

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos  
Naturais

**Variação espacial e temporal de uma taxocenose  
de caprelídeos (Crustacea: Amphipoda) em um  
ecossistema subtropical sujeito à poluição por  
hidrocarbonetos de petróleo**

Danilo Balthazar-Silva

São Carlos

2010

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos  
Naturais

## **Variação espacial e temporal de uma taxocenose de caprelídeos (Crustacea: Amphipoda) em um ecossistema subtropical sujeito à poluição por hidrocarbonetos de petróleo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Marcel Okamoto  
Tanaka.

Co-orientadora: Fosca  
Pedini Pereira Leite

São Carlos

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B197ve

Balthazar-Silva, Danilo.

Varição espacial e temporal de uma taxocenose de caprelídeos (Crustacea: Amphipoda) em um ecossistema subtropical sujeito à poluição por hidrocarbonetos de petróleo / Danilo Balthazar-Silva. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

67 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Biologia marinha. 2. Poluição. 3. Alga. 4. Crustáceo. I. Título.

CDD: 574.92 (20<sup>a</sup>)

Danilo Balthazar Silva

**Variação espacial e temporal de uma taxocenose de caprelídeos (Crustacea: Amphipoda) em um ecossistema subtropical sujeito à poluição por hidrocarbonetos de petróleo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**Aprovada** em 11 de junho de 2010

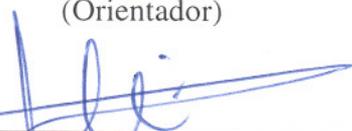
BANCA EXAMINADORA

Presidente



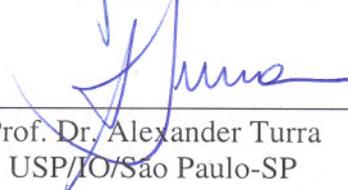
Prof. Dr. Marcel Okamoto Tanaka  
(Orientador)

1º Examinador



Prof. Dr. Nivaldo Nordi  
PPGERN/UFSCar

2º Examinador



Prof. Dr. Alexander Turra  
USP/IO/São Paulo-SP

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço a Deus. Esta força misteriosa que me faz sempre acordar com coragem para um novo dia.

Agradeço de todo coração à minha mãe. Definitivamente esta é a pessoa sem a qual esta dissertação seria impossibilitada.

Agradeço a meu pai. A pessoa que mesmo longe sempre se faz presente.

Agradeço aos meus irmãos, aqueles com quem divido meus momentos de seriedade e de aprendizado de vida.

Agradeço aos meus avós Milton (em memória) e Laurinda Balthazar e Sebastião e Duzolina Rodrigues da Silva (ambos em memória). Vocês estão sempre comigo e, por isso, são também meus pais.

Agradeço às mulheres que considero como minhas mães, minhas tias Cida, Rosa e Isabel (em memória). Não tenho nem palavras para agradecer por tudo.

Agradeço a Marcelo e Ana Rosa. Pessoas que considero meus irmãos de sangue!.

Agradeço a todos os meus amigos-irmãos. À minha família de sintonia. Não cito nomes porque são vários. Sou um privilegiado por ter vocês ao meu lado.

A todos os parceiros de laboratório, que além de aturar todas as minhas excentricidades tornam o ambiente de trabalho extremamente agradável!.

Agradeço ao meu orientador, Marcel Okamoto Tanaka, não apenas por sua dedicação e envolvimento com o presente trabalho, mas também por toda amizade e compreensão com minhas limitações.

Agradeço muito à co-orientadora deste trabalho, Fosca Pedini Pereira Leite. É até difícil agradecer a primeira pessoa que me concedeu uma grande oportunidade profissional. Mas fica aqui o meu muito obrigado por todos os ensinamentos.

Agradeço à FAPESP pela concessão da bolsa e à CNPq pelo financiamento do grande projeto ao qual está relacionada esta dissertação.

Agradeço à equipe de técnicos do Centro de Biologia Marinha da USP (CEBIMAR) pela ajuda no período de coleta de amostras e logística em campo.

Agradeço à Professora Doutora Márcia Caruso Bícego e à Doutora Satie Taniguchi, do laboratório de oceanografia química do Instituto Oceanográfico da USP pelas análises químicas.

## ÍNDICE

Resumo.....	09
Abstract.....	10
Introdução geral.....	11
Referências.....	52

### **CAPÍTULO 1. Estrutura da assembléia de Caprellidae (Crustacea: Amphipoda) em um ambiente sujeito à poluição por hidrocarbonetos de petróleo.....13**

1. Introdução.....	14
2. Objetivo.....	18
3. Materiais e Métodos.....	19
3.1. Área de estudo.....	19
3.2. Procedimento amostral.....	21
3.3. Análises químicas.....	22
3.4. Análises de dados.....	24
4. Resultados.....	25
5. Discussão.....	31
Referências.....	52

### **CAPÍTULO 2. Variação Temporal de uma assembléia de espécies da família Caprellidae (Crustacea: Amphipoda) em uma região subtropical.....35**

1. Introdução.....	36
2. Objetivos.....	39
3. Materiais e Métodos.....	39
3.1. Área de estudo.....	39
3.2. Procedimento amostral.....	41

<b>3.3. Definição dos grupos tróficos.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4. Análises estatísticas.....</b>	<b>43</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>44</b>
<b>5. Discussão.....</b>	<b>48</b>
<b>Referências bibliográficas gerais.....</b>	<b>52</b>
<b>Conclusões gerais.....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>65</b>

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”. Albert Einstein.

Dedico este trabalho à minha mãe, o meu maior exemplo de responsabilidade, honestidade e sinceridade.

## Resumo.

A demanda por derivados de petróleo tem causado a introdução deste composto em ecossistemas marinhos. Os processos de transporte e extração muitas vezes causam graves acidentes, impactando ecossistemas costeiros através de diversas maneiras. Em regiões costeiras bancos da alga parda *Sargassum* são muito abundantes e importantes para a manutenção de processos ecológicos. Nestes bancos a infraordem Amphipoda é um dos grupos mais importantes em termos de abundância. Algumas de suas espécies já foram sugeridas como bioindicadoras de poluição petrogênica. Dentre os Amphipoda, destaca-se a família Caprellidae. Este grupo apresenta uma alta diversidade de espécies e algumas destas são consideradas como relevantes bioindicadoras de pressões antrópicas. Desta forma, é crível supor que, dado seu potencial como bioindicadores, caprelídeos respondem de maneira significativa a um gradiente de poluição petrogênica, assim como outros anfípodes. Na costa sudeste do Brasil, localiza-se o Canal de São Sebastião. Dentre as pressões antrópicas que impactam esta área se destacam os acidentes com embarcações petrolíferas. A presente dissertação é composta por dois capítulos. O primeiro procura evidenciar a estrutura de taxocenoses de caprelídeos em meio a um gradiente de hidrocarbonetos de petróleo no Canal de São Sebastião. O segundo tem como objetivo descrever e estabelecer um padrão de variação temporal para os grupos tróficos de caprelídeos. Os resultados mostram que poluentes petrogênicos afetam a riqueza e a equitatividade de espécies nas escalas estudadas. Foi observado ainda um significativo padrão de variação temporal para a densidade de detritívoros e onívoros. Além disso, os resultados sugerem uma segregação sazonal na densidade dos dois grupos.

## Abstract

The petroleum demand, as so as the commerce of its derivatives, has caused the introduction of these compounds in marine ecosystems. The transportation and the extraction of petroleum cause severe accidents, impacting coastal ecosystems through a lot of ways. *Sargassum* beds are very abundant and important to the maintenance of ecological processes in coastal regions. In *Sargassum* beds the infraorder Amphipoda is one of the most abundant taxonomic groups. Some amphipods species are considered important bioindicators of petrogenic pollution. The Amphipoda Caprellidae shows a high species diversity, and some species are considered strong bioindicators of anthropological impacts. Thus, it can be supposed that, given their potential as bioindicators, caprellids significantly respond to an oil pollutants gradient, as so as others amphipods. The São Sebastião Channel is located at the Brazilian southeastern coast. Oil vessels accidents are among the anthropological impacts in that area. The present study has two chapters. The first one brings evidences of caprellids taxocoenosis structure in a gradient of oil pollutants. The second describes a pattern of temporal variation of caprellids trophic groups. The results suggest that petrogenic pollutants affect caprellids species richness and evenness on the studied scales. A significant pattern of temporal variation was observed in the density of detritivores and omnivores. The results indicate a seasonal segregation in the density of the two groups.

## **Introdução geral.**

Os caprelídeos representam uma família de anfípodes marinhos estudada com uma considerável frequência nas últimas décadas. Algumas de suas características de história de vida (Aoki, 1998), ecológicas (González et al., 2008) e de distribuição (Thiel et al., 2003) têm recebido muita atenção por parte de ecólogos e zoólogos de países temperados e tropicais. Suas peculiaridades os tornam importantes bioindicadores de pressões antrópicas e de condições ambientais (Guerra-García et al., 2010).

No Brasil, estes crustáceos já foram objeto de estudo em várias localidades da costa do país. No estado de São Paulo os caprelídeos já foram estudados nos litorais norte (Jacobucci et al., 2002, 2009a) e sul (Valério-Berardo & Flynn, 2002). Nas duas localidades foram abordados os padrões de distribuição e abundância, bem como a interferência da complexidade do substrato biológico sobre estas métricas em escalas espaciais e temporais.

No entanto, as habilidades destes organismos como bioindicadores de poluição ambiental não foram abordadas no Brasil até o presente. Em outras localidades foi constatado que caprelídeos são altamente impactados por poluentes presentes na coluna d'água, dentre estes o mais evidenciado é o tributílo-estanho (TBT) (Ohji et al., 2003; Takeuchi et al., 2001, 2004; Aono & Takeuchi, 2008). Além disso, interferências de poluentes petrogênicos sobre anfípodes associados a substratos não consolidados foram observadas em estudos pretéritos (Guerra-García et al., 2003).

O petróleo tem sido introduzido no ambiente marinho nas últimas décadas devido a processos associados à sua extração e transporte e através de derramamentos,

vazamentos e acidentes com embarcações. Os impactos causados por seus poluentes são amplamente relatados para as áreas sob pressão por parte dos mesmos (Venturini et al., 2008; Veiga et al., 2009). No Brasil, um número considerável de acidentes com petróleo é relatado para o litoral norte do estado de São Paulo (Lopes et al., 1997).

Desta forma, o presente trabalho traz resultados de parte de um projeto pioneiro que objetivou avaliar o potencial de anfípodes gamarídeos e caprelídeos como bioindicadores de poluição por hidrocarbonetos de petróleo. Assim, esta dissertação avaliou dois processos. Primeiramente, os impactos de hidrocarbonetos de petróleo sobre uma taxocenose de caprelídeos estabelecida no Canal de São Sebastião foram caracterizados e estimados em escalas espaciais e temporais. Posteriormente, na mesma área, foi realizada uma caracterização da variação temporal dos grupos tróficos de caprelídeos.

A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que algumas métricas da taxocenose amostrada respondem em escalas espaciais e temporais aos hidrocarbonetos de petróleo. Apesar do fato de que muitos processos intrínsecos ao grupo taxonômico, ou mesmo ao substrato biológico em que este se encontra, possam estar envolvidos neste resultado, o impacto causado pelos poluentes quantificados foi evidente. Além disso, também foi observada uma significativa variação temporal na densidade dos grupos tróficos encontrados na área de estudo. Este resultado possibilitou algumas inferências e generalizações, bem como o levantamento de hipóteses sobre o funcionamento de taxocenoses compostas por caprelídeos em escalas temporais.

**Capítulo 1. Estrutura da assembléia de Caprellidae (Crustacea: Amphipoda)  
em um ambiente sujeito à poluição por hidrocarbonetos de petróleo.**

## 1. Introdução

A demanda por petróleo para atividades humanas tem causado sua introdução em ecossistemas marinhos. Apesar de os vazamentos de petróleo em grandes escalas serem amplamente divulgados devido aos problemas econômicos que causam e o efeito imediato destes em comunidades marinhas (Edgar et al., 2003), estes acidentes são responsáveis por apenas uma parcela da poluição por petróleo observada em ecossistemas marinhos. Na verdade, fontes difusas tais como as operações rotineiras de transporte e o tráfego de embarcações são responsáveis por grandes quantidades de poluentes oriundos de petróleo introduzidos no ambiente marinho (Medeiros & Bicego, 2004).

