

CAPÍTULO 5

CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO SISTEMA ESTUARINO DE LAGUNA (SC, BRASIL) BASEADO NA DINÂMICA POPULACIONAL DE ESPÉCIES DE INDICADORES BIOLÓGICOS

DOI: [http:// dx.doi.org/10.18616/plansus05](http://dx.doi.org/10.18616/plansus05)

Patricia Pinheiro Beck Eichler

Camilla Gomes da Silva

Audrey Amorim Corrêa

Rogério Santos da Costa

Gabriela Bernardo Soares

VOLTAR AO SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

O efetivo conhecimento do uso e o gerenciamento do ambiente são possíveis apenas a partir da obtenção de informações por meio de esforço cooperativo em estudos interdisciplinares nas diversas áreas do saber (TOMMASI; GRIESINGER, 1983; WEBER, 1992). A utilização de foraminíferos como indicadores biológicos é importante nesse tipo de estudo ambiental, pois essas associações recebem influência da variabilidade de fatores abióticos como salinidade, temperatura, natureza do substrato, carbono orgânico, pH e energia das marés (TODD; BRÖNNIMANN, 1957). Tais fatores, em conjunto, delimitam e controlam as associações, formando ambientes ecologicamente diferentes (MURRAY, 1991). A transição em direção ao mar, de fauna aglutinante (Ordem Textulariida) para fauna calcária (Ordem Rotaliida) é característica marcante das associações de foraminíferos. Os trabalhos relacionados à distribuição recente desses indicadores biológicos em regiões costeiras brasileiras visam caracterizar ambientes quanto à salinidade, à temperatura e às características sedimentológicas, bem como diferentes graus de poluição industrial e contaminação orgânica.

No sistema estuarino de Laguna, devido à vegetação, ao clima e à alta produtividade, destaca-se a pesca de camarão e siri. O “camarão Laguna” é considerado um dos melhores do Brasil. Merece também destaque a pesca da Tainha, que ocorre nos meses de maio a julho, realizada com o auxílio de botos da espécie *Tursiops truncatus* (nariz de garrafa) que conduzem o cardume em direção à praia. Esse ambiente se encontra ameaçado devido ao potencial de risco da área em questão. Próximo à região lagunar, existe a indústria química e de construção civil. Além disso, o aumento do volume de esgotos domésticos e de dejetos da aquicultura e agricultura de arroz proveniente dos municípios do sul catarinense bem como os efluentes da usina hidrelétrica (Capivari) e da extração e beneficiamento do carvão (Criciúma) são consequências da crescente ocupação humana das margens do sistema estuarino. Essa ocupação é responsável pela degradação dos ecossistemas, pela baixa qualidade das águas

do rio Tubarão e pelo aumento indevido da eutrofização dos ambientes, causando danos à fauna e à flora marinhas. Tais danos, muitas vezes irreversíveis, destroem o equilíbrio ecológico. A população sofre, então, com a qualidade da água e a diminuição de peixes e frutos do mar. Fazer frente aos impactos ambientais de origem antrópica implica na realização de estudos que avaliem a sua origem, intensidade e variabilidade. Nesse sentido, o reconhecimento de espécies de foraminíferos, do tipo de sedimento, além do padrão de circulação das águas é necessário, pois fornece base para o diagnóstico-ecológico-ambiental da região, dando contornos e diretrizes para as políticas públicas ambientais.

ÁREA DE ESTUDO¹

A região lagunar em estudo se encontra situada a 130 km ao sul de Florianópolis (SC) e abrange as lagoas de Santo Antônio, Imaruí e Mirim. As lagoas estão localizadas entre as cidades de Imbituba e Laguna, em Santa Catarina, e possuem cerca de 40 km de extensão. Do ponto de vista geomorfológico, esse sistema lagunar é caracterizado por uma série de células elípticas, conectadas ao oceano adjacente por um único canal estreito, o qual permite classificá-las como do tipo sufocado (KJERFVE, 1994; MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). São lagoas típicas de regiões costeiras com alta energia das ondas de gravidade, significativa deriva litorânea e maré com altura moderada (mesomaré). O canal atua como filtro dinâmico, conseqüentemente, os efeitos da oscilação da maré e das correntes são muito atenuados no interior da lagu-

1 Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelas bolsas de Recém-Doutor recebidas na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) nos anos de 2002 a 2004. O estudo não poderia ter sido desenvolvido se não fosse o apoio irrestrito da Capitania dos Portos em Laguna, por meio dos barcos da Marinha do Brasil. Agradecemos também o apoio logístico dado pelo Empreendimento Laguna Internacional, que arcou com as despesas da estadia da equipe de pesquisadores. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de doutorado (Proc. nº 96/4191-8) e pelo estágio de aperfeiçoamento no exterior (Proc. nº 98/05409-2). Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo projeto CAPES-Ciências do Mar II (23038.004320/2014-11) e pela bolsa de pós-doutorado no *Moss Landing Marine Laboratories* da *San Jose State University* e na *University of California at Santa Cruz*.

na. Esse tipo de laguna se caracteriza por grandes tempos de descarga fluvial, efeito dominante do vento e variação intermitente da estratificação vertical devido ao aquecimento solar e à descarga de água doce (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

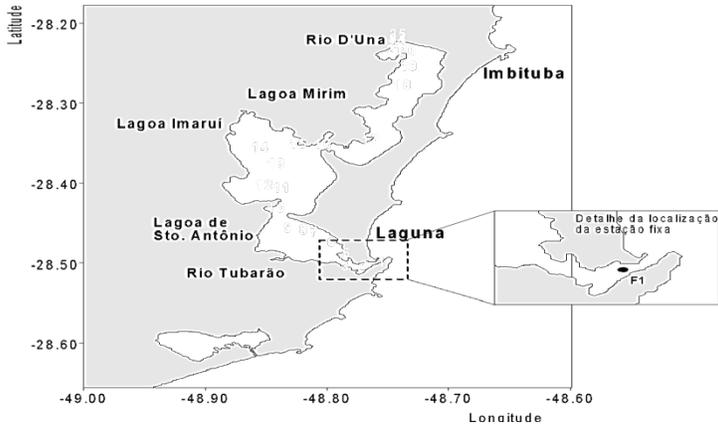
MATERIAL E MÉTODOS

Coleta

Foram realizadas coletas de sedimento de fundo e medidas de propriedades hidrográficas em 25 pontos (estações pontuais); além de levantamento de dados hidrográficos e correntográficos em uma estação fixa (F1). A figura 1 apresenta as estações pontuais (1 a 25) e a estação fixa (F1) no mapa das lagunas. A coleta das amostras biológicas e geológicas teve início na entrada das lagunas (na cidade de Laguna), continuando nas lagoas de Santo Antônio, Mirim e Imaruí até a entrada do Rio D'Una (próximo à Imbituba). Tal metodologia de amostragem visa evidenciar os gradientes ocorrentes relacionados aos diferentes parâmetros oceanográficos estudados na região das lagunas.

