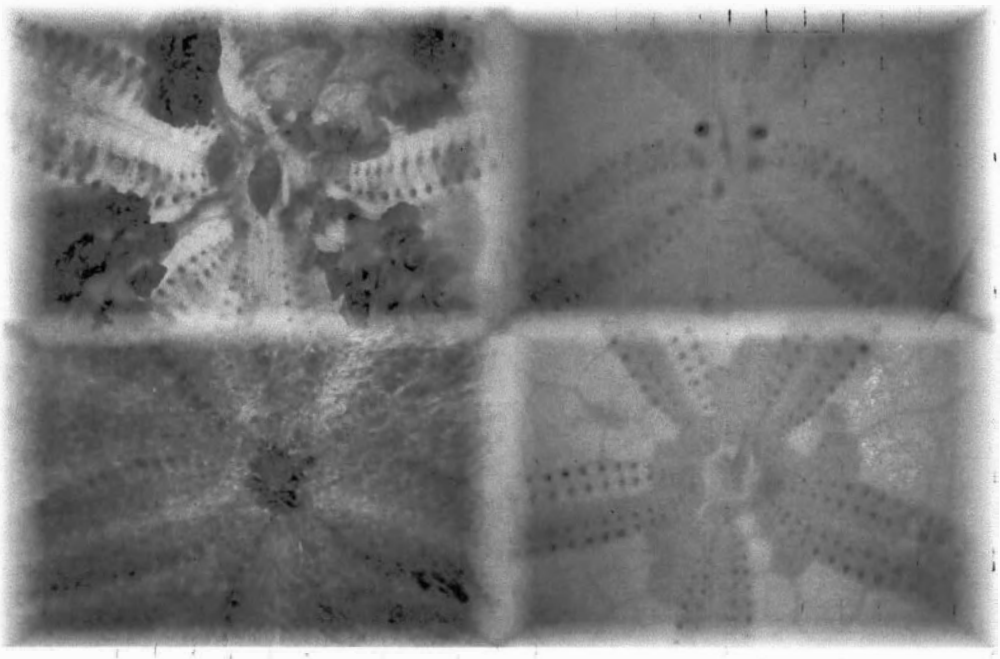
FÁBIO SÁ MAC CORD

ESTRATÉGIA REPRODUTIVA E GAMETOGÊNESE DE *Cassidulus mitis* KRAU, 1954 (ECHINODERMATA: ECHINOIDEA).



Dissertação apresentada à Coordenação de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas – Zoologia.

Rio de Janeiro
2001

FÁBIO SÁ MAC CORD

ESTRATÉGIA REPRODUTIVA E GAMETOGÊNESE DE *CASSIDULUS MITIS* KRAU, 1954 (ECHINODERMATA:ECHINOIDEA).

Banca examinadora:

Prof. Carlos Renato Rezende Ventura
(Presidente da banca)

Prof. Abilio Soares Gomes

Prof. Andrea de Oliveira Ribeiro Junqueira

Rio de janeiro, 11 de April de 2001

Trabalho realizado no Setor de Echinodermata
Departamento de Invertebrados. Museu Nacional
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Renato Rezende Ventura
Departamento de Invertebrados, Museu Nacional
Universidade Federal do Rio de Janeiro

FICHA CATALOGRÁFICA

Mac Cord, Fábio Sá

Estratégia Reprodutiva e Gametogênese de *Cassidulus mitis* Krau, 1954 (Echinedermata: Echinoidea)

Rio de Janeiro. UFRJ, Museu Nacional, 2001.

i-vi, 1-37

Tese: Mestrado em Ciências Biológicas (Zoologia)

1. Ciclo Reprodutivo 2. Gametogênese 3. *Cassidulus mitis* 4. Echinoidea 5. Cassiduloidea 6. Echinodermata 7. Rio de Janeiro

I - Universidade Federal do Rio de Janeiro

II - Teses

Para meus pais, Cristóvam e Bete e para
minha namorada, Priscila, com todo carinho

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Carlos Renato Rezende Ventura, por ter me convidado a ser seu aluno, ter me conduzido neste trabalho, me ensinado e incentivado a melhorar sempre.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela suporte financeiro concedido.

Ao Ricardo Varotto e às meninas do laboratório: Adriana "Globy", Andréa "Peposa" Samantha Lee por terem me levado ao paraíso (Arraial do Cabo). Agradeço por estarem sempre me apoiando, ensinando, discutindo e ajudando neste trabalho. Agradeço também à Dani que na reta final também me ajudou muito.

À Professora Tia Magda R. Padilha, por me receber tão bem em seu laboratório, sem sua ajuda este trabalho ficaria muito mais difícil de ser concretizado.

Agradeço aos integrantes do Laboratório de Celenterologia (Prof. Débora, Prof. Clóvis, Cláudio Ratto, Marcelinho, Bárbara, Emily Boy, Mônica, etc) por todos os favores concedidos (e não foram poucos).

Ao meus melhores amigos do Rio de Janeiro: senhor P. (mister Pablo), por ter rachado o aluguel do apartamento e ter sido meu amigo de fé de todas as horas. E ao Pelezinho (Felipe Lima Clerier), irmão camarada, por me hospedar em sua casa, estar sempre ao meu lado e nunca ter perdido a amizade por mim, mesmo eu assaltando sua geladeira.

Aos meus pais pelo eterno carinho e confiança. Por terem sempre me garantido a oportunidade de estudar e crescer. Por me ensinarem a ser independente e me estimularem a fazer o que fosse melhor para mim.

E o mais importante, agradeço a quem representa tudo de bom na minha vida, que sempre me deu apoio, compreensão e colo, muito colo, tanto nas horas boas quanto, principalmente, nas ruins. À minha eterna namorada, Priscila, por tudo.