Os efeitos da poluição de petróleo em ecossistemas marinhos dependem de sua quantidade, tipo e composição química (Evans & Rice, 1974). Por exemplo, os hidrocarbonetos constituem o principal grupo de compostos presentes no petróleo, representando de 50 a 98% do total (Ottway, 1971). Dentre os hidrocarbonetos, os alifáticos apresentam uma toxicidade mais baixa e efeitos anestésicos e narcotizantes (Evans & Rice, 1974; Gerlach, 1976). Os hidrocarbonetos aromáticos, por sua vez, são extremamente tóxicos e apresentam efeitos carcinogênicos (Gerlach, 1976). O petróleo leve tem maiores concentrações de hidrocarbonetos aromáticos e como consequência são altamente tóxicos (Gerlach, 1976). Em contrapartida, o petróleo pesado apresenta uma toxicidade relativamente mais baixa, mas pode impactar os ecossistemas através da cobertura física dos organismos (Ottway, 1971).

Apesar de os hidrocarbonetos também serem produzidos por sistemas biológicos (Binark et al., 2000), sua origem petrogênica pode ser identificada. Um importante

indicador da poluição de petróleo na cromatografia gasosa, por exemplo, é a mistura complexa não-resolvida (UCM) (Redman et al., 2002). A UCM é caracterizada por uma mistura de compostos cíclicos ramificados presentes no petróleo e que não podem ser separados através da cromatografia gasosa (Volkman, 1992). Sua razão em relação aos hidrocarbonetos alifáticos resolvidos, considerada como sua importância relativa tem sido utilizada como um indicativo da presença de poluentes de petróleo (Redman et al., 2002). Além disso, existem outros indicadores que tornam a distinção da origem dos hidrocarbonetos possível. Por exemplo, o índice de preferência de carbono (CPI) confere uma distinção efetiva entre os n-alcenos petrogênicos e aqueles originados a partir das ceras cuticulares de plantas superiores (Guerra-García et al., 2003); pristano e fitano são isoprenoides comuns tanto em produtos secundários do petróleo quanto em fontes biogênicas (Le Dréau et al., 1997), no entanto, a razão entre estes dois compostos varia de acordo com o tipo de óleo e reflete sua fonte original (Readman et al., 2002).

Os efeitos dos poluentes de petróleo dependem de características ambientais regionais. Medeiros e Bicego (2004) observaram que a direção das correntes pode influenciar os níveis de contaminação em áreas localizadas na mesma região costeira. Além disso, a influência de fatores tais como a declividade da costa, o tipo de substrato, intensidade e direção dos ventos e a amplitude das marés tendem a influenciar significativamente o grau de impacto causado pelo óleo. Estes fatores facilitarão sua dispersão e sua concentração (Marques et al., 2002).

Mesmo em pequenas concentrações, os poluentes de petróleo podem impactar de maneira negativa as comunidades marinhas. Seus efeitos podem ser diretos, através da mortalidade de organismos devido aos efeitos tóxicos ou indiretos, tais como a redução de taxas de fecundidade e fertilização. Alterações morfológicas e fisiológicas, que podem

causar declínios populacionais, são também responsáveis por modificações significativas na estrutura das comunidades (Veiga et al., 2009). Os efeitos da contaminação podem ser propagados também através das cadeias alimentares, uma vez que os hidrocarbonetos são assimilados por organismos marinhos (Ferguson & Chandler, 1998; Hylland et al., 2008). Esta assimilação pode ocorrer através da absorção de hidrocarbonetos presentes na coluna da água, na água intersticial ou devido a ingestão de partículas (Marques et al., 2002). Em áreas impactadas ou sujeitas a poluição crônica por óleo, os tecidos de certos organismos tendem a refletir a concentração de hidrocarbonetos presentes no sedimento (Taniguchi, 2002). Além disso, alterações morfológicas e reprodutivas têm sido detectadas em alguns organismos (Maurat, 1996).

A costa norte do estado de São Paulo está sujeita à poluição de petróleo devido ao constante transporte do mesmo e seus derivados e pela presença do maior terminal petrolífero do Brasil, o Dutos e Terminais Centro-Sul (DTCS); localizado no Canal de São Sebastião (Medeiros e Bicego, 2004). De 1974 a 2000, 232 vazamentos de óleo foram registrados para a região, envolvendo principalmente acidentes com embarcações e fissuras em dutos de óleo (Poffo et al., 2001). Estudos prévios indicaram a contaminação por compostos alifáticos e aromáticos tanto em água quanto em sedimentos no Canal de São Sebastião (Zanardi et al., 1999a, 1999b; Medeiros e Bicego, 2004). No entanto, existem poucos estudos que avaliam o efeito destes poluentes em comunidades marinhas presentes nesta área (Lopes et al., 1997).

Os bancos de macrófitas são significativamente abundantes na costa brasileira, as algas pardas do gênero *Sargassum* podem dominar os costões rochosos presentes na região, se estendendo da franja do infralitoral até 100m de profundidade (Eston et al., 1986; Fortes-Xavier, 2000). Na costa sudeste do Brasil, os bancos de *Sargassum* são

particularmente conspícuos em áreas costeiras, representando até 80% da cobertura total e da biomassa de macrófitas (Paula & Oliveira-Filho, 1980; Paula & Eston, 1987; Széchy & Paula, 2000). Bancos de macroalgas influenciam de maneira significativa a biodiversidade marinha presente em águas rasas devido ao fato de aumentar a extensão de micrihabitats disponível para estabelecimento e exploração (Paker et al., 2001). No Brasil, os bancos de *Sargassum* abrigam grandes números de espécies de anfípodos, o principal grupo faunístico associados à estas algas (Wakabara et al., 1983; Tanaka e Leite, 2003). Estes crustáceos são importantes devido à sua grande abundância e alta diversidade de espécies e constituem um importante recurso alimentar para diversas espécies de peixes (Duffy & Hay, 2000).

Dado sua importância ecológica, representação numérica, reduzida mobilidade e sensibilidade a uma variedade de poluentes, os anfípodos têm sido apontados como eficientes bioindicadores de pressões antrópicas no ambiente marinho (Takeuchi et al., 2004). Estudos recentes enfatizaram o potencial de anfípodos associados à algas, particularmente os da família Caprellidae, para o monitoramento de compostos organometálicos presentes em tintas anti-incrustantes, tal como o tributil-estanho (TBT) (Takeuchi et al., 2001; Ohji et al., 2003). Alterações na estrutura trófica em assembléias de anfípodos, em distâncias crescentes a partir de fontes de esgoto doméstico, foram registradas por Smith e Simpson (1992).

A família Caprellidae é um dos principais representantes de Amphipoda em comunidades fitais. São amplamente distribuídos em habitats marinhos, de áreas subpolares até regiões tropicais, especialmente em bancos de algas (Takeuchi et al., 2004). Este grupo diverso e abundante é freqüentemente encontrado associado à

macrófitas, hidrozoários, briozoários e esponjas, contribuindo efetivamente para a biodiversidade marinha (Caine, 1998; Jacobucci et al., 2002).

Anfípodes respondem a um gradiente de poluição por hidrocarbonetos de petróleo de maneira a serem encontrados apenas em regiões onde as concentrações destes poluentes são relativamente mais altas (Guerra-García et al., 2003). É muito provável que comunidades compostas por caprelídeos variem em diferentes escalas em meio a um gradiente de poluição de petróleo devido ao potencial destes organismos em variar morfológica e ecologicamente em decorrência da presença de poluentes no ambiente (Ohji et al., 2003).

Um estudo que avalie as respostas de uma taxocenose de caprelídeos a um gradiente de concentrações de poluentes petrogênicos é importante pelo fato de adicionar informações ao conhecimento sobre o funcionamento de impactos antrópicos sobre o ecossistema marinho. Além disso, dadas a importância e a representatividade de caprelídeos em bancos de macroalgas (Jacobucci et al., 2002, 2009a), este estudo é significativo também por contribuir para o conhecimento de um importante componente da biodiversidade da costa brasileira.

## **2. Objetivo.**

- Nesta etapa da dissertação pretendeu-se avaliar se as assembléias de caprelídeos associados à frondes de *Sargassum* sp. respondem a um gradiente de concentrações de hidrocarbonetos de petróleo em escalas espaciais e temporais.

### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1 Área de estudo.**

Este estudo foi conduzido no Canal de São Sebastião, localizado na costa Sudeste do Brasil (23° 41' - 23° 53' S; 45° 19' - 45° 30' W) (Fig. 1). Esta área tem uma extensão total de 22km e 7,2 e 5,6km de largura nas entradas norte e sul respectivamente (Castro et al., 2008). A parte central do canal tem uma extensão total de 1,9km e atinge profundidades de 40m. Os processos sedimentológicos e hidrológicos respondem diretamente à estas características, de forma que a parte continental do canal recebe quantidades significantes de grãos finos (Furtado, 1995).

A direção das correntes é sazonalmente variável, mas pode apresentar uma predominância Sul – Oeste (Silva, 1995). Além disso, Castro et al (2008) mostraram que duas classes de variáveis influenciam o comportamento das correntes, aquelas que atuam diretamente na plataforma continental (por exemplo o vento) e aquelas conectadas com as particularidades geológicas (por exemplo as marés). Assim, grandes variabilidades espaciais e temporais destes fatores impõem um fator de variação sobre as massas de água.

Ao longo do ano, a temperatura da superfície apresenta um padrão sazonal, com maiores valores no verão (Weiner & Tascheto, 2008), no entanto, Zavialov et al (1999) verificaram que as porções costeiras e localizadas ao sul do canal apresentam uma amplitude de temperatura relativamente maior (10°C) em relação à região oceânica.

O Canal de São Sebastião está sujeito à diversas ações antrópicas tais como o turismo, pesca, tráfego de embarcações e descargas de esgoto (Gorni & Weber, 2004). Dentro do canal está localizado o maior terminal petrolífero da Costa Atlântica (DTCS, PETROBRÁS). De acordo com relatório recente da TRANSPETRO (2008), este terminal recebe, em média, 67 embarcações e tem uma movimentação de 1,9 milhões de metros cúbicos de óleo ao longo de um mês. Todo este movimento de óleo, somado ao histórico de vazamentos de petróleo registrados para a área (Lopes et al., 1997) criam um cenário onde os hidrocarbonetos de petróleo, apesar de ocorrerem em baixas concentrações, variam espacial e sazonalmente (Bícego, 1988).

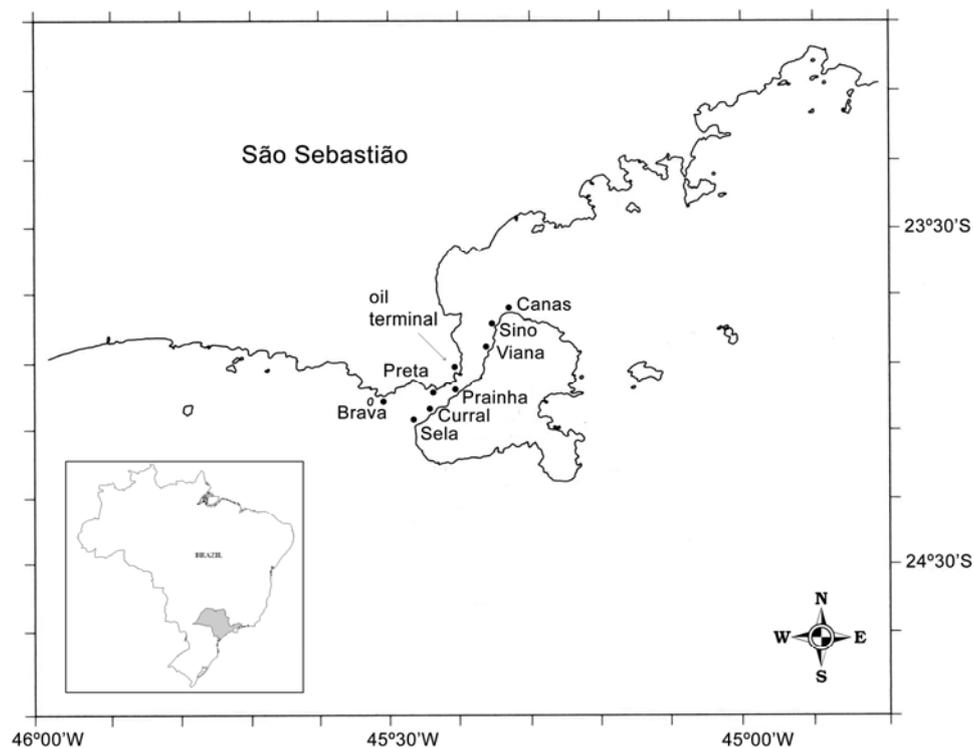


Figura 1. Localização dos costões estudados e posição do TEBAR no Canal de São Sebastião.