Nas 25 estações pontuais, o sedimento de fundo foi coletado para as análises granulométricas e análises de material biológico da microfauna (foraminíferos, tecamebas e ostracodes). Na ocasião da coleta, foram medidos os parâmetros hidrográficos de salinidade, temperatura, teor de oxigênio dissolvido e pH. Já na estação fixa (F1), os parâmetros físicos medidos foram salinidade, temperatura, velocidade e direção de correntes. As medidas de profundidade foram obtidas por meio de ecossonda, e a localização das estações foi fornecida por meio de GPS.

Figura 1- Estações de coleta e detalhe da posição da estação fixa (F1)



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

PARÂMETROS BIOLÓGICOS E FÍSICOS NAS ESTAÇÕES PONTUAIS

A amostragem de sedimento para a análise da microfauna foi feita com pegador de fundo do tipo Petersen. Do sedimento coletado nas 25 estações pontuais foram retiradas alíquotas para a análise de material biológico. Para a salinidade foi utilizado um refratômetro óptico portátil da marca ATAGO. O teor de oxigênio dissolvido foi por meio de oxímetro Metler Toledo. Para as medidas de temperatura e pH, foram utilizados eletrodos térmicos e de pH da marca Ingold, acoplados ao analisador portátil da Eydan, modelo pH91.

PROCESSAMENTO DO MATERIAL BIOLÓGICO

Do sedimento coletado, uma alíquota de 50 cm³ de sedimento foi retirada, separada em peneiras 0,500 e 0,062 mm, lavada para retirar o silte e a argila e seca em estufa a 60°C. As frações foram flotadas, então, em tricloroetileno de carbono. Após a flotação, foram realizados o quarteamento das amostras e a triagem do material biológico, transferindo-se as espécies de foraminíferos com o auxílio de um pincel para lâminas especiais de fundo preto para posterior identificação.

A determinação das espécies foi feita utilizando-se lupa binocular Stemi SV11 da marca Zeiss. Após a identificação das espécies de foraminíferos, seguiu-se com a confecção da tabela de abundância total desses seres, na qual foi realizada a soma-tória dos organismos vivos e mortos para as espécies de foraminíferos ocorrentes, resultando na sua frequência absoluta. Portanto, a frequência absoluta utilizada nesta pesquisa foi o número de indivíduos por 50 cm³. A partir da tabela de frequência absoluta, foi calculada a porcentagem relativa das espécies encontradas. As espécies consideradas características da região de estudo (dominantes) foram fotografadas em microscópio eletrônico de varredura pertencente ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo, cujas fotografias foram escaneadas e manipuladas em programa de edição de imagens para ilustrar o trabalho, possibilitando maior clareza dos resultados biológicos.

PARÂMETROS FÍSICOS (ESTAÇÃO FIXA)

A coleta dos dados hidrográficos e correntográficos realizada na entrada da laguna (F1, figuras 4 e 11) constou de uma estação fixa de 13 horas com medidas de hora em hora. Para a obtenção desses parâmetros, foi utilizado CTD acoplado ao correntômetro Falmouth, modelo: 2ACM n° de série 1401. O equipamento desceu até o fundo, obtendo medidas de salinidade e temperatura na coluna d'água. Na sua subida, foram obtidas medidas de velocidade e direção de correntes de um em um metro. Os dados de hidrografia e correntes (direção e velocidade) medidas pelo CTD acoplado ao correntômetro foram descarregadas em computador portátil. Eles puderam ser visualizados no momento da coleta.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes estatísticos aplicados nesta pesquisa resultaram de análises descritivas e analíticas. As análises estatísticas descritivas foram compostas por tabelas de frequência absoluta e dados de frequência relativa. As análises estatísticas analíticas decorreram de métodos univariados e multivariados.

Após a identificação das espécies de foraminíferos encontradas na região de estudo, os indivíduos foram somados, obtendo-se a sua frequência absoluta (vivos + mortos) por estação amostrada. A partir da frequência absoluta

total, foi calculada a frequência relativa das espécies. Foram utilizados os índices de diversidade de Shannon-Wiener na base (NEWMAN, 1995), o índice de dominância de Simpson e o índice de equitatividade de Pielou (ZAR, 1984). Os cálculos foram obtidos por meio do programa *Primer* da Universidade de Plymouth e encontram-se descritos em Clarke e Warwick (1994).

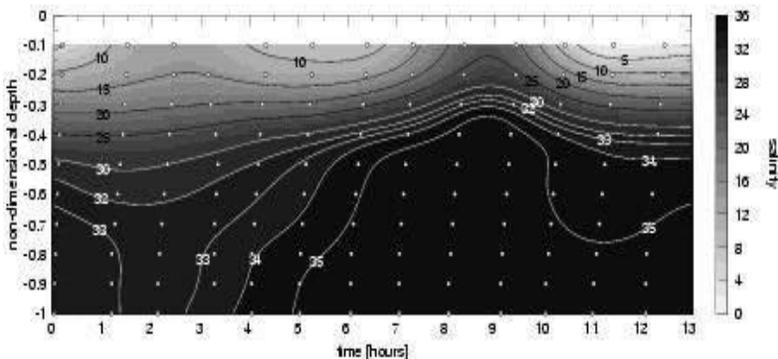
Para corroborar os dados obtidos nas análises estatísticas descritivas, foram aplicadas as análises de *Principal Component Analysis* (PCA) e CLUSTER por meio do programa *Primer* (CLARKE; WARWICK, 1994). A matriz de similaridade foi construída por meio do uso do índice de Bray-Curtis, com dados biológicos e abióticos logaritimizados do inverno e do verão. Os dendrogramas foram realizados para as estações (Modo Q) e espécies (Modo R). Os dados foram então ordenados, utilizando-se a correlação baseada em Clarke (1993).