ÍNDICE

FICHA CATALOGRÁFICA III
AGRADECIMENTOS V
ÍNDICE DE FIGURAS VI
ÍNDICE DE TABELAS VI
RESUMO 1
INTRODUÇÃO GERAL 2
Objetivo geral: 4
Objetivos específicos: 4
ARTIGO: 5
ABSTRACT 6
INTRODUÇÃO 7
METODOLOGIA 8
RESULTADOS 11
DISCUSSÃO 21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27
CONSIDERAÇÕES FINAIS 30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área de estudo 9
Figura 2. Relações morfométricas nos machos e nas fêmeas 12
Figura 3. Proporção de fêmeas incubando em cada mês 13
Figura 4. Variação do peso intestinal 13
Figura 5. Índice gonadal geral e de machos e fêmeas de *Cassidulus mitis* 14
Figura 6. Gametogênese de fêmeas 17
Figura 7. Gametogênese de machos 18
Figura 8. Freqüência dos estágios de desenvolvimento gametogênico 20
Figura 9. Índice gonadal em diferentes estágios de desenvolvimento gametogênico 20
Figura 10. Distribuição das freqüências de tamanho dos ovócitos 21

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Relação entre medidas corporais para machos e fêmeas 11

RESUMO

A ordem Cassiduloida inclui todos os ouriços irregulares que apresentam petalóides, filódios e borrainas (ou flósculo) (KIER, 1962). Eles possuem, ainda, espinhos curtos e um periprocto disposto posteriormente (MOOI, 1990a). Esta ordem chegou a ser representada por aproximadamente 800 espécies em 67 gêneros. Durante o Eoceno (50 milhões de anos atrás), 60% de todas as espécies de equinóides pertenciam a ordem Cassiduloida (KIER, 1962). *Cassidulus mitis* Krau é uma espécie endêmica do Rio de Janeiro. Para verificar seu ciclo reprodutivo foram feitas coletas mensais na Praia Vermelha de outubro de 1998 a abril de 2000. A razão sexual encontrada foi de 1:1 (χ^2=1.48; $\alpha_{0.05}$=3.84; DF=1). A reprodução é contínua e não há sincronia entre os indivíduos. O índice gonadal dos machos foi superior ao das fêmeas (χ^2=18.33, $\alpha_{0.05}$=3.84). Os machos possuem cinco estágios de desenvolvimento gametogênico: Crescimento, Pré-maduro, Maduro, de Liberação e Estágio de liberação e crescimento concomitante. Os machos não apresentam os estágios de Recuperação e vazio que as fêmeas possuem. Já as fêmeas possuem seis estágios: Recuperação, Crescimento, Pré-maduro, Maduro, de Liberação e Vazio. Todavia, não apresentam o estágio de liberação e crescimento concomitante que ocorre nos machos. O diâmetro médio dos ovócitos foi de 382 μm (DP=49 μm). O número médio de juvenis por fêmea foi de 99.8 indivíduos (DP=108.25; SE=16.32). As gônadas anteriores são comumente menores que as posteriores e diferenças nos estágios gametogênicos foram encontradas entre elas. A primeira maturação ocorre em indivíduos a partir de 17mm de diâmetro. O peso úmido do intestino é aproximadamente duas ou três vezes maior que o peso úmido da carapaça. Isto significa que *C. mitis* utiliza seu intestino como um cinto de lastro para evitar seu deslocamento.

INTRODUÇÃO GERAL

A ordem Cassiduloida inclui todos os ouriços irregulares que apresentam petalóides, filódios e borrainas (ou flósculo) (KIER, 1962). Eles possuem, ainda, espinhos curtos e um periprocto disposto posteriormente (MOOI, 1990a). Esta ordem chegou a ser representada por aproximadamente 800 espécies em 67 gêneros. Durante o Eoceno (50 milhões de anos atrás), 60% de todas as espécies de equinóides pertenciam a ordem Cassiduloida (KIER, 1962). Alguns autores, como SUTER (1994a), acrescentam certos taxa superiores (Clypeasteroida, Oligopygoids, Neolampadoida e Conoclypidae) no clado a que pertencem os cassidulóides. Os cassidulóides são considerados fósseis vivos por constituirem um clado que, durante um longo intervalo de tempo geológico, possui uma baixa diversidade taxonômica e cujas espécies viventes são morfologica e fisiologicamente muito similares às espécies fósseis (ou seja, há uma preponderância de caracteristicas primitivas) (SCHOPF, 1984).

O primeiro registro fóssil dos cassidulóides ocorreu no Jurássico Inferior (KIER, 1962). Durante o Mesozóico houve um aumento do número de espécies dentro da ordem, que alcançou o ápice de sua diversidade no Eoceno. O grupo foi bastante afetado durante a extinção em massa do Cretáceo, mas foi no fim do Terciário e início do Quaternário que sua diversidade decresceu (KIER, 1962). Atualmente existem apenas 30 espécies viventes (MOOI, 1990b).

No fim do Cretáceo ocorreu um importante evento conhecido como "extinção em massa do Cretáceo-Terciário" (K-T). Neste evento houve uma extinção seletiva dos grupos mediada por diferenças no ambiente, na fisiologia ou no hábito de vida das espécies. Tais variações são consideradas fundamentais tanto para a compreensão das mudanças evolutivas em larga escala decorrentes deste evento quanto para a identificação das prováveis causas desta extinção (JABLONSKI, 1986 e 1991). A extinção seletiva foi documentada para

ouriços-do-mar dentre outros invertebrados marinhos. Segundo SMITH & JEFFERY (1998), a estratégia de alimentação está relacionada à sobrevivência neste período, no qual os animais detritívoros foram, no geral, mais afetados. Todavia, o estágio larval do ciclo de vida não parece ter sofrido a pressão seletiva tão fortemente quanto as formas adultas. Este padrão pode ser explicado por um possível decréscimo na abundância de fitoplâncton no final do Cretáceo, que não foi suficiente para afetar as larvas planctotróficas, mas que reduziu a matéria orgânica que enriquecia o fundo oceânico ao ponto de levar os detritívoros à extinção. Houve também um decréscimo do tamanho dos sobreviventes no período pós-Cretáceo. Estes cresceram muito mais devagar ou se tornaram muito mais oportunistas, adquirindo a maturidade sexual em estágios mais anteriores do desenvolvimento. O declínio da ordem Cassiduloida é totalmente condizente com a crise do plâncton, por ser esta ordem essencialmente detritívora. KIER (1962) sugeriu que este declínio está relacionado a um resfriamento dos mares, o que reduziu a área tropical e aumentou a competição com animais que ocuparam nichos semelhantes, como outros ouriços irregulares (os espatangóides e os cliperasteróides). O aumento do número de espécies com menores dimensões nesta ordem ocorreu após a fronteira K-T, ou seja, houve uma diminuição da biomassa (KIER, 1962).

