

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS TEÓRICOS

Os ambientes estuarinos podem ser definidos de várias maneiras de acordo com a formação do especialista. Do ponto de vista geológico os estuários são feições efêmeras, cujo tempo de existência depende do balanço entre as taxas de sedimentação e as taxas de subida/descida do nível do mar. Em períodos de estabilidade do nível do mar, os estuários tendem a ser preenchidos pelos sedimentos trazidos pelas correntes de maré e pelos rios que deságuam no estuário. Este processo de preenchimento é complexo e dependente de diversos fatores, tais como: configuração geológica da costa, morfologia da plataforma interna, variação relativa do nível do mar nos últimos milênios, dinâmica costeira (ondas, marés e correntes) e sedimentos (Roy, 1984).

Para a oceanografia física, conforme Cameron e Pritchard (1963 *apud* Miranda *et al.*, 2002) o estuário é definido como sendo um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. Dentro dele a água do mar é diluída mensuravelmente pela água fluvial proveniente da drenagem continental, podendo sustentar espécies biológicas eurihalinas durante uma parte ou por todo o seu ciclo de vida.

Os processos de assoreamento podem ser estudados em diversas escalas temporais, desde um ciclo de maré até milênios. A integração dessas escalas temporais é fundamental para compreender as tendências evolutivas do estuário, os processos oceanográficos e a dinâmica dos sistemas deposicionais associados.

Os foraminíferos são microrganismos que têm sua distribuição sinologicamente (fatores bióticos e abióticos) controlada nos ambientes costeiros e estuarinos. Dentre os fatores bióticos, pode-se citar a endossimbiose, além de outros comportamentos apresentados pelos foraminíferos relacionados com outros organismos vivos em seu habitat (Bernhard, 2003; Goldbeck *et al.*, 2005; Laut *et al.*, 2007). Os ambientes costeiros e estuarinos são controlados pelas variações físico-químicas (fatores

abióticos) influenciadas da origem marinha e fluvial, gerando diferentes gradientes de salinidade, temperatura, luz, natureza do *substrato*, teor de carbono orgânico, pH, Eh, amplitude das marés, turbulência da água e mudanças climáticas. Os foraminíferos respondem as variações desses fatores ambientais, com mudanças em suas associações (Murray, 1973, 1991; Debenay, 1988; Murray, 2003; Langezaal *et al.*, 2004; Langezaal *et al.*, 2005; Leorri *et al.*, 2006; Hallock *et al.*, 2006; Heino e Mykra, 2006; Topping *et al.*, 2006; Carman, 2007; Horton e Murray, 2007; Wilson, 2007; Holcová e Zágoršek, 2008; Pascal *et al.*, 2008; Bouchet *et al.*, 2009; Frenzel *et al.*, 2009) e em seus aspectos morfológicos, tais como, tamanho e espessura da carapaça (Bernhard, 1986; Boltovskoy *et al.*, 1991). Dados morfológicos, como tamanho das carapaças, textura, quantidade e tamanho de poros, grau de deformidade das carapaças, podem também ser utilizados para evidenciar variações paleoambientais ao longo do Quaternário (Bernhard, 1986; Duleba *et al.*, 1999c).

Em áreas estuarinas podem ser definidos sub-ambientes através das associações de foraminíferos (Barbosa e Suguio, 1999). Esses organismos têm sido amplamente estudados em todo o mundo, como biomarcadores e indicadores, particularmente em ambientes marinhos ou costeiros (Culver e Buzas, 1980; Alve, 1999). Em face dessas características, os foraminíferos são considerados bons indicadores ambientais, permitindo não somente acompanhar a história evolutiva de ambientes costeiros (Pawlowski *et al.*, 2003), bem como monitorar a um custo muito baixo o impacto antrópico nesses ambientes (Alve, 1995b). Através de análises isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) em suas carapaças fornecem dados de paleotemperatura, paleosalinidade, paleopropriedade, paleoprodutividade e das propriedades químicas das massas d'água pretéritas (Cornfield, 1995; Langer, 1999; Lea, 1999; Wefer *et al.*, 1999; Wolff *et al.*, 1999), possibilitando realizar reconstruções paleoambientais (Scott e Medioli, 1980a; Murray, 1991; Cahuzac e Poignant, 2005; Vénec-Peyré *et al.*, 2006; Violanti *et al.*, 2007; Toledo *et al.*, 2007; Pascal *et al.*, 2008, Rivers *et al.*, 2009).