RESULTADOS

Hidrografia e Circulação Estuarina – Estação Fixa

A figura 2 apresenta os valores relacionados à salinidade da água. A variação da salinidade foi intensa. Na superfície, os valores variaram principalmente de zero a 30, e no fundo variaram entre 30 a 35.

Figura 2 - Salinidade na estação fixa



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

A variação de temperatura, salinidade e densidade na coluna de água relaciona-se, principalmente, à diferença de gradiente de pressão que ocorre no local amostrado, a qual é resultado da entrada periódica da maré, que é ocasionada pela penetração de água mais fria e mais salina do oceano. Observou-se nas camadas superiores a influência do aporte continental proveniente do rio Tubarão.

PARÂMETROS ABIÓTICOS

A tabela 1 apresenta o posicionamento das estações, a profundidade, os valores de temperatura e salinidade de superfície e de fundo, o teor de oxigênio dissolvido e o pH, os quais foram obtidos no momento das coletas das amostras biológicas e sedimentológicas no verão de 2002.

Tabela 1- Posicionamento das estações de coleta e parâmetros abióticos adquiridos

Estação	Lat grau	Lat min	Lat y	Long grau	Long min	Long x	Prof. (m)	T. sup. (oC)	T. fundo (oC)	Sal. Sup.	Sal. fundo	O2 sup. (g/ml)	O2/fundo	pH sup.	pH fundo
1	28	28.808	28.497	48	45.288	48.754	1	27	28,7	8	11	6,82	6,47	7,47	7,29
2	28	30.013	28.5	48	48.182	48.789	3,6	27,3	28,8	5	12	5,38	5,14	6,82	7,37
3	28	30.108	28.502	48	47.056	48.784	3	27,2	25,6	2	12	5,41	5,29	6,38	6,59
4	28	28.317	28.488	48	47.122	48.785	5	27,8	27	14	17	5,9	5,85	7,88	8,88
5	28	28.126	28.485	48	47.015	48.784	3	28,3	27,2	15	19	5,41	5,49	7,88	6,83
6	28	28.323	28.472	48	47.743	48.786	3,5	28,15	27,2	15	19	5,13	5,32	7,67	7,33
7	28	27.504	28.458	48	48.809	48.81	0,8	29	28,8	11	15	7,44	7,23	8,1	7,39
8	28	27.367	28.456	48	49.098	48.818	1,2	28,2	28,2	12	15	7,05	6,88	7,9	7,49
9	28	27.248	28.454	48	48.876	48.831	1,5	28,4	28,2	13	15	6,24	6,11	7,88	7,33
10	28	25.731	28.429	48	50.489	48.842	1,9	28,1	27,4	10	20	6,18	6,2	7,76	6,78
11	28	24.245	28.404	48	50.205	48.837	2,4	28,6	27,2	10	15	5,99	6,14	7,61	7,16
12	28	23.882	28,4	48	51,05	48,851	2	28,6	27,6	11	16	6,18	6,5	7,72	7,32
13	28	22.403	28.373	48	50.457	48.841	1,7	28,8	27,3	11	15	6,82	6,9	7,82	7,34
14	28	21.173	28.353	48	51.245	48.854	1,3	29,1	27,9	10	10	6,3	6,14	7,57	7,19
15	28	20.91	28.348	48	49.387	48.823	1	29,3	27,8	10	10	6,22	6,25	7,72	7,36
16	28	20.831	28.348	48	48.172	48.803	1,7	28,7	27,6	10	10	6,28	6,23	7,64	7,19
17	28	20.635	28.344	48	45.842	48.764	1,8	28,9	27,6	4	6	6,12	6,32	7,28	7,35
18	28	16.626	28.275	48	44.216	48.737	2	29	27,2	4	4	6,76	6,88	7,47	6,82
19	28	15.085	28.252	48	43.844	48.732	2,2	28,3	26,5	2	2	6,58	5,5	7,88	7,52
20	28	13.977	28.233	48	43.982	48.733	1,8	28	25,8	1	2	6,75	7,4	7,33	7,35
21	28	13.833	28.231	48	44.616	48.744	1,9	28,9	25,5	0	1	6,75	7,14	7,49	7,6
22	28	13.406	28.223	48	44.543	48.742	1,5	30,3	25,6	0	1	6,45	6,53	7,02	6,85
23	28	13.304	28.222	48	44.477	48.741	0,8	30,1	26,6	0	1	6,26	6,47	6,82	6,72
24	28	13.04	28.217	48	44.457	48.741	5	27,4	24,7	1	3	3,5	3,5	6,41	6,37
25	28	12.857	28.211	48	44.468	48.741	7	27,2	24,3	1	3	3,44	1,3	6,31	7

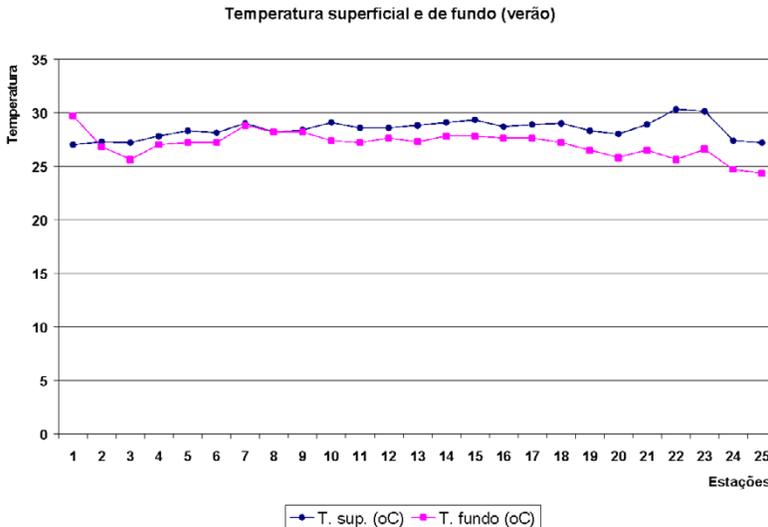
Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

As profundidades de coleta na extensão das lagunas variaram principalmente entre 0,8 e 3,6, sendo que as estações 24 e 25 no rio D'Una foram os locais mais profundos amostrados. A amostragem em profundidades baixas visou minimizar o efeito que a pressão exercia nos organismos.

De posse da tabela acima, foram realizados gráficos de linha, que exemplificaram o comportamento dos diversos parâmetros físico-químicos de salinidade, temperatura, teor de oxigênio dissolvido e pH na superfície e no fundo, bem como o pH do sedimento amostrado.

