

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS**

**FORAMINÍFEROS DE MANGUEZAIS ASSOCIADOS AO ESTUÁRIO DO RIO**  
**MAPARI, MUNICÍPIO DE HUMBERTO DE CAMPOS (MA):**  
**BASES ECOLÓGICAS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.**

**ROGÉRIO HIDEKI FERREIRA FUNO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS**

**FORAMINÍFEROS DE MANGUEZAIS ASSOCIADOS AO ESTUÁRIO DO RIO**  
**MAPARI, MUNICÍPIO DE HUMBERTO DE CAMPOS (MA):**  
**BASES ECOLÓGICAS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.**

**ROGÉRIO HIDEKI FERREIRA FUNO**

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Sustentabilidade de Ecossistemas da  
Universidade Federal do Maranhão.

**Orientadora: FLÁVIA REBELO MOCHEL**  
**Co-orientador: DÉCIO LUIS SEMENSATTO JR**

**São Luís**  
**Novembro - 2008**

Funo, Rogério Hideki Ferreira

Foraminíferos de manguezais associados ao estuário do rio Mapari, município de Humberto de Campos (MA): Bases ecológicas para a sustentabilidade ambiental / Rogério Hideki Ferreira Funo. São Luís, 2008.

87 p.

Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas)  
Universidade Federal do Maranhão, 2008.

1. foraminíferos 2. manguezal 3. estuário

I. Título

CDU 593.12

A Izabel e ao Caio,  
que acaba de chegar.

## Agradeço

A Izabel pelo incentivo desde o momento da inscrição no processo seletivo do mestrado, até a o final da dissertação.

À professora Flávia Rebelo Mochel pelo apoio e orientação, contribuindo com sua valiosa experiência em pesquisas sobre os manguezais da costa norte do país.

Ao grande pesquisador e amigo Décio Luís Semensatto Jr, pela sua dedicação e contribuição na co-orientação deste trabalho. Cabe aqui, ainda, um agradecimento pelo seu empenho, como presidente da Associação Brasileira de Ecólogos – ABE, na luta pela regulamentação de nossa profissão.

Ao professor Dimas Dias Brito que, unindo conhecimento, experiência e entusiasmo, me conduziu ao mundo dos foraminíferos.

Aos professores do PPGSE, pelo conhecimento transmitido nestes dois anos de mestrado.

À coordenação do PPGSE pelo apoio logístico em todas as etapas do trabalho.

Aos funcionários do DEOLI / LABOHIDRO pelo apoio.

Ao Sérgio, pelo apoio em campo e a toda sua família, por receber nossa equipe, na Ilha do Gato, sempre de braços abertos.

À equipe do Laboratório de Bentos pelo apoio, em especial ao Ivanílson por seu auxílio em campo.

A Josinete e Suzana, pelo auxílio no processo de triagem.

À Companhia Vale do Rio Doce, pelos dados da estação maregráfica do Terminal da Ponta da Madeira, e ao Sargento Magalhães, da Capitania dos Portos, pelo auxílio no ajuste e correção dos dados à posição da Ilha do Gato.

Aos colegas do PPGSE pelos dois anos de convivência e aprendizado. Agradecimento especial à Carol pelo auxílio nas atividades de campo.

Aos colegas do IBAMA / ICMBio pelo apoio e compreensão em todos os momentos em que o mestrado demandou maior dedicação.

Aos professores da formação básica, da graduação em Arquitetura e Urbanismo e da graduação em Ecologia.

A todos os meus amigos que sempre me apoiaram.

A meus pais e a toda a família.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	11
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1 – Foraminíferos da zona entre-marés como indicadores de flutuação do nível relativo do mar .....	16
2.2 – Foraminíferos em estudos sobre hidrodinâmica e hidroquímica estuarina .....	22
3 – ÁREA DE ESTUDO .....	25
4 – MATERIAL E MÉTODOS .....	27
4.1 – Trabalho de campo .....	27
4.2 – Trabalho em laboratório .....	30
4.3 – Análise dos dados .....	31
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5.1 – Perfil Ilha do Gato .....	35
5.1.1 – Dados abióticos .....	37
5.1.2 – Dados bióticos .....	39
5.2 – Rio Mapari .....	50
5.2.1 – Dados abióticos .....	50
5.2.2 – Dados bióticos .....	53
5.2.3 – Ecofácies .....	64
5.3 – Considerações gerais sobre os foraminíferos estudados .....	67
6 – SISTEMÁTICA .....	70
7 – CONCLUSÕES .....	76
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1	Classificação das águas baseada nos valores de salinidade de acordo com o Simpósio de Veneza de 1959 (CLOSS, 1962) .....	32
Tabela 5.1	Abundância relativa das espécies de foraminíferos nas amostras do perfil Ilha do Gato. Número de tecas por amostra (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D) e de equitatividade (J' e E) .....	41
Tabela 5.2	Abundância absoluta das espécies de foraminíferos nas amostras do canal de maré que acompanha o perfil Ilha do Gato. Número de tecas (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D), índices de equitatividade (J' e E), salinidade, pH e tempo de exposição subaérea do sedimento (TES) .....	48
Tabela 5.3	Dados abióticos nos 19 pontos do rio Mapari em novembro de 2007 e setembro de 2008. Salinidade superficial (sal. sup.), pH superficial (pH sup.), salinidade de fundo (sal. fun.), pH de fundo (pH fun.), profundidade no momento da coleta (prof.) e classificação segundo o Simpósio de Veneza de 1959 (classific.). As cores de fundo delimitam as classes de salinidade .....	52
Tabela 5.4	Abundância relativa das espécies de foraminíferos nas amostras do rio Mapari. Número de tecas por amostra (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D) e de equitatividade (J' e E) .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Localização dos estudos de comunidades de foraminíferos para uso como indicadores do nível relativo do mar no Holoceno levantados nesta revisão .....	16
Figura 3.1	Localização da área de estudo e dos pontos de coleta de sedimento: Estuário do rio Mapari, município de Humberto de Campos, Maranhão .....	26
Figura 4.1	Registro fotográfico de algumas atividades realizadas em campo: (1) coleta de sedimento; (2) medição de pH com pHmetro; (3) medição de salinidade com refratômetro; (4) coleta de água com garrafa de Van Dorn, para medição de salinidade e pH de fundo; (5) obtenção de dados de vegetação, com a medição do DAP com trena e da altura com telêmetro .....	29
Figura 5.1	Esquema da distribuição dos cinco primeiros pontos amostrados em planície e em perfil, com a localização do canal de maré que acompanha o perfil, dos bancos de lama, da torre de observação do Projeto Peixe-Boi e com um esboço da distribuição das espécies vegetais. A foto A exibe o canal de maré que acompanha o perfil; a foto B exibe o bosque de <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> que ocupa as áreas mais elevadas; e a foto C exibe a colonização por plântulas de <i>A. germinans</i> e <i>L. racemosa</i> ocupando a franja do manguezal .....	36
Figura 5.2	Perfil Ilha do Gato, com a localização dos pontos amostrados, suas respectivas cotas altimétricas e tempo de exposição subaérea do sedimento. No perfil estão indicados o nível médio do mar (NMM), nível médio das marés altas e baixas (NMMA e NMMB) e nível médio das marés altas e baixas de sizígia (NMMAS e NMMBS) .....	37
Figura 5.3	Valores de salinidade e pH nos pontos do perfil Ilha do Gato .....	38
Figura 5.4	Esquema integrando dados de cota altimétrica, salinidade, pH e abundâncias relativas a cada subordem de foraminíferos no perfil Ilha do Gato .....	40
Figura 5.5	Dendrograma expressando a dissimilaridade entre as comunidades das amostras do perfil Ilha do Gato. As linhas de corte para divisão dos grupos estão discutidas ao longo do texto .....	44
Figura 5.6	Abundância relativa de <i>Ammonia</i> spp., <i>Elphidium</i> spp., <i>Quinqueloculina</i> spp., <i>Nonion</i> sp. e <i>Arenoparrella mexicana</i> , espécies dominantes no perfil Ilha do Gato .....	49
Figura 5.7	Gráficos do nível da maré em função do tempo, na Ilha do Gato, no dia 10 de novembro de 2007 (A) e nos dias 26, 27 e 28 de setembro de 2008 (B). Os pontos vermelhos marcam a altura da maré no momento da coleta de cada amostra ao longo do rio Mapari. As anotações “01” a “19” que aparecem ao lado de cada ponto se referem às amostras M01 a M19 .....	51
Figura 5.8	Localização dos pontos amostrados, valores de salinidade superficial, pH superficial e abundância relativa a cada subordem de foraminíferos .....	54
Figura 5.9	Dendrograma com os dois grandes grupos formados a partir da dissimilaridade entre as comunidades de foraminíferos das amostras do rio Mapari .....	58



Figura 5.10	Dendrograma com os quatro grupos formados a partir da dissimilaridade entre as comunidades de foraminíferos das amostras do rio Mapari .....	59
Figura 5.11	Abundâncias relativas das seis espécies de maior abundância entre as amostras coletadas no rio Mapari e esquema da distribuição das espécies de <i>Rhizophora</i> ...	63
Figura 5.12	Abundâncias relativas às três subordens encontradas nas amostras coletadas no rio Mapari e esquema da distribuição das espécies de <i>Rhizophora</i> .....	64
Figura 5.13	Localização das amostras que definem as <i>ecofácies</i> delimitadas no rio Mapari, e as principais espécies de foraminíferos características de cada uma delas. As linhas amarelas marcam os limites de ocorrência das espécies do gênero <i>Rhizophora</i> e o trecho em que as três espécies coexistem .....	66
Figura 5.14	Espectro de salinidade das espécies de foraminíferos encontradas no perfil Ilha do Gato e no rio Mapari .....	68

## ÍNDICE DE ESTAMPAS

Estampa I	1. <i>Arenoparrela mexicana</i> (amostra 18); 2. <i>Arenoparrela mexicana</i> (amostra 02); 3. <i>Haplophragmoides wilberti</i> (amostra 25); 4. <i>Trochammina inflata</i> (amostra 02); 5. <i>Trochammina inflata</i> (amostra 03); 6. <i>Polysaccammina</i> (amostra M04); 7. <i>Ammonoastuta inepta</i> (amostra M04); 8. <i>Ammotium morenoi</i> (amostra B2); 9. <i>Ammotium cassis</i> (amostra M11); 10 e 11. <i>Ammotium directum</i> (amostra M06); 12 e 13. <i>Miliammina fusca</i> (amostras M12 e M15); 14 e 15. <i>Miliammina fusca</i> (ocorrência de encistação, amostra B1) ..... 73
Estampa II	1. <i>Elphidium excavatum</i> (amostra M02); 2. <i>Elphidium gunteri</i> (amostra B3); 3. <i>Elphidium gunteri</i> (amostra 16); 4. <i>Elphidium gunteri</i> (amostra 06); 5. <i>Elphidium gunteri</i> (teca sofrendo dissolução, amostra 06); 6. <i>Elphidium gunteri</i> (detalhe da dissolução da teca calcária, amostra 06); 7. <i>Rosalina</i> sp. (amostra 10); 8. <i>Nonionella</i> sp. (amostra M01); 9. <i>Ammonia parkinsoniana</i> (amostra 06); 10. <i>Ammonia tepida</i> (amostra B2); 11. <i>Criboelphidium</i> cf. <i>poeyanum</i> (amostra M04) .. 74
Estampa III	1. <i>Quinqueloculina milletti</i> (amostra 02); 2 a 4. <i>Quinqueloculina seminulum</i> (amostra B2); 5 e 6. <i>Quinqueloculina poeyana</i> (amostra B3); 7 e 8. <i>Cyclogyra involvens</i> (amostras M02 e M06); 9. <i>Triloculina oblonga</i> (amostra M02); 10 e 11. <i>Triloculina oblonga</i> (amostra M06); 12. <i>Triloculina</i> sp. (amostra M04) ..... 75

## RESUMO

Foraminíferos da zona entre-marés são amplamente reconhecidos como eficientes ferramentas para a reconstrução de variações do nível relativo do mar no Holoceno. São também usados para detectar padrões de circulação e diagnosticar as características físicas e químicas das massas d'água em ambiente estuarino, revelando as condições dominantes desse ecossistema. Neste trabalho, foram coletadas amostras de sedimento superficial para estudo das associações de foraminíferos recentes, em uma porção estuarina da bacia do rio Mapari, município de Humberto de Campos (MA), Brasil, de duas formas: (1) dezesseis amostras coletadas ao longo de um perfil transversal a um manguezal na Ilha do Gato, próximo ao encontro do rio Mapari com a Baía de Tubarão, partindo da planície lamosa ao apicium; (2) dezenove amostras ao longo do rio Mapari, partindo da Ilha do Gato, com salinidade euhalina, até o povoado Rampa, onde a salinidade é zero. No perfil Ilha do Gato, foram feitas medições de salinidade e pH, e foi calculado o tempo de exposição subaérea (TES) em cada ponto, além de medições de altura e DAP dos principais indivíduos arbóreos. A salinidade variou de euhalina a hiperhalina (máximo de 56‰), e não demonstrou nenhuma relação com o TES. Foi observado o domínio da subordem Rotaliina em quase todo o perfil, de forma que não foi encontrada zonation altimétrica das associações de foraminíferos. Oito dos dezesseis pontos, entretanto, foram coletados na borda de um pequeno canal de maré que acompanha o perfil, sendo que, considerando apenas eles, há uma zonation em dois compartimentos, sendo o inferior, com 6 amostras (TES variando de 36,46% a 58,51%), dominado por *Elphidium gunteri*, e o superior, com 2 amostras (TES variando de 61,95% a 75,27%), dominado por *Arenoparrella mexicana*. No rio Mapari, foram feitas medições de salinidade e pH (superficial e de fundo para ambos), e foi verificada a composição florística das margens do canal, com especial atenção para as espécies do gênero *Rhizophora*. Estas espécies se distribuem segundo o gradiente de salinidade, que variou do euhalino à água doce. Quatro *ecofácies* foram definidas: (1) *ecofácies* 1, agrupando as 6 amostras mais próximas da Baía de Tubarão, com salinidade polihalina-euhalina, altos índices de diversidade ( $H'$  variando de 1,44 a 2,23 e  $D$  variando de 0,48 a 0,69), domínio de *Elphidium gunteri* e *Nonion* sp., presença significativa de *Ammonia tepida*, *Quinqueloculina seminulum* e *Arenoparrella mexicana*, e domínio quase exclusivo de *Rhizophora mangle*; (2) *ecofácies* 2, agrupando as cinco amostras da seqüência, com salinidade mesohalina-polihalina, domínio de *Nonion* sp. e *E. gunteri*, e coexistência de *R. mangle*, *R. harrisonii* and *R. racemosa*; (3) *ecofácies* 3, agrupando cinco amostras, com salinidade variando de água doce a mesohalina, amplo domínio de *Miliammina fusca*, e ocorrência de *Rhizophora harrisonii* e *Rhizophora racemosa*; (4) *ecofácies* 4, agrupando 3 amostras, em ambiente de água doce, onde foraminíferos são virtualmente ausentes. As associações de foraminíferos se mostraram uma eficiente ferramenta para reconhecimento das condições dominantes do complexo ambiente estuarino, onde os parâmetros abióticos são muito variáveis.

**Palavras-chave:** Foraminíferos, manguezal, estuário, macro-marés, zonation ecológica, Brasil

## ABSTRACT

Intertidal foraminifera are widely recognized as efficient tools for reconstructing Holocene sea-level changes. They are also used to detect water circulation patterns and to diagnose the physical and chemical characteristics of estuarine water, revealing the steady state of the ecosystem. In this work, surface sediment samples were collected to study recent foraminiferal assemblages in an estuarine portion of the Mapari river basin, Humberto de Campos (MA), Brazil, in two ways: (1) sixteen samples collected landwards along a mangrove transect in the Gato Island, near the mouth of the Mapari river, in the Tubarão Bay, from the tidal muddy flat to the hyperhaline bare flat (“apicum”); (2) nineteen samples collected upstreamwards along the Mapari river, from the Gato Island to the Rampa settlement, where salinity is zero. In the Gato Island transect, salinity and pH were measured and the subaerial exposure time (TES) was calculated for each point. Height and DBH were also measured for the main arboreous individuals. The salinity varied from euhaline to hyperhaline (maximum of 56‰), and demonstrated no relation to TES. It was observed the dominance of Rotaliina suborder almost all along the transect, which means that a vertical zonation of foraminiferal assemblages was not found. However, eight of the sixteen points were collected surrounding a meanderin tidal creek that follows the transect. Considering just these eight points, there is a zonation in two compartments: a lower compartment that groups six samples (TES varying from 36,46% to 58,51%), dominated by *Elphidium gunteri*, and an upper compartment that groups two samples (TES varying from 61,95% to 75,27%), dominated by *Arenoparrella mexicana*. In the Mapari river, salinity and pH were measured in surface and bottom water column, and the floristic composition of the channel margins was verified, with special attention to the species of *Rhizophora* genus. These species have a distribution related to the salinity gradient, that varied from freshwater to euhaline. Four *ecofacies* were defined: (1) *ecofacies* 1, that groups the six closest samples to the Tubarão Bay, with polyhaline-euhaline salinity, high diversity index ( $H'$  ranging from 1,44 to 2,23 and  $D$  ranging from 0,48 a 0,69), with dominance of *Elphidium gunteri* and *Nonion* sp., significant presence of *Ammonia tepida*, *Quinqueloculina seminulum* and *Arenoparrella mexicana*, and almost exclusive dominance of *Rhizophora mangle*; (2) *ecofacies* 2, that groups the next five samples upstreamwards, with mesohaline-polyhaline salinity, dominance of *Nonion* sp. and *E. gunteri*, and coexistence of *R. mangle*, *R. harrisonii* and *R. racemosa*; (3) *ecofacies* 3, that groups five samples with salinity varying from freshwater to mesohaline, wide dominance of *Miliammina fusca*, with mangrove fringe dominated by *R. harrisonii* and *R. racemosa*; (4) *ecofacies* 4, that groups the three upstream samples, in freshwater environment, where foraminifera are virtually absent. The results corroborate that foraminiferal assemblages can be used as an efficient tool for recognizing the steady state of the complex estuarine environment, where abiotic parameters are highly variable.

**Key-words:** Foraminifera, mangrove, estuary, macro-tidal, ecologic zonation, Brazil.

## 1 – INTRODUÇÃO

Estuário é um corpo aquático litorâneo raso e geralmente salobro, com circulação mais ou menos restrita, que mantém comunicação constante com o oceano aberto (SUGUIO, 2003). Em uma definição, também bastante ampla, DAY-JR et al. (1989) apresentam o estuário como a porção da zona costeira onde há interação entre água oceânica, água doce, terra e atmosfera. Acrescentando a estas definições o conceito da dinâmica de marés, é possível usar o termo estuário para indicar a região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro das águas fluviais com a do mar, transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite da influência destas correntes (MIRANDA et al., 2002).

Manguezal é um ecossistema costeiro estuarino, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, e sujeito ao regime das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Ocorre em regiões costeiras abrigadas e, com sua alta produtividade, tem reconhecida importância para o adequado funcionamento de ecossistemas adjacentes (continentais, lagunares e marinhos), por ser reservatório e exportador de matéria orgânica, nutrientes e biomassa (CINTRÓN & SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Possui funções ecológicas importantes para a manutenção da diversidade biológica, contenção de enchentes e controle da poluição (SILVA et al., 1990). É, também, área de ocorrência e refúgio para diversas espécies ameaçadas de extinção (REBELO-MOCHEL, 1993).

No território brasileiro, os manguezais estão amplamente distribuídos, podendo ser encontrados desde o Amapá, à latitude 4°30'N, até Santa Catarina, à latitude 28°30'S (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989). Da área total do ecossistema no país, aproximadamente 85% ocorrem ao longo do litoral do Amapá, Pará e Maranhão, totalizando 8.900 km<sup>2</sup> (KJERFVE & LACERDA, 1993), o que representa a maior área contínua de manguezais do mundo. O litoral maranhense, disposto entre as latitudes 1°03'S e 2°44'S, é o que apresenta a maior área de manguezais do país, com cerca de 500.000 hectares, distribuídos pela costa oriental, pelo Golfão Maranhense e pelas reentrâncias do litoral ocidental. Apresenta, também, as condições ideais para que o ecossistema se desenvolva plenamente, com vegetação extremamente desenvolvida e abrigando os quatro gêneros e as sete espécies arbóreas, características de manguezais, existentes no país: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus* (REBELO-MOCHEL, 1995b).

A importância do ecossistema justificou sua classificação como Área de Preservação Permanente pela legislação brasileira (CONAMA, 2002) e demanda medidas de proteção contra possíveis impactos. Nesse sentido, um plano de conservação e preservação ambiental se inicia pelo conhecimento dos ecossistemas e compreensão das interações ecológicas que os caracterizam.

Alguns estudos vêm sendo realizados visando à compreensão da estrutura e funcionamento dos manguezais maranhenses. A maioria, entretanto, se concentra em manguezais impactados na ilha de São Luís, que abriga a capital maranhense. REBELO-MOCHEL (1997) descreveu os manguezais desta ilha discutindo também a relação do ecossistema com a população e os impactos dela decorrentes. OLIVEIRA & REBELO-MOCHEL (1999) estudaram a macroendofauna de um manguezal em São Luís, verificando de que forma estes organismos respondem aos impactos ambientais. SANTOS et al. (1997) propuseram um modelo conceitual de zonação de manguezais a partir de características geomorfológicas e da salinidade, relacionada ao aporte de água doce do lençol freático. Tal modelo foi aplicado em dois estudos em manguezais da ilha de São Luís.

Marismas associados aos estuários e manguezais não impactados da Baía de Turiaçu foram caracterizados e mapeados com o uso de sensoriamento remoto (REBELO-MOCHEL, 2000). Também nessa linha de pesquisa, REBELO-MOCHEL & PONZONI (2007) caracterizaram a reflectância das folhas das diferentes espécies arbóreas dos manguezais da Baía de Turiaçu.

Não há, entretanto, estudos buscando a compreensão da estrutura das comunidades de foraminíferos em manguezais maranhenses. Esta dissertação será o primeiro estudo relativo a tais comunidades e poderá ser usada como referência para estudos paleoecológicos que tratem da investigação de ecossistemas costeiros quaternários ou mesmo mais antigos. Além disso, em razão da área estudada não apresentar significativo impacto antropogênico, servirá de base para comparação com outros levantamentos que venham a ser realizados em ambientes impactados.

Foraminíferos são organismos protistas com ampla distribuição em ambientes marinhos, ocorrendo também em ambientes da transição continente-mar. Poucas espécies ocorrem em água doce. Surgiram há cerca de 570 milhões de anos, no Período Cambriano, e distribuem-se desde as mais altas latitudes até a região tropical (LOEBLICH & TAPPAN, 1988). O protoplasma desses organismos é envolvido por uma concha (teca), comumente infra-milimétrica, de composição carbonática, protéica (biossintetizada) ou formada por elementos aglutinados (e.g., quartzo, partículas argilosas, fragmentos de origem biológica). A

composição e morfologia da teca, com seus diversos elementos estruturais, são peças-chave para a classificação taxonômica.

Os foraminíferos podem ser planctônicos ou bentônicos. Os planctônicos apresentam tecas calcárias e são encontrados exclusivamente em ambientes marinhos, não tolerando grandes variações ambientais (e.g. salinidade, pH, turbidez). Preferem, portanto, condições de mar aberto. Os foraminíferos bentônicos, por outro lado, ocorrendo desde a zona costeira a pisos marinhos abissais, apresentam tecas que podem ser calcárias, protéicas ou aglutinadas.

A estrutura da comunidade de foraminíferos está relacionada a variáveis químicas e físicas como salinidade, pH, concentração de oxigênio, temperatura, profundidade, luminosidade e características do substrato. Disponibilidade de nutrientes e relações interespecíficas (parasitismo, predação, competição) também exercem grande influência sobre a distribuição desses organismos (BOLTOVSKOY, 1965; LOEBLICH & TAPPAN, 1988).

As pesquisas envolvendo foraminíferos ganharam impulso com seu uso na datação de rochas e reconstrução de paleoambientes, informações essenciais para a indústria do petróleo. Todavia, o amplo conhecimento sobre a taxonomia e ecologia desses organismos permite sua utilização como indicadores de impactos antrópicos, de paleoambientes e para a compreensão da hidrodinâmica e hidroquímica estuarina (SCOTT et al., 2001; BARBOSA & SEOANE, 2008; DULEBA et al., 2005). São indicadores eficientes e de baixo custo, já que apresentam tamanho reduzido, grande abundância em pequenas alíquotas de amostras, bom estado de conservação das tecas e relativa facilidade de identificação. A preservação em associações fossilizadas torna os foraminíferos eficientes ferramentas paleoecológicas (LOEBLICH & TAPPAN, op. cit.; SCOTT et al., op. cit.).

YANKO et al. (1994) enumeram as vantagens do uso de foraminíferos bênticos como indicadores de poluição: (1) estão presentes em praticamente todos os ambientes marinhos; (2) os foraminíferos bentônicos habitam a superfície ou o interior do sedimento, que recebe e armazena a maior parte dos poluentes; estão, portanto, potencialmente mais expostos que o plâncton e o nécton; (3) possuem grande diversidade taxonômica; (4) possuem, em sua maioria, tecas robustas, que podem ser preservadas no sedimento, registrando evidências de estresse ambiental anterior à poluição; (5) são pequenos e numerosos o suficiente para apresentar populações estatisticamente significativas em pequenas amostras, facilmente coletáveis; (6) seus ciclos de vida são relativamente curtos, os quais, associados à limitação de algumas espécies a determinadas amplitudes das variáveis ambientais, os tornam sensíveis a rápidas mudanças ambientais. A preservação das tecas no

sedimento permite que os foraminíferos sejam usados como ferramentas para monitoramento e reconstruções históricas de poluição (ALVE, 1991; HAYWARD et al., 2004; SCOTT et al., 2005).

A viabilidade da utilização das associações de foraminíferos como indicadores do nível do mar também vem sendo comprovada com estudos em perfis transversais a manguezais e marismas (SCOTT & MEDIOLI, 1978, 1980a; JENNINGS & NELSON, 1992; EDWARDS et al., 2004; HORTON, 1998; BARBOSA et al., 2005; HORTON et al., 2005; WOODROFFE et al. 2005; HORTON & EDWARDS, 2006; HORTON & MURRAY, 2006, SOUTHALL et al., 2006; GHOSH et al, 2008; SEMENSATTO-JR et al., 2008). Estes estudos confirmam a existência de uma zonação das associações de foraminíferos em manguezais e marismas, expressando uma relação direta com o tempo de exposição do sedimento. Em alguns casos, são identificadas, com precisão centimétrica, associações bastante distintas de foraminíferos, verticalmente compartimentadas ao longo da zona entre-marés. Estas servem como referência para a percepção das alterações no nível relativo do mar devido a oscilações que marcaram o Quaternário, por exemplo.

Outros estudos buscam, nas associações de foraminíferos, subsídios para a compreensão da hidrodinâmica e hidroquímica estuarina. Os dados bióticos associados a variáveis físicas e químicas podem ser usados para a compartimentação ambiental do estuário em diferentes setores hidroquímicos (BRÖNNIMAN et. al., 1981). Nestes trabalhos, é bastante comum o estudo das associações de foraminíferos em conjunto com as associações de tecamebas, protistas pertencentes à ordem Arcellinida, que ocorrem em ambientes de água doce (OLIVEIRA, 1999; DULEBA & DEBENAY, 2003; SEMENSATTO-JR & DIAS-BRITO, 2004; SEMENSATTO-JR, 2006).

Há um significativo número de trabalhos sobre foraminíferos em ambientes estuarinos subtropicais, caracterizados pela presença do ecossistema marisma. O ecossistema manguezal, dominante na região tropical, tem suas associações de foraminíferos menos estudadas.

SEMENSATTO-JR (2006) constatou que, no Brasil, a maioria dos trabalhos sobre foraminíferos está concentrado nos litorais sul e sudeste, sendo que seu trabalho, no delta do rio São Francisco, buscou gerar informações sobre o pouco estudado litoral nordestino.

O projeto “Foraminíferos de Manguezais do Brasil”, em desenvolvimento no Laboratório de Análises Micropaleontológicas, Microbiológicas e de Ambientes, LAMBdA, da Universidade Estadual Paulista, UNESP, identificou os manguezais maranhenses como



importante lacuna em estudos sobre foraminíferos no país. Esta dissertação, portanto, teve também como objetivo iniciar os estudos que poderão preencher esta lacuna, investigando a diversidade biológica e levantando informações sobre os foraminíferos e, assim, ampliar o conhecimento sobre os manguezais da costa norte do Brasil. Buscou também investigar a estrutura e as relações ecológicas que caracterizam as pouco estudadas comunidades de foraminíferos em estuários sob regime de macro-marés, e em perfis transversais marcados por ambientes hiperhalinos.

Os objetivos deste estudo foram:

a. Investigar a riqueza de espécies de foraminíferos nos manguezais associados ao estuário do rio Mapari, município de Humberto de Campos (MA), gerando bancos de imagens dos táxons registrados e coleções de referência. Tais imagens serão uma contribuição para a elaboração do Atlas de Foraminíferos de Manguezais Brasileiros, projeto em execução no Laboratório de Análises Micropaleontológicas, Microbióticas e de Ambientes (LAMBdA), da UNESP, campus de Rio Claro;

b. Analisar a diversidade e a distribuição espacial das comunidades de foraminíferos, relacionando-as às variáveis ambientais (e.g. salinidade, pH, tempo de exposição do sedimento, características da vegetação de borda), de duas formas: (1) verificando a existência, ou não, de uma zonação altimétrica das associações em um perfil transversal a um manguezal na Ilha do Gato, município de Humberto de Campos (MA); (2) verificando a possibilidade de compartimentação horizontal do estuário do rio Mapari em diferentes *ecofácies*, no trecho entre a Ilha do Gato e o povoado de Rampa.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Foraminíferos da zona entre-marés como indicadores de flutuação do nível relativo do mar

A constatação de que as associações de foraminíferos da zona entre-marés se distribuem segundo uma zonação altimétrica relacionada ao regime de marés faz com que esses organismos sejam amplamente reconhecidos como eficientes ferramentas para a reconstrução de variações relativas do nível do mar no Holoceno. A figura 2.1 exibe a localização dos trabalhos pesquisados nesta revisão.