Para se conhecer melhor as causas da extinção do grupo, é preciso conhecer tanto a filogenia como a biologia e ecologia das espécies atuais. Alguma informação neste sentido encontra-se na literatura (GLADFELTER, 1978; FREIRE *et al.* 1992; SUTER, 1994 a e b; TELFORD e MOOI, 1996). Os trabalhos de GLADFELTER (1978) e FREIRE *et al.* (1992) alcançam uma abordagem ampla sobre a biologia e ecologia de duas espécies do gênero de *Cassidulus*. Todavia, eles pouco abrangem um ponto chave para se entender a permanência do grupo até a atualidade, ou seja, a estratégia reprodutiva dessas espécies. A estratégia reprodutiva tem relação direta com a aptidão ("fitness") dos indivíduos (capacidade de utilizar na reprodução o excesso de recursos adquiridos do ambiente) (BROWN *et al.*, 1993) e,

portanto, com sua sobrevivência e evolução pós- Cretáceo.

Esta dissertação está organizada em forma de artigo científico, de acordo com a deliberação da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zoologia do Museu Nacional/UFRJ.

Ela tem como objetivos:

Objetivo geral:

Verificar a estratégia reprodutiva de *Cassidulus mitis* Krau, 1954 e compará-la com as estratégias reprodutivas encontradas em outros equinóides.

Objetivos específicos:

1) Verificar o ciclo reprodutivo de *C. mitis*; 2) Verificar o tamanho do indivíduo na primeira maturação; 3) Analisar histologicamente o desenvolvimento da gametogênese e comparar o ciclo reprodutivo de machos e fêmeas desta espécie.

De acordo com tais objetivos, os seguintes conjuntos de hipóteses foram testados:

Quanto ao ciclo reprodutivo:

H_0- A freqüência do evento reprodutivo na população é sazonal

H_1-A freqüência do evento reprodutivo na população é contínuo.

Quanto ao ciclo de vida de machos e fêmeas:

H_0- Há diferenças no ciclo reprodutivo entre machos e fêmeas.

H_1- Não há diferenças no ciclo reprodutivo entre machos e fêmeas.

ARTIGO:

ESTRATÉGIA REPRODUTIVA E GAMETOGENESE DE *Cassidulus mitis* KRAU, 1954 (ECHINODERMATA:ECHINOIDEA).

Fábio Sá Mac Cord & Carlos Renato Rezende Ventura

ABSTRACT

Cassidulus mitis Krau is an endemic species from Rio de Janeiro, Brazil. To verify its reproductive cycle, samples were taken from October 1998 to April 2000 at Vermelha Beach. Sex ratio of 1 (χ^2=1.48; $\alpha_{0.05}$=3.84; DF=1) was found for *C. mitis*. Reproduction occurs overall the year. Gonadal index (GI) of males was greater than GI of females (χ^2=18.33, $\alpha_{0.05}$=3.84). Reproduction is asynchronous. Males have five gametogenic stages: Early growth, Premature, Mature, Partially spawned and Early growth with partially spawned stage. There is no Spent or Recovery stage as in females. Females have six gametogenic stages: Recovery, Early growth, Premature, Mature, Partially spawned and Spent stage but there is no Early growth with partially spawned stage as in males. Mean diameter of oocytes was 382 μm (DP=49 μm). Mean number of juveniles per female was 99.8 individuals (DP=108.25; SE=16.32). Anterior gonads are commonly smaller than posterior ones. Differences in gametogenic stages were found between anterior and posterior gonads. First sexual maturity occurs in individuals larger than 17 mm. Intestine wet weight is about two or three fold higher than test wet weight. It means that *C. mitis* uses its intestine as a weight belt to avoid displacement.

INTRODUÇÃO

Os cassidulóides distribuem-se por quase todo o planeta, estando ausentes apenas das regiões polares (Ghiold, 1988/1989). Algumas espécies são de ampla distribuição geográfica como *Echinolampas alexandri* de Loriol e *E. oviformis* (Gmelin), enquanto outras são endêmicas, como *Apatopygus recens* (MilneEdwards), *Echinolampas crassa* (Bell)) (Ghiold, 1988/1989) e *Cassidulus mitis* Krau (1954; Tommasi & Lima-Verde, 1960; Freire *et al.*, 1992). Praticamente todos os cassidulóides conhecidos vivem em águas rasas associados a fundos arenosos (Higgins, 1974; Thum & Allen, 1975; Gladfelter, 1978; Freire *et al.*, 1992), apesar de também ocorrerem espécies em águas profundas mas ainda em substrato grosso (Mooi, 1990a). Outras informações sobre espécies de cassidulóides referem-se a aspectos reprodutivos e de desenvolvimento de *E. crassa* (Cram, 1971; Thum & Allen, 1976) e alguns estudos sobre a filogenia do grupo (Suter, 1994a,b; Telford & Mooi, 1996). Os trabalhos de Gladfelter (1978) e Freire *et al.* (1992) abrangem muitas informações sobre a biologia e ecologia de duas espécies de *Cassidulus*. Entretanto, praticamente não dão informações sobre um ponto chave para se entender os processos biológicos envolvidos na ecologia, comportamento e hábitos dos equinóides: a estratégia reprodutiva, que está diretamente relacionada à aptidão individual e, consequentemente, de toda a população (Brown *et al.*, 1993; Begon *et. al.* 1996)

O objetivo deste trabalho foi verificar a estratégia reprodutiva de *Cassidulus mitis* Krau, 1954, uma espécie que mantém os juvenis entre os espinhos, investigando o ciclo reprodutivo e o desenvolvimento gametogênico de machos e fêmeas e o tamanho do indivíduo quando alcança a primeira maturação. Também objetivou-se comparar esta estratégia, quando possível, a ciclos reprodutivos de outras espécies de equinóides, principalmente de equinóides irregulares.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Praia Vermelha, Rio de Janeiro, Brasil (22° 57' 18" S; 43° 9' 48"W) (Fig. 1). Esta praia pode ser dividida em duas áreas distintas: uma mais profunda, com areia mediamente selecionada e alta concentração de matéria orgânica e outra mais rasa, com areia grossa e muito bem selecionada e menor concentração de matéria orgânica (Freire *et al.*, 1992).

Foram amostrados 326 indivíduos de *C. mitis* maiores que 30,0 mm de diâmetro, através de mergulho autônomo, em profundidades que variaram de 1 a 5 metros, no período de outubro de 1998 a abril de 2000. Em janeiro de 1999 e fevereiro de 2000 foram coletados 30 indivíduos de 7,1 a 29 mm de diâmetro para verificar o tamanho na primeira maturação. Os espécimens coletados foram imediatamente preservados em álcool 70%.

No Laboratório de Equinodermatologia do Museu Nacional/UFRJ, os indivíduos foram separados em machos e fêmeas, baseando-se na papila do tipo Tripneuste, usando-se um microscópio de dissecção. O maior e o menor diâmetro e a altura foram medidos com o auxílio de um paquímetro de 0,01mm de precisão. Os juvenis foram triados da superfície aboral das fêmeas usando-se um microscópio de dissecção.