Em vida os foraminíferos participam ativamente da ciclagem do material orgânico, com um ciclo reprodutivo de 6 meses a 1 ano (Yanko *et al.*, 1999) e após a morte, desde que não sofram a dissolução de suas carapaças,

passam a fazer parte constituinte dos sedimentos marinhos. As carapaças dos foraminíferos, geralmente, permanecem bem preservadas após a morte, podendo ser utilizadas para classificar estratos de antigos ambientes deposicionais e auxiliar no reconhecimento de depósitos naturais de hidrocarbonetos.

Os foraminíferos bentônicos constituem também uma ferramenta valiosa para reconstrução de parâmetros paleoceanográficas (Gooday, 2003), incluindo a paleo-oxigenação (Kaiho, 1994; Bernhard *et al.*, 1997; Jorissen, 1999; Dulk Den *et al.*, 2000; Gooday, 2003; Schmiedl *et al.*, 2003), bem como condições de produtividade atual e pretérita (Herguera e Berger, 1991; Loubère, 1999; Loubère *et al.*, 2003; Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008). A entrada de matéria orgânica e a oxigenação do fundo e intersticial entre sedimento-água, regulam a densidade de fauna, a composição e distribuição vertical no sedimento (Jorissen *et al.* 1995, Fontanier *et al.*, 2002). Altas densidades de foraminíferos bentônicos em ambientes deficientes de oxigênio têm sido descritas por vários autores (Phleger e Soutar, 1973; Bernhard, 1993; Sen Gupta e Machain-Castillo, 1993; Alve, 1994, 1995a, Bernhard *et al.*, 1997; Bernhard e Sen Gupta, 1999; Gooday *et al.*, 2000). Conhecendo a taxa de sedimentação e a taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR) no sistema, possibilita também, o cálculo da densidade de foraminíferos para o Quaternário: holocênico (número de espécimes/cm²/ano) (Tsujimoto *et al.*, 2008) e pleistocênico (número de espécimes/cm² por mil anos) (Herguera e Berger, 1991; Kim e Kucera, 2000, Hayward *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2005). Sabendo-se os valores de BFAR, pode-se estimar a produtividade ou paleoprodutividade (Altenbach e Sarnthein, 1989; Berger e Wefer, 1990; Herguera, 1992, 2000; Li *et al.*, 2005; Bubenshchikova *et al.*, 2008) e interpretar regiões eutrofizadas devido ao alto *input* ou alta entrada de matéria orgânica no sistema (Tsujimoto *et al.*, 2008).

Tais, organismos, têm sido amplamente utilizados também em estudos de áreas impactadas por poluição orgânica e inorgânica (Alve, 1991, 1995a, 1995b; Debenay *et al.*, 2001a; Bergin *et al.*, 2006; Mojtahid *et al.*, 2008; Romano *et al.*, 2008; Frontalini *et al.*, 2009). Ao redor de todo o mundo as áreas costeiras geralmente são utilizadas para implantação de grandes pólos industriais e como vias de acesso e escoamento de produtos importados e

exportados, ou estabelecimento de grandes áreas urbanas e, através do estudo dos foraminíferos recentes, é possível encontrar bons indicadores biológicos para monitorar impactos ambientais nessas áreas.

Além disto, os foraminíferos podem ser também amplamente utilizados na compreensão dos processos de sedimentação costeira e reconstrução da história geológica dos ambientes marinhos (Ellison e Nichols, 1970; Petri e Suguio, 1973; Nichols, 1974; Erskian e Lipps, 1977; Suguio *et al.*, 1975, 1979; Murray, 1989). Eles também são utilizados na análise dos processos a que são submetidos os substratos marinhos, estimativa das influências marinhas nos estuários e ambientes lagunares (Closs, 1963; Closs e Madeira, 1966, 1967; Madeira, 1969; Forti e Roettger, 1967; Scott *et al.*, 1980; Brönnimann *et al.*, 1981; Debenay *et al.*, 1987; Debenay, 1990) e na determinação apurada das variações do nível do mar (Scott e Medioli, 1978; Jennings e Nelson, 1992; Horton, 1999; Patterson *et al.*, 2000; Gehrels *et al.*, 2001; Barbosa *et al.*, 2005; Woodroffe *et al.*, 2005; Horton e Edwards, 2006; Horton *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2008; Kemp *et al.*, 2009).