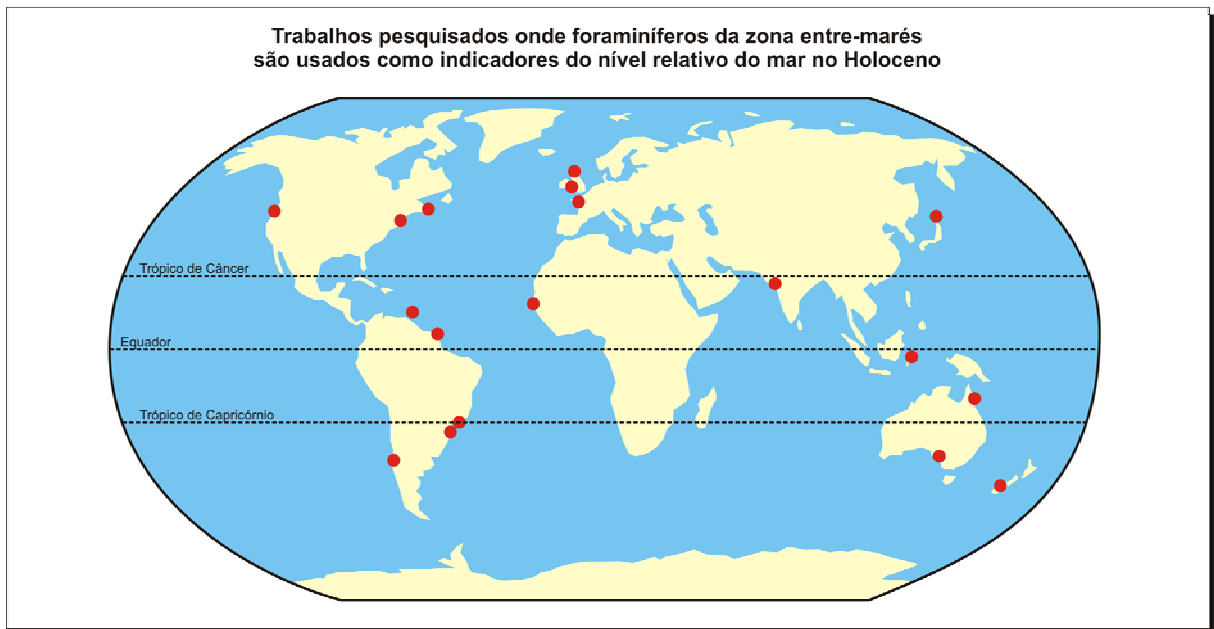


FIGURA 2.1 – Localização dos estudos de comunidades de foraminíferos para uso como indicadores do nível relativo do mar no Holoceno levantados nesta revisão.

SCOTT & MEDIOLI (1980a) investigaram a distribuição de foraminíferos em cinco perfis (“*transects*”) em marismas da Nova Escócia, Canadá. Encontraram uma zonação altimétrica bem definida das associações em relação ao nível do mar, sendo que, próximo ao nível mais alto alcançado pelas marés altas de sizígia, foi identificada uma associação monoespecífica da espécie *Trochammina macrescens*. Estes autores concluíram que tal associação poderia ser usada em reconstruções paleoecológicas para a identificação do limite superior da zona supra-maré, com precisão máxima de  $\pm 5,0\text{cm}$ . Acima desta associação, a 101cm acima do nível médio do mar, foi constatado o desaparecimento abrupto dos foraminíferos. DEBENAY et al. (2002), JENNINGS & NELSON (1992), JENNINGS et al.

(1995), SCOTT et al. (1995) e SEMENSATTO-JR et al. (2008) também registraram a ausência de foraminíferos logo acima da zona entre-marés.

Em vários países, os foraminíferos da zona entre-marés vêm sendo estudados para uso em reconstruções do nível relativo do mar. A maioria, entretanto se concentra nas regiões de clima temperado, onde o ecossistema característico é a marisma. No continente europeu, se destacam os estudos nas ilhas que compõem o Reino Unido. HORTON et al. (1999) coletaram sedimento em dez áreas distribuídas pelas costas leste, sul e oeste do Reino Unido, e verificaram a existência de uma zanação altimétrica das associações de foraminíferos diretamente relacionada ao tempo de exposição do sedimento. Duas zonas se mostraram bem definidas, sendo que foraminíferos aglutinantes dominaram as chamadas alta e média marismas, e foraminíferos calcários dominaram a baixa marisma e a planície de maré. BOOMER & HORTON (2006), aproveitando o conhecimento gerado por estes estudos com foraminíferos recentes, usaram sete testemunhos coletados em North Norfolk, costa leste da Inglaterra, para reconstruir as mudanças relativas do nível do mar neste local durante o Holoceno.

Na costa sudeste da Inglaterra, MASSEY et al. (2006) coletaram amostras de sedimento superficial de marismas e planícies de maré, abrangendo um intervalo vertical de -2,6 metros abaixo a +2,6 metros acima do nível médio do mar. O objetivo foi estudar foraminíferos recentes, buscando gerar uma função de transferência preditiva para reconstrução do nível relativo do mar no Holoceno. Esta região foi escolhida por ser reconhecida como a que sofre o maior processo de subsidência da costa do Reino Unido, e os foraminíferos foram usados como ferramentas para aumentar a precisão da quantificação de tais variações altimétricas, em relação ao nível médio do mar. A função de transferência foi aplicada a um testemunho e demonstrou que pode ser aplicada com sucesso para quantificar a altura do nível relativo do mar da costa sudeste da Inglaterra, durante o Holoceno.

HORTON & EDWARDS (2006) ampliaram os conhecimentos sobre o tema em uma grande compilação de trabalhos na Grã-Bretanha e Irlanda. O objetivo foi expor uma visão geral das distribuições das associações de foraminíferos recentes nas Ilhas Britânicas e examinar as variáveis ambientais que as governam. Além disso, discutiram a metodologia para a aplicação das funções de transferência preditivas, usadas para inferir a elevação pretérita de uma amostra de sedimento, com base nas associações fossilizadas de foraminíferos nele contidas.

Ainda no Reino Unido, LLOYD (2000) estudou foraminíferos e tecamebas em Loch nan Corr, noroeste da Escócia. Trata-se de uma bacia isolada do mar por um cinturão

rochoso, sendo que a oscilação do nível relativo do mar pôde ser verificada pelo registro fossilizado das associações de tecamebas e foraminíferos em um testemunho de 6 metros representando uma seqüência sedimentar de 7.000 anos. Foram encontradas associações que caracterizam diferentes ambientes, que variam do marinho ao lacustre (água doce), passando pelo lagunar. A superposição dessas associações evidencia a alteração do grau de confinamento do ambiente associada à variação do nível do mar.

CHÂTELET et al. (2005) investigaram a relação ecológica dos foraminíferos com a elevação e, conseqüentemente, com o tempo de exposição do sedimento, na baía de Aiguillon, na França. Focaram seu estudo no comportamento das sete espécies dominantes e encontraram uma relação direta entre suas distribuições e a posição topográfica, o que viabiliza seu uso como indicadores do nível relativo do mar.

Pesquisas também vêm sendo realizadas na Ásia. SCOTT et al. (1995) estudaram a distribuição de associações de foraminíferos em marismas na baía Nemuro, em Hokkaido, no Japão, associando-as à elevação e ao padrão de distribuição da vegetação. No ano seguinte, SCOTT et al. (1996) aproveitaram o conhecimento gerado nesta baía em Hokkaido como parte de um estudo mais amplo sobre o oceano Pacífico. O principal objetivo foi gerar modelos de distribuição altimétrica das associações de foraminíferos que pudessem ser usadas como referência para a reconstrução de variações súbitas e de grande amplitude do nível do mar, associadas a terremotos nesta região tectonicamente instável do Pacífico.

HORTON et al. (2005) coletaram amostras de sedimento superficial para estudo de foraminíferos recentes nos manguezais do Parque Nacional de Wakatobi, na Indonésia. Constataram a existência de três zonas bem definidas na região entre-marés, sendo a zona superior dominada por foraminíferos aglutinantes, a intermediária mista contando com presença significativa de aglutinantes e calcários, e a zona inferior dominada por foraminíferos calcários. Concluíram que a zona superior é a mais eficiente como indicadora do nível relativo do mar, já que suas associações são comuns a outras marismas estudadas em várias regiões do planeta.

GHOSH et al. (2008) estudaram foraminíferos nos estuários do Golfo de Cambay, na Índia, o que resultou em um dos raros trabalhos realizados em ambiente de macro-marés. Mencionaram a ocorrência de transporte de foraminíferos pelo estuário, resultante das fortes correntes de marés. Reconheceram três biofácies, sendo a superior dominada por foraminíferos aglutinantes.

No continente africano, SARR et al. (2007) estudaram as associações de foraminíferos de um testemunho coletado na lagoa Retba, Senegal, em um trabalho

semelhante ao realizado por LLOYD (2000) na Escócia. Tais associações refletiram os episódios de fechamento e abertura da lagoa durante o neoholoceno, indicando características de uma baía aberta, de uma laguna confinada e de uma lagoa completamente fechada. As rápidas respostas das associações de foraminíferos permitem precisar os momentos em que ocorrem as mudanças ambientais.

Muitas pesquisas vêm sendo realizadas na Oceania. HAYWARD & HOLLIS (1994) abriram o caminho para estes trabalhos com um estudo taxonômico e ecológico dos foraminíferos da Nova Zelândia. Na seqüência, HAYWARD et al. (1999) coletaram sedimento em seis perfis em marismas deste país, encontrando associações de foraminíferos característicos da zona supra-maré, com destaque para uma associação monoespecífica de *Trochammina macrescens* semelhante à encontrada por SCOTT & MEDIOLI (1980a) na América no Norte. Segundo estes autores, esta associação é, provavelmente o mais preciso marcador conhecido de nível relativo do mar.

SOUTHALL et al. (2006) estudaram as associações de foraminíferos de uma marisma em Punaweia, sudoeste da Nova Zelândia. Trata-se de uma região tectonicamente estável e, por isso, oferece informações precisas para a reconstrução do nível relativo do mar, que podem ser usadas como referência para estudos nas áreas tectonicamente ativas na Nova Zelândia.

CANN et al. (2002) coletou dez testemunhos ao longo de um perfil de 3 km em Port Pirie, Austrália, abrangendo, com este estudo, uma sucessão de sedimentos marinhos do Holoceno. As fácies estudadas foram bancos de fanerógamas na zona inframaré, planícies de marés sem cobertura vegetal, manguezais e laguna costeira. Diferentes associações de foraminíferos caracterizaram cada uma das fácies e os testemunhos indicaram uma redução do nível relativo do mar nos últimos 7.000 anos acompanhado de um aumento da salinidade do sistema.

HORTON et al. (2003) estudaram os foraminíferos recentes em Cocoa Creek, manguezal sob regime de meso-marés que margeia a Grande Barreira de Corais da Austrália. Encontrou uma forte e altamente significativa relação entre a topografia e a distribuição das associações de foraminíferos. Análises estatísticas multivariadas levaram à delimitação de três zonas, sendo a superior e a intermediária dominadas por foraminíferos aglutinantes e a inferior, por foraminíferos calcários. Neste trabalho foi elaborada a primeira função de transferência preditiva baseada em associações de foraminíferos, para reconstrução do nível relativo do mar em ambiente tropical. WOODROFFE et al. (2005) ampliou os estudos na Grande Barreira de Corais, chegando a conclusões semelhantes às de HORTON et al. (2003),

corroborando a viabilidade do uso das associações de foraminíferos para este tipo de aplicação.

No continente americano, a maioria das pesquisas relacionadas ao uso de foraminíferos como indicadores de variação do nível relativo do mar se concentra nas marismas em clima temperado na América do Norte. O trabalho pioneiro sobre o tema foi a já mencionada pesquisa de SCOTT & MEDIOLI (1980a) nas marismas da Nova Escócia, no Canadá. JENNINGS & NELSON (1992) estudaram a zonation altimétrica de foraminíferos e sua relação com as zonas delimitadas pelas comunidades vegetais que compõem as marismas do Oregon, nos Estados Unidos da América. EDWARDS et al. (2004b) coletaram amostras de sedimento superficial em três marismas do estado de Connecticut, EUA, visando à identificação dos chamados “análogos modernos” que refletem as associações fossilizadas podendo ser usados como referência para a reconstrução do nível relativo do mar. Identificaram uma significativa variabilidade entre as marismas e buscaram analisar uma forma de combinar as informações obtidas a partir do estudo das associações de foraminíferos e os dados ambientais para gerar um eficiente modelo para reconstruções paleoecológicas. No mesmo ano, EDWARDS et al. (2004a), ainda estudando as marismas de Connecticut, propuseram uma função de transferência preditiva baseada nas associações de foraminíferos recentes de quatro áreas. Tal função foi testada em três testemunhos coletados nos marismas do rio Hammock, no mesmo estado, e foi considerada bem sucedida, além de passível de replicação, podendo ser usada para inferir variações do nível relativo do mar em escala regional.

Menos trabalhos foram desenvolvidos nas Américas Central e do Sul. WILSON et al. (2008) coletaram sedimento em três perfis em manguezais associados ao rio Caroni, noroeste da ilha de Trinidad. Em seu estudo, buscaram compreender a diversidade e a estrutura das comunidades de foraminíferos e, com a aplicação de análises de agrupamento, dividiram a faixa vertical estudada em três zonas. Foi verificada uma grande dominância por foraminíferos aglutinantes nas zonas superior e intermediária, com a presença marcante de *Ammonia* sp na zona inferior.

Na América do Sul, JENNINGS et al. (1995) estudaram as marismas do centro-sul do Chile buscando verificar a relação das associações de foraminíferos com a topografia e a distribuição das plantas vasculares. O conhecimento obtido nos estudos das marismas chilenas também compuseram o amplo estudo sobre o Oceano Pacífico, conduzido por SCOTT et al. (1996) e já mencionado nesta revisão.

DEBENAY et al. (2002) estudaram os manguezais da Guiana Francesa com o objetivo de investigar os fatores ecológicos que determinam a distribuição das associações de foraminíferos. Trata-se de um ambiente com marcada sazonalidade, na Zona de Convergência Inter-Tropical. Tal sazonalidade faz com que a hidrodinâmica estuarina seja o principal fator determinante da distribuição dos foraminíferos, com a alternância de ambientes dominados por águas costeiras no período seco e por águas fluviais, mais ácidas, no período chuvoso. Os autores concluíram que o segundo fator, em importância, é a topografia, que determina o tempo de exposição do sedimento. Verificam, ainda, que a vegetação protege o sedimento do calor e do ressecamento durante os períodos de exposição, o que faz com que a densidade de foraminíferos seja muito maior no manguezal do que nas planícies de inundação não vegetadas.

No Brasil, BARBOSA et al. (2005) coletaram sedimento em sete perfis em manguezais no litoral sul e sudeste. O primeiro perfil foi montado no sistema estuarino do Saí-Guaçu, divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina. Outros dois foram localizados nos manguezais da baía de Guaratuba, no estado do Paraná. Outros três perfis foram estudados na Laguna de Saquarema e o último em uma marisma de água salobra-doce do lago Jacarepiá. Tais perfis abrangeram grandes diferenças em suas características ambientais, o que não impediu que todas as zonas superiores do entre-marés apresentassem associações de foraminíferos bastante semelhantes entre si e semelhantes a outras observadas em outros países. Confirmam, portanto, a eficiência das associações de foraminíferos para a reconstrução do nível relativo do mar, lamentando, entretanto, que poucos trabalhos desse tipo tenham sido feitos no Brasil, ou mesmo em outras regiões tropicais. De fato, afirmam que esse trabalho apresenta os primeiros perfis transversais estudados em manguezais brasileiros.

SEMENSATTO-JR et al. (2008) coletaram amostras de sedimento em um perfil em um manguezal associado à baía de Trapandé, na Ilha do Cardoso, no estado de São Paulo. Neste trabalho foram identificadas duas ecofácies que diferem em tempo de exposição do sedimento, salinidade, granulometria do sedimento, estrutura da vegetação e na diversidade e composição específica das associações de foraminíferos. Foi observada uma clara compartimentação morfológica das tecas dos foraminíferos, associada, principalmente, ao tempo de exposição do sedimento, oferecendo a zonation altimétrica que permite o uso como indicadores do nível relativo do mar. Tecas alongadas se restringem à planície inferior lamosa enquanto tecas espiraladas ocorrem por todo o perfil, dominando amplamente a planície superior arenosa.

Não foi encontrado nenhum registro de estudos sobre as associações de foraminíferos em perfis transversais a manguezais na costa norte do Brasil, o que mostra a grande lacuna ainda existente deste tipo de estudo nesta região do país.

## 2.2 – Foraminíferos em estudos sobre hidrodinâmica e hidroquímica estuarina

Os foraminíferos são amplamente utilizados para detectar padrões de circulação e diagnosticar as características físicas e químicas das massas d'água em ambiente estuarino, revelando as condições dominantes desse ecossistema.

DEBENAY & GUILLOU (2002) iniciaram uma revisão sobre o tema colocando a zonação existente entre os ambientes marinho e continental como uma das principais existentes na biosfera, ao lado da zonação latitudinal e da vertical, tanto pela altitude, quanto pela profundidade. Estes autores buscaram, nesse trabalho, propor modelos de distribuição de foraminíferos que caracterizem os gradientes entre o ambiente marinho e o continental para uma série de situações, com base em dados publicados em várias partes do mundo. O principal produto deste trabalho foi um diagrama triangular apresentando essas associações características distribuídas por três eixos partindo do ambiente marinho, no centro, para os três vértices do triângulo, sendo: (1) terra firme; (2) água confinada; e (3) alto estuário, subdividido em água doce e água hiperhalina, em estuários inversos.

Neste mesmo trabalho, DEBENAY & GUILLOU (op. cit.) justificam o uso das comunidades de foraminíferos para este tipo de estudo neste ambiente transicional altamente mutável, por responderem a condições sucessivas durante vários ciclos (sazonais e diários, pelo ciclo de marés) oferecendo informações sobre as características ecológicas dominantes (integrativas) do ambiente.

BUZAS et al. (2002), trabalhando na Indian River Lagoon, na Flórida, estudaram a ecologia dos foraminíferos e verificaram que eles são organismos de distribuição espacial agregada em um continuum heterogêneo. Temporalmente, seu ciclo reprodutivo resulta em várias gerações por ano. Sendo assim, há uma variação rápida nas densidades de foraminíferos, tanto espacialmente quanto temporalmente. Estes autores chegaram, então ao modelo das manchas pulsantes (*model of pulsating patches*), que afirma que uma observação pontual da associação viva não pode oferecer informações precisas sobre o ambiente em maior escala. Por outro lado, esta variabilidade tende a se estabilizar ao longo de uma escala temporal maior (BUZAS et al., op. cit.), de forma que o estudo da fauna total, representando



sucessões de associações referentes a um longo período de sedimentação fornece informações sobre as condições dominantes do ambiente (SCOTT & MEDIOLI, 1980b; MORVAN et al., 2006).

DEBENAY et al. (2006), da mesma forma que BUZAS et al. (2002), realizaram um estudo no estuário Vie (França), buscando compreender a distribuição espaço-temporal dos foraminíferos com relação à dinâmica estuarina. Encontrou resultados semelhantes, com variabilidade espacial em função da sazonalidade. Estes autores verificaram que as correntes de maré transportam as formas juvenis dos foraminíferos pelo estuário, sendo que eles se desenvolvem quando as condições se tornam favoráveis.

Os trabalhos que buscam compreender a dinâmica estuarina e a possível delimitação do ambiente em biofácies devem buscar a utilização dos foraminíferos como indicadores das condições ambientais dominantes, evitando interpretações equivocadas devido à variabilidade espacial e temporal.

VANCE et al. (2006) estudaram o sistema estuarino Albemarle, na Carolina do Norte (USA), investigando a distribuição das associações de foraminíferos vivos e mortos. As associações de foraminíferos mortos definiram cinco *biofácies*, com diferentes níveis de influência marinha.

Na Espanha, GONZALES-REGALADO et al. (2000) estudaram três estuários, encontrando quatro associações características dos canais e uma característica de ambiente marginal marinho. A distribuição destas associações é controlada pela salinidade e, secundariamente, pela granulometria do sedimento e porcentagem de matéria orgânica. O transporte de tecas também teve influência na composição das associações de foraminíferos. Na mesma linha de pesquisa, RUIZ et al. (2005) encontraram três associações principais de foraminíferos distribuídas em função da salinidade e da granulometria do sedimento, em três estuários no sudoeste da Espanha. Tais associações são características de ambientes com diferentes níveis de influência marinha. A análise de sete testemunhos no rio Tinto confirmou a possibilidade de utilização destas informações para reconstrução de paleoambientes para os últimos 6.500 anos. Foi possível distinguir sete etapas revelando a evolução de uma baía aberta para um canal bastante restrito, limitado por marismas.

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos no Brasil. BRÖNNIMANN et al. (1981a) dividiram a Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro, em diferentes setores hidroquímicos, com base, principalmente, na salinidade. O modelo da hidrodinâmica da baía foi detalhado a partir do estudo das espécies-chave de foraminíferos. DEBENAY et al. (1998) estudaram a estratificação de duas lagunas costeiras brasileiras, uma no sul de São Paulo, mais aberta, e

outra em Santa Catarina. Os resultados mostraram que elas são bastante diferentes quanto à hidrodinâmica, sendo que o ecossistema mais aberto apresenta um gradiente vertical e longitudinal, e o mais fechado se divide em dois setores, com base, principalmente na profundidade, demonstrando uma estratificação mais definida.

OLIVEIRA (1999) estudou o estuário do rio Itanhaém, em São Paulo e verificou que as associações entre foraminíferos e tecamebas respondem com precisão a um gradiente definido principalmente pela salinidade. DULEBA & DEBENAY (2003) estudaram a hidrodinâmica de dois estuários na Estação Ecológica Juréia-Itatins, também em São Paulo. Concluíram que os modelos de circulação propostos para estes estuários não seriam desenvolvidos sem o uso de foraminíferos e tecamebas, devido à alta complexidade da dinâmica. Ainda em São Paulo, EICHLER et al. (2007) estudaram os estuários do canal de Bertioxa, encontrando associações de foraminíferos que delimitaram seis facies, com diferentes níveis de influência marinha.

No Rio de Janeiro, DEBENAY et al. (2001) coletou 93 amostras na lagoa de Araruama, uma das maiores lagoas hipersalinas do mundo, com salinidade variando de 52 a 65. Encontrou associações de foraminíferos, dominadas pelas subordens Miliolina e Rotaliina. A subordem Textulariina é praticamente ausente.

Em Sergipe, SEMENSATTO-JR (2006) estudou amostras de sedimento coletadas no Delta do São Francisco em duas campanhas, uma em 1996 e outra em 2004. O estudo das associações de foraminíferos e tecamebas gerou informações sobre a hidrodinâmica estuarina nos dois momentos, que puderam ser comparadas. Foi registrada uma mudança nos limites das *ecofácies* em resposta às alterações ambientais ocorridas no sistema. Este é um dos poucos trabalhos sobre o tema, que têm como área de estudo a região nordeste brasileira.

Os estuários sob regime de macro-marés da costa norte do Brasil são ainda menos estudados. Um dos poucos trabalhos encontrados foi executado por FERREIRA et al. (2006), no estuário do rio Araguari, no Amapá. Estes autores estudaram as associações de foraminíferos, tecamebas e a matéria orgânica particulada (MOP), sendo que a combinação destas ferramentas levou à definição de quatro compartimentos distintos. O regime de macro-marés traz características peculiares a este estuário, sendo que as correntes podem atingir uma distância de até 45 km em direção à montante do rio.

Não há registro de estudos sobre foraminíferos recentes em estuários no estado do Maranhão.

### 3 – ÁREA DE ESTUDO

O município de Humberto de Campos tem área aproximada de 2.131 km<sup>2</sup> e população de 24.275 habitantes (IBGE, 2007). Localiza-se no litoral oriental do Maranhão, fazendo parte da Área de Proteção Ambiental Upaon-Açu – Miritiba – Alto Preguiças.

O Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão, publicado em 2003, coloca o município na microrregião “Lençóis Maranhenses” e, em uma simplificação, o inclui, junto a Primeira Cruz e Santo Amaro do Maranhão, como município constituinte da bacia hidrográfica do rio Peria. De fato, o rio Peria é o maior desta região, mas, este trabalho foi desenvolvido em uma outra bacia hidrográfica do município de Humberto de Campos: a bacia do rio Mapari. De acordo com os mapas produzidos pelo Zoneamento Costeiro, a bacia do rio Mapari apresenta as seguintes características: (1) temperatura média anual em torno de 26,7°C, com precipitação total anual em torno de 1.900 mm. O clima é marcado por um período chuvoso de dezembro a maio e um período seco de junho a novembro; (2) geologia de idade cenozóica, partindo do grupo Barreiras (Terciário) em seu alto curso, para os depósitos de cordões litorâneos e depósitos eólicos continentais (ambos do Pleistoceno). Ao longo do canal, no alto e médio curso, predominam os depósitos aluvionares, e, no baixo curso, depósitos de manguezal (ambos do Holoceno); (3) compartimentação geomorfológica dividida em restingas e baixada litorânea; (4) solos classificados como areias quartzosas marinhas (associadas à restinga), solos indiscriminados de manguezal e solos salinos denominados “solonchack”. A bacia do rio Mapari é composta, basicamente, por duas paisagens: (1) um ecossistema de restinga bastante peculiar, pela sua localização em uma área de transição entre três grandes biomas, o amazônico, o cerrado e a caatinga. Tal paisagem é o cenário para o desenvolvimento de uma economia baseada na agricultura familiar e no extrativismo; e (2) um ecossistema de manguezal bastante desenvolvido e bem preservado, onde podem ser encontradas seis das sete espécies arbóreas características desse ecossistema, existentes no país (*Avicennia schaueriana* não foi encontrada), e área de ocorrência de espécies ameaçadas de extinção, com destaque para o peixe-boi marinho, *Trichechus manatus*. A principal atividade econômica da região, a pesca artesanal, está diretamente associada a este ecossistema.

A área contemplada por este estudo é o trecho do rio Mapari entre o povoado de Rampa e a Ilha do Gato, onde o estuário do rio se encontra com a Baía de Tubarão (figura 3.1). Trata-se de um ambiente estuarino, com presença marcante de manguezais cuja estrutura segue um gradiente relacionado, principalmente, à variação da salinidade.

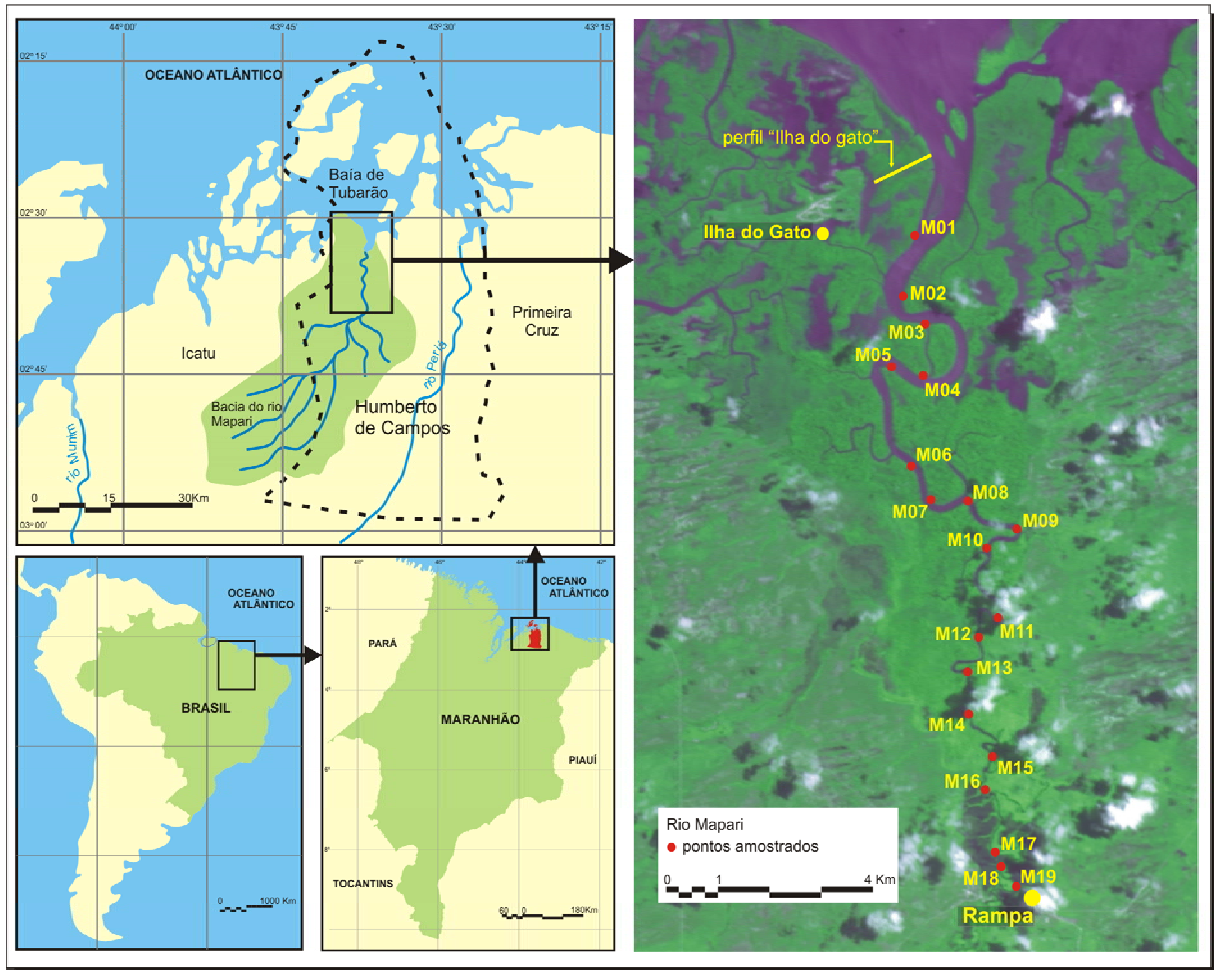


FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo e dos pontos de coleta de sedimento: Estuário do rio Mapari, município de Humberto de Campos, Maranhão.