Foram obtidos dados sobre o peso líquido total e o peso líquido das gônadas, e intestino de cada indivíduo. O Índice Gonadal (IG) foi calculado como a razão entre o peso gonadal e o peso total eviscerado, expresso em porcentagem, como se segue:

$$IG = \frac{\text{Peso Gonadal}}{\text{Peso Total-(Peso Intestinal+Peso Gonadal)}} * 100$$

Foi calculada a proporção do peso intestinal em relação ao peso da carapaça (IInt)

como o peso intestinal dividido pelo peso total eviscerado, como se segue:

$$IW = \frac{\text{Peso Intestinal}}{\text{Peso Total-(Peso Intestinal+Peso Gonadal)}} * 100$$

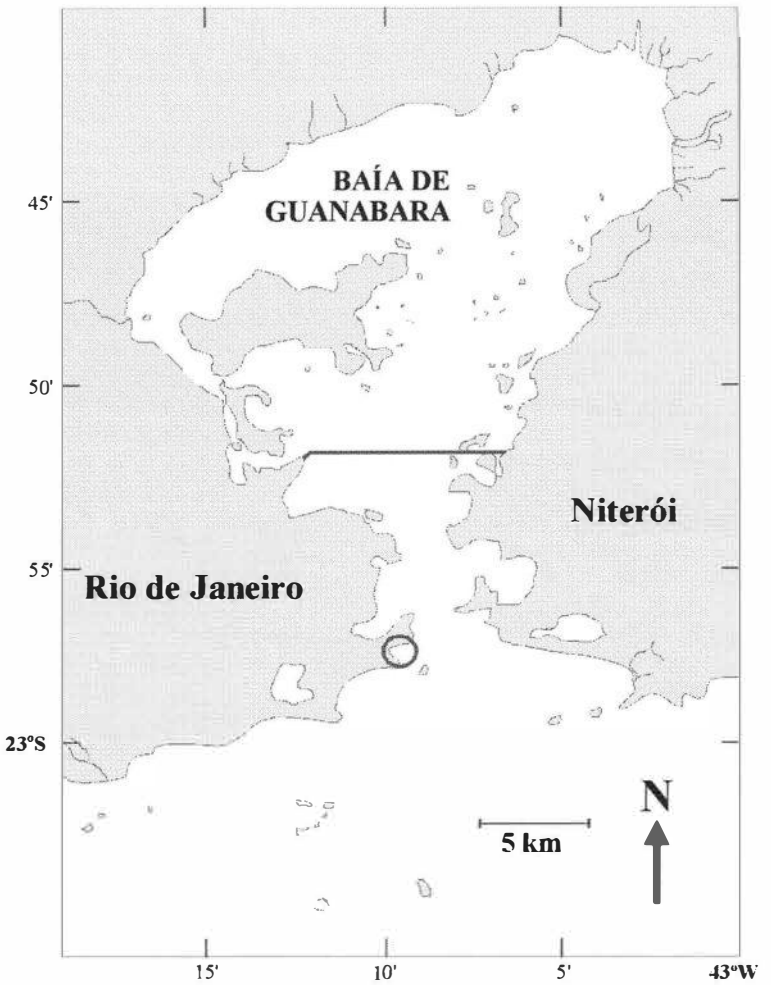


Fig. 1 – Mapa da Baía de Guanabara. A localização da área de estudo está indicado com um círculo.

As gônadas foram fixadas em formalina 10%. Uma gônada anterior e uma posterior de cada indivíduo foram desidratadas em álcool, embebidas em parafina e seccionadas a 7 μm.

As gônadas de 25 indivíduos menores que 30,0 mm, coletados em janeiro de1999, também foram seccionadas a 7 μm. Todos os cortes das gônadas posteriores e 40 cortes das gônadas anteriores aleatoriamente escolhidos entre os meses foram corados com Hematoxilina de Delafield e Eosina Y (H/E). Os estágios reprodutivos das gônadas foram designados de acordo com Byrne (1990): recuperação, crescimento, pré-maduro, maduro, de liberação e vazio.

Foram medidos o maior e o menor diâmetro dos ovócitos com núcleo, das gônadas posteriores, através de um microscópio óptico com uma ocular graduada. Também foi medido o maior diâmetro de 100 ovócitos de diferentes fêmeas de dezembro de 1998. A área de cada ovócito das gônadas posteriores, dada em μm^2, foi calculada com a fórmula de área da elipse, sendo os diâmetros representantes dos raios, como se segue:

$$\text{Área do ovócito} = \pi * \text{diâmetro maior} * \text{diâmetro menor}$$

Para se verificar a significância entre IGs de machos e fêmeas foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. O teste de Komogorov-Smirnov foi utilizado para verificar se há diferença significativa entre as distribuições mensais de tamanho de ovócitos e entre os estágios de desenvolvimento gametogênico (Siegel, 1975). Para se verificar a significância da razão sexual, foi utilizado o teste do Qui-quadrado (Zar, 1984). O teste do Qui-quadrado também foi usado para comparar os índices gonadais de machos e fêmeas (Crump, 1985). A significância entre GIs em cada mês foi averiguada com o teste não paramétrico de múltiplas comparações (Siegel, 1975). Foram calculadas regressões lineares para se verificar a correlação entre as medidas da carapaça de cada sexo e entre os sexos foi feita uma regressão linear. A ANOVA foi utilizada para se comparar os índices gonadais nos diferentes estágios gametogênicos.

RESULTADOS

A proporção sexual estimada na população foi de 1,15 machos para cada fêmea. Esta razão observada não diferiu significativamente daquela esperada de 1:1 (χ^2=1,48; $\alpha_{0.05}$=3,84; GL=1). De um total de 326 adultos coletados (maiores que 30 mm em diâmetro), foram encontrados 174 (53,4%) de machos e 152 (46,6% de fêmeas.

A comparação entre as regressões, realizada de acordo com Zar (1984), demostrou não haver diferenças significativas em relação aos valores de coeficiente angular entre os diâmetros maior e menor (Fig. 2a), entre o diâmetro maior e a altura (Fig. 2b), e entre o diâmetro menor e a altura (Fig. 2c) (Tabela 1). Não houve diferença entre os coeficientes de correlação de machos e de fêmeas para a relação entre diâmetro maior e altura (t=0,77; $\alpha_{0.05}$=2,6); para a relação entre diâmetro menor e altura (t=1,03; $\alpha_{0.05}$=2,6) e para a relação entre os diâmetros; (t=2,13; $\alpha_{0.05}$=2,63).

