IT 03	IT 04	IT 05	IT 06
<i>A. beccarii</i> f. <i>tepida</i>	57	49	8	13		11
<i>A. inepta</i>	0,3				1	
<i>A. mexicana</i>	3	16	26	55	80	22
<i>A. salsa</i>				2	0,5	
<i>B. cf. doniezi</i>	0,3					
<i>B. elegantissima</i>	5					11
<i>Cibicides</i> spp.						2
<i>Diffugia globulus</i>						2
<i>E. cf. discoidale</i>						13
<i>E. excavatum</i>	24	3		3		8
<i>E. galvastoneses</i>	0,3					
<i>E. gunteri</i>	8	26		10		11
<i>Elphidium</i> spp.					0,3	
<i>G. exilis</i>	0,6		8			
<i>H. manilaensis</i>	0,3					
<i>H. wilberti</i>			2	17	13	12
<i>J. polystoma</i>			2	8	1	0,7
<i>N. atlantica</i>						2
<i>Plagiopyxis</i> sp.			8			2
<i>Q. lamarkiana</i>					0,5	4
<i>Q. seminula</i>						10
<i>Quinqueloculina</i> sp.A	0,3					
<i>S. lobata</i>			8			
<i>T. inflata</i>					1	4
<i>T. irregularis</i>	0,3			2		
<i>T. macrescens</i>	0,3	2			1	
<i>T. salsa</i>			17			
<i>Triloculina</i> sp. A						2

Tabela 4. Frequência relativa (%) das espécies de foraminíferos do estuário do Itacorubi.

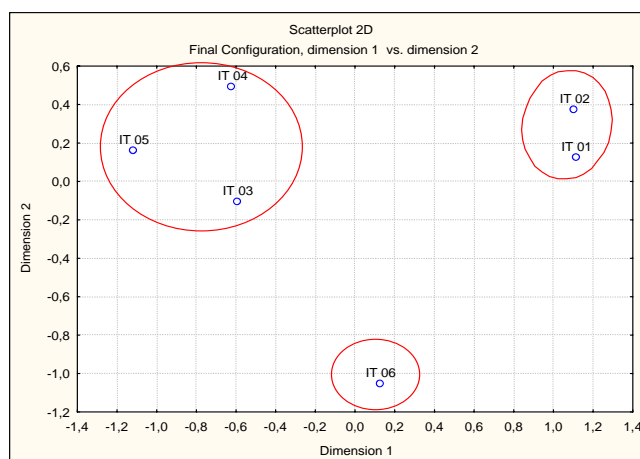


Figura 2. MDS indicando as relações de similaridade entre as estações do estuário do Itacorubi

CONCLUSÕES A relação foraminíferos versus atividade respiratória bacteriana observada no estuário do Itacorubi sugere que *A. mexicana* se relaciona



positivamente com bactérias sulfato-redutoras e fermentativas, enquanto os foraminíferos calcários encontram-se relacionados com as aeróbicas.

Por meio do tratamento estatístico foi possível estabelecer três zonas no estuário de acordo com o confinamento: Zona I – estuário interno (estações 03, 04 e 05); Zona II – (estação 6) estuário externo; e Zona III (estações 01 e 02) – baía.

Os resultados da relação dos parâmetros abióticos e bióticos do sedimento sugerem que o ponto 05, próximo ao antigo aterro sanitário, é o local ambientalmente mais crítico da área de estudo,

inclusive com indícios de eutroficação. Observou-se também que a partir dele se estabelece um gradiente de recuperação ambiental em direção a desembocadura do estuário do Itacorubi, encontrando-se o trecho final desse estuário sob condições ecológicas normais para tal ambiente.

Acredita-se, assim, que estudos baseados em técnicas de análise integrada de foraminíferos + atividade respiratória bacteriana + parâmetros ambientais sejam uma ferramenta eficiente para o diagnóstico ambiental de áreas costeiras transicionais.

Referências

- ALEF K. & NANNIPIERI P. 1995. Enrichment, isolation and counting of soil microorganism. In: *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry*. Academic Press, pp.:123-186.
- ALPHA A.W.W.A. & W.P.C.F. 1992. *Métodos normalizadores para el análisis de las aguas potables residuales* (Standard Methods for the examination of waste water). Ediciones Días de Santos. S.A.
- AMINOT A. & CHAUSSEPIED M. 1992. *Manuel des chimiques en milieu marin*. CNES, Paris.
- BAPTISTA-NETO J.A., SMITH B.J. & MCALISTER J.J. 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, SE Brazil. *Environmental Pollution*, **109**(1):1-9.
- BOLTOVSKOY E. 1965. *Los foraminíferos recientes: biología, métodos de estudio y aplicación oceanográfica*. Editora Universitaria de Buenos Aires, 509 pp.
- BYERS S., MILLS E. & STEWART P. 1978. Comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard methods. *Hydrobiologia*, **58**:43-47.
- CARLUCCI A.F., CRAVEN D.B., ROBERTSON D.J. & WILLIAMS P.M. 1986. Surface-film microbial populations diel amino acid metabolism, carbon utilization and grow rates. *Marine Biology*, **92**:289-297.
- DEBENAY J.P., GUILLOU J.J., REDOI F. & GESLIN E. 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments: a base for using foraminifera as early warning indicators of anthropic stress. In: MATIN R. (Ed.) *Environmental Micropaleontology*. Petroleum Publishing Corporation, p. 39-67.
- PAES J.E.S. 1996. *Distribuição Horizontal de Fe, Mn, Pb e Ni no sistema rio Alcântara – rio Guaxindiba, Área de Proteção Ambiental de Guapi-mirim, Baía de Guanabara (RJ)*. Instituto de Biofísica, UFRJ (Dissertação), 78 p.
- PONZI V.R.A. 1995. *Métodos de análises sedimentológicas. Representação de resultados por meio de gráficos e mapas*. Curso de Especialização em Geologia e Geofísica Marinha. LAGEMAR/UFF, 51 pp.
- QUEIROZ R.U. de, SIERRA DE LEDO B. & SORIANO-SIERRA E.J. 1998. Ocorrência e ciclagem de metais pesados no mangueal do Itacorubi. In: SORIANO-SIERRA E. & LEDO B.S. de (ed), *Ecologia e Gerenciamento do Manguezal do Itacorubi*, NEMAR, CCB, UFSC, p. 313-322.
- SANTOS P. dos S. 2005. *Caracterização Ambiental da Ezeida de Mataripe, Baía de Todos os Santos – BA, utilizando como ferramenta foraminíferos bentônicos*. Instituto de Biologia – UFF (Monografia), 87 p.
- SILVA F.S. da, LAUT V.M., LAUT L.L.M., FIGUEIREDO Jr. A.G., BONETTI C., VIANA L.G. & CRAPEZ M.A.C. 2005. Avaliação da qualidade ambiental em sedimentos superficiais do estuário do Itacorubi, Baía Norte (SC), utilizando a relação granulometria e atividade respiratória bacteriana. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários – ABEQUA, *Anais*, CD-Rom.
- SORIANO-SIERRA E.J. 1998. Estrutura do mosaico ambiental no mangueal do Itacorubi (Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil): In: SORIANO-SIERRA E.J. & SIERRA de LEDO B. (eds). *Ecologia e Gerenciamento do manguezal de Itacorubi*, p. 47-78.