### 3.2 Procedimento amostral.

As amostras foram coletadas em Março e dezembro de 2007 e em Fevereiro de 2008. Oito estações amostrais foram definidas ao longo do canal, em distâncias diferentes do terminal petrolífero. Assim, existiram três estações distantes (9,2-11,2km), três estações próximas (3,4-5,8km) e duas estações em posições intermediárias (7,2-8,6km) em relação ao terminal (Tabela 1). Em cada estação, dois transectos com o mínimo de 10m de distância entre si foram determinados e, em cada um destes, 5 frondes de *Sargassum* foram coletadas em profundidades entre 1-2m. Em cada uma das áreas amostrais (Anexo), duas frondes de *Sargassum* foram coletadas para a determinação das concentrações de hidrocarbonetos de petróleo.

Cada uma das frondes destinadas à caracterização da assembléia de caprelídeos foi envolvida em um saco de pano com malhagem de 0,2mm e separada do substrato rochoso com o auxílio de espátula. No laboratório, os sacos foram mantidos em freezer por um período de 4 horas para anestesiá-los a fauna. As frondes foram então removidas e lavadas 3 vezes com água do mar para destacar os animais (Jacobucci et al., 2002). Os indivíduos foram identificados ao nível específico de acordo com Díaz et al (2005) e Guerra-García et al (2006). Logo após, a porcentagem de animais coloniais e epífitas em cada fronde de *Sargassum* foi visualmente estimada.

Tabela 1. Distância dos pontos amostrais em relação ao tebar.

Estação amostral	Distância do TEBAR
Preta	3,45km
Prainha	4,25km
Viana	5,8km
Sino	7,2km
Curral	8,61km
Canas	9,2km
Brava	11,22km
Sela	11,24km

### 3.3 Análises químicas.

As algas foram coletadas em 8 pontos do Canal de São Sebastião e armazenadas em bandejas de alumínio previamente calcinadas a 400°C, identificadas e congeladas.

As amostras de alga foram secas durante 72 horas em liofilizador Thermo Savant – módulo D. Em seguida, foram maceradas e homogeneizadas em almofariz com pistilo e armazenadas em frascos de vidro previamente limpos com solvente.

O procedimento metodológico utilizado foi baseado em MacLeod et al. (1986) com algumas modificações. Uma porção de cada uma das amostras foi extraída com n-hexano e diclorometano 50% (v/v) em soxhlet durante 8 horas. Este grau de pureza dos solventes, ambos da J. T. Baker dos Estados Unidos, foi utilizado devido a “análise de resíduos orgânicos”. Antes da extração foram adicionados 100 µL dos padrões internos (surrogate) com diferentes concentrações no branco e em cada uma das amostras. Para os hidrocarbonetos alifáticos (AHs) e policíclicos aromáticos (PAHs) foram adicionados hexadeceno e eicoseno (50

ng  $\mu\text{L}^{-1}$ ) e naftaleno-d<sub>8</sub>, acenafteno-d<sub>10</sub>, fenantreno-d<sub>10</sub>, criseno-d<sub>12</sub> e perileno-d<sub>12</sub> (5 ng  $\mu\text{L}^{-1}$ ), respectivamente, em todas as amostras, brancos e materiais de referência certificados (SRM).

O extrato evaporado foi submetido a uma coluna cromatográfica contendo 8 gramas de sílica gel sobre 16 gramas de alumina (ambas da Merck) 5% desativadas com água pré-extraída e 1 grama de sulfato de sódio da J. T. Baker no topo. A eluição foi feita com 80 mL de uma mistura de n-hexano e diclorometano (50%). O eluato foi concentrado novamente e foram adicionados os padrões internos cromatográficos 100 tetradeceno (50 ng  $\mu\text{L}^{-1}$ ) para os alifáticos e (benzo(b)fluoranteno-d<sub>12</sub> (5 ng  $\mu\text{L}^{-1}$ ) para um volume final de 1 mL.

Uma alíquota do extrato final foi injetada no cromatógrafo a gás equipado com detector de ionização de chama (GC-FID 6890) para análise de hidrocarbonetos alifáticos e outra no cromatógrafo a gás equipado com espectrômetro de massas (GC-MS 6890/5973N) ambos da Agilent Technologies. As temperaturas do injetor e detector do GC-FID foram de 300°C e 325°C, respectivamente. O gás de arraste foi o hidrogênio ultrapuro e o gás auxiliar foi o nitrogênio. As temperaturas do GC-MS foram de 280, 280 e 300°C no injetor e na interface e na fonte de íons, respectivamente e o gás de arraste foi o hélio. A injeção em ambos os equipamentos foi feita em splitless e a coluna capilar utilizada foi de sílica fundida com 30 metros, 0,32 mm, de diâmetro interno e 0,25  $\mu\text{m}$  de filme de 5% fenilmetilsiloxana da J&W Scientific. A programação da rampa de temperatura foi 40°C subindo a uma taxa de 20°C  $\text{min}^{-1}$  até 60°C e em seguida até 290°C a 5°C  $\text{min}^{-1}$  e em seguida a 10°C  $\text{min}^{-1}$  até 300°C ficando isotérmico durante 10 minutos. A identificação dos AHs e PAHs foi feita por comparação dos tempos de retenção com padrões de referência da Accustandard, EUA. Os compostos analisados no GC-MS em modo SIM (monitoramento seletivo de íons) também foram identificados também através do espectro de massas. A quantificação foi feita por razões entre os surrogates e os compostos de interesse, baseada nas curvas analíticas montadas com pelo

menos 05 concentrações diferentes de cada grupo de compostos. Os hidrocarbonetos alifáticos quantificados foram os n-alcenos, incluindo C12–C34, isoprenóides (pristano, fitano) e os PAHs quantificados foram os compostos com 2-5 anéis e seus alquilsustituídos.

O controle de qualidade analítica incluiu a análise de brancos, branco fortificado, matriz fortificada e duplicata de amostra, material de referência certificado (SRM 2978 (Mussel Tissue) proveniente da National Institute of Standards and Technology (NIST) dos Estados Unidos (EUA).

### **3.4 Análise de dados.**

Como variáveis ambientais multivariadas foram designadas: a distância das estações amostrais em relação ao TEBAR, a porcentagem de cobertura de epífitas e animais coloniais sésseis sobre as frondes de alga e as concentrações de hidrocarbonetos alifáticos (AHs) e policíclicos aromáticos (PAHs). Para a distinção entre as fontes naturais e petrogênicas de hidrocarbonetos a razão entre Pristano e Fitano e o CPI foram calculados (Readman et al., 2002; Guerra-García et al., 2003). A transformação do arco seno foi aplicada aos dados de porcentagem (epifitismo e colonialismo) (Quinn & Keough, 2002), as outras variáveis ambientais foram transformadas em log. para fins de normalização (Clarke & Warrick, 2001). A densidade de caprelídeos foi determinada através da razão entre o número de indivíduos e o peso seco da fronde de *Sargassum* onde estes eram encontrados. A densidade, por sua vez, foi transformada em log.  $x+1$  para normalização (Clarke & Warrick, 2001).

A relação entre as variáveis ambientais e a composição da comunidade foi avaliada através da Análise de Correspondência Canônica (CCA) com as variáveis padronizadas à

média zero e uma unidade de variância (Ter-Braak, 1986). Os descritores univariados da estrutura da comunidade foram designados como a riqueza de espécies, o índice de diversidade de Shannon e o índice de equitatividade de Pielou. A influência das variáveis ambientais sobre a composição da taxocenose foi estimada através de regressão linear múltipla executada sobre o modelo “stepwise forward” assumindo um valor de  $P = 0.15$  para a entrada dos termos na análise (Quinn & Keough, 2002).

#### 4. Resultados.

A colonização de epífitas e animais sésseis nas frondes de *Sargassum* apresentou uma leve variação sazonal, com maiores ocupações em dezembro e fevereiro. A cobertura por epífitas variou entre 25% e 75% em março e entre 0 e 100% tanto em dezembro quanto em fevereiro. A cobertura pelas espécies coloniais variou entre 0 e 25% em dezembro e entre 0 e 100% nos outros dois períodos amostrais. As concentrações de hidrocarbonetos alifáticos apresentaram uma determinada variação temporal, se estendendo desde o limite de detecção até 18.2, 5.5 e 13.3  $\mu\text{g g}^{-1}$  de peso seco em dezembro, fevereiro e março respectivamente. As concentrações de n-alcenos apresentaram valores similares em março e fevereiro, estendendo-se de 5.5 a 25.8 e de 5.5 a 24.1  $\mu\text{g g}^{-1}$  respectivamente e de 2.7 a 11.4  $\mu\text{g g}^{-1}$  em dezembro. Por outro lado, as concentrações de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos apresentaram uma modesta variação sazonal, oscilando desde o limite de detecção até 68.8  $\mu\text{g g}^{-1}$  por peso seco em março, 47.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  em dezembro e 74.1  $\mu\text{g g}^{-1}$  em fevereiro.

As estimativas utilizadas para a distinção das fontes de hidrocarbonetos e a UCM variaram tanto sazonal quanto espacialmente. A UCM apresentou valores altos quanto a sua

variação em março (21.7-138.0  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e em fevereiro (37.0-89.0  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Infelizmente não foi possível identificar este parâmetro para as amostras de dezembro. Em março a razão pristano/fitano oscilou entre valores abaixo ou próximo à unidade em sete estações. No entanto, foi encontrado um valor de 5.6 para esta razão em uma das estações amostrais (Preta). Para este período, a extensão deste parâmetro foi de 0.4-5.6. Um padrão similar ocorreu nas amostras de fevereiro. Neste período foi encontrado um valor próximo à unidade para cinco estações. O mesmo não ocorreu, no entanto, nas praias de Curral, Brava e Canas. Em dezembro foram encontrados valores e 0.0-2.4 e de 0.0-7.2. Apesar de os valores do CPI terem apresentado um comportamento variável dentre os três períodos, a maioria das estações amostrais apresentou valores próximos à unidade. Em março este valor variou entre 1.0-1.18, em dezembro entre 0.0-1.9. No entanto, valores maiores do que um foram encontrados nas amostras de fevereiro (1.7-3.4).

Foi constatada uma variação sazonal na densidade média das nove espécies de caprelídeos encontradas (Tabela 2). Em todos os períodos amostrais a assembléia foi dominada por *Caprella scaura*, seguidamente por *Caprella equilibra*, *Paracaprella digitimanus* e *Pseudoaginella montoucheti*. *Deutella mayeri* e *Paracaprella pusilla* foram encontradas apenas nas amostras de dezembro. *Caprella penantis* e *Orthoprotella melloi* estiveram presentes apenas nas amostras de março e dezembro. *Caprella danilevskii* foi encontrada apenas nas amostras de março e fevereiro.

Tabela 2. Densidade sazonal das espécies de Caprellidae associadas à *Sargassum* sp. Valores conferidos para média  $\pm$  desvio padrão (N = 240).

Espécies	Março-07	Dezembro-07	Fevereiro-08
<i>Caprella danilevskii</i> (Czerniavskii, 1868)	0.04 $\pm$ 0.33	0	0.11 $\pm$ 0.91
<i>Caprella equilibra</i> (Say, 1818)	7.20 $\pm$ 23.41	0.40 $\pm$ 12.07	0.14 $\pm$ 0.56
<i>Caprella penantis</i> (Leach, 1814)	1.14 $\pm$ 6.14	0.02 $\pm$ 0.23	0
<i>Caprella scaura</i> (Templeton, 1836)	10.23 $\pm$ 22.19	19.30 $\pm$ 41.63	22.09 $\pm$ 42.90
<i>Deutella mayeri</i> (Stebbing, 1895)	0	0.24 $\pm$ 1.82	0
<i>Orthoprotella melloi</i> (Quitete, 1971)	0.21 $\pm$ 1.60	0.43 $\pm$ 2.45	0
<i>Paracaprella digitimanus</i> (Quitete, 1971)	0.22 $\pm$ 1.28	0.52 $\pm$ 1.31	0.13 $\pm$ 0.50
<i>Paracaprella pusilla</i> (Mayer, 1890)	0	0.01 $\pm$ 0.07	0
<i>Pseudoaginella montoucheti</i> (Quitete, 1971)	0.56 $\pm$ 2.30	0.60 $\pm$ 1.56	0.71 $\pm$ 2.46

Os resultados da regressão múltipla indicam que nenhuma das variáveis ambientais influencia a diversidade de espécies de caprelídeos ( $P > 0.05$ ). No entanto, a equitatividade foi influenciada positivamente de maneira significativa pela UCM. A riqueza de espécies sofreu uma significativa interferência negativa pelas concentrações de n-alcanos quanto pela distância dos pontos amostrais em relação ao TEBAR (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados da regressão múltipla (stepwise-forward) quanto à avaliação dos efeitos das variáveis ambientais sobre a equitatividade e a riqueza das espécies de caprelídeos.