Tabela 1 – *Cassidulus mitis*. Relação entre medidas corporais para machos e fêmeas. r= coeficiente de correlação de Pearson; t= tcalculado para $t_{0.05}$=2

Relações	Sexo	Equação de reta	r	t
Diâmetro maior X diâmetro menor	Machos	Y=0,817X+1,483	0,97	16,92
	Fêmeas	Y=0,813X+1,743	0,95	19,77
Diâmetro maior X altura	Machos	Y=0,425X+1,046	0,91	20,54
	Fêmeas	Y=0,415X+0,958	0,90	24,85
Diâmetro menor X altura	Machos	Y=0,488X+1,260	0,91	18,00
	Fêmeas	Y=0,484X+0,883	0,88	23,66

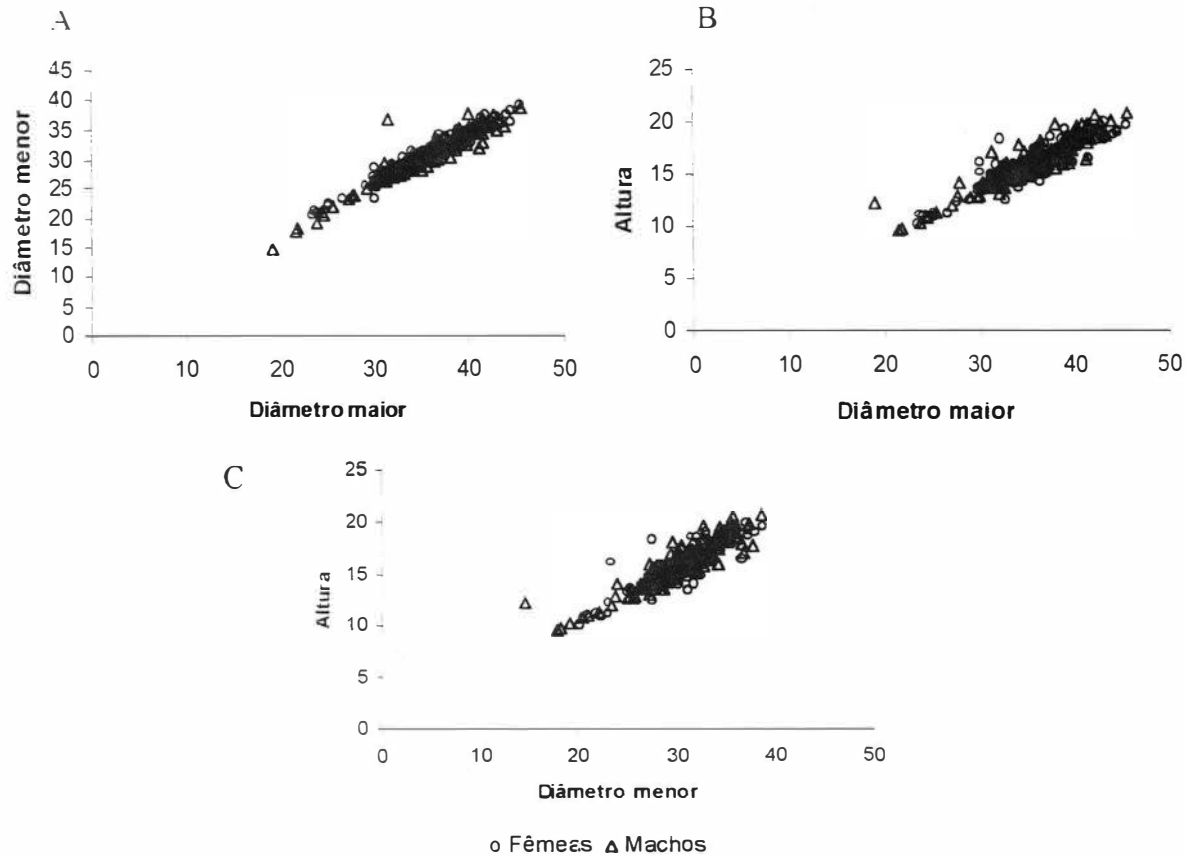


Fig. 2 – *Cassidulus mitis*. Relações morfométricas nos machos e nas fêmeas. (A) diâmetro maior X diâmetro menor; (B) diâmetro maior X altura; (C) diâmetro menor X altura. Número de machos=174; Número de fêmeas=152.

De todas as fêmeas analisadas, 77 (50,7%) apresentavam juvenis na superficie aboral. A proporção de fêmeas incubadoras foi alta em janeiro (80%), fevereiro (67%) e outubro (82%) de 1999 e em janeiro (94%), fevereiro (90%), março (60%) e abril (89%) de 2000. Todavia, ocorreram juvenis sobre as fêmeas em praticamente todos os meses, com exceção de dezembro de1998, quando apenas ovócitos foram observados entre os espinhos. (Fig. 3). Em novembro de 1998 e abril de 1999 não houve amostragem. O número médio de juvenis por fêmea foi de 99,8 (DP=108.25; SE=16.32). O maior número de juvenis coletados (n=459) foi em uma fêmea de julho de 1999.

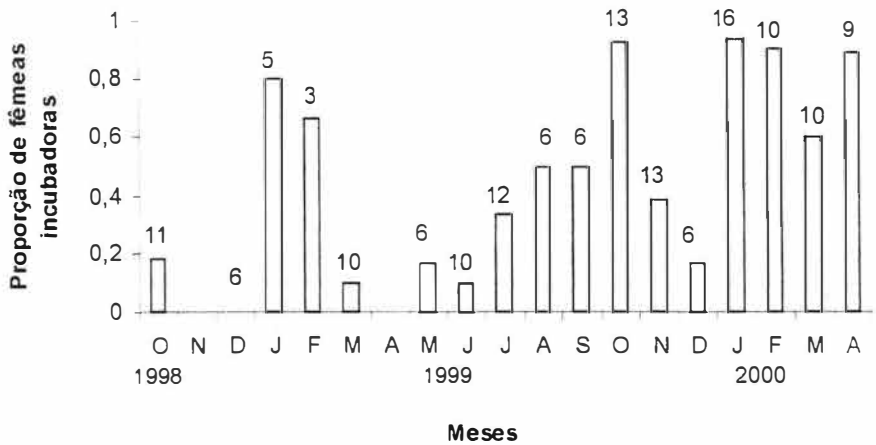


Fig. 3 – *Cassidulus mitis*. Proporção de fêmeas com larvas e/ou assentados entre os espinhos. Os números indicam o total de fêmeas analisadas por mês.