A região estudada é muito pouco impactada, devido a sua baixa ocupação. No trecho estudado da bacia do rio Mapari, há apenas três povoados, sendo Rampa e Frexeira vizinhos, localizados no alto estuário e Gato, bem menor, localizado na ilha a que dá nome, na desembocadura na Baía de Tubarão. Os dois primeiros são maiores por terem acesso terrestre, e juntos totalizam aproximadamente 500 famílias. No povoado Gato só é possível chegar por embarcação e nele habitam em torno de 50 famílias. Além desses três povoados, há mais duas pequenas aglomerações de residências, cada uma com menos de dez famílias. A economia, baseada na pesca artesanal e na agricultura familiar, não implica em grandes impactos ambientais.

## 4 – MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 – Trabalho de campo

A etapa de trabalho de campo consistiu em quatro fases: (1) reconhecimento da área e desenho experimental com a definição dos locais de coleta; (2) demarcação de um perfil transversal em manguezal na Ilha do Gato; (3) coleta de sedimento, de dados abióticos e anotações gerais sobre os pontos amostrados; (4) caracterização da estrutura da vegetação nos pontos amostrados.

As amostras foram coletadas segundo dois desenhos experimentais. O primeiro é uma transversal a um manguezal na Ilha do Gato, com 16 pontos de coleta de sedimento ao longo da zona entre-marés. O segundo visou à coleta de amostras de sedimento ao longo do gradiente longitudinal do estuário do rio Mapari, totalizando 19 amostras, partindo da Ilha do Gato até o povoado de Rampa.

Na primeira visita à área de estudo, buscou-se reconhecer os ecossistemas, estudar os acessos e planejar a logística para a montagem do perfil transversal e a coleta de amostras de sedimento. Seguindo sugestão de pescadores moradores na Ilha do Gato, foi escolhida a área onde foi alocada a transversal, com início junto à torre de observação do Projeto Peixe-Boi, vinculado ao Centro de Mamíferos Aquáticos, CMA, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBio. A transversal tem uma extensão de 1.120 metros, percorrendo um trajeto de vegetação relativamente heterogênea e com facilidade de acesso.

Nessa mesma viagem, no percurso de volta, da Ilha do Gato ao povoado de Rampa, foram sendo observados, marcados, com auxílio de GPS, e fotografados, pontos adequados para a coleta de sedimento para o estudo longitudinal ao longo do estuário do rio Mapari. No estudo de foraminíferos que colonizam as margens dos manguezais, os pontos mais adequados para coleta de amostras são as margens de progradação. As amostras foram coletadas em pontos onde havia colonização por plântulas de *Laguncularia racemosa* ou por macrófitas aquáticas associadas ao ecossistema manguezal.

Na segunda viagem à Ilha do Gato, foi realizada a coleta de todas as amostras de sedimento necessárias à execução deste trabalho. A transversal foi plotada em GPS com um ponto a cada 40 metros, sendo que, em campo, foram cravadas varas de bambu em 16 deles, para demarcá-los. Nestes 16 pontos demarcados, foram coletadas as amostras de

sedimento, além de dados de salinidade e pH da água, intersticial ou em pequenas poças, nos pontos onde isto foi possível. A salinidade foi medida com refratômetro e o pH com pHmetro Testr2 Oakton.

No trajeto de volta para Rampa, foram coletadas as amostras de sedimento ao longo do rio Mapari, nos pontos previamente marcados com GPS, chegando a um total de 19 amostras. Foi medida, também, a salinidade superficial da água, em cada ponto.

O terceiro trabalho de campo foi realizado na maré alta de sizígia do dia 24 de novembro de 2007, quando buscou-se informações para o cálculo da cota altimétrica de cada um dos pontos onde foram coletadas as amostras de sedimento na transversal Ilha do Gato. O trabalho teve início às 07:00 da manhã, no ponto 29, localizado no apicum. Acompanhou-se a descida da maré de forma a marcar o horário e a altura da coluna d'água em cada ponto da transversal, para, posteriormente, calcular as cotas altimétricas com base no ciclo de inundação e correspondência ao registro da Estação Maregráfica de Ponta da Madeira, em São Luís. Paralelamente, foram coletadas as medidas de salinidade nos pontos que faltavam, usando um refratômetro.

A última atividade de campo teve como objetivo a caracterização da estrutura da vegetação nos pontos onde foram coletadas as amostras de sedimento. Em cada ponto do perfil transversal, foi anotada qual a espécie mais representativa e medido o DAP e a altura dos maiores indivíduos arbóreos, usando, respectivamente, uma trena e um telêmetro. Foram também feitas medições de salinidade e pH, além de observação sobre a presença de acúmulos de cristais de sal na superfície do sedimento. Nos pontos ao longo do rio Mapari, foram feitas anotações sobre a composição específica e altura média da vegetação, além de medições de salinidade e pH. Desta vez, foram feitas medições de superfície e de fundo, com auxílio de uma garrafa de Van Dorn. Cabe mencionar que esta última atividade de campo faz parte de um outro estudo em execução na área, com foco na vegetação, cujos dados serão futuramente publicados, mas que já fornecem informações que serão discutidas nesta dissertação. As espécies da vegetação de marismas e manguezais foram identificadas pela Profa. Dra. Flávia Rebelo Mochel do Laboratório de Bentos e Ecologia de Manguezais do Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI, da Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

O registro fotográfico de alguns procedimentos relativos ao trabalho em campo é apresentado na figura 4.1.



FIGURA 4.1 – Registro fotográfico de algumas atividades realizadas em campo: (1) coleta de sedimento; (2) medição de pH com pHmetro; (3) medição de salinidade com refratômetro; (4) coleta de água com garrafa de Van Dorn, para medição de salinidade e pH de fundo; (5) obtenção de dados de vegetação, com a medição do DAP com trena e da altura com telêmetro.

## 4.2 – Trabalho em laboratório

As amostras de sedimento foram tratadas, inicialmente, no laboratório de Geoquímica do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Foram lavadas em peneira com malha de 0,062mm, para concentrar as tecas antes da triagem. A granulometria das amostras de sedimento coletadas era bastante fina, contendo uma fração de areia insignificante, de forma que não foi necessário flotar o material retido na peneira. Pelo mesmo motivo, também não foi necessário separar sedimento para o cálculo de sua granulometria. O material retido nas peneiras foi armazenado em pequenos recipientes com álcool etílico 70%.

A triagem das tecas de foraminíferos é o processo de recolhimento destas, a partir da fração da amostra que ficou retida na peneira. As tecas foram triadas a úmido sob estereomicroscópio, com auxílio de um pincel de pelo de marta número 000. Este trabalho teve auxílio de duas alunas de graduação em Ciências Aquáticas e foi realizado no Laboratório de Bentos e no Laboratório de Fitoplâncton, ambos do Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFMA, e finalizado no Laboratório de Análises Microbióticas, Micropaleontológicas e de Ambientes (LAMBdA) do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

As tecas triadas foram acondicionadas em *plummer slides* (slides para microfósseis), previamente preparados com bálsamo do Canadá sintético. Algumas tecas foram selecionadas para obtenção de imagens em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Essas imagens foram capturadas em MEV da marca Leica Leo 440E, no Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP).

Para cada amostra foram triados, ao menos, os 100 primeiros indivíduos. FATELA & TABORDA (2002) demonstraram que esse é um número que garante que as espécies com ao menos 5% de abundância relativa tenham uma probabilidade teórica muito pequena (0,7%) de não estarem presentes. Garante ainda, segundo PATTERSON & FISHBEIN (1989), que espécies com ao menos 25% estejam com suas abundâncias relativas com reduzido erro amostral.

Optou-se pelo estudo da fauna total de foraminíferos, o que inclui os vivos e mortos no momento da coleta. Segundo SCOTT & MEDIOLI (1980b), a fauna total agrega informações sobre variações sazonais e espaciais que ocorrem em um determinado ambiente, representando as condições dominantes no sistema (*steady state*). A escolha da análise baseada na fauna total justifica o não-uso de corante Rosa-Bengala, que cora o protoplasma



dos foraminíferos vivos no momento da coleta, diferenciando-os das tecas vazias, pertencentes a organismos mortos e decompostos.

A identificação das espécies foi realizada no LAMBdA/UNESP-Rio Claro, com a consulta às suas coleções de referência, além dos trabalhos de SCOTT & MEDIOLI (1980a), LOEBLICH & TAPPAN (1988), BRÖNNIMAN et al. (1992), OLIVEIRA (1999) e SEMENSATTO-JR (2006).

### **4.3 – Análise dos dados**

Foi elaborado um mapa da área de estudo com base em uma imagem CBERS 2 de 22 de junho de 2007, órbita-ponto 156-103, obtida na página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. Em um recorte desta imagem, abrangendo a área de interesse, foram plotados os pontos de coleta de sedimento ao longo do rio Mapari e o perfil transversal na ilha do Gato.

A cota altimétrica de cada ponto do perfil foi calculada com base nos dados da Estação Maregráfica de Ponta da Madeira, localizada no município de São Luís, nas coordenadas  $02^{\circ} 33,9'S$  e  $044^{\circ} 22,9'W$ , e operada pela Companhia Vale do Rio Doce. Os dados de altura da maré do dia 24 de novembro de 2007, registrados a cada dez minutos, foram relacionados aos dados de horário e altura da coluna d'água em cada ponto do perfil, obtidos no mesmo dia na ilha do Gato, conforme já descrito no item 4.1. Foi aplicada uma hora de diferença para correção entre os ciclos de maré da Ilha do Gato e da estação maregráfica, com base em constatação em campo de que no dia 17 de maio de 2008 o pico da maré alta foi registrada às 16:45 exatamente no início do perfil (Alvite, comunicação pessoal), enquanto que o mesmo pico foi registrado às 17:45 no marégrafo do Terminal da Ponta da Madeira.

Também com base nos dados do marégrafo, foi calculado o tempo de exposição subaérea de cada ponto do perfil. Foram usados dados referentes ao período de 9 de novembro de 2006 a 8 de novembro de 2007, ou seja, um ano completo imediatamente anterior ao dia da coleta de sedimento para estudo dos foraminíferos, no dia 9 de novembro de 2007. Esse período continha 52.560 valores de altura da maré correspondentes a registros a cada 10 minutos durante 365 dias. Tomando como referência a cota altimétrica de cada ponto, foi verificado o número de valores de altura de maré inferiores a ela. Multiplicando este número por 10, obtém-se o número de minutos que tal ponto permaneceu exposto por ano.

Dividiu-se este número minutos pelo total de minutos do ano (525.600) e multiplicou-se por cem, chegando ao tempo de exposição por ano, expresso em porcentagem.

Com base nesses dados correspondentes aos 365 dias anteriores ao dia da coleta, foi possível definir o valor do nível médio das marés altas (NMMA), nível médio das marés baixas (NMMB), nível médio das marés altas de sizígia (NMMAS) e nível médio das marés baixas de sizígia (NMMBS). O nível médio do mar na estação foi encontrado na página eletrônica da Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN, organização militar da Marinha do Brasil.

Ainda aproveitando os dados do marégrafo, foi elaborado um gráfico das alturas da maré em função do tempo nos dias de coleta dos dados de salinidade e pH ao longo do rio Mapari. Tal gráfico permitiu verificar em que condições as medições foram feitas, auxiliando a compreensão das variáveis em estudo.

Os valores de salinidade foram classificados de acordo com a proposta apresentada no Simpósio de Veneza de 1959 (CLOSS, 1962), conforme tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Classificação das águas baseada nos valores de salinidade de acordo com o Simpósio de Veneza de 1959 (CLOSS, 1962).

Classificação		Salinidade (‰)
Água hiperhalina		>40
Água euhalina		40 – 30
Água mixohalina	Polihalina	30 – 18
	Mesohalina	18 – 5
	Oligohalina	5 – 0,5
Água doce		<0,5

A análise dos dados bióticos foi iniciada com o levantamento da riqueza de espécies e das abundâncias absoluta e relativa em cada amostra. Foi calculada a abundância relativa a cada uma das três subordens encontradas: Textulariina, Rotaliina e Miliolina.

Um espectro foi elaborado para identificar os valores de salinidade preferenciais para cada espécie. Para tal, foram agrupados os pontos que apresentam o mesmo valor de salinidade. Calculou-se a média dos valores de abundância relativa da *i*-ésima espécie nas amostras pertencentes a cada valor de salinidade. Por fim, dividiu-se essa média pela soma das médias relativa a essa espécie, chegando a um valor proporcional que pôde ser

apresentado na forma de porcentagem. Tal espectro é apresentado na forma de barras proporcionais a estes valores.

Para as amostras com mínimo de 100 indivíduos triados foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de McIntosh modificado por Pielou ( $D$ ), calculados pelas seguintes fórmulas:

$$H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

em que  $p_i$  representa a proporção da  $i$ -ésima espécie na amostra e  $\ln$  é o logaritmo natural (base  $e$ ).

$$D = \frac{N - \sqrt{\sum n_i^2}}{N - \sqrt{N}} \quad (2)$$

em que  $N$  é a abundância absoluta da amostra (total de indivíduos triados) e  $n_i$  é a abundância absoluta da  $i$ -ésima espécie.

Para ambos os índices é possível calcular a equitatividade, ou seja, a medida de homogeneidade da distribuição das abundâncias (MAGURRAN, 1988). São calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$J' = \frac{H'}{H_{MÁX}} = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

em que  $H'$  é dado pela equação 1,  $\ln$  é o logaritmo natural (base  $e$ ) e  $S$  é a riqueza de espécies da amostra.

$$E = \frac{N - \sqrt{\sum n_i^2}}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}} \quad (4)$$

em que  $n_i$  e  $N$  são os mesmos que para a equação 2, e  $S$  é a riqueza de espécies da amostra.

A similaridade das estruturas das comunidades dos pontos foi analisada separadamente no perfil transversal e no rio Mapari. Para ambos, foi usado o índice de Bray-Curtis, calculado pelo *software* Ecological Methodology (KEYNEY & KREBS, 1998). Para seu cálculo, aplica-se a seguinte fórmula:

$$B = \frac{\sum |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum (x_{ij} + x_{ik})}$$

em que  $x_{ij}$  e  $x_{ik}$  são as abundâncias da  $i$ -ésima espécie nas amostras  $j$  e  $k$ , respectivamente.

O índice de Bray-Curtis varia de 0 (similar) a 1 (dissimilar), sendo que os resultados são apresentados em uma matriz de dissimilaridade. Esta matriz foi levada ao *software* Statistica 7.0 para uma Análise Hierárquica de Agrupamento (AHC). Nesta análise, o índice de Bray-Curtis foi usado como a medida de distância entre os pontos, e o Método de Ligações Completas foi usado como método aglomerativo. O objetivo da AHC foi definir os grupos que se formam com base na estrutura das comunidades para posterior análise conjunta com as demais variáveis ambientais e a conseqüente delimitação de *ecofácies* (compartimentos de um ambiente definidos por um conjunto particular de caracteres bióticos e abióticos).

## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está dividido em três partes. Na primeira, são apresentados os resultados e a discussão sobre o perfil transversal montado na Ilha do Gato e, na segunda, os resultados e a discussão sobre a coleta realizada ao longo do rio Mapari. Haverá, entretanto, uma discussão mais geral que abrangerá os dois trabalhos, resultando na terceira parte.

### 5.1 – Perfil Ilha do Gato

A Ilha do Gato se localiza na foz do rio Mapari, na Baía de Tubarão. É uma ilha formada por depósitos quaternários, onde uma pequena área continentalizada é formada por sedimento arenoso que abriga um ecossistema característico de restinga. Ao redor, grande área de manguezais marcada pela presença de extensos apicuns (supra-maré). Há uma transição bem característica da zona supra-marés para a entre-marés, com a vegetação de restinga sendo substituída por uma faixa de carnaúbas (*Copernicia prunifera*), seguida por bosques de *Conocarpus erectus*, conhecido popularmente como mangue-de-botão, que marcam o início do ecossistema manguezal. Na seqüência, tem início o apicum, marcado pela ausência de vegetação e margeado por marismas hiperhalinos com suas espécies vegetais características (e.g. *Batis maritima*, *Sesuvium portulacastrum*, *Blutaparon portulacoides*, *Sporobolus virginicus*), também encontradas em outras áreas do litoral maranhense (REBELO-MOCHEL, 2000; REBELO-MOCHEL et al., 2002). Após o apicum, começam a surgir indivíduos de porte reduzido de *Avicennia germinans*, o que marca o início da colonização do ecossistema manguezal pela vegetação conhecida como mangue.

O perfil transversal Ilha do Gato atravessa um trecho da zona entre-marés que vai do canal do rio Mapari, já em seu encontro com a Baía de Tubarão, até o início do apicum, totalizando uma distância de 1.120 metros, onde foram coletadas dezesseis amostras de sedimento superficial. A principal referência do perfil é a torre de observação do Projeto Peixe-Boi (02°31'09,81"S; 43°37'09,13"W, datum SAD 69), localizada no ponto onde o banco de lama começa a ser colonizado por *Spartina alterniflora*. O início do perfil se dá poucos metros antes dele, ainda na planície lamosa do mesolitoral inferior, e termina no apicum hiperhalino, representando uma projeção vertical de 4 metros, partindo da cota 1,4 m, aproximadamente 30 cm acima do nível médio das marés baixas, até a cota 5,4 m, aproximadamente 10 cm acima do nível médio das marés altas. Cabe mencionar que a ocorrência de *Spartina alterniflora* já foi verificada, como colonizadora de sedimentos na

franja de manguezais em outras áreas do litoral maranhense (REBELO-MOCHEL, 1999; REBELO-MOCHEL, 2000; REBELO-MOCHEL & PONZONI, 2007).

Um esquema em planta e perfil localizando os cinco pontos iniciais do perfil Ilha do Gato, é apresentado na figura 5.1

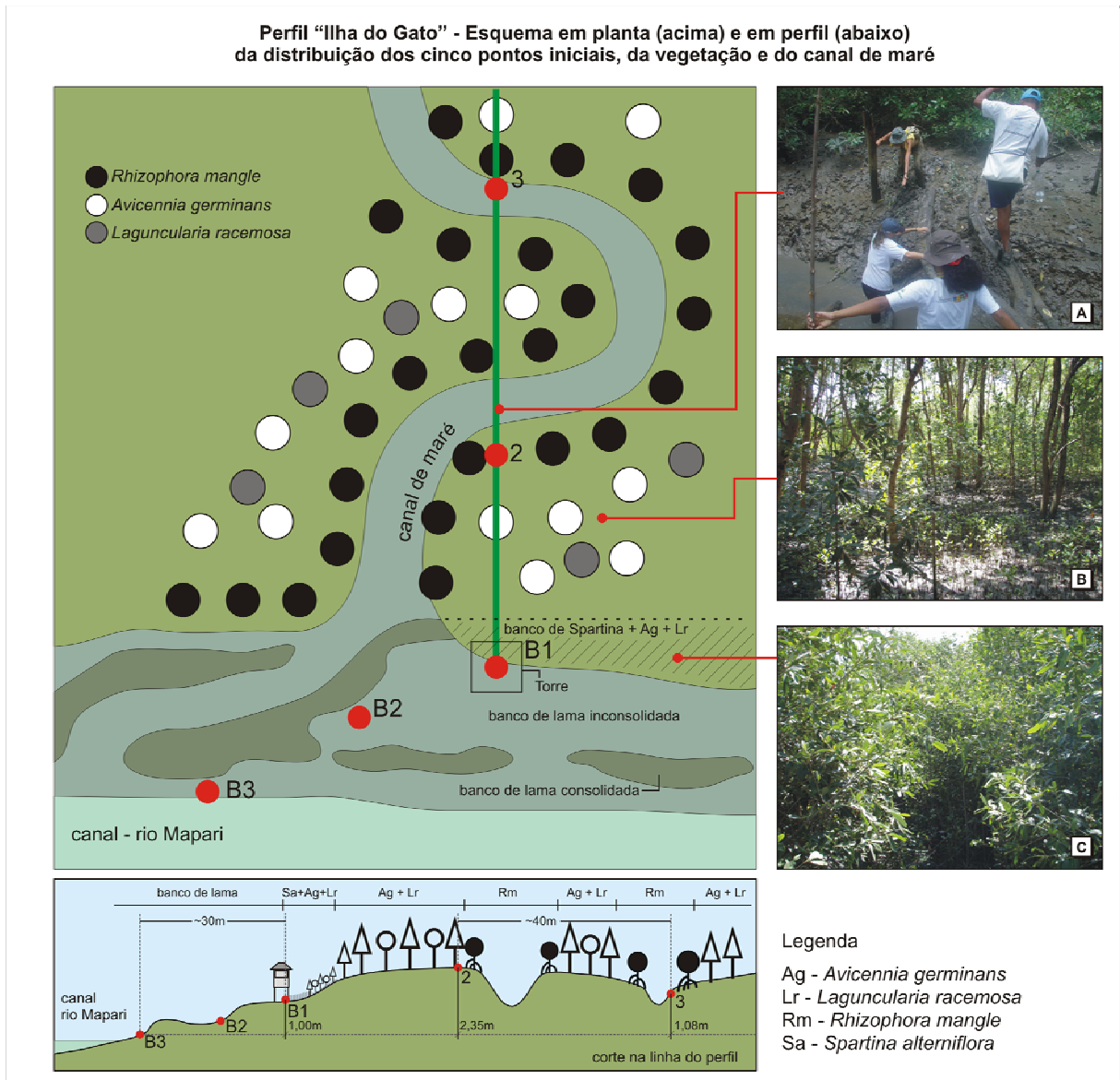


FIGURA 5.1 – Esquema da distribuição dos cinco primeiros pontos amostrados em planta e em perfil, com a localização do canal de maré que acompanha o perfil, dos bancos de lama, da torre de observação do Projeto Peixe-Boi e com um esboço da distribuição das espécies vegetais. A foto A exibe o canal de maré que acompanha o perfil; a foto B exibe o bosque de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* que ocupa as áreas mais elevadas; e a foto C exibe a colonização por plântulas de *A. germinans* e *L. racemosa* ocupando a franja do manguezal.

O perfil corta em vários pontos um pequeno canal de maré que meandra pelo bosque desde o ponto 25 até o estuário. Junto à franja, este canal possui cerca de 3 m de

largura por 1,70 de profundidade, diminuindo seu tamanho conforme avança para o interior do bosque, chegando a 50 cm de largura por 5 cm de profundidade nas cotas altimétricas mais altas do perfil, sempre associado a sedimento lamoso um pouco mais úmido e bastante inconsolidado e à presença concentrada em seu entorno imediato de indivíduos de *R. mangle*. Principalmente nas regiões mais próximas ao apicum, o “leito” do canal se destaca entre grandes “manchas” de sedimento lamoso ressecado com crostas superficiais de sal. É possível observar que nas imediações do perfil tal canal representa a principal via de inundação e escoamento da água no interior do bosque.

### 5.1.1 – Dados abióticos

O perfil é ilustrado na figura 5.2, onde também estão plotados os cinco níveis de referência da maré: (1) nível médio das marés altas (NMMA); (2) nível médio das marés baixas (NMMB); (3) nível médio das marés altas de sizígia (NMMAS); (4) nível médio das marés baixas de sizígia (NMMBS); e (5) nível médio do mar (NMM). O tempo de exposição subaérea do sedimento por ponto está expresso em valor percentual.

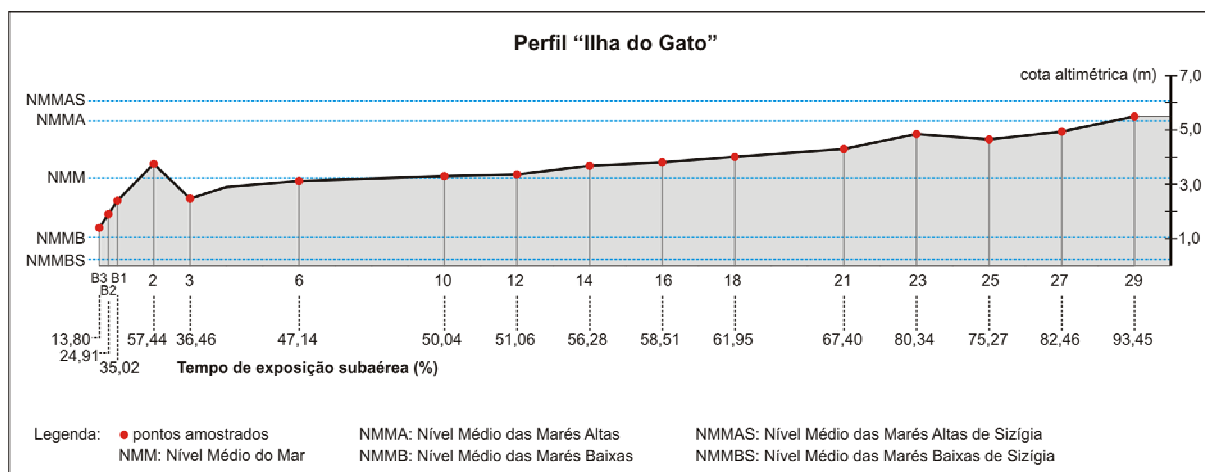


FIGURA 5.2 – Perfil Ilha do Gato, com a localização dos pontos amostrados, suas respectivas cotas altimétricas e tempo de exposição subaérea do sedimento. No perfil estão indicados o nível médio do mar (NMM), nível médio das marés altas e baixas (NMMA e NMMB) e nível médio das marés altas e baixas de sizígia (NMMAS e NMMBS).

Os dezesseis pontos do perfil Ilha do Gato, com relação à salinidade, variam de euhalino a hiperhalino. Onze pontos apresentaram valor de salinidade classificados como euhalinos e cinco como hiperhalinos. O menor valor de salinidade foi 36, encontrado em seis pontos: B3, B2, 3, 12, 14 e 16; o maior foi 56, no ponto 29, localizado no apicum. Não foi

encontrada uma relação significativa entre as cotas altimétricas dos pontos e seus respectivos valores de salinidade. Os gráficos com os valores de salinidade e pH são apresentados na figura 5.3, tendo, novamente, o esquema do perfil como referência.

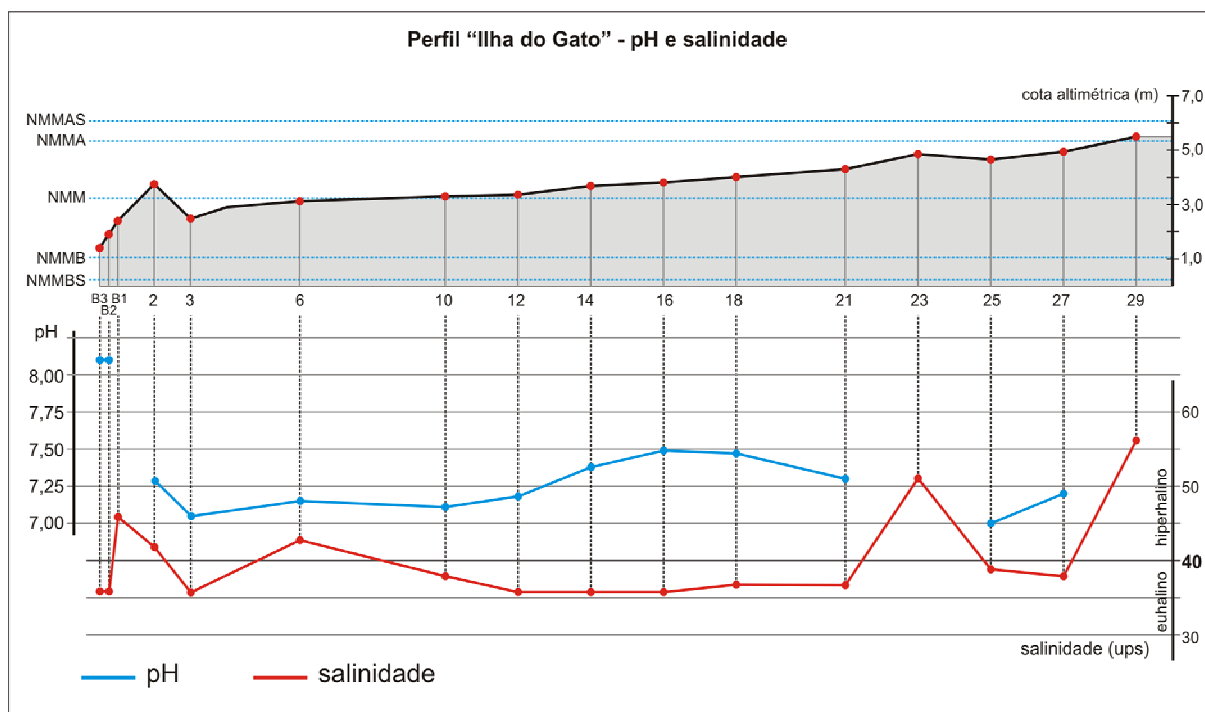


FIGURA 5.3 – Valores de salinidade e pH nos pontos do perfil Ilha do Gato.