Variável dependente	Variável de efeito	Coefficiente	Erro padrão	t	Valor de P
Índice de equitatividade de Shannon R <sup>2</sup> = 0.287, P = 0.029	N-alcanos	-0.199	0.104	-1.918	0.069
	UCM	0.093	0.032	2.904	0.008
Riqueza R <sup>2</sup> = 0.439, P = 0.008	Epifitismo	1.982	1.057	1.876	0.075
	N-alcanos	-1.62	0.452	-3.581	0.002
	Distância	-0.236	0.099	-2.389	0.027

Os dois primeiros eixos da CCA explicaram aproximadamente 64% (Tabela 4) na variação da composição da comunidade, com efeitos maiores sobre esta por parte dos PAHs totais, da razão Pristano/fitano e do CPI no primeiro eixo. No segundo eixo as variáveis de maior interferência foram a UCM, os hidrocarbonetos alifáticos resolvidos, n-alcanos, a colonização por espécies sésseis, o epifitismo, a razão Pristano/fitano e o CPI. O autovalor foi de 0.202 e a correlação espécies-ambiente foi de 0.702 no primeiro eixo; no segundo eixo foram de 0.143 e de 0.933 respectivamente. Assim, a taxocenose foi influenciada pelos alifáticos resolvidos, CP e pela razão Pristano/fitano. No entanto, *D. mayeri* e *O. melloi* não foram afetadas pelas variáveis ambientais. *Caprella penantis*, por outro lado, foi significativamente influenciada pela razão Pristano/fitano (Figura 2). A fim de evitar os efeitos da multicolinearidade, os hidrocarbonetos alifáticos resolvidos e a razão destes com a UCM foram retirados da análise devido à significativa correlação entre ambos.

Tabela 4. Resultados da análise de correspondência canônica quanto à relação da assembléia de espécies Caprellidae com as variáveis ambientais.

Variáveis	Coeficientes canônicos		Coeficientes de correlação	
	1	2	1	2
Colonialismo	0.451	-0.022	0.104	0.381
Epifitismo	0.479	-0.01	0.049	-0.331
N-alcanos	-0.602	0.42	0.011	-0.623
UCM	-0.034	-0.085	-0.119	-0.536
Alifáticos resolvidos	0.49	-1.016	0.092	-0.925
PAHs totais	0.283	-0.031	0.364	0.063
Pristano/fitano	-0.843	-0.299	-0.398	-0.624
CPI	0.921	-0.132	0.506	-0.527
Distância	-0.059	0.141	0.286	0.192

A ordenação da CCA também mostrou que os pontos amostrais sofrem interferência de variáveis diferentes de acordo com o período amostral (Figura 2). No entanto, a maioria das amostras coletadas em fevereiro foi significativamente afetadas pelo CPI e pelas concentrações de hidrocarbonetos alifáticos resolvidos. Os costões de Viana e Prainha não foram afetados pelas variáveis ambientais respectivamente nos períodos de março e fevereiro. No primeiro período amostral as praias de Preta e Sino foram afetadas principalmente pela razão Pristano/fitano e pela concentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos respectivamente.

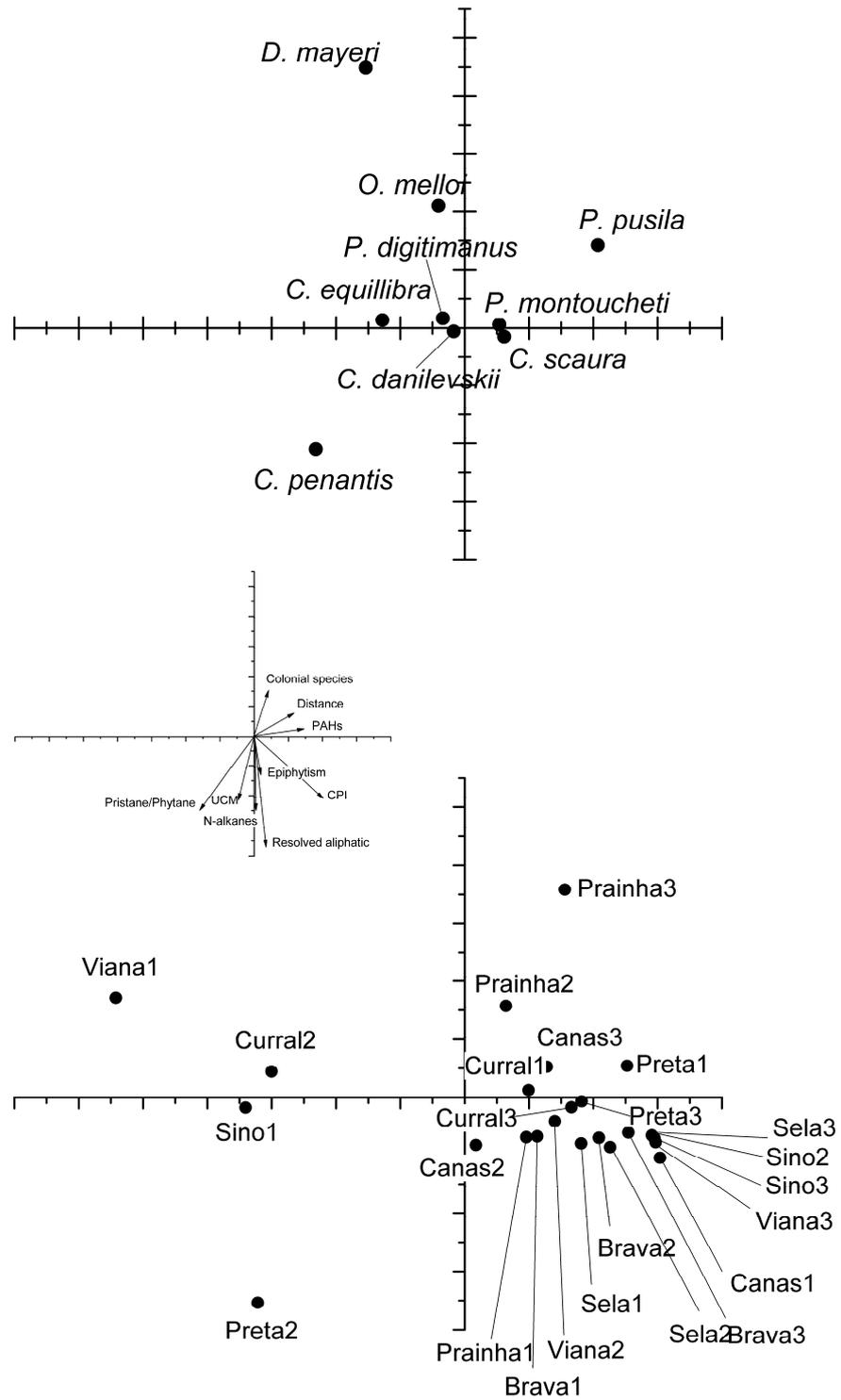


Figura 2. Ordenação das espécies e dos pontos de amostragem em relação às variáveis ambientais. Escala dos vetores = 2.0.

## 5. Discussão

Contaminações crônicas por petróleo em habitats marinhos de águas rasas em decorrência de atividades de transporte são relatadas com determinada frequência, principalmente para a coluna d' água e sedimentos. Apesar de compostos de petróleo terem sido detectados em macroalgas marinhas (Binark et al., 2000), estudos que abordem tal associação ainda são escassos. No presente trabalho foi constatado que frondes de *Sargassum* recebem uma quantidade significativa de poluentes derivados de petróleo com uma relevante variação temporal.

Apesar da predominância de hidrocarbonetos de origem biogênica, a presença de componentes de petróleo foi um padrão relevante nos dados amostrados. A cromatografia gasosa revelou a presença de n-alcenos de até 26 carbonos nas frondes de *Sargassum*, com cadeias sem dominância ímpar ou par no número de carbonos nas cadeias moleculares. O CPI aponta para fontes naturais de hidrocarbonetos quando apresenta valores  $\geq 4$ . No presente levantamento foram encontrados valores  $\leq 4$ , o qual por sua vez é indicativo de fontes antrópicas de hidrocarbonetos (Guerra-García et al., 2003). Além disso, a UCM foi detectada para dois períodos amostrais. A presença da UCM geralmente está associada a resíduos de petróleo (Readman et al., 2002), no entanto, um melhor diagnóstico é obtido quando sua importância relativa (determinada pela razão UCM/alifáticos resolvidos) apresenta valores  $\geq 2$ . Assim, os valores de importância relativa da UCM calculados no presente trabalho indicam interferência sazonal de hidrocarbonetos petrogênicos na área de estudo. A razão entre pristano e fitano aponta para aportes de poluentes petrogênicos em uma determinada área quando seu valor é  $\leq 1$  (Steinhouer & Boehm, 1992). Os valores obtidos neste estudo indicam variação sazonal e espacial na ocorrência de poluentes derivados de petróleo dentre as

estações amostrais. Desta forma, torna-se crível assumir que o Canal de São Sebastião apresenta um gradiente espaço-temporal quanto a presença de poluentes petrogênicos.

Efeitos negativos dos n-alcanos sobre a riqueza das espécies de caprelídeos foi detectada a partir da regressão múltipla. De fato, uma quantidade significativa de poluentes petrogênicos presentes em macroalgas marinhas é representada por n-alcanos (Binark et al., 2000). A assembléia amostrada neste levantamento pertence à família Caprellidae, a qual apresenta um comportamento alimentar predominantemente detritívoro, mas que também se alimenta de macroalgas e macroinvertebrados em quantidades significantes (Guerra-García & Figueroa, 2009). A relação entre macroinvertebrados bênticos marinhos e hidrocarbonetos depende de seus hábitos alimentares (Baumard et al., 1998), de forma a possibilitar a bioacumulação destes poluentes através de cadeias alimentares estabelecidas entre organismos bênticos (Wolfe et al., 1998). Assim, é possível que as concentrações de n-alcanos tenham efeitos tóxicos sobre as espécies de caprelídeos, promovendo desigualdades sobre a composição de espécies dentre áreas presentes na mesma região costeira, porém sujeitas à diferentes concentrações de hidrocarbonetos.

A distância entre as estações amostrais e o terminal petrolífero também exerce efeitos negativos sobre a riqueza de espécies. Esta correlação antagônica pode ser uma consequência das diferentes concentrações de poluentes petrogênicos entre os pontos amostrais. Por sua vez, esta diferença quanto à intensidade da presença de poluentes tende a configurar um determinado gradiente de condições ambientais (Hyland, 2008). Respostas da estrutura de comunidades bênticas marinhas a um gradiente de poluição são geralmente reportadas para conjuntos biológicos presentes em substratos não consolidados (Estacio et al., 1997; Guerra-García et al., 2003; Venturini et al., 2008). É provável, portanto, que a relação entre riqueza de espécies e um gradiente de poluição evidenciada nos dados do presente

estudo reflitam um padrão presente em sistemas marinhos impactados por descargas de poluentes.

O efeito de poluentes de petróleo sobre a composição de espécies em comunidades marinhas estabelecidas em águas rasas foi recentemente debatido (Venturini et al., 2008). No porto de Ceuta, Guerra-García e colaboradores (2003) observaram que, em um cenário onde os níveis de aporte de poluentes petrogênicos diferem entre pontos amostrais distintos, as espécies de Amphipoda são encontradas exclusivamente em locais que apresentam níveis significantes de hidrocarbonetos alifáticos. No presente estudo a equitatividade das espécies de Caprellidae foi positivamente afetada pelas concentrações de UCM. Apesar de ser a primeira constatação desta relação positiva, é muito provável que este padrão esteja relacionado às respostas semelhantes dentre as espécies em meio à variação das concentrações de UCM. Desta forma, mesmo em uma situação de altas concentrações de UCM, os processos populacionais não diferem de uma espécie para outra ao ponto de promover a existência de um número relativamente alto de espécies dominantes.