O peso líquido intestinal é duas a três vezes maior que o peso líquido da carapaça, tanto em machos como em fêmeas. Não foi verificado uma oscilação significante no peso intestinal ao longo do período amostrado (Fig. 4)

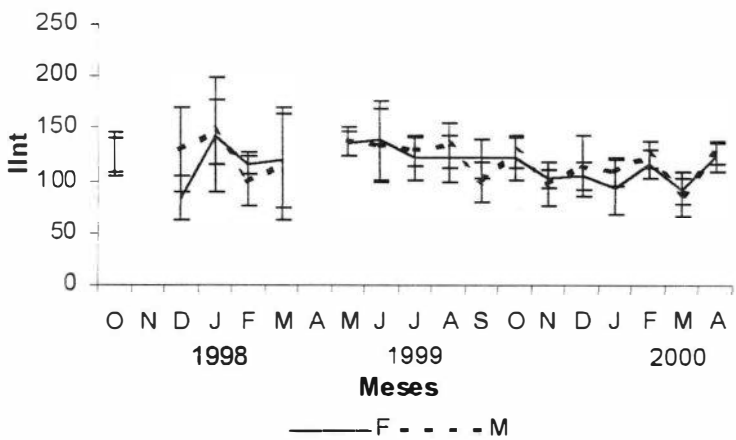


Fig. 4 – *Cassidulus mitis*. Variação do peso líquido intestinal no período amostrado para machos e fêmeas. Barras verticais indicam ± SE.

O índice gonadal para a população apresentou dois picos (janeiro e setembro de

1999), mas não houve um aumento gradual do índice antes de cada pico (Fig. 5a). Nos demais meses, o pico gonadal alcançou baixos valores, oscilando entre 0,76 (março de 2000) e 2,05 (outubro de 1998). Os índices gonadais de machos e de fêmeas, quando analisados separadamente, demonstraram o mesmo padrão encontrado para toda a população, mas os valores do IG dos machos foram significativamente maiores que os das fêmeas (χ^2=18,33; $\alpha_{0.05}$=3,84) (Fig. 5b). Foram encontradas diferenças significativas entre os valores mensais do IG apenas para os machos. Tais diferenças ocorreram entre os meses janeiro e março de 1999 (Q=4,14; $\alpha_{0.05}$=3,56), agosto e setembro de 1999 (Q=5,65; $\alpha_{0.05}$=3;56) e entre setembro e outubro de 1999 (Q=4.60, $\alpha_{0.05}$=3.56).

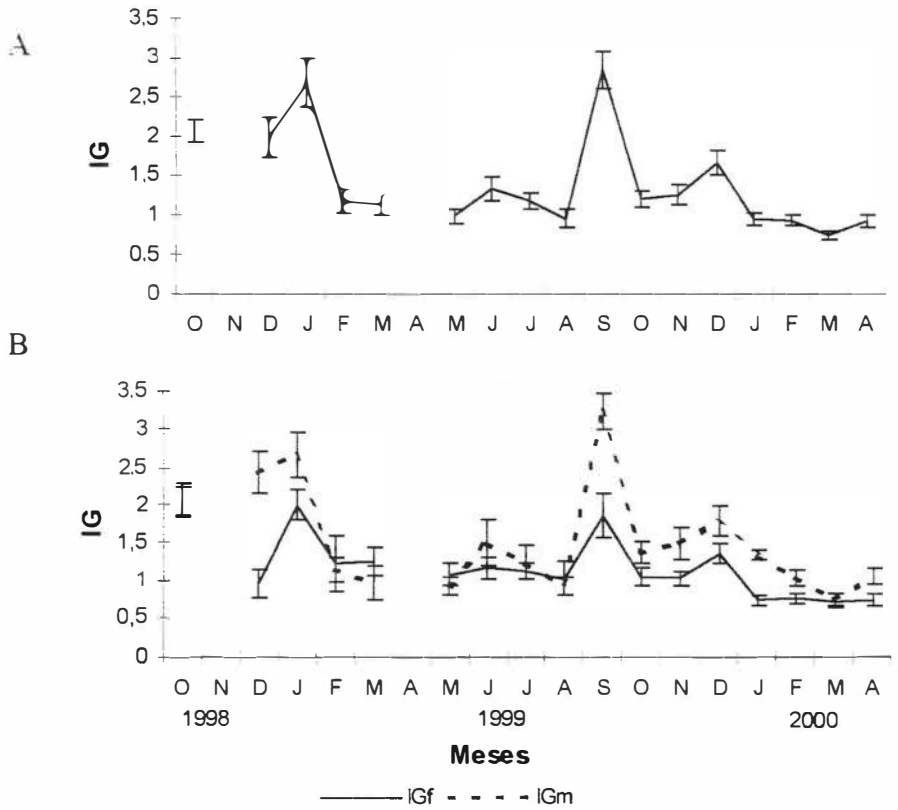


Fig. 5 – *Cassidulus mitis*. Variação mensal do índice gonadal médio de ambos os sexos (A) e para machos e fêmeas separados (B). Barras verticais indicam ± SE.

Foram observados seis estágios de desenvolvimento gametogênico nas fêmeas, assim denominados: recuperação, crescimento, pré-maduro, maduro, de liberação e vazio.

Entretanto, a grande maioria dos espécimes encontrava-se no estágio de crescimento, pré-maduro e de liberação. Ocorreram apenas dois indivíduos no estágio de recuperação (um em agosto de 1999 e outro em abril de 2000), dois no estágio maduro (dezembro de 1998) e um no estágio vazio (dezembro de 1998). O estágio de recuperação é caracterizado pelo preenchimento total da parede da gônada por células nos estágios iniciais da ovogênese, ou seja, pequenas células escuras no formato de pêra (ovócitos pré-vitelogênicos) (Fig. 6a). No estágio de crescimento, além dos ovócitos pré-vitelogênicos, podem ser encontrados estágios mais avançados da ovogênese, caracterizados pela presença de células maiores, mais arredondadas e claras. Neste estágio ainda não são encontrados ovócitos maduros no lúmen (Fig. 6b). O estágio pré-maduro é caracterizado pela presença de grandes células arredondadas, soltas no lúmen (ovócitos maduros) e células em diversos estágios da ovogênese, cobrindo a parede gonadal (Fig. 6c). No estágio maduro ocorre, no lúmen, uma massa compacta de ovócitos repletos de vitelo, podendo-se encontrar ovócitos pré-vitelogênicos e vitelogênicos recobrindo pequenas partes da parede gonadal (Fig. 6d). No estágio de liberação, ainda há ovócitos maduros, porém encontram-se espaçados no lúmen. Pode-se observar na parede gonadal ovócitos pré-vitelogênicos e vitelogênicos (Fig. 6e). No estágio vazio, as gônadas assumem um aspecto atrofiado e não há qualquer tipo de ovócito na parede ou no lúmen gonadal (Fig. 6f).