SEMENSATTO-JR et al. (2008), trabalhando no sudeste do Brasil, estudaram um perfil de características totalmente diferentes, onde os valores de salinidade diminuem seguindo um gradiente que acompanha a elevação topográfica dos pontos, do canal do estuário ao contato com a zona supramarés. Naquela situação, há um grande aporte de água doce a partir do lençol freático, o que não acontece na Ilha do Gato, onde o lençol freático está distante do ponto 29, tendo entre eles, um extenso apicum hiperhalino. Nesta situação, poderia ser esperada uma relação inversa, com os valores de salinidade aumentando com a elevação altimétrica, mas isso também não foi encontrado a partir das medidas episódicas realizadas em campo.

Os valores de pH nos pontos do perfil variaram de neutro a alcalino. O menor valor foi 7,0 e foi encontrado no ponto 25. O maior foi 8,1 e foi registrado nos pontos B2 e B3, nos bancos de lama. Tal valor, entretanto, foi registrado na coluna d'água do estuário, não representando, portanto o pH da água intersticial do sedimento, e sim o pH da água estuarina. Estes valores de pH são pouco comuns em sedimentos de manguezal que, em geral, tendem para a acidez. Em Itanhaém (SP), OLIVEIRA (1999) registrou valores de pH entre 5,46 e 7,9,



enquanto em Bertioga (SP), SANTA-CRUZ (2004) registrou uma variação de 6,24 a 7,45. Na Ilha do Cardoso, SEMENSATTO-JR et al. (2008) encontraram valores de pH entre 6,8 e 7,2. Sedimentos com baixos valores de pH favorecem a colonização por foraminíferos aglutinantes, da subordem Textulariina, já que sedimentos ácidos impossibilitam a precipitação de carbonato de cálcio, necessária à formação de tecas calcárias (BOLTOVSKOY, 1984). No perfil Ilha do Gato, portanto, os valores de pH medidos não implicam em grande limitação para os foraminíferos com tecas calcárias.

Os pontos do perfil não apresentaram diferenças quanto à granulometria do sedimento. Quando as amostras foram peneiradas em malha de 0,062 mm, muito pouco material arenoso foi retido, o que classifica o sedimento de todos os pontos do perfil Ilha do Gato como lama (teor de lama >95%), de acordo com a classificação proposta por FLEMMING (2000).

#### 5.1.2 – Dados bióticos

Uma das dezesseis amostras coletadas no perfil Ilha do Gato não continha foraminíferos. Trata-se da amostra 29, coletada no apicum. Em outras duas amostras, B1 e 21, não foi encontrado o número mínimo de foraminíferos necessário para análises estatísticas, adotado nesta dissertação como 100.

Foram triadas 1.470 tecas de foraminíferos no perfil Ilha do Gato, representando 23 espécies, todas bentônicas, pertencentes a três subordens: Textulariina, Rotaliina e Miliolina. A subordem mais abundante foi Rotaliina, com 74,08% do total, seguida por Textulariina, com 22,04% e Miliolina, com 3,06%. Doze tecas não foram identificadas, correspondendo a 0,82% do total. Tais resultados são pouco comuns em sedimentos de manguezal, onde a subordem Textulariina usualmente é dominante. Conforme já mencionado no item 6.1.1, os altos valores de pH e salinidade, além da posição do perfil, no encontro do estuário com a Baía de Tubarão, com grande influência marinha, podem ser a explicação para a dominância de foraminíferos calcários. HORTON & MURRAY (2007) afirmam que marismas euhalinos ou hiperhalinos usualmente apresentam uma significativa abundância de foraminíferos calcários.

A subordem Miliolina se restringe aos primeiros pontos do perfil, com maior ocorrência no ponto B2, no banco de lama. A subordem Rotaliina domina praticamente todos os pontos do perfil, com duas exceções: o ponto 25 onde as 103 tecas encontradas pertencem

à subordem Textulariina; e o ponto B1, onde não foi possível encontrar o número mínimo (100) de tecas. Neste, também houve dominância da subordem Textulariina. Um esquema integrando os dados de cota altimétrica, salinidade, pH e abundância relativa a cada subordem é apresentado na figura 5.4.

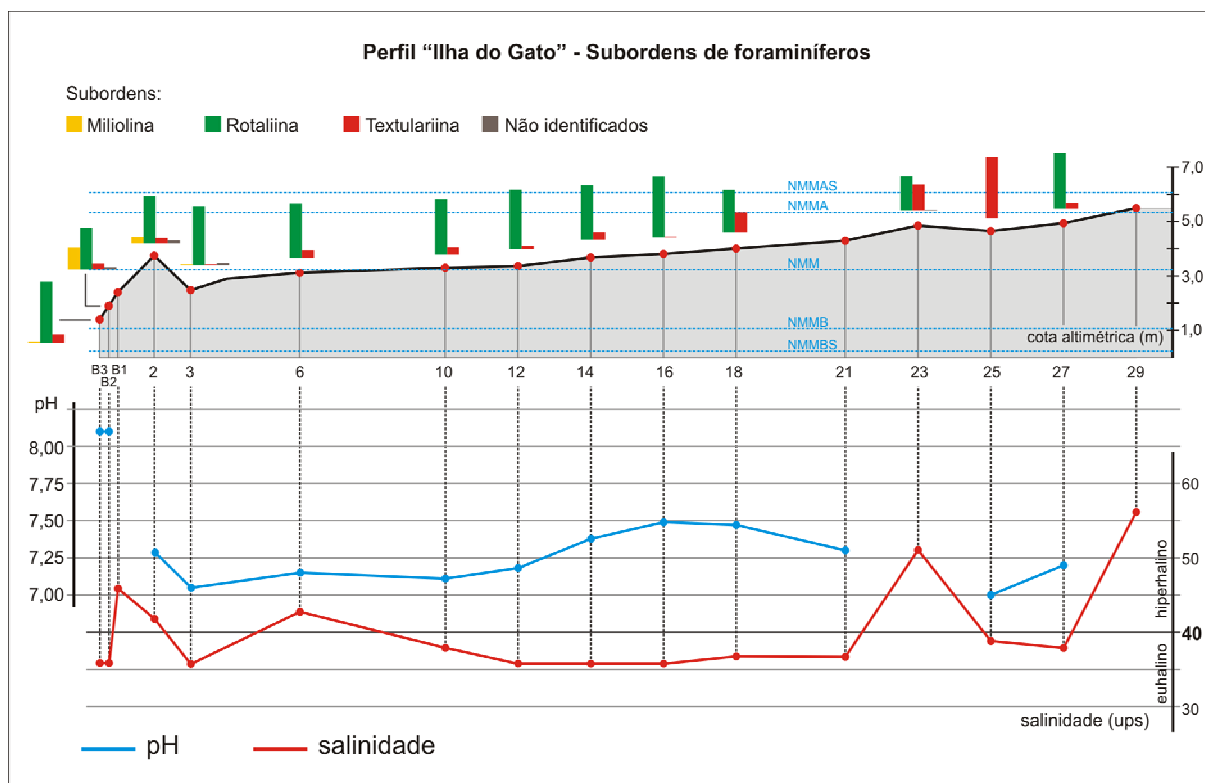


FIGURA 5.4 – Esquema integrando dados de cota altimétrica, salinidade, pH e abundâncias relativas a cada subordem de foraminíferos no perfil Ilha do Gato.

A espécie mais abundante no perfil foi *Elphidium gunteri*, com 734 indivíduos, representando 49,93% do total de foraminíferos triados. Foi dominante em onze pontos, sendo que em apenas dois pontos (18 e 25) onde foram encontrados ao menos 100 tecas, ele foi superado, ambas as vezes por *Arenoparrella mexicana*, foraminífero aglutinante da subordem Textulariina. De fato, *A. mexicana* foi a segunda espécie mais abundante, com 286 indivíduos, representando 19,46% do total. No ponto 25, esta espécie apresentou a maior abundância relativa em uma amostra, com 88,35% do total. A terceira em abundância foi *Ammonia tepida* com 196 indivíduos, que representam 13,33% do total. A tabela 5.1 mostra as abundâncias relativas a cada espécie por amostra, no perfil Ilha do Gato. Também mostra o número total de tecas triadas (N), a riqueza de espécies (S), além dos valores de diversidade ( $H'$  e  $D$ ) e eqüitatividade ( $J'$  e  $E$ ) por amostra.

TABELA 5.1 – Abundância relativa das espécies de foraminíferos nas amostras do perfil Ilha do Gato. Número de tecas por amostra (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D) e de equitatividade (J' e E).

	B3	B2	B1	2	3	6	10	12	14	16	18	21	23	25	27	29
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0,03	0,04	.	0,01	.	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,05	.	.	.	.	.
<i>Ammonia tepida</i>	0,06	0,18	0,02	0,21	0,13	0,24	0,20	0,14	0,10	0,09	0,16	.	0,04	.	0,21	.
<i>Bolivina</i> sp.	.	0,02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cyclogyra</i> sp.	.	0,03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elphidium excavatum</i>	0,05	.	.	.	0,03	.	.	0,01	.	0,17	0,12	.	.	.	0,14	.
<i>Elphidium gunteri</i>	0,74	0,32	.	0,53	0,79	0,50	0,62	0,78	0,71	0,48	0,25	.	0,52	.	0,49	.
<i>Fursenkoina</i> sp.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina milletti</i>	.	0,01	.	0,08	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	0,01	0,02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	.	0,25	.	0,02	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina</i> sp.	.	0,01	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nonion</i> sp.	.	0,01	.	.	.	0,11	0,04	.	0,03	0,21	0,10	0,11	.	.	0,05	.
<i>Nonionella atlantica</i>	.	0,01	.	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rosalina</i> sp.	.	.	.	0,01	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Acupeina triperforata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
<i>Ammotium morenoi</i>	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Arenoparrella mexicana</i>	0,11	0,06	0,69	0,05	0,01	0,13	0,11	0,04	0,12	0,02	0,31	0,89	0,42	0,88	0,09	.
<i>Miliammina fusca</i>	0,01	.	0,20	0,03	.	.	0,01	.	.	.	0,01	.	.	0,02	.	.
<i>Haplophragmoides manilaensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
<i>Haplophragmoides wilberti</i>	.	.	0,07	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	0,06	.	.
<i>Siphotrochammina lobata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
<i>Tiphotrocha comprimata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
<i>Trochammina inflata</i>	.	0,01	.	0,01	0,01	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	0,02	.
N	107	102	45	104	110	117	104	105	108	119	110	9	100	103	128	.
S	7	16	5	12	8	6	7	6	6	6	7	2	5	7	6	.
H'	0,96	1,96	.	1,43	0,82	1,31	1,12	0,76	0,97	1,39	1,67	.	0,93	0,53	1,39	.
J'	0,49	0,71	.	0,57	0,40	0,73	0,58	0,42	0,54	0,78	0,86	.	0,57	0,27	0,77	.
D	0,28	0,61	.	0,46	0,23	0,47	0,38	0,23	0,30	0,49	0,59	.	0,37	0,13	0,48	.
E	0,40	0,73	.	0,59	0,32	0,72	0,55	0,35	0,45	0,75	0,87	.	0,60	0,18	0,74	.

*A. mexicana* se mostrou euritópica, sendo a única espécie presente em todas as amostras, à exceção da amostra 29 que não continha tecas. *A. tepida* não foi encontrada em duas amostras: 21 e 25; e *E. gunteri*, em três: B1, 21 e 25.

Já foi verificada a afinidade de *A. mexicana* com sedimentos lamosos como os do perfil Ilha do Gato. BRÖNNIMAN et al. (1981b) registraram seu domínio em um manguezal com sedimentos argilosos e ricos em matéria orgânica na planície de maré de Guaratiba, Rio de Janeiro. ZANINETTI et al. (1979) também a encontraram como espécie dominante no manguezal de Acupe, Bahia, também com sedimento lamoso. SEMENSATTO-JR et al. (2008) verificaram a dominância de *A. mexicana* nos dois pontos com granulometria mais fina que foram amostrados em perfil na Ilha do Cardoso, São Paulo.

Outras espécies bem representadas foram *Nonion* sp., com 65 indivíduos; *Elphidium excavatum*, com 60; *Quinqueloculina seminulum*, com 28; e *Ammonia parkinsoniana*, com 27. Merece destaque o fato das tecas de *Q. seminulum*, assim como as das demais espécies do gênero *Quinqueloculina*, ficarem restritas aos cinco primeiros pontos do perfil, enquanto *Nonion* sp. tem presença mais significativa a partir do sexto ponto.

*Miliammina fusca* foi representada por 17 indivíduos, sendo 9 deles no ponto B1, o que causa surpresa, devido ao alto valor de salinidade registrado: 46. *M. fusca* é uma espécie reconhecidamente associada a baixos valores de salinidade (HAYWARD & HOLLIS, 1994; OLIVEIRA, 1999; DEBENAY & GUILLOU (2002); DEBENAY et al., 2002; SEMENSATTO-JR & DIAS-BRITO, 2004; SEMENSATTO-JR, 2006; SEMENSATTO-JR et al., 2008).

Dez indivíduos de *Haplophragmoides wilberti* foram encontrados, sendo que sete deles, em pontos da porção superior do perfil: 23 e 25. O único indivíduo de *Haplophragmoides manilaensis* também foi encontrado no ponto 25. Apesar do pequeno número de tecas, é possível perceber a tendência do gênero em ocupar a porção mais alta da zone entre-marés, também verificada em outros trabalhos (SCOTT et al., 1991, 1995; JENNINGS & NELSON, 1992; SEMENSATTO-JR et al., 2008).

*Trochammina inflata* foi representada por seis indivíduos que se distribuíram por cinco pontos do perfil. Não foi verificada, portanto, uma preferência da espécie por nenhum ponto em especial. De fato, SEMENSATTO-JR et al. (2008) constataram que *T. inflata* ocorreu em todos os pontos de um perfil na Ilha do Cardoso, sudeste brasileiro, se mostrando euritópica.

*Cyclogira* sp., *Bolivina* sp., *Fursenkoina* sp. e *Ammotium morenoi* se restringiram ao banco de lama, sendo encontrados apenas no ponto B2. *Nonionella atlantica* e

*Rosalina* sp. também se restringiram aos primeiros pontos, chegando até o ponto 10. *Acupeina triperforata*, *Siphotrochammina lobata* e *Tiphotrocha comprimata* foram representados por apenas uma teca para cada espécie. Todas foram registradas no ponto 25, onde a subordem Textulariina foi absoluta. A maior riqueza de espécies foi encontrada no ponto B2, com 16 espécies, sendo 5 da subordem Miliolina, 7 da subordem Rotaliina e 3 da subordem Textulariina, além de uma não identificada. O ponto 23 apresentou a menor riqueza, com apenas cinco espécies.

Foram calculados os índices de diversidade e de equitatividade para cada amostra onde ao menos 100 indivíduos foram triados. Aplicou-se os índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e McIntosh, modificado por Pielou ( $D$ ), e seus respectivos índices de equitatividade ( $J'$  e  $E$ ). Os valores de  $H'$  variaram de 0,53 na amostra 25 a 1,96 na amostra B2. As mesmas amostras apresentaram os valores mínimo e máximo para  $D$ , que foram 0,13 e 0,61. A amostra 25 também foi marcada pelos mais baixos valores de equitatividade, sendo 0,27 para  $J'$  e 0,18 para  $E$ . Já os valores máximos foram encontrados na amostra 18, sendo 0,86 para  $J'$  e 0,87 pra  $E$ .

A partir dos dados da abundância absoluta de cada espécie por ponto, foi calculada a matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis ( $B$ ). Com essa matriz, foi possível fazer uma análise hierárquica de agrupamento usando os valores de dissimilaridade como a medida de distância entre as amostras, e o Método de Ligações Completas como estratégia de agrupamento. Essa análise teve como objetivo definir os grupos que se formam a partir da dissimilaridade entre as comunidades de cada amostra, o que foi expresso na forma de um dendrograma que é apresentado na figura 5.5.

As amostras B1, 21 e 29 não fazem parte do dendrograma porque não contêm o número mínimo de tecas triadas. Na amostra do ponto 29, localizado no apicum não foi encontrado foraminífero algum. A causa desta ausência pode ser atribuída às condições estressantes do ponto, com salinidade 56 e tempo de exposição subaérea do sedimento de 93,45%, além da cobertura vegetal esparsa, o que expõe o sedimento à insolação direta levando a um aumento significativo da temperatura e ressecamento do substrato. Nas outras duas amostras não foi encontrado o número mínimo de tecas e os motivos podem estar associados a grandes perturbações. A amostra B1 foi coletada logo abaixo da torre de observação do Projeto Peixe-Boi, sendo que alguns meses depois da coleta, recebeu-se a informação de que a torre havia sido recentemente transferida para aquele local, o que resultou em grande revolvimento do sedimento. Tal perturbação pode ser a justificativa para os resultados incomuns provenientes deste ponto. No ponto 21, foi verificado um grande

número de indivíduos arbóreos de *Rhizophora mangle* mortos. O motivo é a retirada excessiva da sua casca para obtenção de tanino para o tingimento de velas de barco. Este é, portanto, um local sujeito a grande pisoteamento do sedimento por parte dos pescadores, o que pode ter resultado na ausência de foraminíferos.

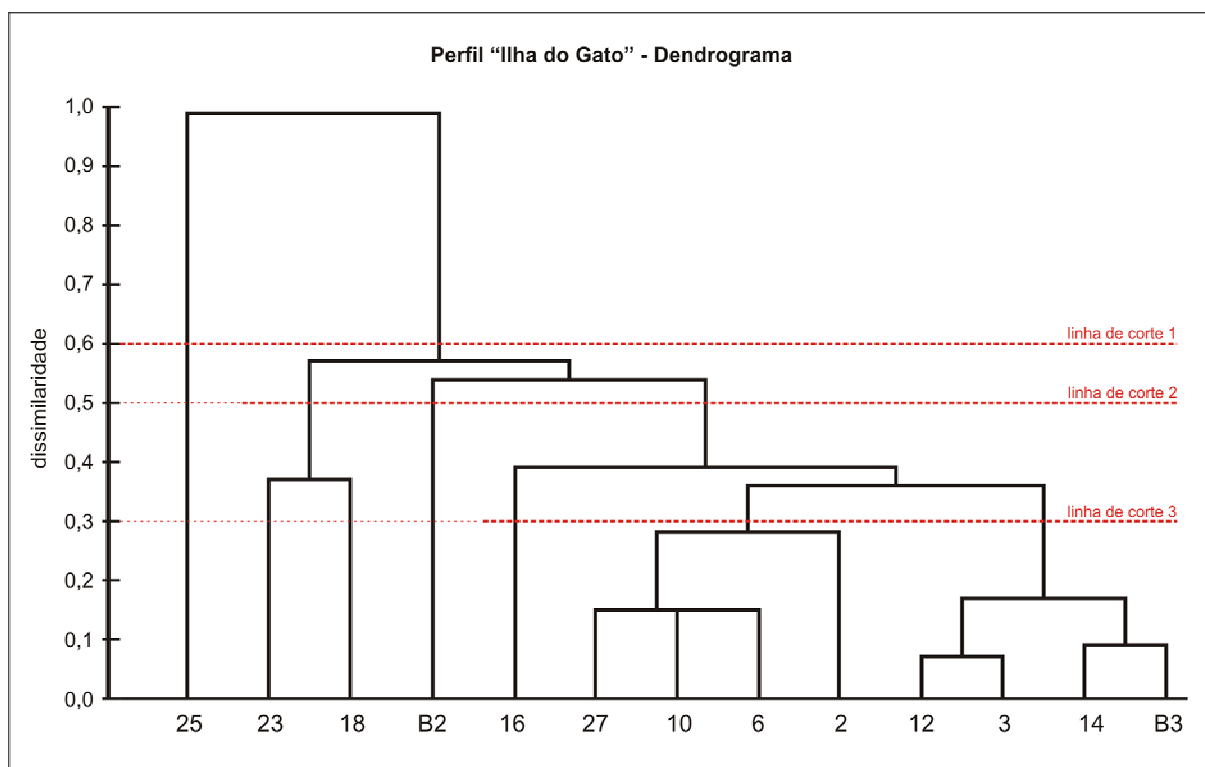


FIGURA 5.5 – Dendrograma expressando a dissimilaridade entre as comunidades das amostras do perfil Ilha do Gato. As linhas de corte para divisão dos grupos estão discutidas ao longo do texto.

O dendrograma, calculado com os demais pontos, mostra que não há uma compartimentação clara do perfil. Tampouco define grupos pertencentes a faixas altimétricas distintas. O que se percebe à primeira vista, na linha de corte 1, com 0,6 de dissimilaridade, é que o ponto 25, atípico, se encontra isolado por conter apenas foraminíferos aglutinantes, enquanto as demais amostras estão agrupadas em um grande grupo com pontos dominados por *E. gunteri*, com participação variável de *A. mexicana* e *A. tepida*. Este grande grupo apresenta algumas subdivisões que serão discutidas na sequência.

O ponto 25 aparece no perfil topográfico como uma pequena depressão entre os pontos 23 e 27. Neste ponto, as espécies arbóreas mais representativas são *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, que chegam a 20,5 e 14,5 metros de altura máxima e 25,5 e 23 cm de DAP, respectivamente. A amostra foi coletada em meio a uma mancha de *R. mangle*, no que é, provavelmente, o trecho mais alto do pequeno canal de maré que acompanha o perfil. O valor do pH neste ponto é 7,0, o mais baixo registrado no perfil. Este

valor não pode ser classificado como baixo, sendo, entretanto, necessário lembrar que é apenas um registro momentâneo. É possível que o pH seja o fator responsável pela ausência de foraminíferos calcários, o que explica o motivo deste ponto ser tão diferente dos demais.

Do grande grupo formado por doze das treze amostras, é possível fazer uma nova linha de corte a 0,5 de dissimilaridade e, assim, reorganizá-lo em três subgrupos, sendo o primeiro composto por duas amostras (18 e 23), o segundo pela amostra B2, isolada, e o terceiro, pelas demais amostras.

As amostras 18 e 23 diferem das demais pela presença bastante significativa de *A. mexicana*. O ponto 23 tem, como espécies arbóreas mais representativas, *R. mangle* (altura máxima de 13,15 metros e 14,5 cm de DAP) e *Avicennia germinans* (altura máxima de 12,65 metros e 9 cm de DAP). Nas partes mais elevadas no entorno do ponto, o sedimento estava bastante seco, apresentando gretas de contração e crostas de sal. Nestas elevações, a vegetação era bastante esparsa, com indivíduos de porte arbustivo de *A. germinans*. O tempo de exposição é 80,34% e a salinidade, 51, a segunda mais alta, menor apenas do que a do ponto 29, no apicum. Neste cenário, foi encontrada a menor riqueza de espécies, sendo que os valores de diversidade e equitatividade não foram tão baixos porque duas espécies, *E. gunteri* e *A. mexicana* tiveram abundâncias absolutas semelhantes, sendo 52 e 42, respectivamente.

A amostra 18, que forma este pequeno subgrupo com a 23, foi a amostra com maiores valores de equitatividade. É a única em que *A. mexicana* é a espécie mais abundante (excetuando a amostra 25, que ficou fora deste grupo), e conta com participação significativa de outras quatro espécies: *E. gunteri*, *A. tepida*, *E. excavatum* e *Nonion* sp. Apesar de ter a associação de foraminíferos mais similar à da amostra 23, sendo a ele agrupada no dendrograma, o cenário do ponto 18 é bastante diferente. A espécie arbórea mais representativa é *R. mangle*, com altura máxima de 14,5 metros e 22 cm de DAP. O sedimento foi coletado no pequeno canal de maré, onde foi registrado um pH igual a 7,47 e salinidade 37. O tempo de exposição é 61,95%.

As dez amostras restantes têm em comum a dominância por *E. gunteri*, quase sempre tendo como espécie secundária, *A. tepida*. O ponto que mais destoa deste conjunto é B2, que apresenta os maiores índices de diversidade do perfil ( $H'=1,96$  e  $D=0,61$ ). Localizado no banco de lama, tem o maior valor de pH, 8,1 e o menor de salinidade, 36. Marca também a maior abundância da subordem Miliolina (32 tecas), tendo *Quinqueloculina seminulum* como a segunda espécie mais abundante, com 25 indivíduos. *A. tepida* está representada por 18 indivíduos e é a terceira em abundância.

O último subgrupo, formado pelas nove amostras restantes, pode ser, também dividido em três subgrupos, com uma linha de corte 3, ao nível de dissimilaridade 0,3. Desse modo, a amostra 16 fica isolada por ser a única que tem como segunda espécie mais abundante, *Nonion* sp. A terceira é *E. excavatum*, ficando *A. tepida* na quarta colocação. O cenário é bastante semelhante ao do ponto 18, nos valores de tempo de exposição, 58,51%, pH, 7,49 e salinidade, 36, além da principal espécie arbórea ser, também, *R. mangle*, com altura máxima de 15,5 metros e 16 cm de DAP. As comunidades de foraminíferos, entretanto, foram dissimilares.

O grupo restante, composto por oito amostras, é dividido, ao nível de corte 0,3, em dois subgrupos, cada um com quatro amostras. O primeiro subgrupo é formado pelos pontos 2, 6, 10 e 27, tendo como característica o domínio de *E. gunteri*, sempre com abundância relativa maior que 50%, tendo *A. tepida* como espécie secundária.

A amostra 2 se mostra distinta das outras três, e isso se deve à presença significativa de *Quinqueloculina milletti*, *Q. seminulum* e *Quinqueloculina* sp., gênero ausente nos demais pontos desse subgrupo. Este ponto 2 se localiza em uma área elevada, logo no início do perfil, onde a espécie arbórea dominante é *A. germinans*, com altura máxima de 13,65 metros e 19 cm de DAP. O tempo de exposição é 57,44%, a salinidade, 41 e o pH, 7,29.

Os pontos 6 e 10 apresentam valores semelhantes de pH, sendo 7,16 e 7,12, respectivamente. O ponto 6 tem salinidade 43, sendo classificado como hiperhalino, tempo de exposição de 47,14% e tem como espécie arbórea mais representativa *A. germinans*, com altura máxima de 17 metros e 11,5 cm de DAP. Já o ponto 10 é euhalino (salinidade 38) e tem tempo de exposição de 50,04%, sendo localizado na cota 3,30m, muito próxima do nível médio do mar, que é 3,23 metros. Neste ponto as espécies arbóreas mais representativas são *A. germinans*, e *R. mangle*, com alturas máximas de 16 m e 15,5 m e 21 e 25 cm de DAP, respectivamente. As duas amostras têm em comum, além da dominância por *E. gunteri* seguida por *A. tepida*, a presença significativa de *A. mexicana* e *Nonion* sp.

A amostra 27, apesar de agrupada com a 6 e a 10 no dendrograma, foi coletada na porção superior do perfil, onde o tempo de exposição é de 82,46%. É um ponto com salinidade 38 e pH 7,2, onde a espécie arbórea mais representativa é *A. germinans* com altura máxima de 12 metros e 14 cm de DAP. Neste ponto, as espécies que acompanham *E. gunteri* e *A. tepida* são *E. excavatum*, *A. mexicana* e *Nonion* sp.

O último subgrupo é o mais coeso do perfil Ilha do Gato. Formado pelas amostras B3, 3, 12 e 14, são marcados pelo amplo domínio de *E. gunteri*. Nas amostras B3 e 14, *A. mexicana* aparece como a segunda espécie em abundância, enquanto nas amostras 3 e



12, este papel cabe a *A. tepida*. Em ambos os casos, entretanto, *E. gunteri* apresenta abundância muito superior a essas espécies secundárias.

O ponto B3 se localiza no banco de lama, diferindo do ponto B2 apenas pela cota altimétrica e, conseqüentemente, pelo tempo de exposição subaérea, calculado em 13,80%. O valor de salinidade é 36, igual ao dos outros três pontos do subgrupo.

A amostra 14, com pH 7,38 e tempo de exposição de 56,28%, tem como espécies arbóreas mais representativas *R. mangle* e *A. germinans*, com 16 m e 13,5 m de altura máxima e 24,5 cm e 23 cm de DAP, respectivamente.

As amostras 3 e 12 são as mais similares do ponto de vista das comunidades de foraminíferos. Os cenários observados em cada ponto, entretanto, exibem algumas diferenças, apesar do mesmo valor de salinidade. O ponto 3 apresenta pH 7,06 e tempo de exposição de 36,46%, tendo como espécie arbórea mais representativa *A. germinans* (altura máxima de 16,5 metros e 22 cm de DAP), embora a amostra de sedimento tenha sido coletada junto a um indivíduo *R. mangle*, beirando o já mencionado canal de maré que acompanha o perfil. O ponto 12, com pH 7,19 e tempo de exposição de 51,06%, tem como espécies arbóreas mais representativas *R. mangle* e *Laguncularia racemosa*, com 13 m e 15,5 m de altura máxima e 23,5 cm e 15 cm de DAP, respectivamente. Apesar das diferenças, o ponto da coleta também foi junto a uma *R. mangle* no canal de maré. Isso deve ser a explicação para a grande similaridade entre o ponto 3 e 12, a maior do perfil.