Na maioria das estações, a temperatura de fundo se manteve abaixo da temperatura superficial, variando entre 24,3 e 29,7, com exceção da estação um. Nessa estação, localizada na entrada das lagunas, observou-se que a temperatura de fundo se sobrepôs à temperatura superficial, revelando-se o maior valor dessa variável encontrado na região (figura 3). A partir da estação três até a nove, observou-se um ligeiro aumento das temperaturas, e da estação nove até a 17 as temperaturas permaneceram constantes. Da estação 17 até a 20, observou-se uma queda de temperatura superficial e de fundo, e a partir da estação 20 até a 23 observou-se o aumento dessas temperaturas. Com relação às estações 22, 24 e 25, observou-se uma pequena diminuição da temperatura de fundo.

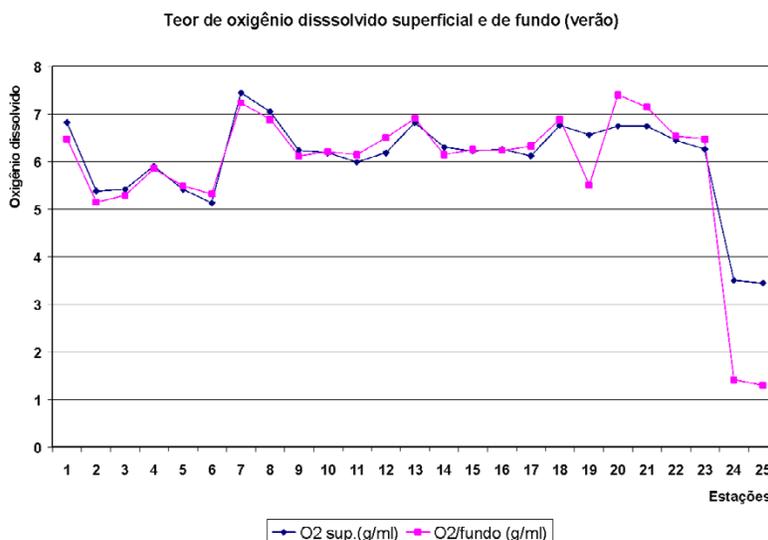
Figura 3 - Temperatura superficial e de fundo ao longo das estações amostradas



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

De acordo com a figura 4, é possível observar que a salinidade da região se mostrou variando entre zero e 15 na superfície e entre um e 20 no fundo, sendo que as salinidades mais baixas foram encontradas próximo da entrada das lagunas (um a três) e a partir da estação 17. As estações quatro a 16 apresentaram os valores mais altos de salinidade.

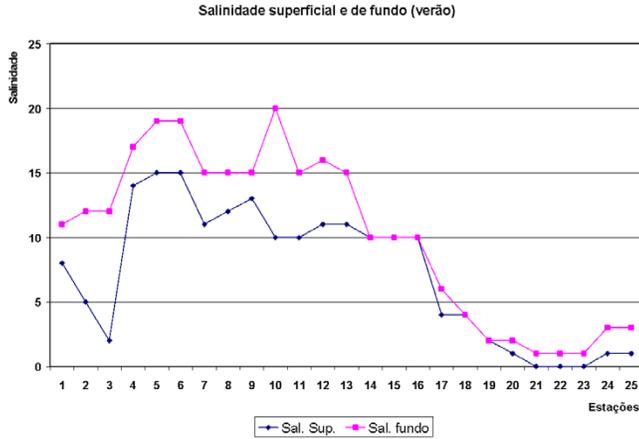
Figura 4 - Salinidade superficial e de fundo ao longo das estações amostradas



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

Os teores do oxigênio dissolvido apresentaram variação entre 5 e 7,5 g/ml em praticamente toda a região, com exceção das estações 24 e 25, que apresentaram os valores mais baixos entre 1 e 3,5 g/ml (figura 5).

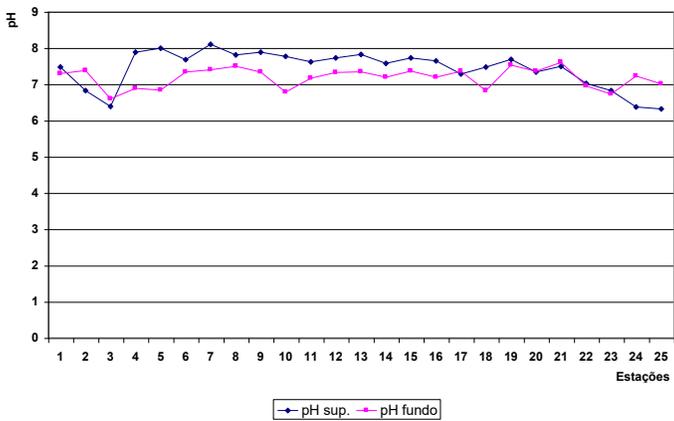
Figura 5 - Teor de oxigênio dissolvido superficial e de fundo ao longo das estações amostradas



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

Os teores e o pH de superfície e do sedimento apresentaram um padrão de variação entre seis e oito (figura 6).

Figura 6 - Teor de pH superficial e de fundo (sedimento) ao longo das estações amostradas



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

PARÂMETROS BIOLÓGICOS

Na tabela 2, observa-se que a amostragem das 25 estações obtida na região das lagunas apresenta 36881 indivíduos distribuídos entre 12 espécies de foraminíferos rotaliíneos (subordem: Rotaliina), duas espécies de foraminíferos porcelanosos (subordem: Milioliina), 10 espécies de foraminíferos aglutinantes (subordem: Textulariina) e oito espécies de tecamebas (subordem: Arcellacea).