Cinco estágio de desenvolvimento gametogênico foram encontrados nos machos: crescimento, pré-maduro, maduro, de liberação e em liberação e crescimento concomitante. No estágio de crescimento, as colunas espermáticas projetam-se para o interior do lúmen sem se tocarem (Fig. 7a). No estágio pré-maduro, as colunas espermáticas se tocam no centro do lúmen, formando uma massa de células. Podem ser encontrados lúmens com espermatozóides já formados (Fig. 7b). Os espermatócitos estão uniformemente distribuídos na parede das gônadas maduras, sendo que o lúmen neste estágio está repleto de espermatozóides, formando

uma massa compacta dessas células (Fig. 7c). O estágio de liberação é caracterizado pela distribuição uniforme dos espermatócitos na parede da gônada, como no estágio maduro, porém a massa de espermatozóides está permeada de espaços vazios (Fig. 7d). No estágio de crescimento e liberação concomitante, a massa de espermatozóides fica isolada dos espermatócitos no centro do lúmen e surgem, novamente, as colunas espermáticas projetando-se para o interior da gônada (Fig. 7e). Não foram encontrados fagócitos nutritivos em qualquer estágio de desenvolvimento gonadal tanto de machos como de fêmeas.

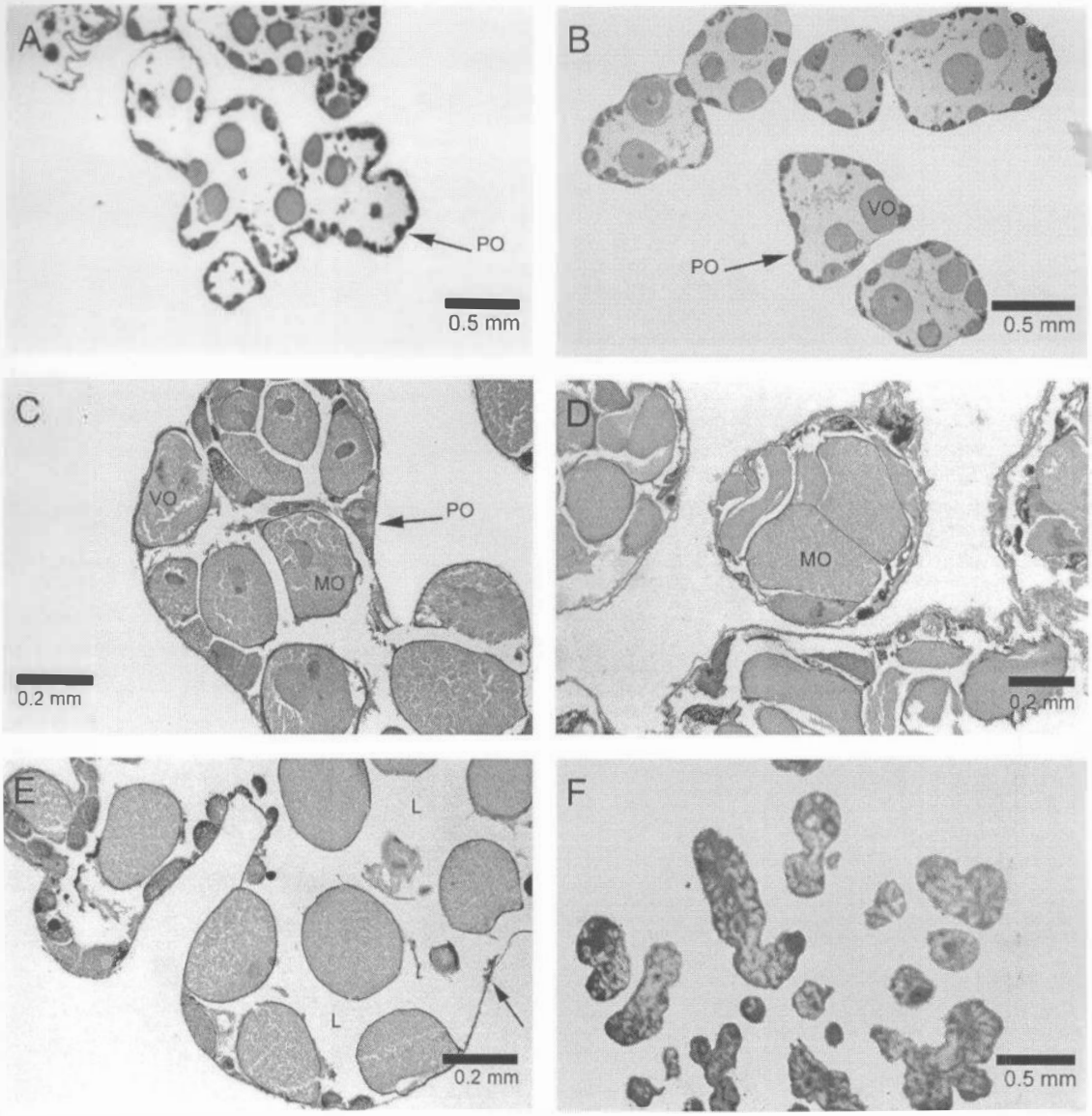


Fig. 6 – *Cassidulus mitis*. Cortes histológicos dos ovários. (A) Estágio de Recuperação com a presença de apenas ovócitos pré-vitelogênicos na parede gonadal. (B) Estágio de crescimento, com ovócitos pré-vitelogênicos e vitelogênicos na parede gonadal. (C) Estágio Pré-maduro, com a presença de alguns ovócitos maduros no lúmem. (D) Estágio Maduro, com o lúmem repleto de ovócitos. (E) Estágio de Liberação, com regiões da parede gonadal livres de células de qualquer estágio de desenvolvimento (seta). (F) Estágio Vazio. L – lúmem; MO – ovócitos maduros; PO – ovócitos pré-vitelogênicos; VO – ovócitos vitelogênicos.