Observando os pontos do perfil Ilha do Gato como um todo, verifica-se que em oito dos treze pontos onde foram encontrados ao menos 100 tecas, a amostra de sedimento foi coletada no pequeno canal de maré que acompanha o perfil. Estes foram os pontos 3, 6, 10, 12, 14, 16, 18 e 25, que obedecem a uma seqüência crescente de cotas altimétricas e, conseqüentemente, de tempo de exposição do sedimento. Considerando apenas estes pontos, podemos visualizar uma compartimentação vertical do manguezal, com *E. gunteri* dominando até o ponto 16, na cota 3,81 m, associado a outras espécies predominantemente calcárias, sendo superado por *A. mexicana* nas duas últimas amostras, sendo que na amostra 25 não há espécie calcária alguma. Tais compartimentos representam intervalos no tempo de exposição subaérea de 36,46% na amostra 3, a 58,51% na amostra 16 (compartimento inferior) e de 61,95% na amostra 18 a 75,27% na amostra 25 (compartimento superior). É possível que este desenho experimental, com amostras de sedimento coletadas apenas no canal de maré, seja mais adequado para estudos de zonação vertical nesta situação. As abundâncias absolutas, riquezas de espécies, índices de diversidade e equitatividade e dados de salinidade, pH e

tempo de exposição subaérea relativos aos oito pontos coletados no canal de maré são apresentados na tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Abundância absoluta das espécies de foraminíferos nas amostras do canal de maré que acompanha o perfil Ilha do Gato. Número de tecas (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D), índices de equitatividade (J' e E), salinidade, pH e tempo de exposição subaérea do sedimento (TES).

	3	6	10	12	14	16	18	25	total
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	.	3	1	2	4	4	5	.	19
<i>Ammonia tepida</i>	14	28	21	15	11	11	18	.	118
<i>Elphidium excavatum</i>	3	.	.	1	.	20	13	.	37
<i>Elphidium gunteri</i>	<b>86</b>	<b>58</b>	<b>64</b>	<b>82</b>	<b>77</b>	<b>57</b>	28	.	452
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Nonion sp</i>	.	13	4	.	3	25	11	.	56
<i>Nonionella atlantica</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	1
<i>Rosalina sp.</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	1
<i>Acupeina triperforata</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Arenoparrela mexicana</i>	1	15	11	4	13	2	<b>34</b>	<b>91</b>	171
<i>Miliammina fusca</i>	.	.	1	.	.	.	1	2	4
<i>Haplophragmoides manilaensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Haplophragmoides wilberti</i>	.	.	.	.	.	.	.	6	6
<i>Siphotrochammina lobata</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Tiphotrocha comprimata</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Trochammina inflata</i>	1	.	.	1	.	.	.	.	2
N	106	117	104	105	108	119	110	103	
S	8	6	7	6	6	6	7	7	
H'	0,82	1,31	1,12	0,76	0,97	1,39	1,67	0,53	
J'	0,4	0,73	0,58	0,42	0,54	0,78	0,86	0,27	
D	0,23	0,47	0,38	0,23	0,3	0,49	0,59	0,13	
E	0,32	0,72	0,55	0,35	0,45	0,75	0,87	0,18	
salinidade	36	43	38	36	36	36	37	39	
pH	7,06	7,16	7,12	7,19	7,38	7,49	7,47	7,00	
TES (%)	36,46	47,14	50,04	51,06	56,28	58,51	61,95	75,27	

Levando-se em conta todos os treze pontos onde foram encontrados ao menos 100 tecas, é possível, também, perceber alguns resultados interessantes. CHÂTELET et al. (2005) focou seu estudo apenas nas sete espécies mais abundantes de seu estudo, na Baía de Aiguillon, França. Seguindo esta proposta, ao analisar o gráfico apresentado na figura 5.6, com as espécies dominantes (algumas agrupadas em gêneros) do perfil Ilha do Gato, é possível perceber algumas tendências: (1) *Quinqueloculina* spp. se restringe à porção inicial do perfil; (2) *Nonion* sp ganha importância após o desaparecimento de *Quinqueloculina* spp.; (3) *Arenoparrela mexicana* cresce em abundância na porção superior do perfil; (4) a associação *Elphidium/Ammonia* tem uma “zona ótima” na porção intermediária do perfil, entre as cotas 2,48 m e 3,81 m (TES variando de 36,46% a 58,51%), ocupando as amostras 3, 6, 10, 12, 14, 16, assumindo que os pontos extremos, B3 e 27 fogem da tendência observada.

O gráfico das abundâncias relativas de *Ammonia* spp., *Elphidium* spp., *Quinqueloculina* spp., *Nonion* sp. e *Arenoparrella mexicana* é apresentado na figura 5.6.

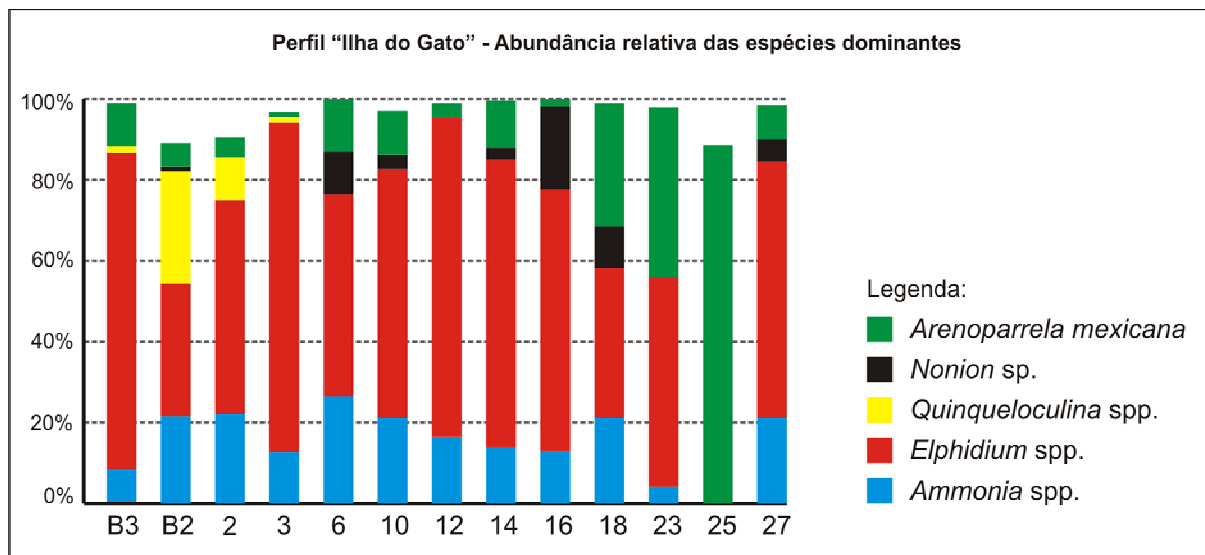


FIGURA 5.6 – Abundância relativa de *Ammonia* spp., *Elphidium* spp., *Quinqueloculina* spp., *Nonion* sp. e *Arenoparrella mexicana*, espécies dominantes no perfil Ilha do Gato.

As sete espécies dominantes no estudo de CHÂTELET et al. (2005) eram calcárias, contando com a presença de *A. tepida*, *E. gunteri* e *E. excavatum* entre elas. Estes autores trabalharam com foraminíferos vivos no momento da coleta, o que mostra que a dominância por foraminíferos calcários nos pontos não pode ser atribuída a distorções provocadas por aloctonia. JENNINGS & NELSON (1992) e HORTON et al. (1999) também registraram grande abundância de foraminíferos calcários em seus estudos em perfis, em especial na porção inferior, onde foram dominantes.

HAYWARD & HOLLIS (1994), em sua revisão da ecologia e taxonomia de foraminíferos da Nova Zelândia, encontrou esta associação *Ammonia-Elphidium* como característica de toda a porção intermediária da zona entre-marés, do nível médio de maré baixa ao nível médio da maré alta. Da mesma forma, WOODROFFE et al. (2005), estudando manguezais que margeiam a Grande Barreira de Corais, na Austrália, associa *Ammonia aoteana* a uma extensa porção intermediária da zona entremarés. Já HORTON et al. (2003) associam os gêneros *Ammonia* e *Elphidium* à porção inferior dos manguezais estudados, também na Austrália, assim como HORTON et al. (2005), trabalhando em manguezais da Indonésia. No Brasil, BRÖNNIMANN et al. (1981a) encontraram uma associação *Elphidium-Ammonia* típica das bordas dos manguezais da baía de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro.

*Quinqueloculina* spp. são espécies da subordem Miliolina, com preferência por ambientes com forte influência marinha, sendo comumente registradas, em perfis transversais, ocupando a planície lamosa (HORTON et al., 2005; GHOSH et al., 2008). Os resultados encontrados no perfil Ilha do Gato mostram que o gênero *Quinqueloculina* seguiu esta tendência. Este fato leva a uma conclusão bastante importante sobre a interferência da aloctonia sobre os resultados, já que *Quinqueloculina* spp aparece no manguezal ocupando o ponto 2, na cota 3,75 m, e não são encontradas na amostra 3, coletada no canal de maré, na cota 2,48. Caso as tecas estivessem sendo simplesmente arrastadas do estuário para o manguezal, seria esperado que atingissem com mais facilidade o ponto 3 do que o ponto 2. Essa observação, associada ao registro, na literatura, de grande ocorrência de foraminíferos calcários em perfis transversais a manguezais e marismas, leva à conclusão de que a aloctonia não é um fator determinante para a composição das associações de foraminíferos encontradas. Não pode deixar de ser registrada, entretanto, que o uso do corante Rosa-Bengala para diferenciação da fauna viva poderia, neste caso, trazer alguma informação sobre esta questão.

## 5.2 – Rio Mapari

Foram coletadas amostras em dezenove pontos ao longo de um trecho do rio Mapari, entre a Ilha do Gato, já no encontro com a Baía de Tubarão, até o povoado de Rampa, região onde há pouca influência marinha.

### 5.2.1 – Dados abióticos

No dia 10 de outubro de 2007, dia em que foram coletadas as amostras de sedimento para estudo das comunidades de foraminíferos, foram medidos os valores de salinidade superficial da água em cada ponto. Em setembro de 2008, durante três dias, foi realizado um trabalho mais detalhado, com a medição da salinidade e do pH, sendo que para os dois parâmetros, foram feitas medidas superficiais e de fundo. Para a análise e discussão destes dados é importante verificar em que condições eles foram coletados, com relação ao ciclo de marés. Em um ambiente estuarino, os parâmetros físicos e químicos estão em constante variação em função dessa dinâmica. Os gráficos apresentados na figura 5.7 mostram o nível da maré ajustado para a Ilha do Gato, no momento da coleta de cada ponto do rio

Mapari. Cabe lembrar que a dinâmica do ciclo das marés é muito complexa no estuário, sendo que há períodos de refluxo, quando o alto estuário está enchente e o baixo estuário está vazante. Sendo assim, esses gráficos servirão como uma referência para as análises, não representando, entretanto o valor real do nível da maré em cada ponto amostrado.

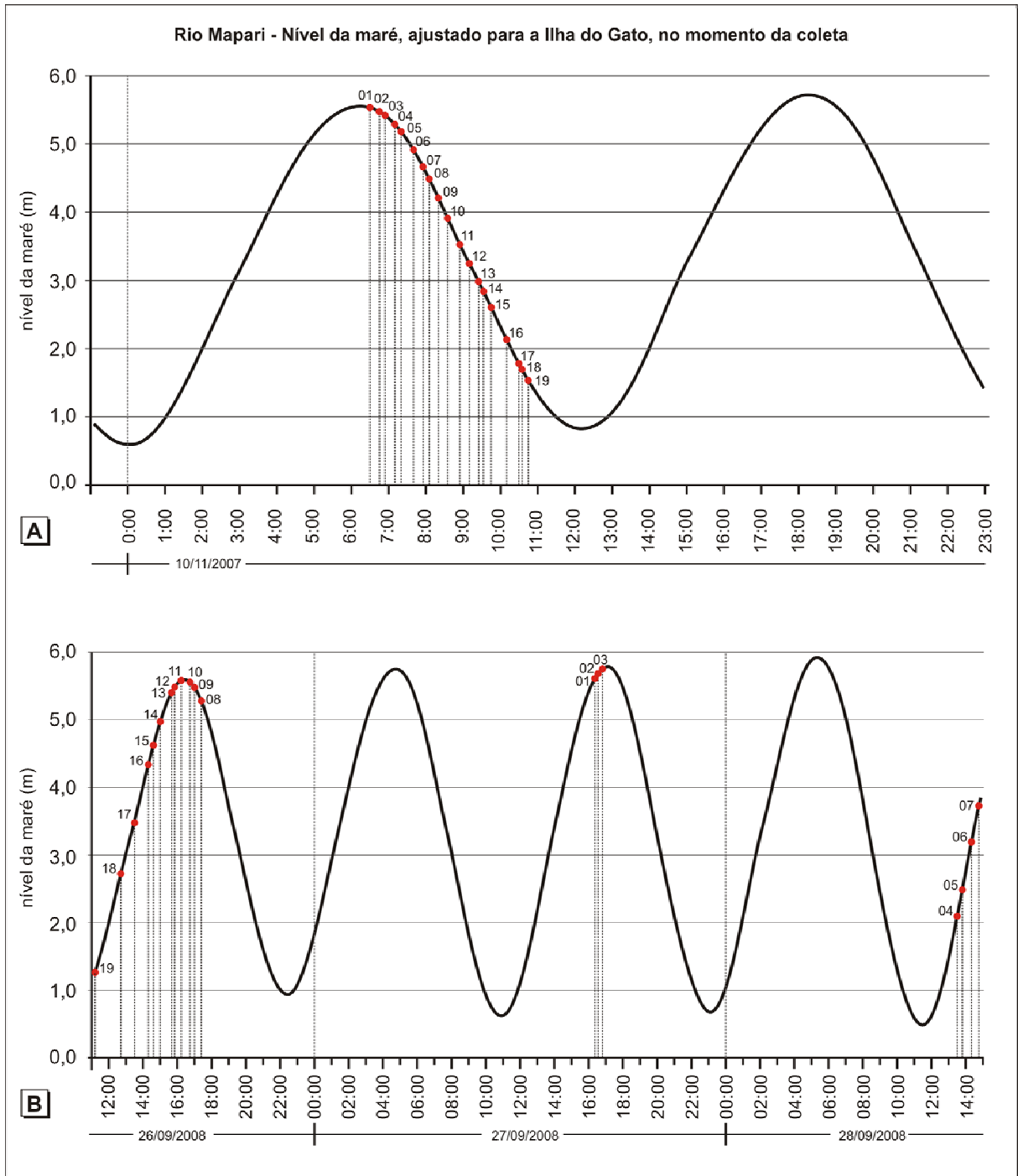


FIGURA 5.7 – Gráficos do nível da maré em função do tempo, na Ilha do Gato, no dia 10 de novembro de 2007 (A) e nos dias 26, 27 e 28 de setembro de 2008 (B). Os pontos vermelhos marcam a altura da maré no momento da coleta de cada amostra ao longo do rio Mapari. As anotações “01” a “19” que aparecem ao lado de cada ponto se referem às amostras M01 a M19.

Observando o gráfico da figura 5.7-A, vemos que as medições foram iniciadas no ponto M01, na Ilha do Gato, com maré cheia e foram sendo feitas durante o período de maré vazante, sendo concluídas no povoado de Rampa (ponto M19) já com a maré baixa. Estas condições podem ter acentuado o gradiente de salinidade e de pH encontrado nos pontos do rio Mapari e que são apresentados na tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Dados abióticos nos 19 pontos do rio Mapari em novembro de 2007 e setembro de 2008. Salinidade superficial (sal. sup.), pH superficial (pH sup.), salinidade de fundo (sal. fun.), pH de fundo (pH fun.), profundidade no momento da coleta (prof.) e classificação segundo o Simpósio de Veneza de 1959 (classific.). As cores de fundo delimitam as classes de salinidade.

Ponto	novembro de 2007		setembro de 2008					
	Sal. sup.	classific.	Sal. sup.	pH sup.	Sal. fun.	pH fun.	prof.	Classific.
M01	37	euhalino	34	8,1	34	8,1	2	euhalino
M02	35	euhalino	34	8,1	36	8,1	1,7	euhalino
M03	35	euhalino	33	8,1	33	8,1	1,7	euhalino
M04	30	polihalino	12	7,6	12	7,7	0,9	mesohalino
M05	30	polihalino	10	7,5	11	7,6	0,6	mesohalino
M06	22	polihalino	7	7,5	9	7,5	0,9	mesohalino
M07	21	polihalino	8	7,5	8	7,5	1,1	mesohalino
M08	21	polihalino	20	7,8	20	7,8	3,7	polihalino
M09	16	mesohalino	9	7,5	11	7,6	3	mesohalino
M10	16	mesohalino	8	7,6	8	7,5	4,7	mesohalino
M11	14	mesohalino	3	7,2	3	7,2	5,1	oligohalino
M12	10	mesohalino	1	7,0	2	7,1	3,4	oligohalino
M13	7	mesohalino	0	6,9	0	6,9	3,9	Doce
M14	1	oligohalino	0	6,5	0	6,6	5,5	Doce
M15	0	doce	0	6,3	0	6,4	8,1	Doce
M16	0	doce	0	6,3	0	6,3	3,8	Doce
M17	0	doce	0	6,3	0	6,3	1,3	Doce
M18	0	doce	0	6,2	0	6,4	1,3	Doce
M19	0	doce	0	6,3	0	6,4	1,3	Doce

Nos valores encontrados nas medições realizadas em setembro de 2008, algumas diferenças e semelhanças foram verificadas, com relação aos valores de novembro de 2007, principalmente devido à situação da maré no momento da coleta. Verificamos que nos pontos M01, M02 e M03, as medições foram feitas em maré alta, nos dois períodos, resultando em valores similares, que ao menos seguem a mesma classificação, sendo euhalinos. A profundidade variou de 1,7 a 2 metros, sendo que só foi encontrada estratificação no ponto M02, onde o valor de salinidade superficial foi 34 e o de fundo foi 36.

Os pontos M04 a M07 apresentam as maiores diferenças entre as duas medições. Em novembro de 2007, a maré estava no início da vazante, e em setembro de 2008, na enchente. Estes pontos foram classificados como polihalinos na primeira medição e mesohalinos na segunda.

No ponto M08, as medições foram, novamente, feitas aproximadamente na mesma situação de maré, sendo que os valores registrados foram bastante similares. A partir do ponto M09, até o ponto M14, entretanto, os resultados obtidos se mostram divergentes do que é verificado nos gráficos da figura 5.7. Isso se deve, provavelmente, à interferência do refluxo da maré, que impossibilita a análise a partir dos gráficos que refletem a dinâmica do ciclo de marés na Ilha do Gato.

Os pontos M15 a M19 são mais estáveis, com pouca ou nenhuma influência da cunha salina. Cabe mencionar que foram feitas medições de salinidade de fundo nos pontos M15, M18 e M19 entre 16:00 e 16:30 do dia 28 de setembro de 2008, correspondentes a um nível de maré entre 5,0 e 5,4 metros na Ilha do Gato, com o objetivo de verificar se havia influência da cunha salina nestes pontos com a maré alta. Foi observada uma salinidade de fundo de 2‰ no ponto M15, de 1‰ no ponto M18 e 0‰ no ponto M19. Isso mostra que há, de fato, pouca influência da cunha salina no trecho dos pontos M15 a M19.

Os valores de pH, de um modo geral, mostraram uma relação direta com os valores de salinidade, variando de 6,2 a 8,1. O ponto M12 registra pH neutro, sendo que há tendência de alcalinidade crescente no sentido do ponto M01 (maior influência marinha) e de acidez crescente em direção ao ponto M19 (maior influência da água doce). Os valores de pH superficiais e de fundo foram apresentados na tabela 5.3.

A profundidade nos pontos amostrados variou de 0,6 m no ponto M05 a 8,1 m no ponto M15, sendo que estes valores também estão apresentados na tabela 5.3.

### 5.2.2 – Dados bióticos

Foram triadas 1.755 tecas de foraminíferos nas amostras do rio Mapari, representando 26 espécies, todas bentônicas, pertencentes às mesmas três subordens encontradas no perfil Ilha do Gato, Miliolina, Rotaliina e Textulariina. A subordem mais abundante foi Rotaliina, com 55,78% do total, seguida por Textulariina, com 34,64% e por Miliolina, com 8,89%. Doze foraminíferos não foram identificados, constituindo 0,68% do total.

A subordem Miliolina tem participação mais significativa da amostra M01 à M05, que constituem os 5 pontos iniciais do trecho estudado, com maior influência marinha. A subordem Rotaliina está presente da amostra M01 à M13, tendo suas maiores abundâncias relativas nas amostras M07, M08 e M09, na porção intermediária do estuário. Do ponto M01

ao M17, a subordem Textulariina só não está presente no ponto M03, sendo que, no M17, só foram encontradas duas tecas da espécie *M. fusca*. Nas amostras M18 e M19 não foram encontrados foraminíferos.

A figura 5.8 integra dados de localização, salinidade, pH e abundância relativa a cada subordem de foraminíferos nos pontos do rio Mapari. Foram usados os dados de salinidade obtidos no dia 10 de novembro de 2007, mesmo dia da coleta de sedimento. Os valores de pH também são de superfície e foram medidos em setembro de 2008.

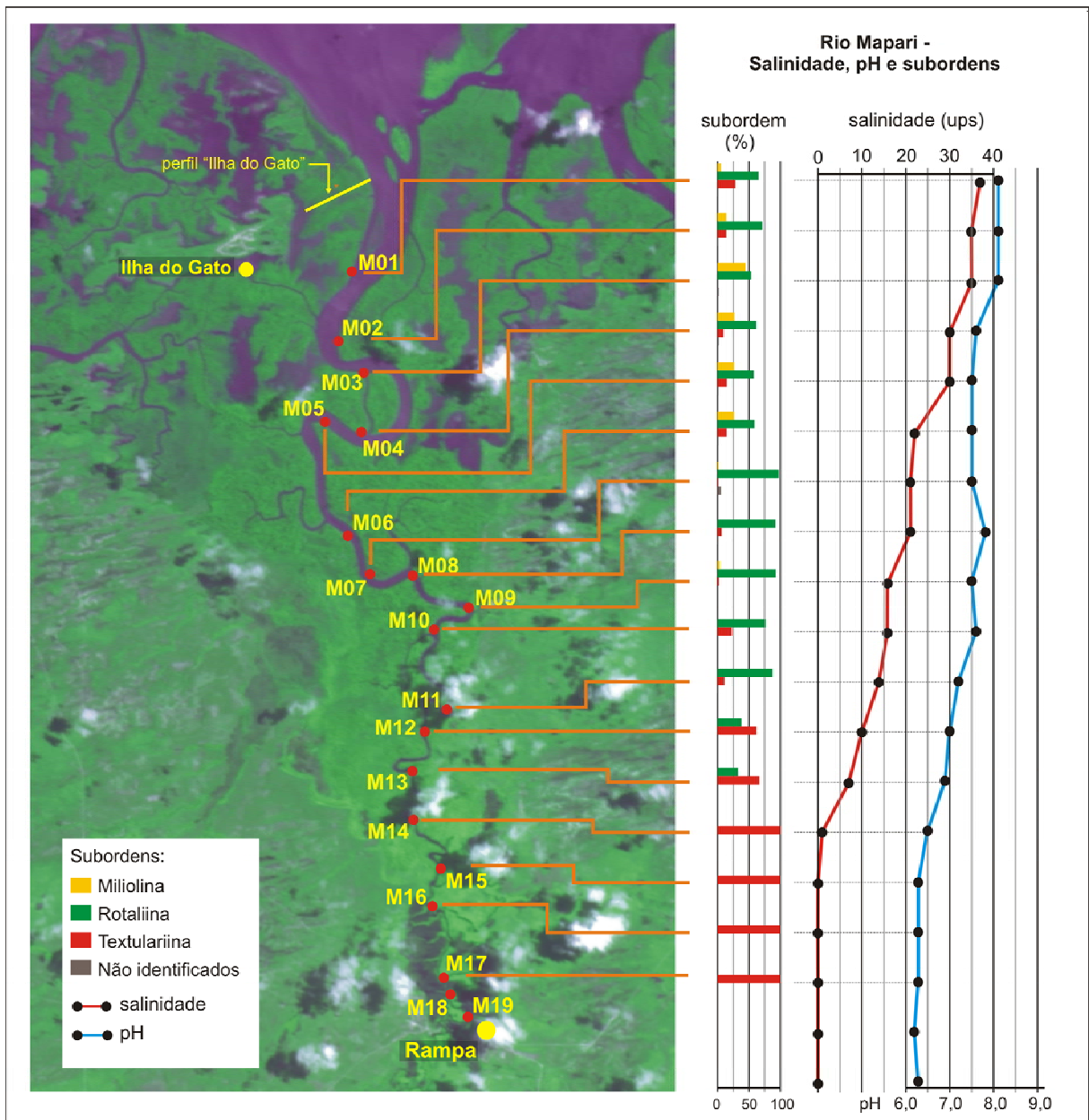


FIGURA 5.8 – Localização dos pontos amostrados, valores de salinidade superficial, pH superficial e abundância relativa a cada subordem de foraminíferos.



A tabela 5.4 expõe as abundâncias relativas de cada espécie por amostra coletada no rio Mapari, além do número total de tecas triadas (N), a riqueza de espécies (S), os valores de diversidade (H' e D) e equitatividade (J' e E), também por amostra.

A espécie mais abundante no rio Mapari foi *Miliammina fusca*, com 29,46% do total. Ela foi dominante nos pontos M12 e M13, além de representar a totalidade dos foraminíferos triados nas amostras M14 a M17. Desse modo, o ponto classificado como “oligohalino” e os pontos classificados como “doce” contêm exclusivamente *M. fusca*, demonstrando sua incontestável afinidade com baixos valores de salinidade. Cabe lembrar que os valores de salinidade representam uma situação momentânea, de forma que alguns pontos classificados como “doce” recebem influência da cunha salina, conforme verificado em medições realizadas em maré alta.

A segunda espécie em abundância foi *Nonion* sp., com 26,72% do total. Teve comportamento semelhante a *Elphidium gunteri*, terceira espécie em abundância, com 20,97% do total. Ambas alternaram dominância da amostra M01 à M11 (exceto M05), com *E. gunteri* se mostrando mais competitivo nos pontos iniciais, com maiores valores de salinidade, e *Nonion* sp. dominando a porção intermediária do estuário com valores de salinidade entre 14 e 22. Na amostra M05, a espécie mais abundante foi *Ammonia tepida*, a quinta colocada em abundância no rio Mapari, com 4,90% do total.

Mais abundante que *A. tepida*, mas sem dominar nenhuma amostra, *Quinqueloculina seminulum* contribui com 6,67% das tecas triadas. Foi a espécie mais abundante da subordem Miliolina e teve participação significativa nos pontos M01 a M06 iniciais do rio Mapari, demonstrando afinidade com a porção do estuário com maior influência marinha.

*Arenoparrella mexicana* foi a sexta espécie em abundância, com 4,27% do total. Teve presença marcante nos pontos iniciais do rio Mapari, em especial nas amostras M01 e M02, com valores mais altos de salinidade, demonstrando um comportamento similar ao de *Q. seminulum* e inverso ao de *M. fusca*.

A maioria das demais espécies da subordem Rotaliina se restringiram aos primeiros pontos do rio Mapari. *Ammonia parkinsoniana* atingiu a amostra M11. *Nonionella atlantica* teve no ponto M10 sua maior abundância, com sete tecas. *Elphidium excavatum* demonstrou preferência pelas duas primeiras amostras, mas teve uma teca encontrada no ponto M09. Uma das quatro tecas de *Bolivina* sp. foi encontrada na amostra M05, e a única representante de *Criboelphidium* cf. *poeyanum* faz parte da amostra M04.

TABELA 5.4 – Abundância relativa das espécies de foraminíferos nas amostras do rio Mapari. Número de tecas por amostra (N), riqueza de espécies (S), índices de diversidade (H' e D) e de equitatividade (J' e E).

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0,04	.	.	.	0,03	0,03	.	.	.	.	0,02	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammonia tepida</i>	0,12	0,13	0,11	0,03	0,23	0,07	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bolivina</i> sp.	0,02	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cyclogyra involvens</i>	0,02	0,05	0,02	.	.	0,02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Criboelphidium</i> cf. <i>poeyanum</i>	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elphidium excavatum</i>	0,06	0,08	.	.	.	0,02	0,01	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elphidium gunteri</i>	0,30	0,32	0,02	0,36	0,13	0,16	0,33	0,29	0,22	0,46	0,24	0,17	0,32	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina lata</i>	.	.	.	0,01	0,03	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina milletti</i>	.	.	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	.	.	0,01	.	0,03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	0,03	0,09	0,38	0,23	0,17	0,18	0,01	.	0,03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Quinqueloculina venusta</i>	.	.	0,01	0,01	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nonion</i> sp.	0,12	0,16	0,40	0,19	0,18	0,31	0,63	0,61	0,69	0,19	0,59	0,21	0,01	.	.	.	.	.	.
<i>Nonionella atlantica</i>	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	.	.	0,02	0,01	0,07	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Triloculina oblonga</i>	.	0,01	.	.	0,02	0,04	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Triloculina</i> sp.	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammoastuta inepta</i>	0,01	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammobaculites</i> sp.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammotium cassis</i>	0,01	.	.	0,03	.	.	.	.	.	0,01	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammotium directum</i>	.	.	.	.	.	.	.	0,01	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammotium pseudocassis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Arenoparrella mexicana</i>	0,25	0,14	.	0,02	0,09	0,13	.	0,01	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Miliammina fusca</i>	0,01	.	.	0,03	0,05	0,02	0,01	0,05	0,02	0,20	0,10	0,62	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	.	.
<i>Polysaccamina hyperhalina</i>	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trochammina inflata</i>	0,01	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trochamminita salsa</i>	.	.	.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
N	138	107	104	108	102	102	126	109	105	104	107	109	106	105	115	104	2	.	.
S	16	9	10	13	16	13	7	8	9	8	6	3	3	1	1	1	1	.	.
H'	2,04	1,92	1,44	1,89	2,23	2,00	0,88	1,05	0,99	1,46	1,15	0,92	0,68	.	.	.	.	.	.
J'	0,73	0,83	0,62	0,68	0,80	0,78	0,45	0,51	0,45	0,70	0,59	0,84	0,62	.	.	.	.	.	.
D	0,63	0,64	0,48	0,58	0,69	0,64	0,32	0,36	0,31	0,50	0,39	0,36	0,28	.	.	.	.	.	.
E	0,76	0,84	0,64	0,70	0,83	0,80	0,47	0,50	0,42	0,70	0,57	0,76	0,61	.	.	.	.	.	.