Tabela 2 - Frequência absoluta de foraminíferos, tecamebas e ostracodes (verão/2002)

Espécies/Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL		
VERÃO/2002																												
Foraminíferos rotaliíneos																												
<i>Ammonia tepida</i>	4	6		12	48	240	8		8	8																	334	
<i>Bolivina striatula</i>	3	1																									4	
<i>Buccella peruviana</i>	45	7				16						8															76	
<i>Bulimina marginata</i>	22	11				12																					45	
<i>Bulimina patagonica</i>				12	12	4																					28	
<i>Bulimina elegantissima</i>	2			24	8	8															2						44	
<i>Cassidulina subglobosa</i>	2																										2	
<i>Elphidium gunteri</i>						128								8							13						149	
<i>Elphidium poeyanum</i>	124	48	2	50	72	380	32	16	80	16	6	8	1														835	
<i>Pseudonion atlanticum</i>	37	18		48		24																					127	
<i>Saccamina sphaera</i>	28	86	12	20	24																						170	
<i>Warrenita palustris</i>															2												2	
Foraminíferos porcelanosos																												
<i>Quinqueloculina miletti</i>	4			4		8																					16	
<i>Quinqueloculina patagonica</i>	2			1																							3	
Foraminíferos aglutinantes																												
<i>Ammolium cassi</i>														16	144	152	3	1	3									319
<i>Ammolium salsum</i>	0	1				8	304	74	280	48	104	472	8	14	7	9	40	17	50	960	112	128					2636	
<i>Ammobaculites exigus</i>					4	8	112	40	112	16	160	624	5	4													1085	
<i>Arenoparrella mexicana</i>				4		8																					12	
<i>Gaudryina exilis</i>			77	16	100	84	16	24	104	16	8	8															463	
<i>Haplophragmoides wilberti</i>			3	4	12	4																					247	
<i>Polisaccamina ipohialina</i>																								224			247	
<i>Siphotrochammina lobata</i>																								732			732	
<i>Trochammina inflata</i>				8																					86		86	
<i>Miliammina fusca</i>	1	2	50	48	40	232	56	264	128	352	4						2	59	194	8384	2328	11776	64	162	822	24968		
Tecamebas																												
<i>Centropxyxis arenata</i>				26																					64		90	
<i>Centropxyxis marsupiformis</i>				28		4	4		16												64		384				500	
<i>Diffugia caproleata</i>				8																	192	208	640	64			1112	
<i>Diffugia corona</i>				37	8	16															84	96	640	128	162		1161	
<i>Diffugia pyriformis</i>				118	8	40															16	192	64	180	32		660	
<i>Diffugia mitriformis</i>				16		4																			32		116	
<i>Diffugia urceolata</i>						4															80	64			32		116	
<i>Pontiqualesia compressa</i>				48					8																		58	
Ostracodes	1	5	4	4														1	2	128	16	384	2				19	
TOTAL	243	131	511	202	393	996	704	226	864	120	558	1616	29	20	8	12	55	77	248	9792	2856	14208	1590	536	886	36881		

Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

É possível observar que nas estações um e dois, situadas no canal de desembocadura da laguna (próximo ao oceano), ocorreu a presença de *Buccella peruviana*, *Bolivina striatula* e *Cassidulina subglobosa*. Desde as estações iniciais até as estações seis e sete, observou-se a presença de *Pseudonion atlanticum*, *Saccamina sphaera*, *Quinqueloculina miletti* e *Q. patagonica*. As espécies *Ammonia tepida* e *Elphidium poeyanum* foram encontradas até as estações 10

e 13, respectivamente. Observou-se a ausência de rotalíneos nas estações 14, 15, 16, 18 e 20 até 25. A presença de *Miliammina fusca* foi observada em toda a extensão das lagunas, revelando-se a espécie dominante do ambiente, principalmente a partir da estação 17 até a 25. Por outro lado, *Haplophragmoides wilberti* e *Arenoparrella mexicana* se revelaram pouco expressivos, restringindo-se às estações três até oito. *Ammotium cassis*, *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* e *Gaudriyna exillis* se revelaram bem expressivos nas estações cinco a 21 e apresentaram diferenças quanto à sua distribuição espacial na região de estudo. *A cassis* ocorreu nas estações 10 até 16. *Ammotium salsum* se encontrou mais amplamente distribuído (estação seis até 21), enquanto *Ammobaculites exigus* e *Gaudriyna exillis* se manifestaram nas porções mais próximas ao canal de desembocadura (cinco até 14 e quatro até 14, respectivamente). As espécies principais de tecamebas encontradas na região foram *Diffflugia capreolata*, *D. corona* e *D. pyriformis*, as quais foram localizadas principalmente nas estações três até nove e 18 até 25, indicando um padrão de ocorrência que revelou maior influência de água doce nessas áreas específicas.

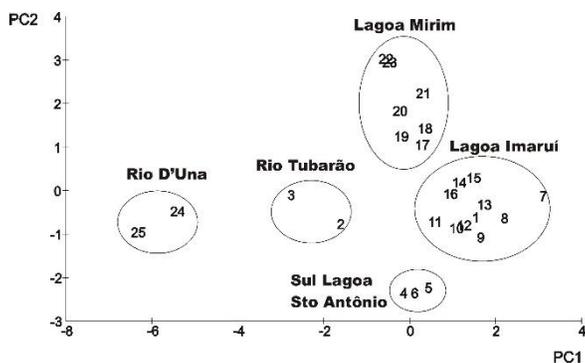
Interessante notar que as estações 13 até 19 apresentaram o menor número de indivíduos, enquanto as estações 12, 20, 21, 22 e 23 apresentaram o maior número de indivíduos. Observou-se que a entrada das lagunas (estações um até seis) apresentaram o maior número de espécies, seguidas pelas estações sete até 13. Mais para o interior (mais afastado do oceano), nas estações 14 até 25, observou-se a diminuição do número de espécies.

Dentre as espécies de foraminíferos rotalíneos da região, a dominante é o *Elphidium poeyanum*, principalmente nas estações um até 12. Observou-se a contribuição de *Buliminella elegantissima* na estação 19 e a ocorrência das oito espécies de foraminíferos aglutinantes dominantes na região. *Miliammina fusca* apareceu em praticamente todas as estações, com exceção da 14, 15 e 16. A contribuição dessa espécie para as estações 18 até 22, 24 e 25 é alta. *G. exillis* dominou principalmente as estações três até seis. *Ammobaculites exigus* dominou a sete até a 14, e *Ammotium salsum* dominou principalmente a sete até a 21.

Observou-se também a ocorrência das cinco espécies de tecamebas dominantes na região. A concentração delas se deu nas estações três até seis, oito, nove e 20 até 25. *Diffugia pyriformis* ocorreu principalmente nas estações três até cinco e 23 até 25. *D. capreolata* dominou a estação oito, e *Cetropxys marsupiformis* a estação nove.

Para corroborar os dados obtidos nas análises estatísticas descritivas, foram aplicadas as análises de PCA na matriz de dados abióticos. Observamos a formação de cinco grupos, os quais são apresentados na figura 7.