Outro grupo de importância ambiental e algumas vezes associado aos foraminíferos é o das tecamebas. Tecameba (Filo Protozoa, Subfilo Sarcodina, Classe Rhizopoda) é um termo informal empregado para designar um grupo de organismos unicelulares (protozoários testáceos) (Medioli e Scott, 1988) que teve sua origem nos mares Pré-Cambriano (Porter e Knoll, 2000). Este grupo se restringe a ambientes de água doce ou com salinidades menores que cinco (Prowazek, 1910; Cunha, 1913; Petri, 1979; Medioli e Scott, 1988; Asioli *et al.*, 1996; Velho *et al.*, 1996; Kliza e Schröder-Adams, 1999; Patterson e Kumar, 2000; Charman, 2001; Lansac-Tôha *et al.*, 2007). Os principais fatores ambientais que controlam a distribuição de tecamebas são o conteúdo de oxigênio, a temperatura de água doce e o tipo de substrato (Scott e Medioli, 1983; Patterson *et al.*, 1985, 1996; Medioli *et al.*, 1990a; Collins *et al.*, 1990; McCarthy *et al.*, 1995; Holcová, 2007). Além de rios e lagos, as tecamebas podem ser encontradas em poças de água, água de esgoto, musgos, cascas de árvores e em solos úmidos (Bonnet, 1974; Odgen e Hedley, 1980; Medioli e Scott, 1983; Patterson *et al.*, 1985, 1996).

As tecamebas são pouco estudadas e o conhecimento destes organismos em regiões brasileiras ainda é muito escasso. Os primeiros

registros das tecamebas no Brasil foram feitos por Ehrenberg (1841 *apud* Velho *et al.*, 1996), Prowazek (1910) e Cunha (1913). Intensos estudos foram realizados em ambientes aquáticos de sedimentos costeiros e estuarinos (Barbosa, 1991, 1995; Disaró, 1995; Hardoim, 1997, Eichler-Coelho *et al.*, 1997; Oliveira, 1999, Lansac-Tôha *et al.*, 2001; Jaworski, 2001; Barbosa *et al.*, 2005; Jaworski e Eichler, 2005) e de água doce (Oliveira, 1999; Lansac-Tôha *et al.*, 2007). Estudos com tecamebas sub-recentes em testemunhos foram detectados por Duleba (1997) na região estuarina de Cananéia-Iguape (SP). Oliveria (1999) realizou um trabalho de análise ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém - SP e apresentou uma sistemática mais atualizada deste grupo.

Alguns pesquisadores não estudam as tecamebas por acharem difícil a sua triagem e pelo fato também, de suas carapaças serem muito frágeis, não preservando em sedimentos mais antigos. No entanto, isto é um mito e enorme equívoco (Medioli *et al.*, 1990b; Porter e Knoll, 2000). Tecamebas, apesar de serem mais frágeis à abrasão mecânica, são muito mais resistentes em pH baixo que moluscos e ostracodes (Medioli e Scott, 1988).

Mundialmente existe a carência de trabalhos com tecamebas, embora sejam consideradas bons indicadores de aporte fluvial em regiões esturianas e úteis em estudos de mudanças nos parâmetros limnológicos (Petri, 1979; Eichler-Coelho, 1996), em estudos sobre o nível do mar (Gehrels *et al.*, 2001; Lloyd, 2000, Nixon *et al.*, 2009), na reconstrução de paleoambientes (Medioli e Scott, 1988; Asioli *et al.*, 1996; Kliza e Schröder-Adams, 1999; Patterson e Kumar, 2000, Charman, 2001), na detecção de ambientes deteriorados (Asioli *et al.*, 1996) e como indicadores de metais pesados em ambientes poluídos (Patterson *et al.*, 1996; Reinhardt *et al.*, 1998; Patterson e Kumar, 2000).