A subordem Miliolina, como um todo, se restringiu à primeira metade do trecho estuarino estudado, não indo além da amostra M09. *Q. seminulum* e *Q. lata* foram as únicas espécies encontradas nesta amostra. *Q. milletti* foi encontrada nas amostras M03 a M07. *Cyclogira involvens*, *Q. venusta* e *Triloculina oblonga* atingiram a amostra M06, sendo esta a que apresenta a maior abundância de *T. oblonga*. Já *C. involvens* demonstra preferência pelas três amostras iniciais. *Q. poeyana* teve três de suas quatro tecas encontradas na amostra M05. A única teca de *Triloculina* sp. faz parte da amostra M04.

A subordem Textulariina só não teve representantes na amostra M03. *A. mexicana* e *M. fusca*, juntas representam 97,37% dos foraminíferos desta subordem, e demonstraram um comportamento inverso com relação à salinidade. As demais espécies desta subordem também podem ser agrupadas segundo estas características, com *Ammonoastuta inepta*, *Ammobaculites* sp., *Ammotium cassis*, *Polysaccammina hyperhalina*, *Trochammina inflata* e *Trochammina salsa* ocupando pontos com valores maiores de salinidade e *Ammotium directum* e *A. pseudocassis* se restringindo às faixas polihalina e mesohalina.

A maior riqueza de espécies, 16, foi encontrada em três amostras: M01, M04 e M05. A menor foi registrada nas amostras M14, M15, M16 e M17, onde só havia tecas de *Miliammina fusca*.

Foram calculados os índices de diversidade e de equitatividade para cada amostra onde ao menos 100 indivíduos foram triados. Foram, também, excluídas as amostras com apenas uma espécie. Aplicou-se os índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e McIntosh, modificado por Pielou ( $D$ ), e seus respectivos índices de equitatividade ( $J'$  e  $E$ ). Os valores de  $H'$  variaram de 0,68 na amostra M13 a 2,23 na amostra M05. As mesmas amostras apresentaram os valores mínimo e máximo para  $D$ , que foram 0,28 e 0,69. As amostras M07 e M09 registraram o menor valor de  $J'$ , que foi 0,45. M09 também exibiu o menor valor para  $E$ , 0,42. Os maiores valores de  $J'$  e  $E$  foram registrados na amostra M02, sendo 0,83 e 0,84, respectivamente.

Da mesma forma que no perfil Ilha do Gato, foi calculada a matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis ( $B$ ) a partir das abundâncias absolutas das espécies por amostra coletada no rio Mapari. Seguindo o mesmo método, foram definidos os grupos a partir da dissimilaridade entre as comunidades de foraminíferos que compõem cada amostra. Os resultados são expressos na forma de dendrograma (Figura 5.9).

Inicialmente, é possível perceber dois grupos principais, ao nível de corte de 0,75 de dissimilaridade. Um grupo representando as amostras que recebem pouca influência marinha, com dominância de *Miliammina fusca*, e outro grande grupo com as demais

amostras de pontos mesohalinos a euhalinos, cujas principais taxons são *Nonion* sp., *Elphidium gunteri*, *Ammonia tepida*, *Arenoparrella mexicana* e *Quinqueloculina* spp.

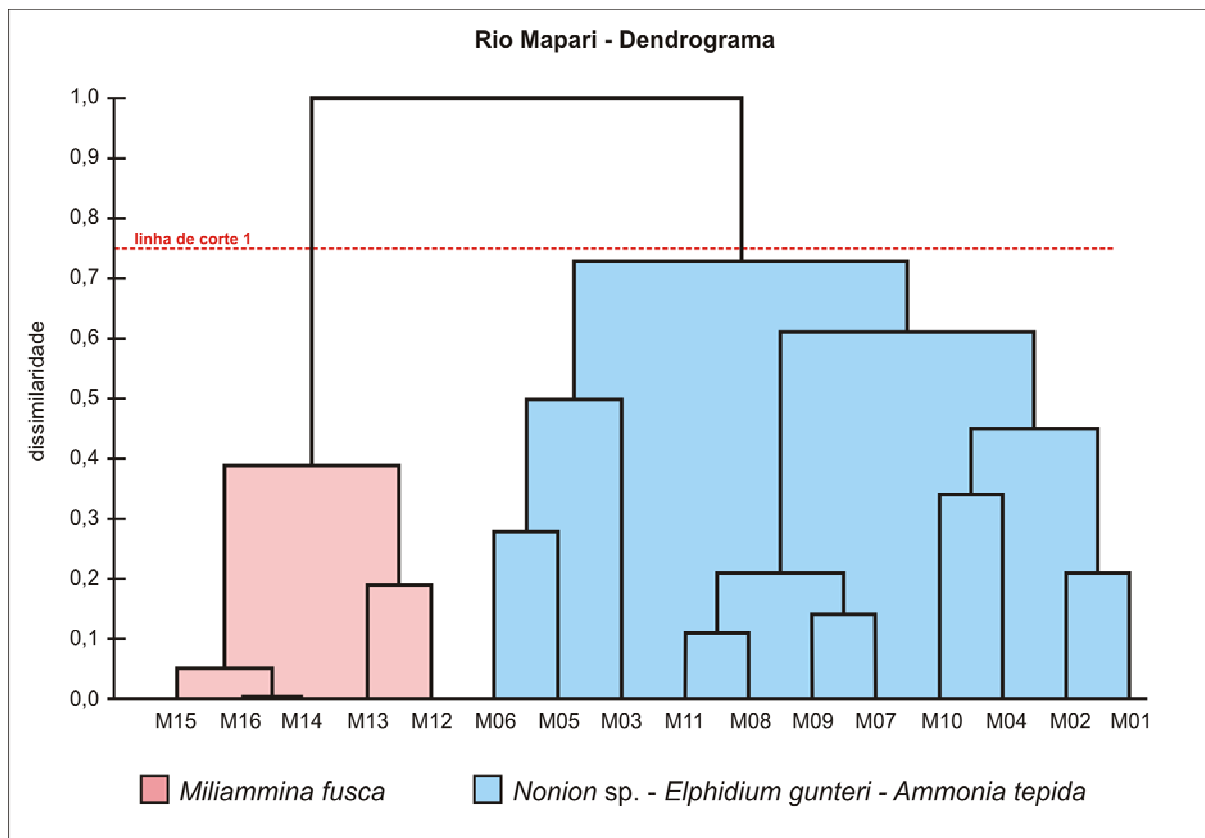


FIGURA 5.9 – Dendrograma com os dois grandes grupos formados a partir da dissimilaridade entre as comunidades de foraminíferos das amostras do rio Mapari.

A análise da dissimilaridade entre as comunidades também revela, ao nível de corte de 0,55, três subgrupos que compõem o grande grupo da porção com maior influência marinha. Esta segunda análise é apresentada na figura 5.10. Os três novos grupos são:

- *Nonion* sp. – *Quinqueloculina seminulum* – *Ammonia tepida* (NQA), agrupando as amostras M03, M05 e M06;
- *Nonion* sp. – *Elphidium gunteri* (NE), agrupando as amostras M07, M08, M09 e M11;
- *Elphidium gunteri* – *Nonion* sp. (EN), agrupando as amostras M01, M02, M04 e M10.

*Nonion* sp. está presente nos três grupos sendo a espécie dominante no NQA e no NE. O grupo NE é o mais coeso, marcado pela clara dominância da associação *Nonion* sp. e *Elphidium gunteri*. Já o grupo NQA tem pouca participação de *E. gunteri*, sendo que as

espécies secundárias que acompanham *Nonion* sp. são *Quinqueloculina seminulum* nas amostras M03 e M06, e *Ammonia tepida*, na amostra M05.

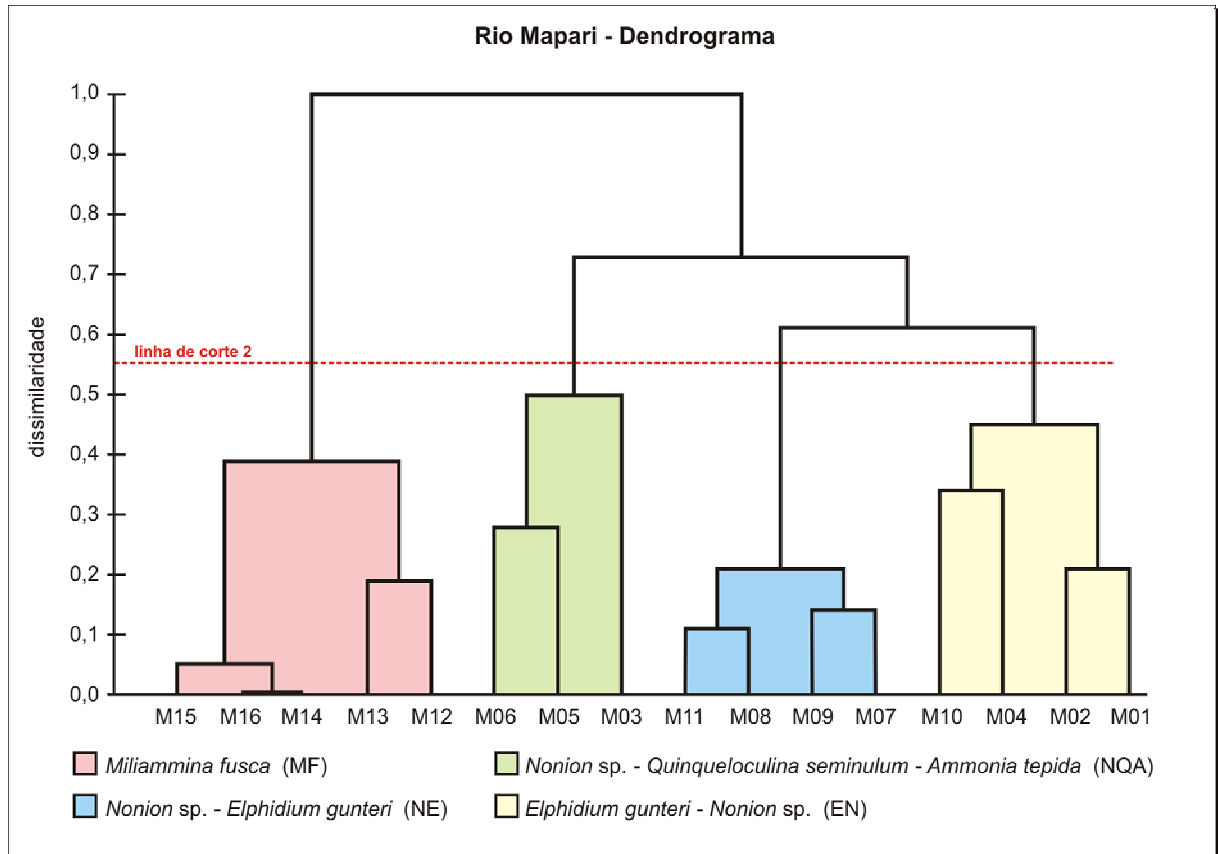


FIGURA 5.10 – Dendrograma com os quatro grupos formados a partir da dissimilaridade entre as comunidades de foraminíferos das amostras do rio Mapari.

O grupo EN é marcado pela dominância de *Elphidium gunteri*, sempre acompanhado por *Nonion* sp. *A. tepida* também está presente nas quatro amostras desse grupo, assim como *Arenoparrella mexicana*, que apresenta grande abundância nas amostras M01 e M02. *Q. seminulum* também tem alto valor de abundância nas amostras M02 e M04.

Além das comunidades de foraminíferos, é interessante verificar o padrão de distribuição das espécies vegetais na margem do manguezal ao longo do trecho estudado do rio Mapari. Foram encontradas as espécies *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. harrisonii*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (REBELO-MOCHEL, comunicação pessoal). No ponto M19, em frente ao porto do povoado Rampa, indivíduos do gênero *Rhizophora*, com altura máxima de 17 metros, disputam espaço com vegetação típica de água doce, como a jussara (*Euterpe oleracea*). O sedimento é colonizado por uma espécie da família Amaryllidaceae, que parece pertencer ao gênero *Crinum*. Infelizmente não havia indivíduos com flores, de modo que não é possível precisar esse gênero. Cabe lembrar que os indivíduos

de *Rhizophora* neste ponto podem ser *R. harrisonii* ou *R. racemosa*, que ocorrem na porção estuarina com menores valores de salinidade (SANTOS, 1986). *R. mangle* não está presente neste ponto.

O ponto M18 tem características semelhantes ao M19, sendo que além da espécie colonizadora da família Amaryllidaceae, verificamos a ocorrência de *Montrichardia arborescens* e de uma outra espécie, a qual não foi possível nem ao menos identificar a família. Segundo o professor Nivaldo Figueiredo do Departamento de Biologia da UFMA (comunicação pessoal), é provável que esta espécie pertença à família Caryophyllaceae. Neste ponto, os indivíduos de *Rhizophora* chegam a 23,5 metros de altura. Nos pontos M18 e M19, não foram encontrados foraminíferos.

Duas tecas de *Miliammina fusca* representam o único registro de foraminíferos encontrados na amostra M17. Neste ponto - onde a água ainda é classificada como doce, com base nas medições realizadas - a margem esquerda do rio Mapari exibe um extenso brejo cuja espécie principal é *Eleocharis* sp. Neste ponto, também é registrada a presença de *Montrichardia arborescens* e *Rhabdadenia biflora*. Na margem oposta, indivíduos de *Rhizophora* spp. com altura máxima de 12,5 metros e, mais ao fundo, um grande indivíduo de *Avicennia germinans* com 18 metros de altura.

O ponto M16 é bastante semelhante ao M17. Ele marca o ponto extremo do “brejo” de *Eleocharis* sp., ainda com salinidade zero nas medições realizadas. Nesta amostra, entretanto, foi encontrado o número de foraminíferos necessários para as análises estatísticas, sendo que todas as tecas são de *Miliammina fusca*. De qualquer forma, apesar do valor de salinidade ser zero, a presença destes foraminíferos indicam que o ponto está sob influência da cunha salina, devendo passar a oligohalino nos momentos de maré alta.

No ponto M15 ainda são encontrados indivíduos de *Euterpe oleracea*, acompanhados de *Rhabdadenia biflora*. *Rhizophora* spp. é dominante e *R. mangle* ainda está ausente, assim como no ponto seguinte, M14. Nos dois, só foram encontradas tecas de *Miliammina fusca*.

O ponto M13 marca um aumento na salinidade, sendo classificado como mesohalino. Pela primeira vez é registrado *Acrostichum aureum* acompanhando *Rhizophora* spp. e, também pela primeira vez, *M. fusca* é acompanhada por *Elphidium gunteri* e por uma teca de *Nonion* sp. No ponto seguinte, M12, com características semelhantes e um leve aumento na salinidade, *M. fusca* mantém sua abundância, enquanto a de *E. gunteri* diminui, cedendo espaço para um aumento da abundância de *Nonion* sp. É importante mencionar que, nestes três últimos pontos (M14, M13 e M12), o bosque de *Rhizophora* spp. é bastante

desenvolvido, atingindo mais de 30 metros de altura. Isto mostra que este gênero adapta-se muito bem à oligohalinidade.

O ponto M11 marca o fim da dominância de *M. fusca*, que tem uma queda brusca em sua abundância, mas que ainda se mantém com presença significativa (10% de abundância relativa). *Nonion* sp. se torna a espécie dominante, acompanhada de *E. gunteri*. Este ponto também marca o início da ocorrência das duas espécies do gênero *Ammonia*. *Rhizophora* spp. apresentam menor desenvolvimento, com aproximadamente 15 metros de altura máxima.

Uma constatação importante no ponto M11 foi a ocorrência de encistação de tecas de *M. fusca*. Tal situação ocorre quando as condições ambientais são desfavoráveis ao organismo, que fecha sua abertura e permanece em estado “dormente” (HEINZ et al., 2005; LICARI & MACKENSEN, 2005). Isso pode indicar duas possibilidades: (1) aloctonia, ou seja, a teca foi carregada para este ponto pela correnteza; ou (2) alteração ambiental do ponto pela variação sazonal do aporte de água doce. As duas possibilidades são bastante plausíveis, já que em um estuário sob regime de macro-marés, a energia hidrodinâmica é um fator bastante significativo que leva à aloctonia de tecas (GHOSH et al., 2008). Do mesmo modo, a encistação pode ter sido uma resposta à mudança ambiental. BUZAS et al. (2002) em seu “modelo de manchas pulsantes” (*model of pulsating patches*), mostra que há uma variabilidade na distribuição de foraminíferos quando se trabalha em uma pequena escala espacial e temporal. DEBENAY et al. (2006) reforça esta idéia demonstrando que os foraminíferos reagem rapidamente a mudanças ambientais associadas à dinâmica estuarina. Sendo assim, é provável que *M. fusca* tenha se instalado neste ponto na estação chuvosa, e com a redução do aporte de água doce no período de estiagem, as condições ambientais tenham se tornado inadequadas, levando o foraminífero a bloquear seu contato com o meio, fechando a abertura de sua teca.

O ponto M10, com salinidade 16, registra um surpreendente aumento na abundância de *M. fusca*, com relação à do ponto M11. As duas possibilidades apresentadas no parágrafo anterior podem ser aplicadas também a este aumento. De qualquer forma, este ponto se mostra bastante atípico, com uma abundância reduzida de *Nonion* sp. e a dominância de *E. gunteri*. Essas características o agruparam com os pontos M01, M02 e M04 no dendrograma baseado na dissimilaridade das comunidades de foraminíferos, os quatro com domínio de *E. gunteri*. As características da vegetação são semelhantes às do ponto anterior, M11.

O ponto M09 marca a primeira ocorrência de *Rhizophora mangle*, sendo um ponto de transição, onde as três espécies do gênero *Rhizophora* coexistem. Tal característica se mantém nos pontos M08 e M07. Estes são os três pontos onde a subordem Rotaliina é amplamente dominante. *Nonion* sp. é a espécie mais abundante nas três amostras, acompanhada de *E. gunteri*.

O último ponto em que *Rhizophora mangle* coexiste com *R. harrisonii* e *R. racemosa* é o M06. Ambas têm aproximadamente o mesmo porte, com 15 metros de altura máxima. Neste ponto, há um aumento nos índices de diversidade, devido, principalmente ao início da ocorrência significativa da subordem Miliolina, e do aglutinante *Arenoparrella mexicana*. Estas características se mantêm no ponto M05, com a diferença na espécie dominante que mudou de *Nonion* sp. para *Ammonia tepida*. Além disso, no ponto M05 *Rhizophora mangle* não tem mais a companhia de outra espécie do seu gênero, passando a ocorrer com exclusividade até o ponto inicial, M01. Cabe lembrar que *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans* também ocorrem nestes pontos, principalmente ocupando a faixa mais elevada, logo após a franja ocupada por *Rhizophora mangle*. Nos pontos com margens em progradação, como é o caso deste ponto M05, estas são colonizadas por plântulas de *L. racemosa* seguindo modelo semelhante ao observado por DIAS-BRITO & ZANINETTI (1979).

O ponto M04 é dominado por *E. gunteri*, tendo como segunda espécie em abundância, *Quinqueloculina seminulum*, seguida por *Nonion* sp. É o último ponto antes da faixa do estuário classificada como euhalina.

Os próximos três pontos têm salinidade semelhante, representando o trecho da área estudada com a maior influência marinha. O ponto M03 é bastante diferente dos outros dois, do ponto de vista das associações de foraminíferos, sendo dominado por uma associação de *Nonion* sp. e *Quinqueloculina venusta*. Os pontos M02 e M01 são bastante similares, tendo *E. gunteri* como espécie dominante, e grande participação de *Arenoparrella mexicana*, *Nonion* sp. e *Ammonia tepida*. Entre as espécies da subordem Miliolina, o gênero *Quinqueloculina* tem grande redução em abundância, enquanto *Cyclogyra involvens* aumenta sua participação.

O padrão de distribuição das comunidades de foraminíferos encontrado no estuário do rio Mapari está de acordo com o que é verificado na literatura. A afinidade de *M.fusca* com baixos valores de salinidade foi observada em diversos estudos em ambientes estuarinos (HAYWARD & HOLLIS, 1994; OLIVEIRA, 1999; DEBENAY et al., 2002; SEMENSATTO-JR & DIAS-BRITO, 2004; SEMENSATTO-JR, 2006; SEMENSATTO-JR et al., 2008). Da mesma forma, a associação dos gêneros *Elphidium*, *Ammonia* e



*Quinqueloculina* também é bastante comum em ambientes polihalinos a euhalinos (BRÖNNIMANN et al., 1981; DEBENAY et al, 1998; DULEBA & DEBENAY, 2003; RUIZ et al., 2005; SEMENSATTO-JR & DIAS-BRITO, 2004; SEMENSATTO-JR, 2006). A dominância de *Nonion* sp., entretanto, é uma peculiaridade do estuário do rio Mapari, que não foi verificada em outros locais. Neste estuário, *Nonion* sp. se apresentou como uma espécie bastante oportunista, sendo amplamente dominante em sua porção intermediária, área de transição marcada até mesmo pela coexistência das espécies arbóreas do gênero *Rhizophora*. O gráfico com as abundâncias relativas das seis espécies mais abundantes no rio Mapari, e a relação de suas distribuições com o esquema de distribuição das espécies do gênero *Rhizophora* são apresentados na figura 5.11. O mesmo esquema, relacionado à abundância relativa às subordens é apresentado na figura 5.12. Cabe lembrar que, na amostra M17, foram encontradas apenas duas tecas, sendo que ela apresenta mais semelhança com as amostras M18 e M19, onde não foi encontrado foraminífero algum.

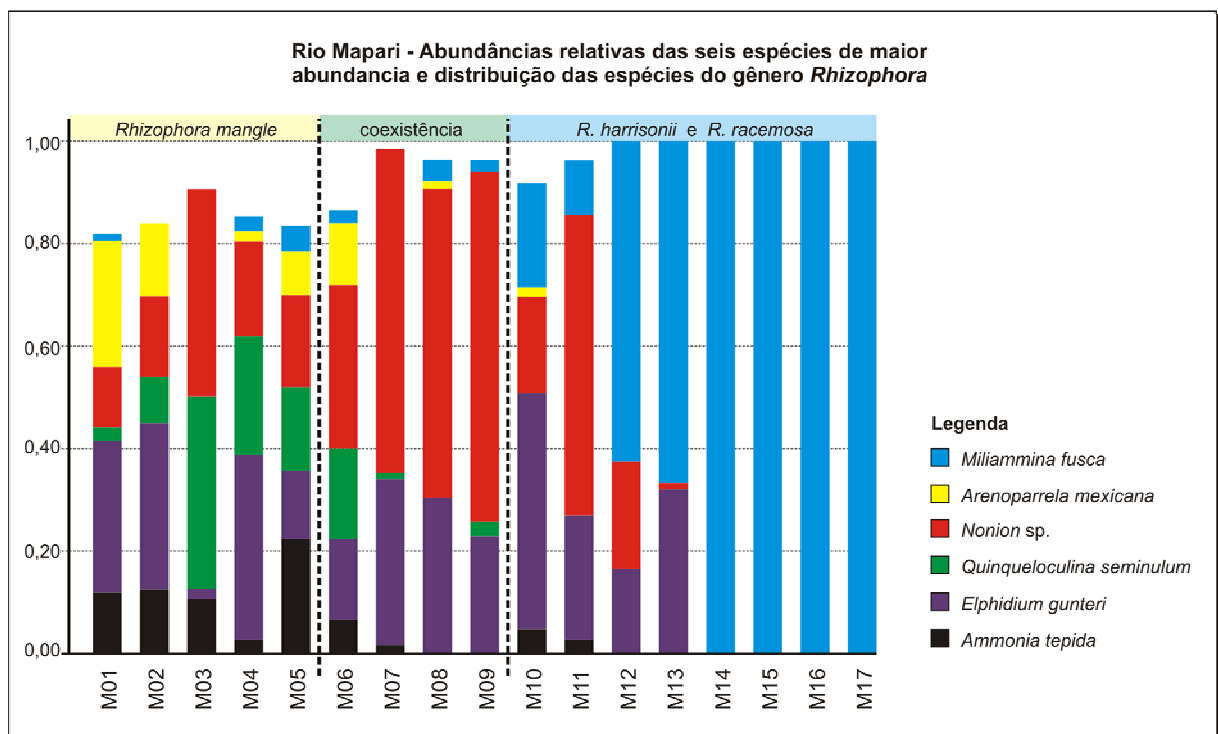


FIGURA 5.11 – Abundâncias relativas das seis espécies de maior abundância entre as amostras coletadas no rio Mapari e esquema da distribuição das espécies de *Rhizophora*.

Uma análise visual sobre os padrões de distribuição apontados pelas espécies dominantes e pela abundância relativa às subordens revela grupos mais bem definidos do que os exibidos no dendrograma de dissimilaridade. Percebemos que há um grupo formado pelas amostras M01 a M06, dominado pela subordem Rotaliina, mas com grande abundância da

subordem Miliolina. Há, também, um grupo na porção intermediária do estuário formado pelas amostras M07 a M11, com amplo domínio da subordem Rotaliina, em especial *Nonion* sp. e *Elphidium gunteri*. Por último, existe um terceiro grupo dominado pela subordem Textulariina, com a espécie *Miliammina fusca*. Estes três grupos se aproximam dos que são formados a partir da distribuição das espécies de *Rhizophora*, que são formados pelas amostras M01 a M05, M06 a M09 e M10 a M16.

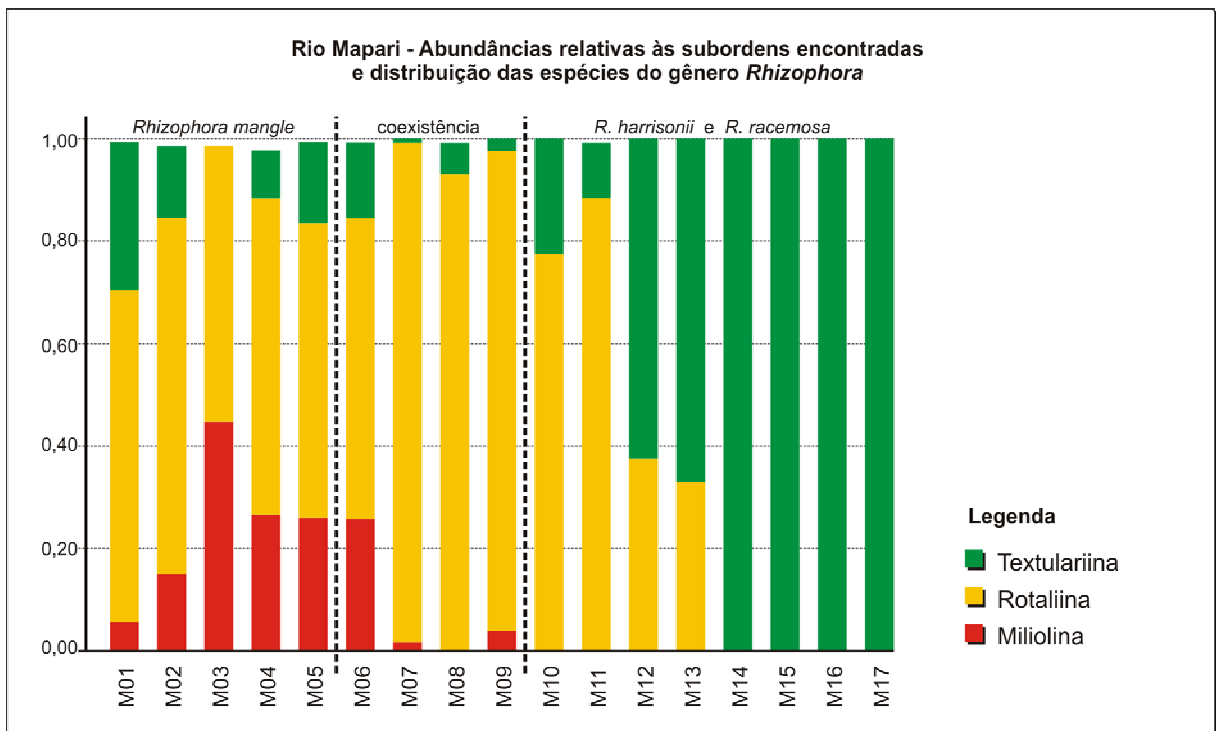


FIGURA 5.12 – Abundâncias relativas às três subordens encontradas nas amostras coletadas no rio Mapari e esquema da distribuição das espécies de *Rhizophora*.

BEGON et al. (2006) discutem a dificuldade de definir limites espaciais entre comunidades, afirmando ser quase impossível delimitá-las com clareza. Segundo estes autores, o caminho correto que o pesquisador deve seguir é buscar compreender os gradientes de transição entre elas. Sendo assim, percebemos que há grande coerência entre a distribuição das espécies de *Rhizophora* e de foraminíferos, sendo que as comunidades características são separadas por faixas de transição semelhantes. A distribuição dos foraminíferos compartimenta o estuário em maior número de faixas e com maior agudez, embora alguns dos limites não sejam abruptos.