Figura 7 - Análise de PCA na matriz dos dados abióticos

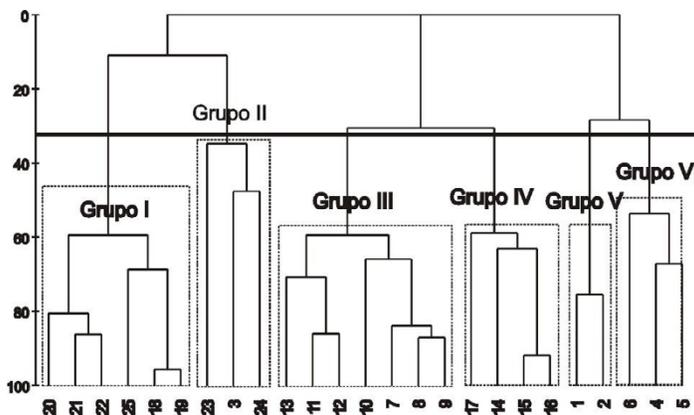


Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

A correlação de Spearman entre a matriz de similaridade dos dados abióticos e a dos dados biológicos apresentou valor de 0,473, com nível de significância de 0,1%.

A análise de cluster na matriz de similaridade dos dados biológicos apresentou a formação de cinco grupos (figura 8).

Figura 8 - Análise de cluster na matriz dos dados biológicos



Fonte: Elaborada pelas autoras de acordo com a coleta de dados.

Os grupos I e II, formados pelas estações 20, 21, 22, 25, 18, 19, 23, três e 24, são ambientes que receberam grande influência de água doce e apresentaram como espécies características *M. fusca* e espécies de tecamebas. O grupo III apresentou espécies de foraminíferos característicos de ambiente de água doce (*A. exigus*, *G. exillis* e *A. salsum*). O grupo IV representou as estações com menores densidades populacionais, enquanto os grupos V e VI representaram as estações com as maiores densidades localizadas na entrada das lagunas e sujeitas a um maior aporte marinho. Apresentaram como espécies características *Elphidium poyeanum*, *Bolivina striatula*, *Buccella peruviana*, *Bulimina marginata*, *Centropyxis subglobosa* e *Saccamina sphaera*.

DISCUSSÃO

A influência marinha na região é marcante apenas na região da entrada das lagunas (estações 1 a 6), pois a restrita conexão existente com o oceano atenua a troca de água com o oceano nas partes mais internas das lagunas. Esse tipo de influência marinha em lagunas costeiras brasileiras foi observado

por Debenay *et al.* (1997) na barra da Lagoa da Conceição (Florianópolis, SC, Brasil) e caracteriza-se por apresentar baixa eficiência na renovação das águas, principalmente no interior das lagunas.

A conexão do tipo sufocado (KJERFVE; MAGILL, 1989) na entrada das lagunas apresentou indicativos de influência continental, cujo aporte de água doce resultou em alta estratificação na barra, principalmente nas estações dois e três. Nesse local, a salinidade diminuiu, demonstrando que a circulação é também, em grande parte, gerada pela água doce proveniente da descarga do rio Tubarão. A salinidade apresentou gradiente horizontal, cujos valores mais altos foram encontrados na entrada e decresceram à medida que fomos penetrando no interior das lagunas. O gradiente horizontal significativo que foi observado ao longo das lagunas é resultante do balanço entre a entrada das águas salinas através das intrusões periódicas no sistema pela maré e o aporte de água doce dos rios Tubarão e D'Una na região.

O rio Tubarão e rio D'Una são importantes para a urbanização das cidades de Tubarão, Laguna e Imbituba. O rio Tubarão é palco de usinas termelétricas e de carvão, enquanto que nas águas do rio D'Una são lançados os dejetos da rizicultura. O rio Tubarão localiza-se mais próximo da barra e está mais sujeito à renovação de suas águas pelo oceano. Já o rio D'Una localiza-se muito longe do oceano, não sendo suas águas contempladas com essa renovação. Além disso, devido à profundidade mais alta desse rio (5 e 7 m) em relação ao complexo lagunar (menos de 3,6m) a circulação e a oxigenação das águas mais profundas são altamente comprometidas. O teor de oxigênio de superfície e de fundo dissolvido ao longo das estações apresenta valores em geral altos (entre 5 e 7mg/l), decrescendo principalmente no rio D'Una, onde o teor de oxigênio superficial diminui para menos de 4mg/l, e o oxigênio de fundo para menos de 2 mg/l. Esses dados indicam que o decréscimo no teor de oxigênio dissolvido na água mostra que a mistura de águas não se completa; portanto, a região ao norte do complexo lagunar apresenta tendência a sérios comprometimentos oriundos da atividade humana.

A associação de foraminíferos e tecamebas observada na região da conexão das lagunas com o oceano é similar àquela encontrada por Eichler *et*

al. (2001) na entrada da Baía de Guanabara (RJ, Brasil), onde *Ammonia tepida*, *Elphidium poeyanum*, *Buccella peruviana*, *Pseudononion atlanticum*, *Bulimina marginata* e *Buliminella elegantissima* são as espécies calcárias hialinas dominantes. Dentre as calcárias porcelânicas, *Saccamina sphaera*, *Quinqueloculina miletti* e *Q. patagonica* foram encontradas também nas regiões mais salinas. Essa associação de foraminíferos calcários tem sido observada também em outras zonas entre marés de ambientes temperados (PATTERSON; GUILBAULT; CLAGUE, 1999; HORTON *et al.*, 1999) e de ambientes tropicais (DEBENAY *et al.*, 2000).

É interessante mencionar que a distribuição de *A. tepida* e de *E. poeyanum* ocorreu desde a estação um até a 13, persistindo em ambientes marcados por ampla variação ambiental (MURRAY, 1991; LINKE; LUTZE, 1993) e confirmando sua característica eurihalina. Já as espécies estenohalinas *Buccella peruviana*, *Pseudononion atlanticum*, *Bulimina marginata* e *Buliminella elegantissima* foram encontradas apenas nas estações um a seis, revelando menor capacidade de resistir às alterações ambientais. Nas partes mais interiores das lagunas na lagoa Mirim, no rio D'Una e no rio Tubarão (dois a nove e 20 a 25), observou-se a presença de tecamebas (água doce) e foraminíferos aglutinantes. Nessas estações, *Ammotium cassis*, *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus*, *Gaudryina exillis* e *Miliammina fusca* dominam juntamente com as espécies de tecamebas *Diffflugia capreolata*, *D. corona* e *D. pyriformis*. Essa associação é característica de ambientes dominados por água doce. Observou-se um gradiente faunal relacionado à diversidade, a qual diminuiu muito em direção à parte norte das lagunas e é traduzida pela dominância de *Miliammina fusca* e espécies de tecamebas a partir da estação 20, principalmente nas estações anóxicas localizadas no rio D'Una (24 e 25). Tal associação, característica de salinidades muito baixas, foi amplamente verificada em manguezais temperados (SCOTT; MEDIOLI, 1980; JENNINGS *et al.*, 1995) e tropicais (DEBENAY *et al.*, 1998, 2000; WANG; CHAPPELL, 2001; DULEBA; DEBENAY, 2003). Neste estudo, ela se mostrou uma indicadora de ambientes com baixa oxigenação.