Os principais fatores ambientais que controlam a distribuição de tecamebas são o conteúdo de oxigênio, a temperatura de água doce e o tipo de substrato (Scott e Medioli, 1983; Patterson *et al.*, 1985, 1996; Medioli *et al.*, 1990a; Collins *et al.*, 1990; McCarthy *et al.*, 1995, Holcová, 2007).

Apesar desta divisão geral de vários anos de estudos, há registros de que as tecamebas em ambientes costeiros, particularmente manguezais, têm um potencial para registros em estudos relacionados às variações do nível do mar (Patterson *et al.*, 1985; Charman *et al.*, 1998), até porque as carapaças

das tecamebas não se alteram lentamente com o tempo e numerosas formas são preservadas ou fossilizadas (Boeuf e Gilbert, 1997; Gilbert *et al.*, 2000).

Algumas das razões que ocasionam o aumento de interesse neste grupo é a sua abundância e, dependendo do ambiente, porque apresentam excelente potencial de preservação, particularmente no Quaternário superior e em sedimentos holocênicos (Patterson *et al.*, 1985), além de procedimentos e métodos de amostragem relativamente simples (Medioli e Scott, 1988; Patterson e Kumar, 2000).

Asioli *et al.* (1996) e Reinhardt *et al.* (1998) observaram variações morfológicas particulares dentro de muitas espécies de tecamebas. Tais tipos de variações têm desenvolvido respostas diferentes aos ambientes que podem ser estressados naturalmente e/ou com presença de poluentes químicos no substrato. Burbidge e Schröder-Adams (1998), Dallimore *et al.* (2000) e Dallimore (2004), também inferiram que as espécies de tecamebas são sensíveis às mudanças ambientais originando morfotipos, devido às várias características morfológicas. Medioli (1997) foi o primeiro pesquisador a introduzir esse conceito taxonômico de tendência ou tipo aplicado em tecamebas.

Conforme Asioli *et al.* (1996), os termos fenótipo e ecofenótipo indicam o produto da influência do meio ambiente no genótipo. Isto implica no claro conhecimento do controle da aparência morfológica das populações pelos fatores ambientais, o que pode ser decodificado apenas como "a posteriori". Assim, os termos fenótipo e ecofenótipo parecem inapropriados, pelo menos neste estágio inicial da pesquisa. De acordo com a lei Art. 45g, ii, que segue o Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, foi identificado para as tecamebas o gênero, seguido do epíteto e entre aspas o termo "forma", que indica um nível infrasub-específico. Como por exemplo, *Diffugia oblonga* "bryophila", onde *Diffugia* é o gênero, *oblonga* o epíteto de espécie e entre aspas a forma "bryophila". Essa recente introdução na identificação de variantes ecofenótipos dos tipos infrasub-específicos de tecamebas tem contribuído em estudos costeiros e principalmente limnológicos (Patterson e Kumar, 2002).