### 5.2.3 – Ecofácies

Quatro *ecofácies* podem ser definidas com base nas associações de foraminíferos, incluindo também as características abióticas e o padrão de ocorrência do gênero *Rhizophora* (Figura 5.13). Desta forma, a *ecofácies* 1, que reúne as amostras M01 a M06, é dominada pela subordem Rotaliina, em especial pelas espécies *Nonion* sp. e *Elphidium gunteri*, contando com a presença de *Ammonia tepida*. As outras duas subordens também estão presentes, sendo representadas, principalmente por *Quinqueloculina seminulum* (Miliolina) e *Arenoparrella mexicana* (Textulariina). Os valores de salinidade variam de 22 (polihalino) a 37 (euhalino), e os de pH, de 7,5 a 8,1. Esta *ecofácies* 1 apresentou os maiores valores de diversidade ( $H'$  variou de 1,44 a 2,23;  $D$  variou de 0,48 a 0,69) e equitatividade ( $J'$  variou de 0,62 a 0,83;  $E$  variou de 0,62 a 0,84). HAYWARD & HOLLIS (1994) observaram essa relação entre diversidade e salinidade, confirmando que em ambientes com maior influência marinha as condições ambientais são menos estressantes para os foraminíferos.

Associa-se, ainda, à *ecofácies* 1 a ocorrência quase exclusiva da espécie *Rhizophora mangle*, sendo que as outras espécies deste gênero só aparecem, com raros indivíduos, no ponto M06, representando o gradiente de transição entre comunidades apontado por BEGON et al. (2006).

A *ecofácies* 2 reúne as amostras M07 a M11, e é marcada pelo domínio de *Nonion* sp. e *Elphidium gunteri*. Os valores de salinidade variam de 14 (mesohalino) a 21 (polihalino) e os de pH, de 7,2 a 7,8. Os valores de diversidade e equitatividade são menores que na *ecofácies* 1, variando de 0,88 a 1,46 ( $H'$ ), de 0,31 a 0,50 ( $D$ ), de 0,45 a 0,70 ( $J'$ ) e de 0,42 a 0,70 ( $E$ ). Esta *ecofácies* é caracterizada pela ocorrência das três espécies de *Rhizophora*, sendo que as amostras M10 e M11 constituem o gradiente transicional com a *ecofácies* 3, pela ausência de *Rhizophora mangle* e pelo aumento da abundância de *Miliammina fusca*.

A *ecofácies* 3, que reúne as amostras M12 a M16 é caracterizada por um ambiente de água doce a mesohalina, com salinidade variando de 0 a 10. Trata-se de um ambiente mais ácido, com pH variando de 6,3 a 7,0. Tais condições de salinidade são estressantes para a maioria das espécies de foraminíferos; os valores de pH são especialmente estressantes para os foraminíferos com tecas calcárias, o que resulta em índices de diversidade e de equitatividade muito baixos. A espécie característica desta *ecofácies* 3 é *Miliammina fusca*, que se mostra extremamente adaptada a estas condições adversas aos rotaliinos. Ela é

acompanhada por *E. gunteri* e *Nonion* sp. nas amostras M12 e M13, onde o pH se mantém em valores neutros (7,0 e 6,9, respectivamente).

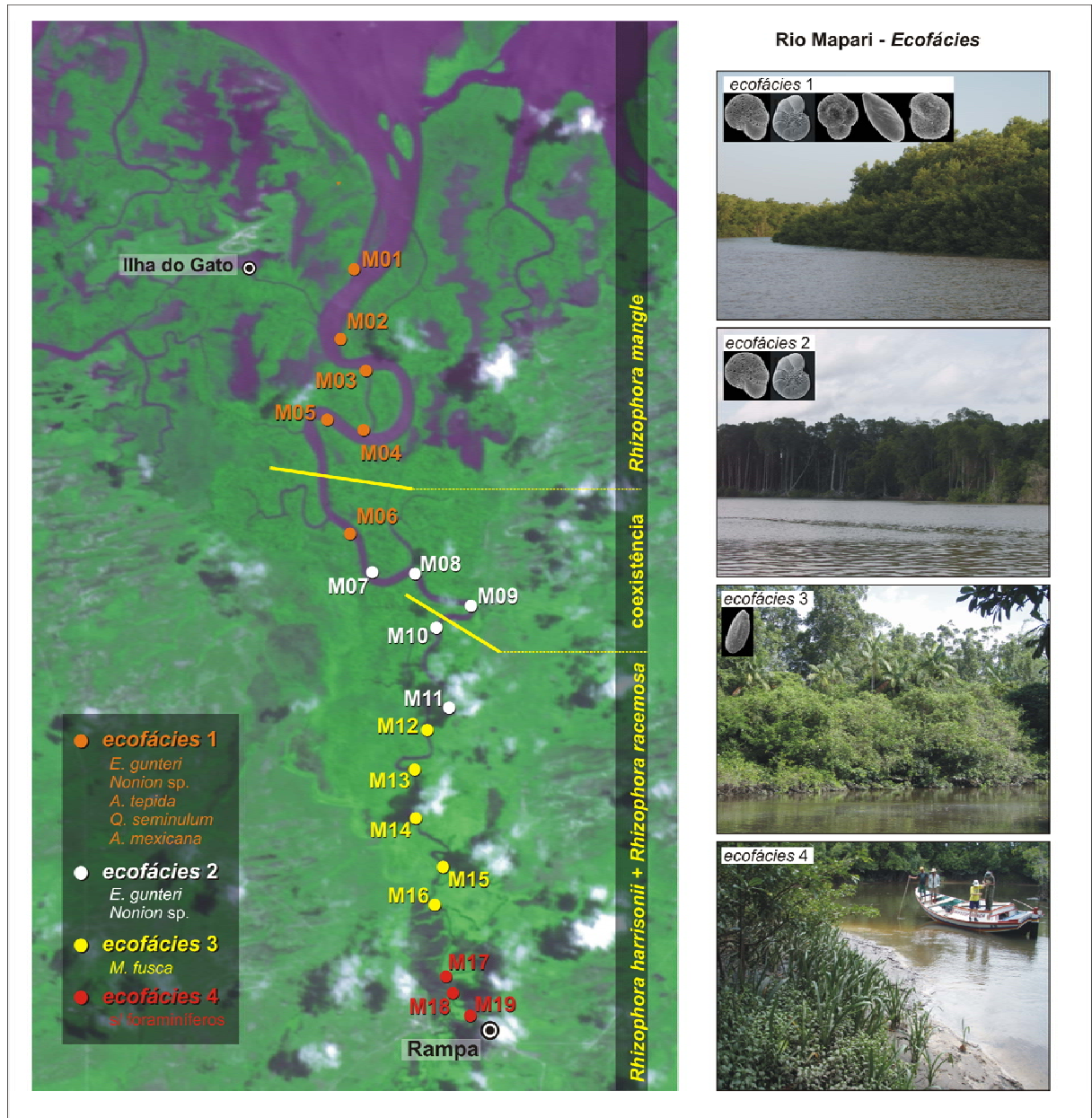


FIGURA 5.13 – Localização das amostras que definem as *ecofácies* delimitadas no rio Mapari, e as principais espécies de foraminíferos características de cada uma delas. As linhas amarelas marcam os limites de ocorrência das espécies do gênero *Rhizophora* e o trecho em que as três espécies coexistem.

A *ecofácies* 4 revela um ambiente de água doce, ácido (pH entre 6,2 e 6,3), marcado pela ausência de foraminíferos, tendo, como exceção, as duas tecas de *M. fusca* encontradas na amostra M17. Também é marcada, assim como a *ecofácies* 3, pela ocorrência de *Rhizophora harrisonii* e *Rhizophora racemosa*, e pela ausência de *Rhizophora mangale*. Estas duas *ecofácies* são ambientes onde poderia ser encontrada grande abundância de

tecamebas, que não fazem parte do escopo deste trabalho. O estudo destes organismos, entretanto, poderia gerar informações mais precisas sobre estas *ecofácies* com maior influência da água doce.

É possível demarcar o limite da influência efetiva da cunha salina no final da *ecofácies* 3 (ponto M16), onde os foraminíferos desaparecem. Tal marcador biótico é mais eficiente que medições episódicas da salinidade, parâmetro que sofre variações diárias, de acordo com o ciclo das marés, e sazonais. Também é mais preciso do que a vegetação, já que espécies características de manguezal são encontradas muito além do ponto M19, último ponto amostrado.

### 5.3 – Considerações gerais sobre os foraminíferos estudados

Foram triadas, ao todo, 3.224 tecas de foraminíferos, todos bentônicos, pertencentes a 31 espécies, de três subordens. As espécies mais abundantes foram, na seqüência: *Elphidium gunteri*, *Nonion* sp., *Miliammina fusca*, *Arenoparrella mexicana*, *Ammonia tepida* e *Quinqueloculina seminulum*.

Estas 31 espécies de foraminíferos se distribuíram por amostras coletadas em ambientes que, do ponto de vista da salinidade, variaram da água doce (onde há uma pequena influência da cunha salina) à hiperhalina. Os pontos em condições extremas não registraram a presença destes organismos, como os dois últimos pontos (M18 e M19) do rio Mapari e o ponto 29 do perfil Ilha do Gato. Em M18 e M19, a cunha salina parece não ter influência, sendo o ambiente de água doce, inviabilizando a ocorrência de foraminíferos e criando as condições preferenciais para a presença de tecamebas. No ponto 29 do perfil, além da salinidade elevada, 56, o tempo de exposição subaérea do sedimento, 93,45%, é outro fator estressante.

Um espectro de salinidade foi elaborado para ilustrar as ocorrências das espécies de foraminíferos encontradas no perfil Ilha do Gato e no rio Mapari, com relação aos diferentes valores de salinidade registrados (Figura 5.14). É possível perceber com clareza a preferência destes organismos pelas faixas de salinidade polihalina e euhalina, sendo que, nesta segunda, encontramos a maior riqueza de espécies. A única espécie que se restringiu à faixa mesohalina foi *Ammotium pseudocassis*.

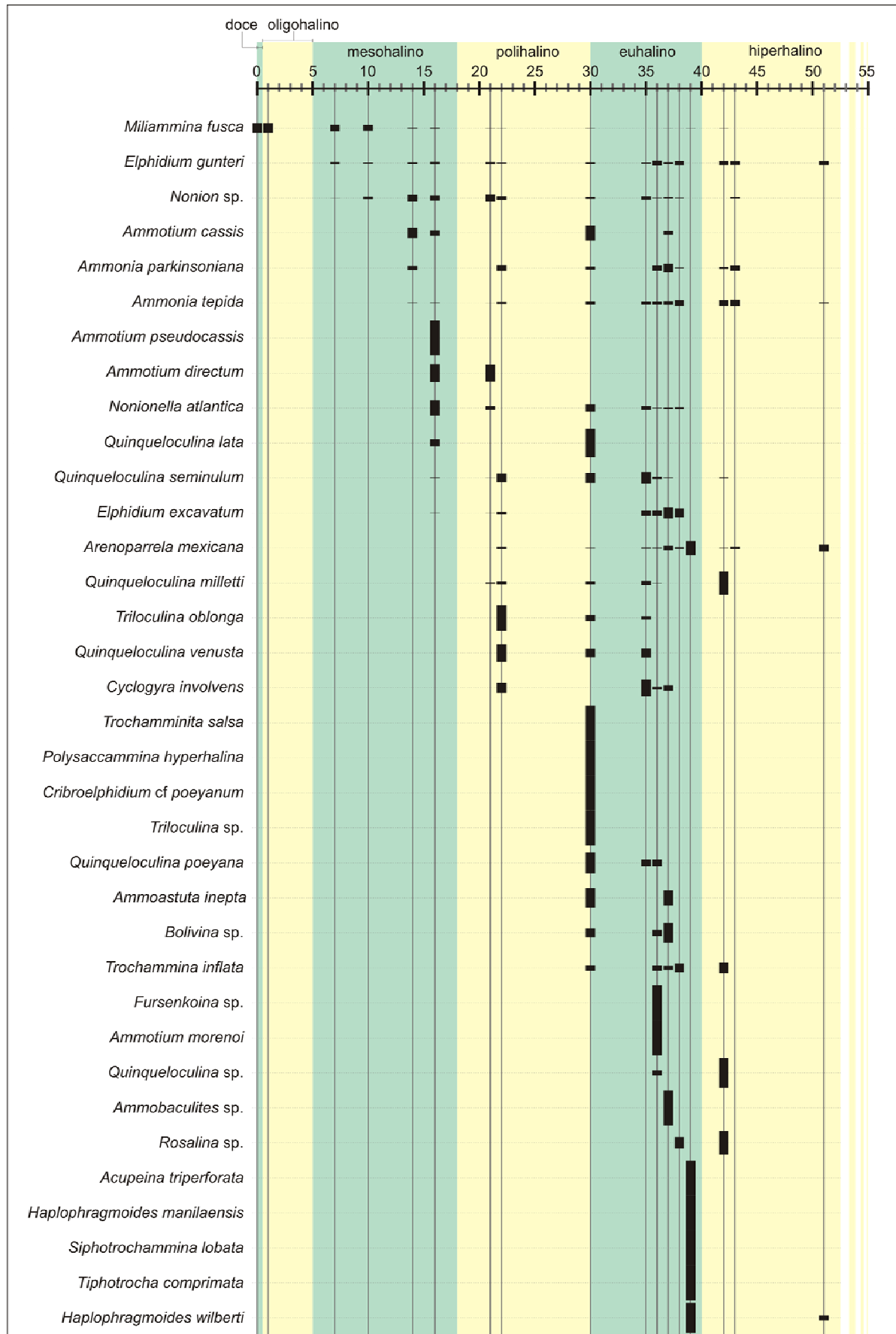


FIGURA 5.14 – Espectro de salinidade das espécies de foraminíferos encontradas no perfil Ilha do Gato e no rio Mapari.

O pH também exerceu controle sobre a distribuição, sendo que nos valores que tendem ao alcalino, os foraminíferos calcários dominaram. Essa condição se manteve por quase todo o perfil Ilha do Gato, sendo que no ponto que registrou o pH mais baixo, 7,0, a subordem Textulariina foi amplamente dominante. No rio Mapari, o pH acompanhou os valores de salinidade, sendo que ambos são fatores determinantes para a dominância de calcários nas *ecofácies* 1 e 2, e de aglutinantes na *ecofácies* 3.

É interessante observar que algumas espécies aglutinantes típicas de ambientes oligohalinos ocorreram nas partes topograficamente mais altas do perfil da Ilha do Gato, com salinidade euhalina. A ocorrência dessas espécies não pode ser atribuída à aloctonia, em função da distância dos pontos de ocorrência em relação ao canal estuarino (e conseqüente redução da força das correntes de inundação no interior do bosque, que supostamente poderiam ter arrastado as tecas), nem de criação de condições oligohalinas condicionadas pela zona supra-maré, como observado por SEMENSATTO-JR. et al. (2008) em Cananéia. A salinidade euhalina a hiperhalina é a condição reinante nestes pontos, evidenciados pelas crostas de sal observadas nas imediações dos pontos de coleta. Desse modo, registra-se no perfil da Ilha do Gato, a ocorrência expressiva de *A. mexicana* em condições de salinidade nunca encontradas em qualquer outra área de estudo, indicando a capacidade desta espécie em tolerar altos valores de salinidade.

É possível fazer uma comparação entre as associações de foraminíferos encontradas no rio Mapari e as encontradas no canal de maré que acompanha o perfil Ilha do Gato. Ambos partem de pontos euhalinos nas proximidades da Baía de Tubarão e seguem para montante, mas os pontos do rio Mapari seguem para o alto estuário onde a água é doce, enquanto os pontos do canal de maré da Ilha do Gato seguem em direção ao apicum hiperhalino. Essa situação distinta revela, entretanto, algumas semelhanças na distribuição das associações de foraminíferos. Em ambos os casos, a porção com maior influência marinha é dominada pela subordem Rotaliina, com presença significativa da subordem Miliolina e a subordem Textulariina representada principalmente pela espécie *Arenoparrella mexicana*. A porção intermediária de ambos é amplamente dominada pela subordem Rotaliina enquanto, na porção superior, há um domínio da subordem Textulariina.

Quando são analisadas as espécies, entretanto, é possível verificar algumas diferenças. No canal de maré da Ilha do Gato, a principal associação de rotaliinos é composta por *Elphidium gunteri* (amplamente dominante) e *Ammonia tepida*, sendo que *Nonion* sp. marca presença significativa apenas nos pontos 6, 16 e 18. No rio Mapari, entretanto, *E.*

*gunteri* alterna seu domínio com *Nonion* sp., enquanto *A. tepida* só apresenta abundância expressiva nos pontos mais próximos da baía de Tubarão.

A principal diferença entre o canal de maré da Ilha do Gato e o rio Mapari, entretanto, é verificada nas suas porções mais altas, ou seja, nos pontos mais próximos do apicum, no caso do canal de maré, e no alto estuário do rio Mapari. Tal diferença se deve às condições opostas da salinidade, sendo 37 no ponto 18 e 39 no ponto 25 do perfil, ou seja, próximas do hiperhalino, e variando do mesohalino à água doce nos pontos M12 a M16 do rio Mapari. Todos esses pontos foram dominados pela subordem Textulariina, mas os pontos 18 e 25 do perfil foram dominados por *Arenoparrela mexicana*, enquanto os pontos M12 a M16 do rio Mapari foram dominados por *Miliammina fusca*.



## 6 - SISTEMÁTICA

Ordem FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830

Subordem MILIOLINA Delage & Hérouard, 1896

Superfamília MILIOLACEA Ehrenberg, 1839

Família FISCHERINIDAE Millett, 1898

Gênero *Cyclogyra* Wood, 1842

*Cyclogyra involvens* (Estampa III, fig. 7-8)

Família HAUERINIDAE Schwager, 1876

Subfamília HAUERININAE Schwager, 1876

Gênero *Quinqueloculina* d'Orbigny, 1826

*Quinqueloculina lata* Terquem, 1878

*Quinqueloculina milletti* (Wiesner, 1912) (Estampa III, fig. 1)

*Quinqueloculina poeyana* d'Orbigny, 1839 (Estampa III, fig. 5-6)

*Quinqueloculina seminulum* (Linné, 1767) (Estampa III, fig. 2-4)

*Quinqueloculina* sp.

*Quinqueloculina venusta* Karrer, 1868

Subfamília MILIOLINELLINAE Vella, 1957

Gênero *Triloculina* d'Orbigny, 1826

*Triloculina oblonga* (Montagu, 1803) (Estampa III, fig. 9-11)

*Triloculina* sp. (Estampa III, fig. 12)

Subordem ROTALIINA Delage & Hérouard, 1896

Superfamília BOLIVINACEA Glaessner, 1937

Família BOLIVINIDAE Glaessner, 1937

Gênero *Bolivina* d'Orbigny, 1839

*Bolivina* sp.

Superfamília DISCORBACEA Ehrenberg, 1838

Família DISCORBIDAE Ehrenberg, 1838

Gênero *Rosalina* d'Orbigny, 1826

*Rosalina* sp. (Estampa II, fig. 7)

Superfamília FURSENKOINACEA Loeblich & Tappan, 1961

Família FURSENKOINIDAE Loeblich & Tappan, 1961

Gênero *Fursenkoina* Loeblich & Tappan, 1961

*Fursenkoina* sp.

Superfamília NONIONACEA Schultze, 1854

Família NONIONIDAE Schultze, 1854

Subfamília NONIONINAE Schultze, 1854

Gênero *Nonion* de Monfort, 1808

*Nonion* sp.

Gênero *Nonionella* Cushman, 1926

*Nonionella atlantica* Cushman, 1947

Superfamília ROTALIACEA Ehrenberg, 1839

Família ELPHIDIIDAE Galloway, 1933

Subfamília ELPHIDIINAE Galloway, 1933

Gênero *Criboelphidium* (Cushman & Brönnimann, 1948)

*Criboelphidium* cf. *poeyanum* (Estampa II, fig. 11)

Gênero *Elphidium* de Monfort, 1808

*Elphidium excavatum* Terquem, 1876 (Estampa II, fig. 1)

*Elphidium gunteri* Cole, 1931 (Estampa II, fig. 2-6)

Família ROTALIIDAE Ehrenberg, 1839

Subfamília AMMONIINAE Saidova, 1981

Gênero *Ammonia* Brünnich, 1772

*Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839) (Estampa II, fig. 9)

*Ammonia tepida* (Cushman, 1926) (Estampa II, fig. 10)

Subordem TEXTULARIINA Delage & Hérouard, 1896

Superfamília ASTRORHIZACEA Brady, 1881

Família POLYSACCAMMINIDAE Loeblich & Tappan, 1984

Gênero *Polysaccammia* Scott, 1976

*Polysaccammia hyperhalina* Medioli, Scott & Petrucci, 1983 (Est. I, f. 6)

Superfamília HAPLOPHRAGMIACEA Eimer & Fickert, 1899

Família ACUPEINIDAE Brönnimann & Zaninetti, 1984

Gênero *Acupeina* Brönnimann & Zaninetti, 1984

*Acupeina triperforata* (Millett, 1899)

Superfamília LITUOLACEA de Blainville, 1827

Família HAPLOPHRAGMOIDIDAE Maync, 1952

Gênero *Haplophragmoides* Cushman, 1910

*Haplophragmoides manilaensis* Andersen, 1952

*Haplophragmoides wilberti* Andersen, 1953 (Estampa I, fig. 3)

Gênero *Trochamminita* Cushman & Brönnimann, 1948

*Trochamminita salsa* (Cushman & Brönnimann, 1948)

Família LITUOLIDAE de Blainville, 1827

Subfamília AMMOASTUTINAE Loeblich & Tappan, 1984

Gênero *Ammoastuta* Cushman & Brönnimann, 1948

*Ammoastuta inepta* (Cushman & McCulloch, 1939) (Estampa I, fig. 7)

Subfamília AMMOMARGINULININAE Podobina, 1978

Gênero *Ammobaculites* Cushman, 1910

*Ammobaculites* sp.

Gênero *Ammotium* Loeblich & Tappan, 1953

*Ammotium cassis* (Parker, 1870) (Estampa I, fig. 9)

*Ammotium directum* (Cushman & Brönnimann, 1948) (Est. I, fig. 10-11)

*Ammotium morenoi* (Acosta, 1940) (Estampa I, fig. 8)

*Ammotium pseudocassis* (Cushman & Brönnimann, 1948)

Superfamília RZEHAKINACEA Cushman, 1933

Família RZEHAKINIDAE Cushman, 1933

Gênero *Miliammina* Heron-Allen & Earland, 1930

*Miliammina fusca* (Brady, 1870) (Estampa I, fig. 12-15)

Superfamília TROCHAMMINACEA Schwager, 1877

Família TROCHAMMINIDAE Schwager, 1877

Subfamília ARENOPARRELLINAE Saidova, 1981

Gênero *Arenoparrella* Andersen, 1951

*Arenoparrella mexicana* (Kornfeld, 1931) (Estampa I, fig. 1-2)

Subfamília ROTALIAMMININAE Saidova, 1981

Gênero *Siphotrochammina* Sauder, 1957

*Siphotrochammina lobata* (Saunders, 1957)

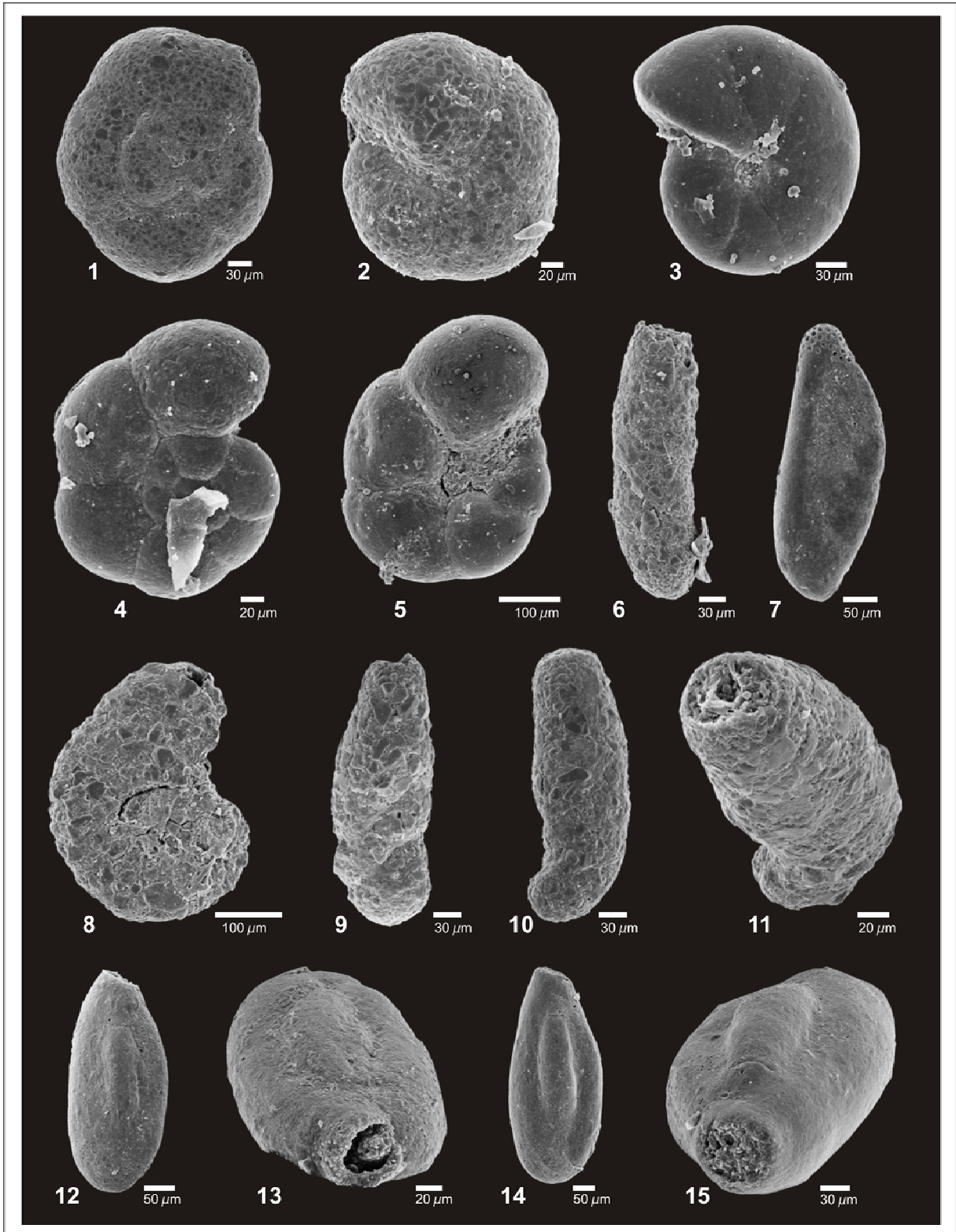
Gênero *Tiphotrocha* Saunders, 1957

*Tiphotrocha comprimata* (Cushman & Brönnimann, 1948)

Subfamília TROCHAMMININAE Schwager, 1877

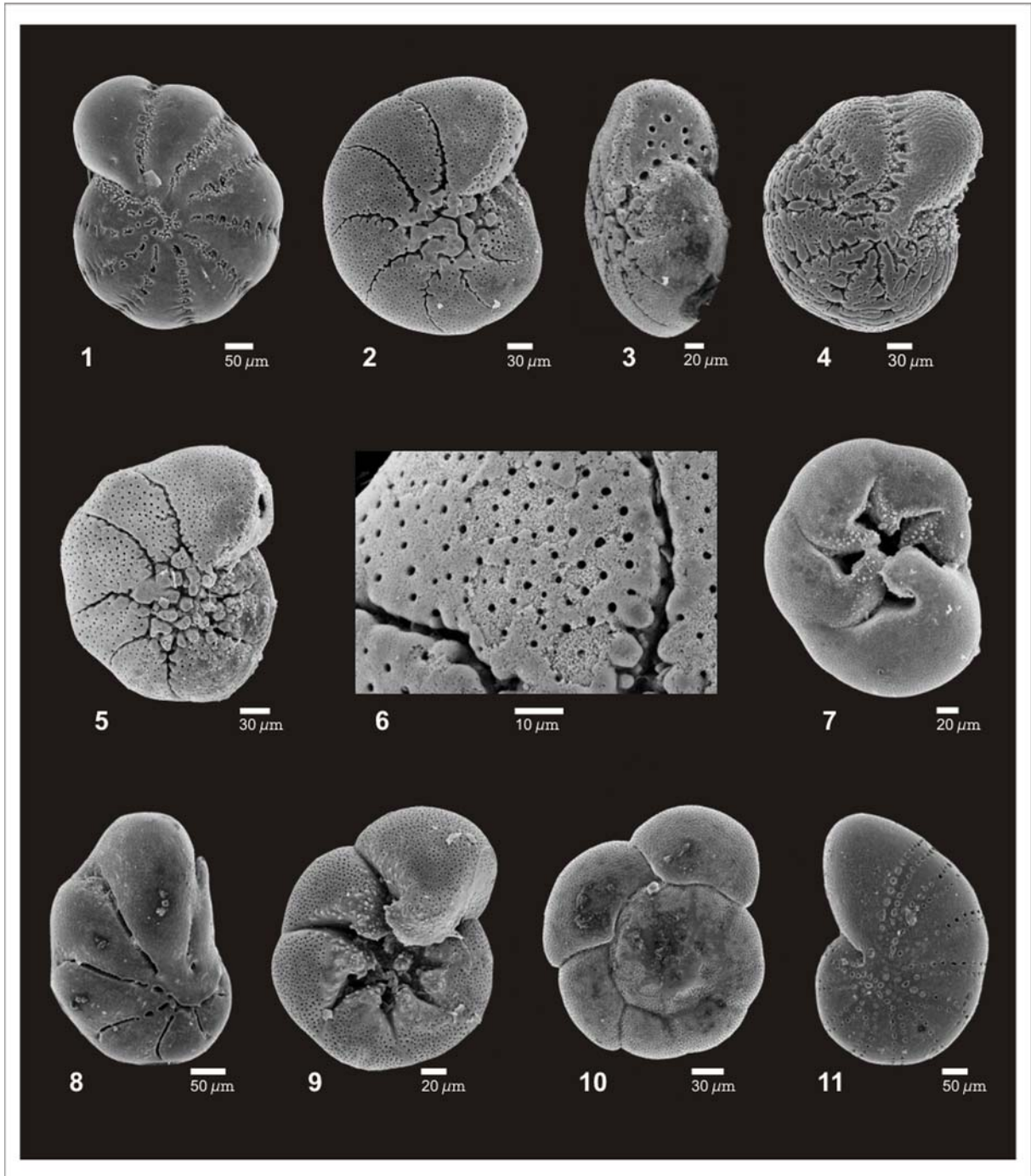
Gênero *Trochammina* Parker & Jones, 1859

*Trochammina inflata* (Montagu, 1808) (Estampa I, fig. 4-5)



### ESTAMPA I

1. *Arenoparrella mexicana* (amostra 18); 2. *Arenoparrella mexicana* (amostra 02); 3. *Haplophragmoides wilberti* (amostra 25); 4. *Trochammina inflata* (amostra 02); 5. *Trochammina inflata* (amostra 03); 6. *Polysaccammina hiperhalina* (amostra M04); 7. *Ammoastuta inepta* (amostra M04); 8. *Ammotium morenoi* (amostra B2); 9. *Ammotium cassis* (amostra M11); 10 e 11. *Ammotium directum* (amostra M06); 12 e 13. *Miliammina fusca* (amostras M12 e M15); 14 e 15. *Miliammina fusca* (ocorrência de encistação, amostra B1).