As análises de cluster mostraram que os padrões de fauna mais importantes se encontram relacionados à dupla influência do aporte continental

e do aporte de água salina, como indicado pela salinidade e pela distância da estação em relação ao oceano. Essa dupla influência tem sido descrita em vários lugares do mundo (HAYWARD; TRIGGS, 1994; RIJK, 1995) e parece ser a característica mais importante encontrada em zonas costeiras brasileiras (MADEIRA FALCETTA, 1974; EICHLER, 2001; DULEBA; DEBENAY, 2003). A análise de cluster deste estudo revelou os mesmos dados que foram encontrados por Eichler *et al.* (2004) por meio das análises de *Multi dimensional Scaling* (MDS) realizadas na matriz dos dados biológicos. Referidos autores observaram a formação de quatro grupos biológicos com características semelhantes às dos grupos deste estudo. O norte da lagoa de Imaruí e o sul da lagoa Mirim (estações 14, 15, 16 e 17) – com baixa densidade de foraminíferos e tecamebas – e o norte da lagoa de Santo Antônio e a parte sul da lagoa de Imaruí – com *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* e *Gaudryina exillis* – foram os grupos representativos deste capítulo. Já o grupo desembocadura, composto por estações mais influenciadas pelas águas marinhas, apresentou as espécies características *Elphidium poeyanum* e *Saccamina sphaera*. O grupo formado pelas estações coletadas nos rios D’Una e Tubarão e na lagoa Mirim apresentou também *Miliammina fusca* e espécies de tecamebas, principalmente do gênero *Diffugia* e *Centropyxis*, como endêmicas da área, as quais se encontram em regiões de agricultura de arroz.

Neste capítulo, apontam-se diferentes padrões de densidade populacional, que refletem as condições ambientais, observando-se que o grupo o qual representa o norte da lagoa de Imaruí e o sul da lagoa Mirim (14, 15, 16, 17) também se relaciona com a baixa densidade de foraminíferos e tecamebas em toda a região de estudo. No norte da lagoa de Santo Antônio e na parte sul da lagoa de Imaruí (sete, oito, nove, 10, 11, 12, 13), *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* e *Gaudryina exillis* dominaram. Já o grupo desembocadura (um, dois, quatro, cinco e seis), composto pelas estações mais influenciadas pelas águas marinhas, apresenta as mais altas diversidades, nas quais *Elphidium poeyanum* e *Saccamina sphaera* dominam. O grupo formado pelas estações coletadas nos rios D’uma e Tubarão e na lagoa Mirim (três, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25) apresenta como espécies características *Miliammina fusca* e

espécies de tecamebas. Nesses ambientes, essas espécies podem ser consideradas indicadoras de locais cuja renovação das águas é pouco eficiente. Isso posto, a agricultura dedicada ao arroz, a atividade carbonífera ou as usinas termoelétricas são fatores limitantes para a população de microorganismos que ali tenta se estabelecer. A baixa diversidade desse ambiente pode ser entendida pela diminuição da salinidade. No entanto, deve haver outro mecanismo responsável por essa redução para apenas uma espécie em locais onde deveriam existir pelo menos cinco ou seis espécies. Mais estudos são necessários para que seja averiguada a resiliência do ambiente perante os pesticidas usados na agricultura, principalmente na produção de arroz, que é muito difundida na região lagunar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As associações de foraminíferos apresentam distribuição espacial bem definida, resultante das condições ambientais estabelecidas em função da dupla influência do aporte continental e das águas salinas oceânicas. As espécies de foraminíferos e tecamebas coletadas nas lagunas são caracterizadas pela predominância de espécies calcárias mixohalinas (*E. poeyanum* e *S. sphaera*) em ambientes sob maior influência marinha, as quais são substituídas por *M. fusca* e espécies de tecamebas do gênero *Diffflugia* e *Centropyxis*. Nesses ambientes, o aporte de água doce é mais intenso. A distribuição observada no sistema estuarino de Laguna mostrou uma sucessão de espécies calcárias marinhas e mixohalinas perto da entrada, que é alterada para fauna de calcárias mixohalinas e aglutinantes na parte central, onde *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* e *Gaudryina exillis* dominam. Ao norte das lagunas, observou-se a presença da espécie aglutinante *Miliammina fusca* e de espécies de tecamebas, as quais são indicativas de ambientes cujo aporte de água doce é mais intenso.

Baseando-se no padrão de distribuição de espécies de foraminíferos e tecamebas, foi possível definir a extensão das áreas sob a influência continental e marinha. A distribuição de foraminíferos e tecamebas na região das

lagunas se deu, portanto, em função das características do ambiente, devido, provavelmente, a sinais de atividades humanas de poluição ou de contaminação relacionadas à existência de algumas ações relacionadas à atividade carbonífera, de usinas termoelétricas e de rizicultura.

Os efeitos do desenvolvimento urbano, que são prejudiciais ao ambiente, puderam ser notados principalmente na parte norte das lagunas, onde a renovação das águas é pouco eficiente, e na desembocadura do sistema, uma vez que a concentração de poluentes é alta e ocorre dominância de apenas uma espécie de foraminífero e de algumas tecamebas. Se não houver planos de gerenciamento costeiro, planos de saneamento básico, planos de monitoramento ambiental e delimitação de zonas onde os poluentes possam ser lançados, o ambiente avançará rumo à degradação e não terá condições para recuperar-se, principalmente os ambientes mais no interior da laguna, onde o mar não é capaz de renovar suas águas. Uma alternativa para a minimização dos danos seria a mudança da rizicultura convencional para a orgânica, o que poderia ser potencializado com políticas públicas de transferência de tecnologia.