Os dados levantados mostram que algumas espécies de caprelídeos foram significativamente afetadas pelas variáveis ambientais. Por exemplo, *Caprella penantis* é influenciada pela razão entre pristano e fitano. Recentemente, esta espécie foi proposta como um bioindicador da presença de poluentes devido ao seu potencial para acumular metais presentes na coluna d' água (Guerra-Garcia et al., 2009). A interferência da razão pristano/fitano sobre a densidade de *C. penantis* sugere que esta a espécie também tem a capacidade de acumular poluentes de petróleo em costões rochosos. Similarmente, a ordenação indica que *Caprella scaura*, a espécie numericamente dominante nos três períodos amostrais, responde às concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Em localidades próximas à área de estudo as densidades de *C. scaura* associada foram reportadas

como resultantes de fatores biológicos, tal como o *timing* reprodutivo (Jacobucci et al, 2002, 2009b). No entanto, a razão sexual de *C. scaura* pode ser influenciada tanto espacial quanto sazonalmente de acordo com a distância em relação ao TEBAR (Balthazar-Silva et al., em preparação). Desta forma, é possível que a estrutura populacional desta espécie seja significativamente afetada pelo gradiente de poluentes petrogênicos amostrado.

O presente estudo avalia pela primeira vez as relações entre hidrocarbonetos de petróleo em macroalgas marinhas e a assembléia composta por anfípodes. Efeitos negativos de n-alcanos, UCM e distância do terminal petrolífero foram detectados na estrutura desta taxocenose. Portanto, conclui-se que a assembléia de caprelídeos estudada está sujeita a uma pressão significativa exercida por hidrocarbonetos de petróleo. Este efeito pode ser extremamente complexo devido ao fato de que outras variáveis ambientais podem modular sua consequência e sua intensidade (Evans & Rice, 1974). No entanto, ficou evidenciado no presente trabalho que os caprelídeos têm de fato um grande potencial para bioindicadores de poluição por hidrocarbonetos, assim como foi preteritamente demonstrado para outros poluentes (Takeuchi et al., 2001).

**Capítulo 2. Variação Temporal de uma assembléia de espécies da família Caprellidae  
(Crustacea: Amphipoda) em uma região subtropical.**

## 1. Introdução

A distribuição e a estrutura de comunidades bênticas estabelecidas em costões rochosos podem variar de acordo com escalas espaciais (Tanaka e Leite, 2003), temporais (Jacobucci et al., 2009a) e em resposta à complexidade física do habitat (Edgar & Klumpp, 2003). Assim, descritores da comunidade como densidade, diversidade, equitatividade e riqueza podem ser influenciados por uma variedade de processos bióticos e abióticos de forma a apresentar diferentes valores dentro da mesma escala (Petraitis & Methratta, 2006).

Regiões inferiores de costões rochosos são comumente dominadas por bancos de macroalgas, que abrigam por sua vez uma grande variedade de macroinvertebrados (Tanaka & Leite, 2003). Esta fauna apresenta uma significativa diversidade de comportamentos e modos de vida e, conseqüentemente, respondem de modo distinto à variabilidade do habitat. Por exemplo, Schreider e colaboradores (2003) observaram, através de experimentos em campo, que espécies diferentes de anfípodes têm sua abundância e distribuição modificadas de acordo com a alteração da posição de seus substratos biológicos preferidos.

Em comunidades fitais um grupo a ser destacado é a família Caprellidae. Estes anfípodes apresentam uma significativa diversidade de espécies, a qual tem sido analisada em diversas regiões (Foster et al., 2004; Guerra-García et al., 2006). Os caprelídeos podem apresentar altas abundâncias em águas rasas e profundas tanto nos trópicos (Díaz et al., 2005), como em regiões temperadas (Foster et al., 2004) e polares (Guerra-García,

2003a). Sua significativa abundância é consequência também de sua associação a uma grande variedade de substratos biológicos, onde desenvolvem todo o seu ciclo de vida.

Aspectos da história de vida e da biogeografia do grupo têm sido estudados com uma crescente intensidade nas últimas décadas (Thiel et al., 2003). Além disso, alguns de seus aspectos ecológicos têm sido melhor elucidados. Dentre estes se destacam o comportamento alimentar (Caine, 1974, 1977), o comportamento parental (Aoki, 1997, 1999) e a suscetibilidade do grupo a poluentes presentes na coluna d'água (Aono & Takeuchi, 2008).

Em taxocenoses da família Caprellidae a alimentação é um fator amplamente estudado nas últimas décadas. Caine (1977), ao observar o processo de alimentação de diversas espécies, concluiu que o grupo apresenta uma extensa diversidade de mecanismos alimentares. Algumas espécies já foram apontadas como predadoras (Caine, 1974) e o comportamento exclusivamente herbívoro também é relatado (Duffy, 1990). Recentemente, Guerra-García e Figueroa (2009) conduziram análises de conteúdo estomacal de espécies coletadas em várias regiões do globo. De acordo com estes autores, os caprelídeos alimentam-se principalmente de detritos presentes no substrato e na coluna d'água.

A variedade de mecanismos alimentares pode estar relacionada com a diversidade de formas corporais observadas em caprelídeos. Foi sugerido por Caine (1974) que características específicas, tais como a presença de setas plumadas no segundo par de antenas, podem resultar em particularidades no comportamento alimentar de determinadas espécies. As particularidades morfológicas de cada espécie lhes conferem a possibilidade de escolher a parcela do habitat que apresenta a melhor disponibilidade de alimentos (Guerra-García, 2001a). O acesso a uma determinada classe de alimento, entretanto, é

controlado por diversas variáveis ambientais. A presença de predadores em certas épocas do ano, por exemplo, pode alterar a abundância de alguns grupos tróficos no habitat (Caine, 1991a). As pressões antrópicas constituem outro fator chave para as variações espaciais e temporais de caprelídeos (González et al., 2008), fator que pode influenciar a distribuição de seus grupos tróficos.

Dado que a abundância e a distribuição dos caprelídeos dependem de condições ambientais que variam sazonalmente, é provável que a composição dos diferentes grupos tróficos seja diferenciada em escalas temporais. Possivelmente, grupos tróficos mais abundantes que dependam da disponibilidade de recursos específicos podem responder às variações no recurso (Jacobucci et al., 2002). Entretanto, também é crível supor que grupos que apresentam um comportamento alimentar generalista variem relativamente pouco em escalas temporais devido à presença constante de alimento. Esta abordagem pode contribuir para a compreensão dos fatores que influenciam a variação temporal de taxocenoses compostas por caprelídeos.

Caprelídeos têm as características de ser bons bioindicadores de pressões antrópicas (Guerra-García et al., 2010) e de prestarem importantes serviços aos sistemas em que se encontram (Thiel et al. 2003; González et al., 2008; Guerra-García & Figueroa, 2009), e ainda apresentam um relevante valor econômico (Woods, 2009). Assim, estudos que avaliem sua variação em uma escala temporal são de extrema importância para uma região subtropical impactada por pressões antrópicas porque além de acrescentar informações sobre a estruturação de sua biodiversidade, elucidaria aspectos ecológicos sobre um grupo de significativa importância ambiental.

## **2. Objetivos**

2.1 O objetivo deste segundo capítulo foi o de descrever a variação temporal dos grupos tróficos de caprelídeos associados a algas pardas do gênero *Sargassum* em uma região subtropical impactada por pressões antrópicas.

## **3. Materiais e Métodos.**

### **3.1. Área de estudo.**

Este estudo foi conduzido no Canal de São Sebastião, localizado na costa Sudeste do Brasil ( $23^{\circ} 41' - 23^{\circ} 53' S$ ;  $45^{\circ} 19' - 45^{\circ} 30' W$ ) (Figura. 1). Esta área tem uma extensão total de 22km e 7,2 e 5,6km de largura nas entradas norte e sul respectivamente (Castro et al., 2008). A parte central do canal tem uma extensão total de 1,9km e atinge profundidades de 40m. Os processos sedimentológicos e hidrológicos respondem diretamente à estas características, de forma que a parte continental do canal recebe quantidades significantes de grãos finos (Furtado, 1995).

A direção das correntes é sazonalmente variável, mas pode apresentar uma predominância Sul – Oeste (Silva, 1995). Além disso, Castro et al (2008) mostraram que duas classes de variáveis influenciam o comportamento das correntes, aquelas que atuam diretamente na plataforma continental (por exemplo o vento) e aquelas conectadas com as particularidades geológicas (por exemplo as marés). Assim, grandes variabilidades

espaciais e temporais destes fatores impõem um fator de variação sobre as massas de água.

Ao longo do ano, a temperatura da superfície apresenta um padrão sazonal, com maiores valores no verão (Weiner & Tascheto, 2008), no entanto, Zavialov et al (1999) verificaram que as porções costeiras e localizadas ao sul do canal apresentam uma amplitude de temperatura relativamente maior (10°C) em relação à região oceânica.

O Canal de São Sebastião está sujeito à diversas ações antrópicas tais como o turismo, pesca, tráfego de embarcações e descargas de esgoto (Gorni & Weber, 2004). Dentro do canal está localizado o maior terminal petrolífero da Costa Atlântica (DTCS, PETROBRÁS). De acordo com relatório recente da TRANSPETRO (2008), este terminal recebe, em média, 67 embarcações e tem uma movimentação de 1,9 milhões de metros cúbicos de óleo ao longo de um mês. Todo este movimento de óleo, somado ao histórico de vazamentos de petróleo registrados para a área (Lopes et al., 1997) criam um cenário onde os hidrocarbonetos de petróleo, apesar de ocorrerem em baixas concentrações, variam espacial e sazonalmente (Bícego, 1988).

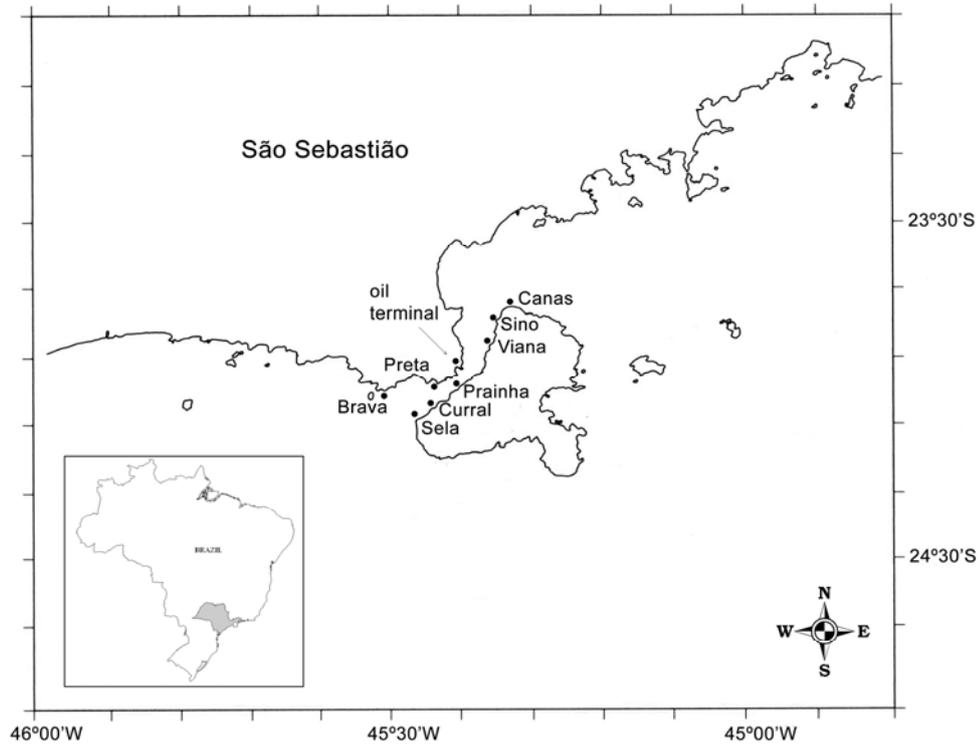


Figura 1. Localização dos costões estudados e posição do TEBAR no Canal de São Sebastião

### 3.2. Procedimento amostral.

As amostras de *Sargassum* sp. foram coletadas no outono, no inverno e na primavera de 2007 e no verão do ano de 2008. Em cada banco de *Sargassum* amostrado (Anexo), foram delimitados dois transectos com cerca de 50 m de extensão. Em cada transecto foram coletadas aleatoriamente cinco frondes de *Sargassum*, para avaliação da estrutura das taxocenoses de anfípodes caprelídeos. Para esta finalidade as frondes foram raspadas do substrato com auxílio de uma espátula e envolvidas em sacos de tecido com malha de 0,2 mm para se evitar a perda da fauna.