## ESTAMPA II

1. *Elphidium excavatum* (amostra M02); 2. *Elphidium gunteri* (amostra B3); 3. *Elphidium gunteri* (amostra 16); 4. *Elphidium gunteri* (amostra 06); 5. *Elphidium gunteri* (teca sofrendo dissolução, amostra 06); 6. *Elphidium gunteri* (detalhe da dissolução da teca calcária, amostra 06); 7. *Rosalina* sp. (amostra 10); 8. *Nonionella* sp. (amostra M01); 9. *Ammonia parkinsoniana* (amostra 06); 10. *Ammonia tepida* (amostra B2); 11. *Cribroelphidium* cf. *poeyanum* (amostra M04).



### ESTAMPA III

1. *Quinqueloculina milletti* (amostra 02); 2 a 4. *Quinqueloculina seminulum* (amostra B2); 5 e 6. *Quinqueloculina poeyana* (amostra B3); 7 e 8. *Cyclogyra involvens* (amostras M02 e M06); 9. *Triloculina oblonga* (amostra M02); 10 e 11. *Triloculina oblonga* (amostra M06); 12. *Triloculina* sp. (amostra M04).

## 7 – CONCLUSÕES

O perfil Ilha do Gato representa uma transversal com desnível (projeção vertical) de 4 metros, partindo da cota 1,4 m, na planície lamosa desprovida de vegetação, aproximadamente 30 cm acima do nível médio das marés baixas, até a cota 5,4 m, no apicium hiperhalino (supra-maré), aproximadamente 10 cm acima do nível médio das marés altas. Esse perfil não revela, com clareza, uma zonação na distribuição da comunidade de foraminíferos que possa ser facilmente relacionada ao tempo de exposição subaérea do sedimento. Os valores de salinidade variaram do euhalino ao hiperhalino em todo o perfil, não havendo relação direta deste parâmetro com as cotas altimétricas, sendo este um dos motivos prováveis para a homogeneidade da comunidade, em geral dominada pela associação *Elphidium gunteri* – *Ammonia tepida* – *Arenoparrella mexicana*. Os valores de pH tendem ao alcalino, variando de 7,0 a 8,1. A granulometria do sedimento também é constante, sendo classificada como lama (>95% de teor de lama). O índice de diversidade de Shannon-Wiener variou de 0,53 a 1,96, sendo que seus valores de equitatividade ( $J'$ ) variaram de 0,27 a 0,86. Para o índice de McIntosh modificado por Pielou, os valores variaram de 0,13 a 0,61. A equitatividade (E) variou de 0,18 a 0,87. Entretanto, as oito amostras coletadas no canal de maré que acompanha o perfil (3, 6, 10, 12, 14, 16, 18 e 25), apresentam um gradiente altimétrico e, conseqüentemente, de tempo de exposição subaérea. Estes pontos revelam uma zonação vertical, com o domínio da associação *Elphidium gunteri* – *Ammonia tepida* nas seis primeiras e de *Arenoparrella mexicana* nas duas últimas. Isso indica que um novo desenho experimental com a coleta ao longo do canal de inundação possa ser mais indicado para o estudo da zonação altimétrica da comunidade de foraminíferos em um ambiente marcado pela hipersalinidade, como o encontrado na Ilha do Gato.

*Elphidium gunteri* foi a espécie mais abundante no perfil, seguida por *Arenoparrella mexicana* e por *Ammonia tepida*. A subordem Rotaliina, a que pertencem a primeira e a terceira espécies mencionadas, totalizou 74,08% de abundância relativa.

*Arenoparrella mexicana* foi a única espécie registrada em todas as amostras, se mostrando euritópica. Entre as espécies da subordem Textulariina, foi a que melhor se adaptou às condições de elevada salinidade, sendo amplamente dominante. Há uma tendência de aumento da abundância de *A. mexicana* relacionada à elevação altimétrica. A ocorrência de *A. mexicana* nas salinidades registradas neste trabalho é incomum, não sendo do conhecimento do autor desta dissertação.

A subordem Miliolina se restringiu ao banco de lama e aos dois primeiros pontos do manguezal, sendo que sua espécie mais abundante, *Quinqueloculina seminulum* foi a segunda em abundância no ponto B2. É, portanto, verificada a afinidade desta subordem com a maior influência marinha.

Poucos indivíduos de *Haplophragmoides wilberti* foram amostrados, mas a maioria deles ocupou os pontos de mais elevada cota altimétrica, ressaltando sua capacidade de colonizar pontos com altos valores de tempo de exposição subaérea.

As amostras coletadas no rio Mapari revelam uma compartimentação em quatro *ecofácies*.

A *ecofácies* 1 reúne as amostras M01, M02, M03, M04, M05 e M06, representando a porção estuarina com maior influência marinha. É dominada pela associação *Elphidium gunteri* – *Nonion* sp., mas conta com participação bastante significativa da subordem Miliolina, além de registrar grande abundância de *Arenoparrella mexicana*. Os valores de salinidade variam do polihalino ao euhalino, e o pH tende ao alcalino (7,5 a 8,1). Apresenta os maiores índices de diversidade e equitatividade. A esta *ecofácies* é associada a dominância de *Rhizophora mangle*, sendo encontrada, apenas no ponto M06, a coexistência desta espécie com as outras espécies de *Rhizophora*.

A *ecofácies* 2 reúne as amostras M07, M08, M09, M10 e M11. É um ambiente de transição, variando de mesohalino a polihalino, onde a subordem Rotaliina é amplamente dominante, representada, principalmente pela associação *Nonion* sp. – *Elphidium gunteri*. As comunidades de foraminíferos apresentam índices de diversidade e equitatividade mais baixos que na *ecofácies* 1. Nesta porção do estuário, é verificada a coexistência de *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii* e *R. racemosa*.

A *ecofácies* 3 reúne as amostras M12, M13, M14, M15 e M16. É um ambiente com maior influência fluvial, que varia da água doce à mesohalina. O pH tende à acidez, reduzindo drasticamente a abundância da subordem Rotaliina. A espécie *Miliammina fusca* é amplamente dominante. *Rhizophora mangle* não é registrada, sendo verificada apenas a ocorrência de *R. harrisonii* e *R. racemosa*.

A *ecofácies* 4 reúne as amostras M17, M18 e M19 e é marcada pela ausência de foraminíferos. É um ambiente de água doce, embora ainda sejam encontrados muitos indivíduos do gênero *Rhizophora*, exceto *R. mangle*. O pH varia de 6,2 a 6,3.

*Miliammina fusca* é a espécie mais abundante no rio Mapari. *Nonion* sp. é ocupa a segunda colocação.



A associação dos gêneros *Elphidium* – *Ammonia*, características das porções polihalinas a euhalinas de estuários do mundo todo, está aqui representada por uma abundante associação *Elphidium gunteri* – *Ammonia tepida*.

*Quinqueloculina seminulum* confirma, neste estudo, sua afinidade com ambientes com forte influência marinha.

*Miliammina fusca*, ao contrário de *Q. seminulum*, é a espécie que domina os ambientes com maior influência fluvial.

Nos pontos onde a influência da cunha salina não é significativa, não é registrada a ocorrência de foraminíferos. O estudo das comunidades de tecamebas, em associação a este estudo, poderá trazer informações mais precisas sobre esta transição entre o ambiente estuarino e o estritamente fluvial.

Na área estudada do rio Mapari, os parâmetros abióticos estão em constante variação durante o dia, de acordo com o ciclo das marés e durante o ano, devido à marcada sazonalidade. É difícil compreender tal complexidade hidrodinâmica e hidroquímica com base apenas em dados abióticos, sendo que os foraminíferos se sustentam, neste trabalho, como eficientes e valiosas ferramentas para a constatação das condições dominantes do ecossistema.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVE, E. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sør fjord, Western Norway. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 21, n. 1, p.1-19, 1991

BARBOSA, C. F.; SCOTT, D. B.; SEOANE, J. C. S.; TURCQ, B. J. Foraminiferal zonation as base lines for quaternary sea-level fluctuations in south-southeast Brazilian mangroves and marshes. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 35, n.1, p. 22 – 43, 2005.

BARBOSA, C. F.; SEOANE, J. C. S. Micropaleontologia de foraminíferos do Quaternário. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. **Oceanografia: Um cenário tropical**. Recife: Edições Bagaço, 2004. p. 87–107.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology**. 4ª edição. Malden: Blackwell Publishing, 2006. 759 p.

BOOMER, I.; HORTON, B. P. Holocene relative sea-level movements along the North Norfolk Coast, UK. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n. 230, p. 32– 51, 2006.

BOLTOVSKOY, E. **Los foraminiferos recientes**. Argentina: EUDEBA – Universidade de Buenos Aires, 1965.

BOLTOVSKOY, E. Foraminifera of mangrove swamps. **Physis (Buenos Aires)**, Buenos Aires, v. 42, n. 102, p 1-9, 1984.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua das Marés – Terminal da Ponta da Madeira (Estado do Maranhão)**. Disponível em: < <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em outubro, 2008.

BRÖNNIMANN, P.; DIAS-BRITO, D.; MOURA, J.A. Estudos ecológicos na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil: Foraminíferos. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 2, 1981, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 861-875. 1981a.

BRÖNNIMANN, P.; DIAS-BRITO, D.; MOURA, J.A. Foraminíferos da fácies mangue da planície de maré de Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 2, 1981, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 877-891. 1981b.

BRÖNNIMANN, P.; WHITTAKER, J.E.; ZANINETTI, L. Brackish water foraminifera from mangrove sediments of Southwestern Viti Levu, Fiji Island, Southwest Pacific. **Révue de Paléobiologie**, Genebra, v. 11, n. 1, p. 13-65, 1992.

BUZAS, M.A.; HAYEK, L.A.C.; REED, S.A.; JETT, J.A. Foraminiferal densities over five years in the Indian River Lagoon, Florida: a model of pulsating patches. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 32, n. 1, p. 68-93, 2002.

CANN, J. H.; HARVEY, N.; BARNETT, E. J.; BELPERIO, A. P.; BOURMAN, R. P. Foraminiferal biofacies eco-succession and Holocene sealevels, Port Pirie, south Australia. **Marine Micropaleontology**, v. 44, p. 31–55, 2002.

CHÂTELET, E. A.; DEBENAY, J. P.; DEGRÉ, D.; SAURIAU, P. G. Utilisation des foraminifères benthiques comme indicateurs de paléo-niveaux marins. Étude du cas de l'anse de l'Aiguillon. **C. R. Palevol** 4, p. 209–223, 2005.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecology and management of New World mangroves. In: SEELIGER, U. (Ed.). **Coastal plant communities of Latin America**. Academic Press, San Diego, p. 233-258, 1983.

CLOSS, D. Foraminíferos e tecamebas da Lagoa dos Patos (RS). **Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre**, n. 11, p. 1-130, 1962.

CONAMA. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Resolução n. 303, de 20 de março de 2002. Publicação DOU n. 090, de 13/05/2002, p. 068.

DAY-JR, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YÁNEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine ecology**. USA: Wiley-Interscience, 1989. 558 p.

DEBENAY, J.P.; BICCHI, E.; GOUBERT, E.; CHÂTELET, E. A. Spatio-temporal distribution of benthic foraminifera in relation to estuarine dynamics (Vie estuary, Vendée, W France). **Estuarine, coastal and shelf science**. v. 67, p. 181–197, 2006.

DEBENAY, J.P.; EICHLER, B.B.; DULEBA, W.; BONETTI, C.; EICHLER-COELHO, P. Water stratification in coastal lagoons: its influence on foraminiferal assemblages in two Brazilian lagoons. **Marine Micropaleontology**, v. 35, p. 67-89, 1998.

DEBENAY, J.P.; GESLIN, E.; EICHLER, B.B.; DULEBA, W.; SYLVESTRE, F.; EICHLER, P. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (R.J.) Brazil. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 31, n. 2, p. 133-151, 2001.

DEBENAY, J.P.; GUILLOU, J. J. Ecological Transitions Indicated by Foraminiferal Assemblages in Paralic Environments. **Estuaries**. v. 25, n. 6A, p. 1107–1120, 2002.

DEBENAY, J.P.; GUIRAL, D.; PARRA, M. Ecological factors acting on the microfauna in mangrove swamps. The case of foraminiferal assemblages in French Guiana **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 4, p. 509-533, 2002.

DIAS-BRITO, D.; ZANINETTI, L. Étude géobotanique comparative de trois mangroves du littoral brésilien : Acupe (Bahia), Guaratiba (Rio de Janeiro) et Iguape (São Paulo). **Notes du Laboratoire de Paleontologie de l'Université de Genève**. v. 4, n. 6, p. 57–65, 1979.

DULEBA, W.; COIMBRA, J. C. S.; PETRI, S.; BARBOSA, C. F. Foraminíferos, tecamebas e ostracodes recentes utilizados como bioindicadores em estudos ambientais brasileiros. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. **Quaternário do Brasil**. 2<sup>a</sup> edição. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 176–201.

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

EDWARDS, R. J.; VAN-DE-PLASSCHE, O.; GEHRELS, W. R.; WRIGHT, A. J. Assessing sea-level data from Connecticut, USA, using a foraminiferal transfer function for tide level. **Marine Micropaleontology**, v. 51, p. 239–255, 2004a.

EDWARDS, R. J.; WRIGHT, A. J.; VAN-DE-PLASSCHE, O. Surface distributions of salt-marsh foraminifera from Connecticut, USA: modern analogues for high-resolution sea level studies. **Marine Micropaleontology**, v. 51, p. 1-21, 2004b.

EICHLER, P.P.B.; EICHLER, B. B.; MIRANDA, L. B.; RODRIGUES, A. R. Modern foraminiferal facies in a subtropical estuarine channel, Bertioiga, São Paulo, Brasil. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 37, n. 3, p. 234–247, July 2007.

FATELA, F.; TABORDA, R. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. **Marine Micropaleontology**, v. 45, p. 169-174, 2002.

FERREIRA, D. E. S.; LAUT, L. L. M.; CARVALHO, M. A.; SANTOS, V. F.; FIGUEIREDO-JR, A. G. Palynofacies and foraminifera as hydrodynamics indicators of Araguary estuary, Amazon coast, Amapá – Brazil. In: International Symposium on foraminifera – FORAMS 2006, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro, Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 29, p. 412–413, 2006.

FLEMMING, B.W. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. **Continental Shelf Research**, v. 20, p. 1125-1137, 2000.

GHOSH, A.; SAHA, S.; SARASWATI, P. K.; BANERJEE, S.; BURLEY, S. Intertidal foraminifera in the macro-tidal estuaries of the Gulf of Cambay: Implications for interpreting sea-level change in palaeo-estuaries. **Marine and Petroleum Geology** (2008) doi:10.1016/j.marpetgeo.2008.08.002.

GONZÁLES-REGALADO, M. L.; RUIZ, F.; BACETA, J. I.; GONZÁLES-REGALADO, E.; MUÑOZ, J. M. Total benthic foraminifera assemblages in the southwestern Spanish estuaries. **Geobios**, v. 1, n. 34, p. 39–51, 2000.

HAYWARD, B.W.; HOLLIS, C. Brackish foraminifera in New Zealand: a taxonomic and ecologic review. **Micropaleontology**, v. 40, n. 3, p. 185-222, 1994.

HAYWARD, B.; GRENFELL, H. R.; NICHOLSON, K.; PARKER, R.; WILMHURST, J.; HORROCKS, M.; SWALES, A.; SABA, A.T. Foraminiferal record of human impact on intertidal estuarine environments in New Zealand's largest city. **Marine Micropaleontology**, v. 53, n. 1-2, p.37-66, 2004.

HAYWARD, B.; GRENFELL, H. R.; SCOTT, D. B. Tidal range of marsh foraminifera for determining former sea-level heights in New Zealand. **New Zealand Journal of Geology & Geophysics**, v. 42, p. 395–413, 1999.

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**, n. 149, p. 127–149, 1998.

HORTON, B. P.; EDWARDS, R. J. Quantifying Holocene sea-level change using intertidal foraminifera: Lessons from the British Isles. **Cushman Foundation for Foraminiferal Research**. Special publication, n. 40, p. 1–97, 2006.

HORTON, B. P.; EDWARDS, R. J.; LLOYD, J. M. UK intertidal foraminiferal distributions: implications for sea-level studies. **Marine Micropaleontology**, v. 36, p. 205–223, 1999.

HORTON, B. P.; LARCOMBE, P.; WOODROFFE, S. A.; WHITTAKER, J. E.; WRIGHT, M. R.; WYNN, C. Contemporary foraminiferal distributions of a mangrove environment, Great Barrier Reef coastline, Australia: implications for sea-level reconstructions. **Marine Geology**, n. 198, p. 225–243, 2003.

HORTON, B. P.; MURRAY, J. W. Patterns in cumulative increase in live and dead species from foraminiferal time series of Cowpen Marsh, Tees Estuary, UK: Implications for sea-level studies. **Marine Micropaleontology**, v. 58, p. 287–315, 2006.

HORTON, B. P.; MURRAY, J. W. The roles of elevation and salinity as primary controls on living foraminiferal distributions: Cowpen Marsh, Tees Estuary, UK. **Marine Micropaleontology**, v.63, p. 169–186, 2007.

HORTON, B. P.; WHITTAKER, J. E.; THOMSON, K. H.; HARDBATTLE, M. I. J.; KEMP, A.; WOODROFFE, S. A.; WRIGHT, M. R. The development of a modern foraminiferal data set for sea-level reconstructions, Wakatobi Marine National Park, southeast Sulawesi, Indonesia. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 35, n.1, p. 1 – 14, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**. Brasília. 2007.

JENNINGS, A. E.; NELSON, A. R. Foraminiferal assemblages zones in Oregon tidal marshes: relation to marsh floral zones and sea level. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 22, n. 1, p. 13–29, 1992.

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.

KENEY, A.J.; KREBS, C.J. **Ecological Methodology**. Vancouver: University of British Columbia, 1998. 2 disquetes.

KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. **Mangroves of Brazil**. Mangrove Ecosys Tech Rep 2, p. 245–272, 1993.

LLOYD, J. Combined foraminiferal and thecamoebian environmental reconstruction from an isolation basin in NW Scotland: implications for sea-level studies. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 30, n. 4, p. 294–305, 2000.

LOEBLICH-JR, A. R.; TAPPAN, H. **Foraminiferal genera and their classification**. New York: Van Reinhold, 969 p. 1988.

MAGURRAN, A. E. **Diversidad ecológica y su medición**. Barcelona: Vedar, 1989. 169 p.

MARANHÃO, GEAGRO. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. LABOHIDRO, Departamento de Oceanografia e Limnologia, UFMA. São Luís, 2003.

MASSEY, A. C.; GEHRELS, W. R.; CHARMAN, D. J.; WHITE, S. V. An intertidal foraminifera-based transfer function for reconstructing Holocene sea-level change in southwest England. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 36, n. 3, p. 215-232, 2006.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EdUSP, 2002. 414p.

MORVAN, J.; DEBENAY, J. P.; JORISSEN, F.; REDOIS, F.; BÉNÉTEAU, E.; DELPLANCKE, M.; AMATO, A. S. Patchiness and life cycle of intertidal foraminifera: implication for environmental and paleoenvironmental interpretation. **Marine Micropaleontology**, v. 61, p. 131–154, 2006.

OLIVEIRA, D. de. **Análise ambiental dos canais da bacia hidrográfica do rio Itanhaém – SP, Brasil, com base em tecamebas e foraminíferos**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

OLIVEIRA, V. M.; REBELO-MOCHEL, F. Macroendofauna bêntica de substratos móveis de um manguezal sob impacto das atividades humanas no sudoeste da ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v.12, p. 75-93. 1999.

PATTERSON, R.T.; FISHBEIN, E. Re-examination of the statistical methods used to determine the number of points counts needed for micropaleontological quantitative research. **Journal of Paleontology**, v. 63, n. 2, p. 245-248, 1989.

REBELO-MOCHEL, F. Mangroves of Maranhão State, North Brazil. In: LACERDA, L. D.; FIELD, C. D. (Ed.). **Mangrove Ecosystems Proceedings**. Okinawa: ISME, Japan. 1, p. 14, 1993.

REBELO-MOCHEL, F. **Endofauna do manguezal**. São Luís: EDUFMA, 1995a. 121p.

REBELO-MOCHEL, F. Manguezais do Maranhão: proteção e desenvolvimento. **Manguezais frontais da costa do Pará-Maranhão: razões da proteção integrada**. Anais da 47<sup>a</sup> Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. São Luís, MA, Brasil, p. 15-16, 1995b.

REBELO-MOCHEL, F. Mangrove Ecosystems on São Luís Island, Maranhão, Brazil. In: KJERFVE, L.; LACERDA, L. D.; DIOP, H. S (eds.). **Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa**. Paris, UNESCO. 1997.

REBELO-MOCHEL, F. **Caracterização espectral e mapeamento dos manguezais por sensoriamento remoto na Baía de Turiaçu, Maranhão, Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 153 p. 1999.

REBELO-MOCHEL, F. Caracterização e mapeamento de marismas associados aos estuários e manguezais da baía de Turiaçu, Maranhão, Brasil, usando sensoriamento remoto. In: **V Workshop ECOLAB – Ecossistemas Costeiros Amazônicos**, Macapá/AP. Boletim de resumos. 2000.

REBELO-MOCHEL, F.; CUTRIM, M. V. J.; CORREIA, M. M. F.; IBAÑEZ, M. S. R.; AZEVEDO, A. C. G.; OLIVEIRA, V. M.; PESSOA, C. R. D.; MAIA, D.C.; SILVEIRA, P. C.; IBAÑEZ-ROJAS, M. O. A.; PACHECO, C. M.; COSTA, C. F. M.; SILVA, L. M.; PUISECK, A. M. B. Degradação dos manguezais da Ilha de São Luís (MA): processos naturais e antrópicos.. In: Prost, M. T. e Mendes, A. C.. (Org.). **Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental**. 1ª edição. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002, v. 1, p. 113-131.

REBELO-MOCHEL, F.; PONZONI, F. J. Spectral characterization of mangrove leaves in the Brazilian Amazonian Coast: Turiaçu Bay, Maranhão State. **Anais de Academia Brasileira de Ciências**, v.79, n. 4, p. 683-692. 2007.

RUIZ, F.; GONZÁLEZ-REGALADO, M.L.; PENDÓN, J.G.; ABAD, M.; OLÍAS, M.; MUÑOZ, J.M. Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene reconstructions. **Quaternary International**, v. 140-141, p. 21-36, 2005.

SANTA-CRUZ, J. **Foraminíferos atuais em um manguezal impactado por petróleo 20 anos atrás: o Rio Iriri, Canal de Bertiooga, Santos-SP**. 2004, 142 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SANTOS, M. C. F. V. Considerações sobre a ocorrência de *Rhizophora harrisonii* (LEECHMAN) e *Rhizophora racemosa* (G. F. W. MEYER), no litoral do estado do Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 7, p. 71-91, 1986.

SANTOS, M. C. F. V.; ZIEMAN, J. C.; COHEN, R. R. H. Interpreting the upper mid-littoral zonation patterns of mangroves in Maranhão (Brasil), in response to microtopography and hydrology. In: KJERFVE, L.; LACERDA, L. D.; DIOP, H. S (eds.). **Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa**. Paris, UNESCO. 1997.

SARR, R.; DEBENAY, J. P.; SOW, E. H. Enregistrement des fluctuations du niveau marin dans l’Holocène supérieur du lac Retba (Sénégal) par les foraminifères. **Revue de Micropaléontologie** (2007), doi:10.1016/j.revmic.2007.01.008.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com ênfase no ecossistema manguezal**. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. Publicação especial, 7. 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: Ecossistema entre a terra e o mar**. Caribbean Ecological Research. São Paulo. 64 p. 1995.

SCOTT, D. B.; COLLINS, E. S.; DUGGAN, J.; ASIOLI, A.; SAITO, T.; HASEGAWA, S. Pacific rim marsh foraminiferal distributions: Implications for sea-level studies. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n.4, p. 850-861. 1996.

SCOTT, D.B.; HASEGAWA, S.; SAITO, T.; ITO, K.; COLLINS, E. Marsh foraminiferal and vegetation distributions in Nemuro Bay wetland areas, eastern Hokkaido. **Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan**, v. 180, p. 282-295, 1995.

SCOTT, D.B.; MEDIOLI, F.S. Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea level. **Nature**, v. 272, n. 5653, p. 528-531, 1978.

SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S. Quantitative studies of marsh foraminiferal distribution in Nova Scotia: implications for sea level studies. **Cushman Foundation for Foraminiferal Research** (publicação especial). Washington, 57 p., 1980a.

SCOTT, D.B.; MEDIOLI, F.S. Living vs. total foraminiferal populations: their relative usefulness in Paleocology. **Journal of Paleontology**, v. 54, n. 4, p. 814-831, 1980b.

SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S.; SCHAFER, C. T. **Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators**. Cambridge University Press. 177 p., 2001.

SCOTT, D. B.; TOBIN, R.; WILLIAMSON, M.; MEDIOLI, F. S.; LATIMER, J. S.; BOOTHMAN, W. A.; ASIOLI, A.; HAURY, V. Pollution monitoring in two north american estuaries: historical reconstructions using benthic foraminifera. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 35, no. 1, p. 65-82, January 2005.

SEMENSATTO-JR, D. L. **O sistema estuarino do delta do Rio São Francisco (SE): análise ambiental com base no estudo de foraminíferos e tecamebas**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 223 p. 2006.

SEMENSATTO-Jr., D.L.; DIAS-BRITO, D. Análise ambiental de uma área parálisa no delta do Rio São Francisco, Sergipe-Brasil, com base na sinecologia de foraminíferos e tecamebas (Protista). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 7, n. 1, p. 53-66, 2004.

SEMENSATTO-JR., D. L.; FUNO, R. H. F.; DIAS-BRITO, D.; COELHO-JR, C. Foraminiferal ecological zonation along a Brazilian mangrove transect: Diversity, morphotypes and the influence of subaerial exposure time. **Revue de Micropaléontologie** (2008), doi:10.1016/j.revmic.2008.06.004

SILVA, C. A.; LACERDA, L. D.; REZENDE, C.E. Metals reservoir in a red mangrove Forest. **Biotropica** 22, p. 339-345, 1990.

SOUTHALL, K. E.; GEHRELS, W. R.; HAYWARD, B. W. Foraminifera in a New Zealand salt marsh and their suitability as sea-level indicators. **Marine Micropaleontology**, v. 60, p.167-179. 2006.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 2003. 400p.



VANCE, D. J.; CULVER, S. J.; CORBETT, D. R.; BUZAS, M. A. Foraminifera in the Albemarle Estuarine System, North Carolina: distribution and recent environmental change. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 36, n. 1, p. 15–33, 2006.

WILSON, B.; MILLER, K.; THOMAS, A. L.; COOKE, N.; RAMSINGH, R. Foraminifera in the mangal at the Caroni Swamp, Trinidad: diversity, population structure and relation to sea level. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 38, n. 2, p. 127–136, 2008.

WOODROFFE, S.A.; HORTON, B.P.; LARCOMBE, P.; WHITTAKER, J. Intertidal mangrove foraminifera from the central Great Barrier Reef shelf, Australia: implications for sea-level reconstructions. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 35, n. 3, p. 259-270, 2005.

YANKO, V., KRONFELD, J.; FLEXER, A. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 24, n. 1, p 1-17, 1994.

ZANINETTI, L.; BRÖNNIMANN, P.; DIAS-BRITO, D.; ARAI, M.; CASALETTI, P.; KOUTSOKOS, E.; SILVEIRA, S. Distribution écologique des foraminifères dans la mangrove d'Acupe, Etat de Bahia, Brésil. **Notes du Laboratoire de Paléontologie de l'Université de Genève**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 1979.