REFERÊNCIAS

BRÖNNIMANN, P. Recent benthonic foraminifera from Brazil: Morphology and Ecology – Part 4. Trochaminids from the Campos shelf with description of *Paratrochammina* n. gen. **Paleontologisch Zeitscheiff**, Stuttgart, v.63, p. 5-25, 1979.

BRÖNNIMANN, P.; WHITTAKER, J. E. The trochamminaceous test and the taxonomic criteria used in the classification of the super family Trochamminacea. **Abh. Geol. B. -A**, [S.l.], v. 41, p. 23-39, apr. 1988.

BRÖNNIMANN, P.; ZANINETTI, L. *Acupeina*, a new textulariine genus from mangrove swamp sediments (Protista: Foraminiferida). **Revue Paléobiol.**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 219-222, 1984.

CLARKE, K. R. Non parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Aust. J. Ecol.**, [S.l.], v. 18, p. 117-143, 1993.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Changes in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation.** Plymouth: Plymouth Marine Laboratory/Natural Environment Research Council, 1994. 144 p.

DEBENAY, J. P.; BÉNÉTEAU, E.; ZHANG, J.; STOUFF, V.; GESLIN, E.; REDOIS, F.; FERNANDEZ-GONZALEZ, M. *Ammonia beccarii* and *Ammonia tepida* (Foraminifera): morphofunctional arguments for their distinction. **Marine Micropaleontology**, [S.l.], v. 34, n. 3-4, p. 235-244, 1998.

DEBENAY, J. P.; EICHLER, P. P. B.; GUILLOU J. J.; EICHLER-COELHO, P.; COELHO C.; PORTO-FILHO, E. Comportement des peuplements de foraminifères et comparaison avec l'avifaune dans une lagune fortement stratifiée: la Lagoa da Conceição (S.C., Brésil). **Revue de Paléobiologie**, Genève, v. 16, n. 1, p. 55-75, 1997.

DEBENAY, J. P.; GUILLOU, J. J.; REDOIS, F.; GESLIN, E. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments. *In*: MARTIN, R. E. **Environmental Micropaleontology**. [S.l.]: S.n., 1998, p. 39-67.

DULEBA, W.; DEBENAY, J. P. Hydrodynamic circulation in the estuaries of estação ecológica Jureia-Itatins, Brazil, inferred from foraminifera and thecamoebian assemblages. **Journal of foraminiferal Research**, v. 33, n. 1, p. 62-93, 2003.

EICHLER, B. B.; EICHLER, P. B.; MIRANDA, L. B.; BÉRGAMO, A. L.; BERNARDES, M. E. C.; PEREIRA, E. R. M.; KFOURI, P. B. P.; PIMENTA, F. M. Utilização de foraminíferos como bioindicadores da influência marinha na Baía de Guanabara (RJ, Brasil). **Revista Pesquisas em Geociências**, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 251-262, 2001.

EICHLER, P. P. B. **Avaliação e diagnóstico do Canal de Bertioiga (São Paulo, Brasil) através da utilização de foraminíferos como indicadores ambientais.**

2001. 240 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

EICHLER, P. P. B.; CASTELÃO, G. P.; PIMENTA, F. M.; EICHLER, B. B.; MIRANDA, L. B. de; RODRIGUES, A. R.; PEREIRA, E. R. Foraminifera and thecamoebians as indicator of hydrodynamic process in a choked coastal lagoon, Laguna estuarine system, SC, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p.1144-1148, 2004.

HAYWARD, B. W.; TRIGGS, C. M. Computer analysis of benthic associations in a tidal New Zealand inlet. **Journal of Micropalaeontology**, v. 13, p. 103-117, 1994.

HORTON, B. P. The distribution of contemporary intertidal foraminifera at Cowpen Marsh, Tees Estuary, UK: implications for studies of Holocene sea-level changes. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 149, n. 1-4, p.127-149, 1999.

JENNINGS, A. E.; NELSON, A. R.; SCOTT, D. B.; ARAVENA, J. C. Marsh foraminiferal assemblages in the Valdivia estuary, south-central Chile, relative to vascular plants and sea level. **Journal of Coastal Research**, v. 11, n. 1, p. 107-123, 1995.

KJERFVE, B. Coastal lagoons. *In*: KJERFVE, B. **Coastal lagoons Processes**. [S.l.]: Elsevier Science Publishers, 1994.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine Geology**, v. 88, p. 187-199, 1989.

LINKE, P.; LUTZE, G. F. Microhabitat preferences of benthic foraminifera a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? **Marine micropalaeontology**, [S.l.], v. 20, p. 215-234, 1993.

MADEIRA FALCETTA, M. Ecological distribution of thecamoebians and foraminifera associations in the mixohaline environments of the Southern Brazilian Litoral. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 46, p. 667-687, 1974.

MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002. 424 p. (Acadêmica 42).

MURRAY, J. W. **Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera**. London: Logman Scientific & Technical, 1991. 397 p.

NEWMAN, M. C. **Quantitative methods in Aquatic ecotoxicology**. Boca Raton: Lewis Publisher, 1995.

PATTERSON, R. T.; GUILBAULT, J. P.; CLAGUE, J. J. Taphonomy of tidal marsh foraminifera: implications of surface sample thickness for high-resolution sea-level studies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [S.l.], v. 149, n. 1-4, p.199-211, 1999.

RIJK, S. de. Salinity control on the distribution of salt marsh foraminifera (Great Marshes, Massachusetts). **Journal of Foraminiferal Research**, [S.l.], v. 25, p. 156-166, 1995.

SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S. Living vs. total foraminiferal populations: their relative usefulness in paleoecology. **Journal of Paleontology**, [S.l.], p.814-831, 1980.

TODD, R.; BRÖNNIMANN, P. **Recent Foraminifera and Thecamoebina from the eastern Gulf of Paria**. Special Publication 3. Califórnia: Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 1957.

TOMMASI, L. R.; GRIESINGER, B. Proposta para manejo correto de regiões costeiras. **Ciência e Cultura**, [S.l.], v. 35, n. 6, p. 709-721, 1983.

WANG, P.; CHAPPELL, J. Foraminifera as Holocene environmental indicators in the South Alligator River, northern Australia. **Quaternary International**, [S.l.], v. 83, p. 47-62, 2001.

WEBER, R. Sistemas costeiros e oceânicos. **Química Nova**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 137-143, 1992.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 2. ed. New Jersey: Englewood Cliffs, 1984. 718 p.