A amostragem foi realizada em incursões embarcadas aos locais de coleta, por uma equipe constituída por dois mergulhadores autônomos (SCUBA), um auxiliar e o piloto da embarcação. O material coletado foi levado ao Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo (CEBIMAR - USP) para triagem e preservação das amostras.

No laboratório, os anfípodes caprelídeos foram separados das frondes através de lavagens sucessivas em água do mar do próprio local de coleta. Cada fronde foi colocada separadamente em uma bandeja com solução de formaldeído 4 % em água do mar filtrada e submetida a quatro lavagens sucessivas para remoção da fauna. A água resultante desse processo foi filtrada em rede com malha de 0,2 mm para retenção da macrofauna, a qual foi preservada em álcool a 70%. Os anfípodes caprelídeos foram separados e identificados até o nível específico utilizando-se chaves e coleções de referência. As espécies foram contadas sob microscópio estereoscópico.

Para a determinação do peso seco, as frondes de *Sargassum* foram deixadas sobre uma folha de papel toalha por um período de 24h e, posteriormente secas em estufa à 70°C por 48h. Após este período, as frondes foram pesadas em balança com precisão de 0,001g.

### **3.3 Definição dos grupos tróficos.**

Para a caracterização das espécies presentes em cada um dos grupos tróficos conhecidos para Caprellidae foram utilizados os trabalhos de Caine (1974, 1977) e de Guerra-García e Figueroa (2009). No entanto, devido à variabilidade de formas de aquisição de alimento, a definição dos grupos tróficos aos quais pertencem as espécies de

Caprellidae é extremamente dificultada. Esta definição pode ser mais precisa quando aborda os dados já elucidados para gêneros. Assim, para as espécies cujo mecanismo alimentar ainda é desconhecido, as análises abordaram os dados conhecidos para os gêneros aos quais estas espécies pertencem. Tal abordagem é válida porque aprimora as generalizações sobre o comportamento alimentar do grupo por considerar as necessidades nutricionais compartilhadas por táxons mais superiores de Amphipoda.

### **3.4 Análises estatísticas.**

Para retirar a influência da variação do tamanho das algas nas abundâncias dos caprelídeos, foi estimada a densidade de indivíduos por massa seca da fronde (Tanaka & Leite, 2003). Para avaliar a hipótese de variação temporal dos grupos tróficos, consideramos cada costão rochoso como uma réplica, sendo o valor determinado pela média das dez frondes coletadas em cada costão. Como os valores de densidade não apresentavam uma distribuição normal, os dados foram previamente transformados para logaritmo para se estimar as médias. Os valores das médias em logaritmo foram utilizados nas análises seguintes.

Para avaliar se os grupos tróficos variaram ao longo do tempo, foi usada uma Análise de Variância (ANOVA) de um fator (Estação), considerando-se que as coletas foram realizadas com intervalos de tempo distantes o suficiente para evitar autocorrelação temporal (Quinn & Keough, 2002). As diferenças entre as médias foram avaliadas com o teste de comparações múltiplas *a posteriori* de Tukey (Quinn & Keough, 2002). Para verificar se esta variação influenciava a composição das assembléias de caprelídeos, foi

calculada uma matriz de similaridade a partir dos dados de densidade de grupos tróficos, usando-se o índice de similaridade de Bray-Curtis. Em seguida, usamos uma Análise de Similaridade (ANOSIM) de um fator (Estação do Ano) para avaliar se a composição de grupos tróficos variava ao longo de um ano, e uma Análise de Quebra de Similaridades (SIMPER) para determinar os grupos responsáveis pelas diferenças entre as estações do ano (Clarke & Warwick, 2001). Para a visualização do padrão de variação encontrado, as amostras foram ordenadas em um escalonamento multidimensional não-métrico (MDS) (Clarke & Warwick, 2001).

#### 4. Resultados

Foi encontrado um total de nove espécies da família Caprellidae separadas em três grupos tróficos. *Caprella scaura* (Templeton, 1836), *Orthoprotella melloi* (Quitete, 1971), *Paracaprella pusila* (Mayer, 1890), *Pseudoaginella montoucheti* (Quitete, 1971) representando o grupo dos detritívoros, *Caprella danilevskii* (Czerniavskii, 1868), *Caprella equillibra* (Say, 1818), *Caprella penantis* (Leach, 1814), *Paracaprella digitimanus* (Quitete, 1971) constituíram o grupo dos onívoros e *Deutella mayeri* (Stebbing, 1895) foi a única representante do grupo que alterna sua alimentação entre detritívoria e carnívoria.

Os detritívoros apresentaram variação significativa na densidade (Tabela 1), com valores mais altos na primavera quando comparados com as demais estações do ano (Figura 2). Os onívoros também apresentam variação significativa (Tabela 1), mas com diferenças apenas entre a alta densidade registrada no inverno e a menor densidade registrada durante o verão (Figura 2). As demais estações apresentaram densidades

intermediárias entre o verão e o inverno. Já os carnívoro-detritívoros não apresentaram variação significativa ao longo do ano (Tabela 1), com baixas densidades em todas as estações (Figura 2).

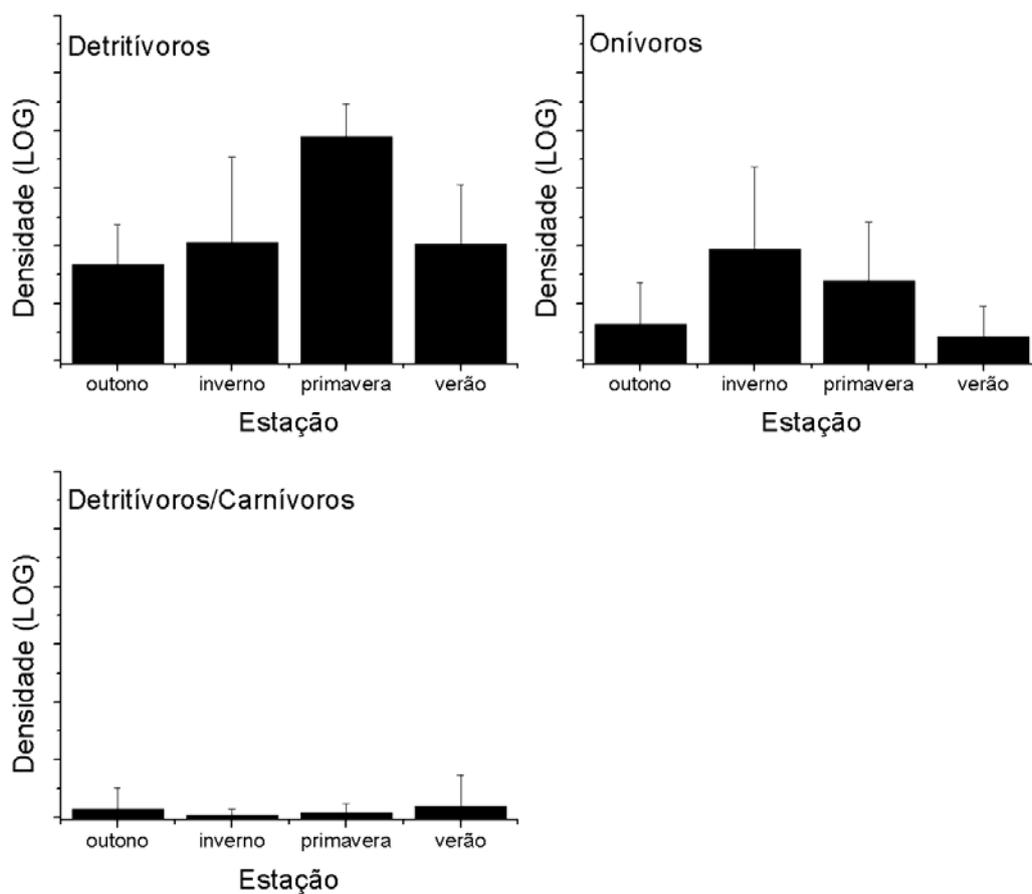


Figura 2. Médias dos valores de densidade de cada grupo trófico na escala temporal (barras representam o desvio padrão).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) da densidade dos grupos tróficos.

Fonte de variação	gl	QM	F	P
<b>Detritívoros</b>				
Estação	3	2,028	7,984	0,001
Resíduo	28	0,254		
<b>Onívoros</b>				
Estação	3	0,978	4,040	0,017
Resíduo	28	0,242		
<b>Carnívoro-Detritívoros</b>				
Estação	3	0,009		
Resíduo	28	0,029	0,297	0,827

Estas diferenças observadas principalmente para os detritívoros e onívoros influenciaram fortemente a composição das assembléias, com diferenças significativas entre as estações do ano (ANOSIM:  $R = 0,285$ ,  $P = 0,001$ ). De acordo com o MDS, houve a formação de dois grandes grupos (Figura 3): um grupo formado pelas amostras do verão e outono, com grande sobreposição (ANOSIM:  $R = -0,076$ ,  $P = 0,835$ ) e outro grupo formado pelas amostras de inverno e primavera, com um gradiente entre as duas estações ( $R = 0,185$ ,  $P = 0,060$ ). De acordo com o MDS, o gradiente foi determinado principalmente pelas amostras dos costões do Sino, Viana e Praia Preta coletadas no inverno, que

apresentaram altas densidades de detritívoros, características das amostras de primavera (Figura 3). As comparações realizadas entre as estações dos diferentes grupos (outono X primavera, outono X inverno, primavera X verão e inverno X verão) mostraram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ).

Os resultados do SIMPER indicaram forte influência dos detritívoros na composição das amostras das diferentes estações do ano. Na primavera, estação com máxima densidade de detritívoros, a similaridade média entre as amostras dos costões estudados foi de 81,5%, enquanto nas outras estações a similaridade foi menor, devido ao maior efeito dos outros grupos tróficos (outono: 62,7%, inverno: 65,0%, verão: 58,6%). Para o outono, primavera e verão, a contribuição dos detritívoros para a similaridade média foi alta, com valores entre 82,6 e 91,5%, enquanto os onívoros contribuíram com 8,5 a 17,1%. No inverno, quando os onívoros apresentaram maior densidade, a contribuição deste grupo trófico para a similaridade média foi de 47,5%, enquanto a contribuição dos detritívoros decaiu para apenas 52,5%. Na comparação entre as diferentes estações do ano, entretanto, a dissimilaridade média foi menos variável, entre 37,1 e 48,2%, sendo que a contribuição para a dissimilaridade entre estações do ano foi relativamente constante entre os grupos tróficos. A contribuição dos detritívoros para a dissimilaridade média variou entre 51,7 e 64,6%, dos onívoros variou entre 30,8 e 45,0% e dos carnívoro-detritívoros entre 3,3 a 9,8%.



populações de caprelídeos apresentam respostas significativas às variáveis físicas (Caine, 1983), químicas (Aono & Takeuchi, 2008) e biológicas (Shucksmith et al., 2009). Esta característica faz com que as dinâmicas temporais da estrutura trófica de uma taxocenose de caprelídeos tenham mais de uma explicação plausível.

Os dados analisados no presente trabalho aparentemente refletem a existência de uma diferenciação sazonal entre as densidades de organismos detritívoros e onívoros. A disponibilidade de recursos alimentares para a comunidade bêntica estabelecida em regiões costeiras pode variar sazonalmente (Arasaki et al., 2004). Esta variação já foi sugerida em estudos anteriores especificamente para bancos de macroalgas (Jacobucci et al. 2009a). Desta forma, é muito provável que grupos tróficos de caprelídeos apresentem esta diferenciação por que seus recursos alimentares também variam em escalas temporais.