1.2. ALGUNS TRABALHOS REALIZADOS NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DE CANANÉIA-IGUAPE (SP)

Uma série de trabalhos foi realizada na região de Cananéia-Iguape, tais como, estudos com a microfauna de foraminíferos e/ou tecamebas recentes (Bonetti, 1995; Eichler e Bonetti, 1995; Eichler *et al.*, 1995; Eichler-Coelho, 1996; Eichler-Coelho *et al.*, 1996; Duleba, 1997; Eichler-Coelho *et al.*, 1997; Bonetti e Eichler, 1997; Debenay *et al.*, 1998a; Eichler e Eichler, 1999; Debenay *et al.*, 2001a; Dalmora e Dias-Brito, 2006; Pereira, 2005, Dalmora e Dias-Brito, 2006; Funo *et al.*, 2006; Semensatto-Jr *et al.*, 2009), ou paleoambiental (Petri e Suguio, 1973; Duleba, 1997; Uehara *et al.*, 2007), biológicos (Carcamo, 1980; Camargo, 1982; Schaeffer-Novelli e Cintron-Molero, 1990; Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990; Wakabara *et al.*, 1993; Chagas-Soares *et al.*, 1995; Aidar *et al.*, 1997; Geraque, 1997; Brichta, 2000; Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2001; Barrera-Alba, 2004; Cunha-Lignon, 2001, 2005; Dias, 2007; Mendonça, 2007; Cunha-Lignon *et al.*, 2009; Lima, 2009), análise socioambiental (Beu, 2008); geocronológico (Saito *et al.*, 2001), geológicos e sobre sua evolução (Tessler, 1982; Tessler e Furtado, 1983; Tessler *et al.*, 1990; Bonetti Filho *et al.*, 1995; Riccomini, 1995; Souza *et al.*, 1996; Tessler e Souza, 1998; Freitas, 2005; Nascimento Jr., 2006; Pisetta, 2006; Spinelli, 2007; Paolo e Mahiques, 2008; Guedes, 2009), físicos sobre a circulação, hidrodinamismo da área e meteorológicos (Mesquita e Harari, 1983; Mishima *et al.*, 1985; Miyao *et al.*, 1986; Miyao e Harari, 1989; Miranda *et al.*, 1995; Wainer *et al.*, 1996; Watanabe *et al.*, 1997; Bérigamo, 2000; Bernardes e Miranda, 2001; Bérigamo *et al.*, 2002), e com características físico-químicas (Watanabe *et al.*, 1997, Nishigima *et al.*, 2001; Saito *et al.*, 2001; Saito *et al.*, 2003; Godoi *et al.*, 2003; Aguiar, 2005; Barcellos, 2005; Barcellos e Furtado, 2003; Barcellos *et al.*, 2005, 2009; Durigon, 2005).

1.3. ALGUNS TRABALHOS REALIZADOS COM FORAMINÍFEROS E TECAMEBAS EM REGIÕES ESTUARINAS DO SUDESTE BRASILEIRO

Vários estudos sobre microfauna de foraminíferos e tecamebas foram desenvolvidos em ambientes parálicos e costeiros na costa sudeste do Brasil, Estado de São Paulo. Esses estudos foram realizados considerando os aspectos oceanográficos, sendo estes, envolvendo processos físicos, químicos, geológicos e biológicos. Esses estudos, foram realizados nas seguintes regiões: sistema estuarino-lagunar de Iguape-Cananéia (Bonetti, 1995; Eichler *et al.*, 1995; Eichler-Coelho, 1996; Duleba, 1997; Debenay *et al.*, 1998a; Duleba e Debenay, 2003, Cardoso, 2006, Simões, 2007), sistema estuarino de Santos - São Vicente (Bonetti, 2000), Enseada de Ubatuba (Duleba, 1993; Oliveira, 1995; Burone, 1996, 2002), Enseadas do Flamengo e da Fortaleza, Ubatuba (Duleba, 1994; Silva, 2008), Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém (Oliveira, 1999), Estação Ecológica Juréia Itatins (Duleba *et al.*, 1999a e 1999b), Canal de São Sebastião (Teodoro *et al.*, 2010) e canal estuarino de Bertioga (Eichler, 2001; Rodrigues, *et al.*, 2003; Santa-Cruz, 2004; Eichler *et al.*, 2007; Simões, 2007).

1.4. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principal propósito identificar a distribuição das populações microfaunísticas de foraminíferos e tecamebas e compreender essa distribuição no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SELCI). Portanto, os dados da microfauna de foraminíferos e tecamebas foram associados os dados abióticos obtidos através de análises sedimentológicas granulométricas (areia e lama) e geoquímicas (carbonato de cálcio e carbono orgânico), além das variáveis físicas (profundidade, salinidade e temperatura).

Como objetivos específicos destacam-se:

- Verificar a variabilidade temporal através das associações (dados bióticos e abióticos),
- Caracterizar qualitativa e quantitativamente as associações de foraminíferos e tecamebas da área de estudo e, se possível, identificar os indicadores biológicos de ambientes, destacando alguma particularidade nessa área,
- Fazer um levantamento dos morfotipos de tecamebas no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. Posteriormente, determinar informações básicas e conhecer as variáveis ambientais que estabeleçam essas diferentes respostas morfológicas definindo os ecofenótipos para a área de estudo.
- Calcular o Índice *Ammonia-Elphidium* para determinar no SELCI áreas hipóxicas e/ou eutrofizadas e/ou redutoras.
- Testar a aplicação do cálculo da “taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR)” em um ambiente costeiro estuarino.