No entanto, a macrofauna bêntica responde a outros processos que ocorrem no banco de algas, além da disponibilidade de recursos alimentares. Isto ocorre por que este habitat lhes proporciona também abrigo e local para nidificação (Duffy & Hay, 1991). Já foi proposto que o habitat proporcionado pelo banco de algas aos anfípodes apresenta um determinado grau de variação sazonal quanto à sua complexidade (Jacobucci et al., 2009b). Este seria um fator que promove diferenças entre a presença de algumas espécies em certas estações do ano porque interfere sobre a disponibilidade de espaço para estabelecimento e nidificação (Guerra-García et al., 2009b).

As interações biológicas podem constituir outro fator limitante à densidade dos grupos tróficos. A sazonalidade da presença de predadores, por exemplo, interfere sobre a estrutura de uma taxocenose de anfípodes de forma a limitar a abundância de determinados grupos tróficos em estações do ano específicas (Duffy & Hay, 2000). Além

disso, já foi observado que a competição por recursos promove a exclusão de determinadas espécies de caprelídeos do habitat (Shucksmith et al., 2009). É possível inferir, portanto, que interações interespecíficas podem ter uma significativa interferência sobre os padrões de variação temporal de espécies de caprelídeos.

Uma das prováveis explicações para o padrão de variação sazonal revelado pelas análises de similaridade seria de que esta variação está associada às características reprodutivas das espécies amostradas. A dependência entre as dinâmicas reprodutivas e o padrão de ocorrência de caprelídeos foi sugerida por estudos anteriores (Jacobucci et al., 2002; Vázquez-Luiz et al., 2009). Para estes organismos existe um período de intervalo entre uma estação reprodutiva e outra (Thiel, 1999a). Deve-se enfatizar, entretanto, que este período não deve ser o mesmo para todas as espécies encontradas. Portanto, as dissimilaridades observadas para o *timing* reprodutivo dentre espécies de Caprellidae (Caine, 1983) atuam de forma a promover oscilações temporais sobre as dinâmicas das populações, interferindo assim sobre a densidade de seus grupos tróficos.

A estrutura da assembléia que está associada a algas marinhas é determinada de acordo com alterações nos processos hidrológicos de uma determinada localidade (Leite et al., 2007). A variação sazonal da estruturação trófica evidenciada neste estudo seria explicada de maneira plausível por respostas diferenciadas entre as espécies às dinâmicas temporais de circulação de massas de água que ocorrem na área trabalhada (Castro et al., 2008). Já foi observado que as espécies de caprelídeos são significativamente adaptadas às características das correntes em uma determinada estação do ano (Caine, 1989). Desta forma, alterações sazonais da circulação de massas de água podem resultar em uma diferenciação temporal na abundância das espécies de caprelídeos que compõem um dado grupo trófico.

Os resultados do ANOSIM mostram ainda que a abundância dos grupos tróficos encontrados na primavera e no inverno difere daqueles das estações de outono e verão. Estes resultados sugerem que mesmo períodos próximos apresentam diferenças significativas quanto às condições ambientais, ao ponto de impor desigualdades sazonais em uma comunidade de caprelídeos. Esta suposição corrobora com a proposta de que as dinâmicas sazonais de caprelídeos são influenciadas pelas condições ambientais do habitat em que estão estabelecidas (González et al., 2008, Vázquez-Luiz et al., 2009).

Portanto, os resultados do presente estudo mostram que existe uma significativa variação sazonal para os grupos tróficos de caprelídeos amostrados. Apesar de o número de grupos tróficos encontrados ter sido baixo, o presente trabalho traz resultados significativos pelo fato de evidenciar o funcionamento da estrutura trófica de caprelídeos. Este cenário sugere que a estrutura de uma assembléia de caprelídeos varia sazonalmente em um ecossistema subtropical, sendo esta variação possivelmente dependente dos recursos alimentares disponíveis. Portanto, estudos sobre a disponibilidade de recursos, especialmente na forma de detritos, podem contribuir para a compreensão dos fatores que promovem variação na estrutura destas assembléias, aperfeiçoando o conhecimento sobre as causas de variação natural destes organismos. Como os caprelídeos têm sido cada vez mais utilizados para o monitoramento ambiental (Guerra-García et al., 2010), este conhecimento é fundamental para se evidenciar melhor a resposta destes organismos a impactos ambientais, retirando-se o efeito da variação natural de abundância dos caprelídeos.

## Referências bibliográficas gerais

- Aoki, M., 1997. Comparative study of mother-young association in caprellid amphipods: is maternal care effective? *Journal of Crustacean Biology* 17 (3), 447-458.
- Aoki, M., 1999. Morphological characteristics of young, maternal care behaviour and microhabitat use by caprellid amphipods. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 79, 629-638.
- Aono, A., Takeuchi, I., 2008. Effects of tributyltin at concentrations below ambient levels in seawater on *Caprella danilevskii* (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae). *Marine Pollution Bulletin* 57, 515-523.
- Arasaki, E., Muniz, P., Pires-Vanin, M.S., 2004. A functional analysis of the benthic macrofauna of the São Sebastião Channel (Southeastern Brazil). *Marine Ecology* 25(4), 249-263.
- Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J.C., Burgeot, T., Bellocq, J., 1998. Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in Various Marine Organisms in Relation to those in Sediments and to Trophic Level. *Mar. Pollut. Bull.* 36, 951-960.
- Bicego, M.C., 1988. Contribuição ao Estado de Hidrocarbonetos Biogênicos e do Petróleo no Ambiente Marinho. MsC Thesis, Oceanography Institute, University of São Paulo 156pp.
- Binark, N., Güven, K.C., Gezgin, T., Ünlü, S. Oil Pollution of Marine Algae., 2000. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology* 64, 866-872.

- Caine, E.A., 1974. Comparative functional morphology of feeding in three species of caprellids (Crustacea, Amphipoda) from the Northwestern Florida Gulf Coast. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 15, 81-96.
- Caine, E.A., 1977. Feeding mechanisms and possible resource partitioning of the Caprellidae (Crustacea: Amphipoda) from Puget Sound, USA. *Marine Biology* 42, 331-336.
- Caine, E.A., 1978. Habitat adaptations of North American caprellid Amphipoda (Crustacea). *Biological Bulletin* 155(2), 288-296.
- Caine, E.A., 1983. Community interactions of *Caprella penantis* Leach (Crustacea: Amphipoda) on sea whips. *Journal of Crustacean Biology* 3(4), 497-504.
- Caine, E.A., 1989. Relationship between Wave Activity and Robustness of Caprellid Amphipods. *Journal of Crustacean Biology* 9, 425-431.
- Caine, E.A., 1991a. Reproductive and Sexual Dimorphism of a Caprellid Amphipod. *Journal of Crustacean Biology* 11(1), 56-63.
- Caine, E.A., 1998. First Case of Caprellid Amphipod-Hydrozoan Mutualism. *Journal of Crustacean Biology* 18, 317-320.
- Castro, B.M., Miranda, L.B., Silva, L.S. Fontes, R.F.C., Pereira, A.F., Coelho, A.L., 2008. Processos físicos: hidrografia, circulação e transporte, in: Pires-Vanin, A.M (Ed). *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical, Plataforma de São Sebastião, SP.*, Ed. USP, pp. 59-122.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 2<sup>nd</sup> edition. PRIMER-E: Plymouth, UK.

- Díaz, Y.J., Guerra-García, J. M., Martín, A. 2005. Caprellids (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae) from shallow waters of the Caribbean coast of Venezuela. *Organisms Diversity and Evolution* 5, 1-25.
- Duffy, J.E., 1990. Amphipods on seaweeds: partners or pests. *Oecologia* 83, 267-276.
- Duffy, J.E., Hay, M.E., 1991. Food and shelter as determinants of food choice by an herbivorous marine amphipod. *Ecology* 72(4), 1286-1298.
- Duffy, J.E., Hay, M., 2000. Strong Impacts of Grazing Amphipods on the Organization of a Benthic Community. *Ecological Monographs* 70, 237-263.
- Edgar, G.J., Klumpp, D.W., 2003. Consistencies over regional scales in assemblages of mobile epifauna associated with natural and artificial plants of different shape. *Aquatic botany* 75, 275-291.
- Edgar, G.J., Kerrison, L., Shepherd, A., Toral-Granda, V., 2003. Impacts of the Jessica oil spill on intertidal and shallow subtidal plants and animals. *Marine Pollution Bulletin* 47, 276-283.
- Estacio, F.J., García-Adiego, E.M., Fa, D.A., García-Gómez, J.C., Daza, J.L., Hortas, F., Gómez-Ariza, J.L., 1997. Ecological Analysis in a Polluted Area of Algaceiras bay (Southern Spain): External 'Versus' Internal Outfalls and Environmental Implications. *Marine Pollution Bulletin* 34, 780-793.
- Eston, V.R., Migotto, A.E., Oliveira-Filho, E.C., Rodrigues, S.A., Freitas, J.C., 1986. Vertical distribution of benthic marine organisms on rocky coasts of Fernando de Noronha Archipelago (Brazil). *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo* .34, 37-53.

- Evans, D.R., Rice, S.D., 1974. Effects of oil on marine ecosystems: a review for administrators and policy makers. *Fishery. Bulletin* 72, 625-638.
- Ferguson, P.L., Chandler, G.T., 1998. A laboratory and field comparison of sediment polycyclic aromatic hydrocarbon bioaccumulation of the cosmopolitan estuarine polychaete *Streblospio benedicti* (Webster). *Marine Environmental Research* 45, 387-401.
- Fortes-Xavier, A.C.M.F., 2000. O gênero *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales) no litoral brasileiro. PhD Thesis, Biosciences Institute, University of São Paulo 135pp.
- Foster, M.F., Thoma, B.P., Heard, R.W., 2004. Range extensions and review of the caprellid amphipods (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae) from the shallow coastal Waters from the Suwannee River, Florida, to Port Aransas, Texas, with an illustrated key. *Gulf and Caribbean Research* 16(2), 161-175.
- Furtado, V.V., 1995. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião. *Publicação Especial Instituto Oceanográfico da Usp, São Paulo* 11, 27-35.
- Gerlach, S.A., 1976. *Marine Pollution: diagnosis and therapy*. Berlin: Springer Verlag.
- González, A.R., Guerra-García, J.M., Maestre, M.J., Ruiz-Tabares, A., Espinosa, F., Gordillo, I., Sánchez-Moyano, J.E., García-Gómez, J.C., 2008. Community structure of caprellids (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae) on seagrasses from southern Spain. *Helgoland Marine Research* 62, 189-199.
- Gorni, R., Weber, R.R., 2004. Organochlorine Pesticides Residues and PCBs in Benthic Organisms of the Inner Shelf of the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 52, 141-152.

- Guera-García, J.M., 2001. Habitat use of the Caprellidea (Crustacea: Amphipoda) from Ceuta, North Africa. *Ophelia* 55(1), 27-38.
- Guerra-García, J.M., 2003a. The caprellidean Amphipoda from the subantarctic islands of New Zealand and Australia with the description of a new genus and two new species. *Scientia Marina* 67(2), 177-194.
- Guerra-García, J.M., García-Gómez., 2001. The spatial distribution of Caprellidea (Crustacea: Amphipoda): a stress bioindicator in Ceuta (North Africa, Gibraltar Area). *Marine Ecology* 22(4), 357-367.
- Guerra-García, J.M., González-Vila, F.J., García-Gómez., 2003b. Aliphatic hydrocarbon pollution and macrobenthic assemblages in Ceuta harbor: a multivariate approach. *Marine Ecology Progress Series* 263, 127-138.
- Guerra-García, J.M., Krapp-Schickel, T., Müller, H.G., 2006. Caprellids from the Caribbean Coast of Colombia, With Description of Three New Species and a Key for Species Identification. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 35, 149-194.
- Guerra-García, J.M., Baeza-Rojano, E., Cabezas, M.P., Díaz-Pavon, J.J., Pacios, I., García-Gómez, J.C. 2009a. The amphipods *Caprella penantis* and *Huale schmidtti* as biomonitors of trace metal contamination in intertidal ecosystems of Algeciras Bay, Southern Spain. *Marine Pollution Bulletin* 58, 765-786.
- Guerra-García, J.M., Figueroa, J.M.T. 2009. What do caprellids (Crustacea: Amphipoda) feed on?. *Marine Biology* 156, 1881-1890.

- Guerra-García, J.M., Sánchez, J.M., Ros, M., 2009b. Distributional and ecological patterns of caprellids (Crustacea: Amphipoda) associated with the seaweed *Stypocaulon scoparium* in the Iberian Peninsula. *Marine Biodiversity Records* 2, 1-8.
- Guerra-García, J.M., Lowry, J.K., 2009. Caprellidae. *Zootaxa*, 290-327.
- Guerra-García, J.M., Ruiz-Tabares, A., Baeza-Rojano, E., Cabezas, M.P., Díaz-Pavón, J.J., Pacios, I., Maestre, M., González, A.R., Espinosa, F., García-Gómez, J.C., 2010. Trace metals in *Caprella* (Crustacea: Amphipoda). A new tool for monitoring pollution in coastal áreas. *Ecological Indicators* 10, 734-743.
- Hylland, K., Tollefsen, K.E., Ruus, A., Jonsson, G., Sundt, R.C., Sanni, S., Utvik, T.I.R., Johsen, S., Nilssen, I., Pinturier, L., Balk, L., Barsiene, J., Marigómez, I., Feist, S.W., Borseth, J.F., 2008. Water column monitoring near oil installations in the North Sea 2001-2004. *Marine Pollution Bulletin* 56, 414-429.
- Jacobucci, G.B., Moretti, D., Silva, E.M., Leite, F.P.P., 2002. Caprellid amphipods on *Sargassum cymosum* (Phaeophyta): Depth distribution and population biology. *Nauplius*. 10, 27-36.
- Jacobucci, G.B., Tanaka, M.O., Leite, F.P.P., 2009. Temporal variation of amphipod assemblages associated with *Sargassum filipendula* (Phaeophyta) and its epiphytes in a subtropical shore. *Aquatic Ecology* 43, 1-10.
- Jacobucci, G.B., Tanaka, M.O., Leite, F.P.P., 2009a. Factors influencing temporal variation of a *Sargassum filipendula* (Phaeophyta: Fucales) bed in a subtropical shore. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89(2), 315-321.

- Le Dréau, T., Jacquot, F., Doumenq, P., Guiliano, P., Bertrand, J.C., Mille, G., 1997. Hydrocarbon balance of a site which had been highly and chronically contaminated by petroleum wastes of a refinery from 1956 to 1992). *Marine Pollution Bulletin* 34, 456-468.
- Leite, F.P.P., Tanaka, M.O., Sudatti, D.B., Gebara, R.S., 2007b. Diel density variation of amphipods associated with *Sargassum* beds from two shores of Ubatuba, Southeastern, Brazil. *Iheringia Série Zoologia* 97, 400-405.
- Lopes, C.F., Milanelli, J.C.C., Prosperi, V.A., Zanardi, E., Truzzi, C., 1997. Coastal Monitoring Program of São Sebastião Channel: Assessing the Effects of 'Tebar V' Oil Spill on Rocky Shore Populations. *Marine Pollution Bulletin* 34, 923-927.
- MacLeod, W.D., Brown, D.W., Friedman, A.J., Burrows, D.G., Maynes, O., Pearce, R.W., Pearce, R.W., Wigren, C.A., Bogar, R.G., 1985. Standard Analytical Procedures of the NOAA National Analytical Facility, 1985-1986. Extractable Toxic Organic Components. Second edition, U. S. Department of Commerce, NOAA/NMFS. NOAA Technical Memorandum NMFS F/NWC-92, 121p.
- Marques, A.N.J.R., Moraes, R.B.C., Maurat, M.C., 2002. Poluição Marinha, in: Pereira, R. C., Soares-Gomes, A., (Eds.) *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro. Interciência, pp 311-334.
- Murat, M.C.S., 1996. Efeito crônico do óleo bruto, de dispersante de petróleo e da mistura óleo/dispersante na espécie *Champia parvula* (C. Agardh) Harvey – macroalga. MsC Thesis, Engineering School. University of São Paulo, 76pp.

- McCain, J.C., 1968. The Caprellidae (Crustacea: Amphipoda) of the Western North Atlantic. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- Medeiros, P.M., Bicego, M.C., 2004. Investigation of natural and anthropogenic hydrocarbon inputs in sediment using geochemical markers. II. São Sebastião, SP-Brazil. Marine Pollution Bulletin 49, 892-899.
- Ohji, M., Takaomi, A., Miyazaki, N., 2003. Chronic effects of tributyltin on the caprellid amphipod *Caprella danilevskii*. Marine Pollution Bulletin 46, 1263-1272.
- Ottway, S., 1971. The comparative toxicities of crude oils, in: Cowell, E.B., (ed.) Ecological effects of oil on littoral communities. Applied Science Publishers, pp. 172-180.
- Parker, J.D., Duffy, J.E., Orth, R.J., 2001. Plant species diversity and composition: experimental effects on marine epifaunal assemblages. Marine Ecology Progress Series 224, 55-67.
- Paula, E.J., Eston, V.R., 1987. Are there other *Sargassum* species potentially as invasive as *S. muticum*?. Botanica Marina 30, 405-410.
- Paula, E.J., Oliveira-Filho, E.C., 1980. Phenology of two populations of *Sargassum cymosum* (Phaeophyta - Fucales) of São Paulo State coast, Brazil. Boletim de Botânica 8, 21-39.
- Petraitis, P.S., Methratta, E.T., 2006. Using patterns of variability to test for multiple community states on rocky intertidal shores. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 338, 222-232.

- Poffo, I.R.F., Xavier, J.C.M., Serpa, R.R., 2001. A história dos 27 anos de vazamento de óleo no litoral norte do Estado de São Paulo (1974-2000). *Revista Meio Ambiente Industrial*. 30, 98-104.
- Quinn, G.P., Keough, M.J., 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Readman, J.W., Fillmann, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Catinni, C., Mee, L.D., 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin* 44, 414-429.
- Schreider, M.J., Glasby, T.M., Underwood, A.J., 2003. Effects of height on the shore and complexity of habitat on abundances of amphipods on rocky shores in new South Wales, Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 293, 57-71.
- Shucksmith, R., Cook, E.J., Hughes, D.J., Burrows, M.T., 2009. Competition between the non-native amphipod *Caprella mutica* and two native species of caprellids *Pseudoprotella phasma* and *Caprella linearis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-8.
- Silva, L.S., 1995. Condições Oceanográficas no Canal de São Sebastião e na Região Costeira Adjacente: Variações Sazonais entre fevereiro de 1994 a março de 1995. Msc thesis. Instituto Oceanográfico de São Paulo, Universidade de São Paulo 114p.
- Smith, S.D.A., Simpson, R.D., 1992 Monitoring the shallow sublittoral using the fauna of kelp (*Ecklonia radiata*) holdfasts. *Marine Pollution Bulletin* 24, 46-52.
- Steinhauer, M.S., Boehm, P.D., 1992. The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in nearshore sediment, river sediments, and coastal peat of

the Alaskan Beaufort Sea: implications for detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. *Marine Environmental Research* 33, 223-253.

Széchy, M.T.M., Paula, E.J., 2000. Padrões estruturais quantitativos em bancos de *Sargassum* (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 23, 121-132.

Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S., Miyazaki, N., 2001. Caprella watch: a new approach for monitoring butyltin residues in the ocean. *Marine Environmental Research* 52, 97-113.

Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S., Miyazaki, N., 2004. Butyltin concentrations along the Japanese coast from 1997 to 1999 monitored by *Caprella* spp. (Crustacea: Amphipoda). *Marine Environmental Research* 57, 397-414.

Tanaka, M.O., Leite, F.P.P., 2003. Spatial scaling in the distribution of macrofauna associated with *Sargassum stenophyllum* (Mertens) Martius: analyses of faunal groups, gammarid life habits, and assemblage structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 293, 1-22.

Taniguchi, S., 2001 Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos e organoclorados em diferentes compartimentos do ambiente marinho do estado do Rio de Janeiro. PhD thesis, Chemistry Institute, University of São Paulo, 160pp.

Ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical Correspondence Analysis: A new Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology* 67, 1167-1179.

Thiel, M., 1999a. Duration of Extended Parental Care in Marine Amphipods. *Journal of Crustacean Biology* 19 (1), 60-71.

- Thiel, M., Guerra-García, J.M., Lancelotti, D.A., Vásquez, N., 2003. The distribution of littoral caprellids (Crustacea: Amphipoda: Caprellidea) along the Pacific coast of continental Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76, 297-312.
- TRANSPETRO (Petrobrás transporte S.A.), 2008. Annual report. Brazil, 87p.
- Valério-Berardo, M.T., Flynn, M.N., 2002. *Brazilian Journal of Biology* 62(4a), 735-742.
- Vázquez-Luis, M., Guerra-García, J.M., Sanchez-Perez, P., Bayele-Sempere, J.T., 2009. Caprellid assemblages (Crustacea: Amphipoda) in shallow Waters invaded by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* from southeastern Spain. *Helgoland Marine Research* 63, 107-117.
- Veiga, P., Rubal, M., Besteiro, C., 2009. Shallow sublittoral meiofauna communities and sediment polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 58, 581-588.
- Venturini, N., Muniz, P., Bicego, M.C., Martins, C.C., Tommasi, L.R., 2008. Petroleum contamination impact on macrobenthic communities under the influence of an oil refinery: Integrating chemical and biological multivariate data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78, 457-467.
- Volkman, J.K., Holdsworth, G.D., Neill, G.P., Bavor, Jr., H.J., 1992. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons In Aquatic Sediments. *The Science of the Total Environment* 112, 203-219.

- Wakabara, Y., Tararam, A.S., Takeda, A.M., 1983. Comparative study of the amphipod fauna living on *Sargassum* of two Itanhaém shores, Brazil. *Journal of Crustacean Biology* 3, 602-607.
- Weiner, I., Taschetto, A.S., 2008. Climatologia dos parâmetros de superfície marinha da região sudeste da costa brasileira: ênfase na região de São Sebastião, in: Pires-Vanin, A.M. (Ed), *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical*, Plataforma de São Sebastião, SP., Ed. USP, pp. 41-57.
- Wolfe, M.F., Schlosser, J.A., Schwartz, G.J.B., Singaram, S., Mielbrecht, E.E. Tjeerdema, R.S., Sowby, M.L., 1998. Influence of dispersants on the bioavailability and trophic transfer of petroleum hydrocarbons to primary levels of a marine food chain. *Aquatic Toxicology* 42, 211-227.
- Woods, C.M.C., Caprellid amphipods: Na overlooked marine finfish aquaculture resource, *Aquaculture* 289, 199-211.
- Zanardi, E., Bícigo, M.C., Miranda, L.B., Weber, R.R., 1999a. Distribution and Origin of Hydrocarbons in Water and Sediment in São Sebastião Channel, SP, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 38, 261-267.
- Zanardi, E., Bícigo, M.C., Weber, R.R., 1999b. Dissolved/dispersed Petroleum Aromatic Hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 38, 419-413.
- Zavialov, P.O., Wainer, I., Absy, J.M., 1999. Sea surface temperature variability off southern Brazil and Uruguay as revealed from historical data since 1854. *Journal of Geophysical Research* 104, 21-32.

## **Conclusões gerais.**

A partir dos resultados apresentados no primeiro capítulo é possível concluir que anfípodes caprelídeos têm, de fato, um significativo potencial para bioindicadores de poluição por hidrocarbonetos de petróleo. O presente trabalho traz, desta forma, dados extremamente significativos não apenas por conferir informações inéditas sobre caprelídeos, mas também por somar esforços à compreensão do impacto de poluentes petrogênicos sobre comunidades bênticas marinhas.

Além disso, no intuito de explicar o padrão de variação temporal encontrado, a presente dissertação abordou alguns conceitos ecológicos de suma importância para a ecologia de populações e de comunidades. Dentre estes, a destacarem-se os conceitos debatidos sobre recursos alimentares e ecologia funcional. Todo este esforço tem sua validade por levantar hipóteses e inferências sobre a ecologia de comunidades fitais.

Portanto, esta abordagem pioneira, bem como o projeto ao qual está associada, contribuiu de maneira relevante para o entendimento não apenas de anfípodes caprelídeos mas também do Canal de São Sebastião. Espera-se que com os dados e resultados aqui apresentados novos rumos sejam tomados em busca da conservação dos recursos naturais presentes na área e da mitigação ou mesmo da abreviação dos constantes impactos antrópicos impostos à mesma.

**Anexo.** Locais de coleta.



Praia de Ponta da Sela



Praia do Curral



Praia Preta



Praia de Ponta das Canas



Praia do Sino



Viana/Barreiros