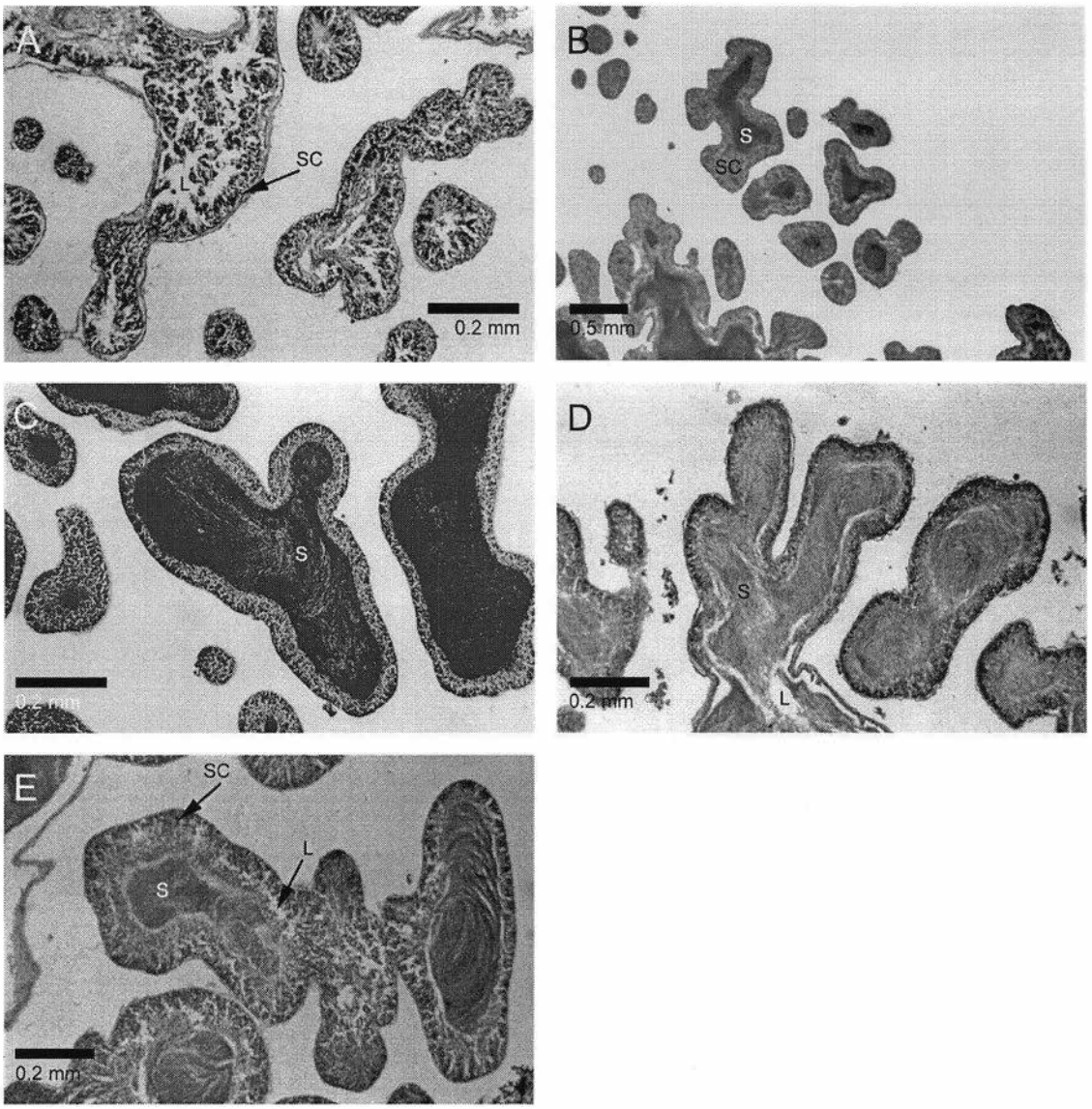


Fig. 7 – *Cassidulus mitis*. Cortes histológicos dos testículos. (A) Estágio de crescimento, com lúmem vazio e colunas espermáticas. (B) Estágio Pré-maduro, com colunas espermáticas e vários graus de acúmulo de espermatozóides. (C) Estágio Maduro, com o lúmem repleto de espermatozóides. (D) Estágio de Liberação, espaçamento entre massa de espermatozóides e espermatócitos e na massa de espermatozóides. (E) Estágio de Crescimento e Liberação concomitantes, com espaçamento entre massa de espermatozóides e espermatócitos e na massa de espermatozóides e coluna espermáticas presentes. L – lúmem; S - espermatozóides; SC - colunas espermáticas

Não foi possível observar um ciclo definido de desenvolvimento gametogênico ao longo do tempo, isto é, a presença dos estágios em cada mês é muito variada, tanto para machos quanto para fêmeas (Fig. 8). Nos machos, percebe-se que ocorrem indivíduos nos estágios de crescimento e liberação em quase todos os meses amostrados, excetuando-se dezembro de 1998, quando não se encontram indivíduos em liberação. Nas fêmeas, os estágios de crescimento e liberação alternam quanto a freqüência ao longo do período, culminando em meses onde um ou outro estágio está ausente. No mês de junho de 1999, tanto nos machos como nas fêmeas ocorre uma maior freqüência de indivíduos em liberação.

Ao contrário do que Freire *et al.* (1992) observaram, gonóporos só foram evidenciados em indivíduos por volta de 17 mm de diâmetro. Todas as gônadas de indivíduos menores que 30 mm coletados em janeiro de 1999 estavam no mesmo estágio de desenvolvimento que as gônadas de indivíduos de tamanhos superiores a 30 mm neste mês (todos em estágio de pré-maduro).

Foram pesadas 308 gônadas anteriores, das quais 46% foram de fêmeas e 54% de machos. O peso das gônadas anteriores podem ser iguais aos das gônadas posteriores ou representar 2,5% em fêmeas e 5% em machos dessas gônadas, sem diferença significativa entre os sexos ($t=1,59$; $\alpha_{0.05}=2,0$). Das 40 gônadas anteriores analisadas, 23 foram de machos e 17 de fêmeas. Foram encontrados 10 machos e 5 fêmeas com estágios de desenvolvimento gametogênico diferindo entre as gônadas.

A relação entre os índices gonadais e os estágios de desenvolvimento gametogênico diferiu entre os sexos (Fig. 9). Nas fêmeas só foram encontradas diferenças entre os estágios de crescimento e pré-maduro (Fig. 9a) ($Q=2,78$; $\alpha_{0.05}=2,64$). Em machos, não foi encontrada diferença significativa entre os IG gonadais em diferentes estágios gametogênicos (Fig. 9b) ($F=1,95$; $\alpha_{0.05}=2,44$).

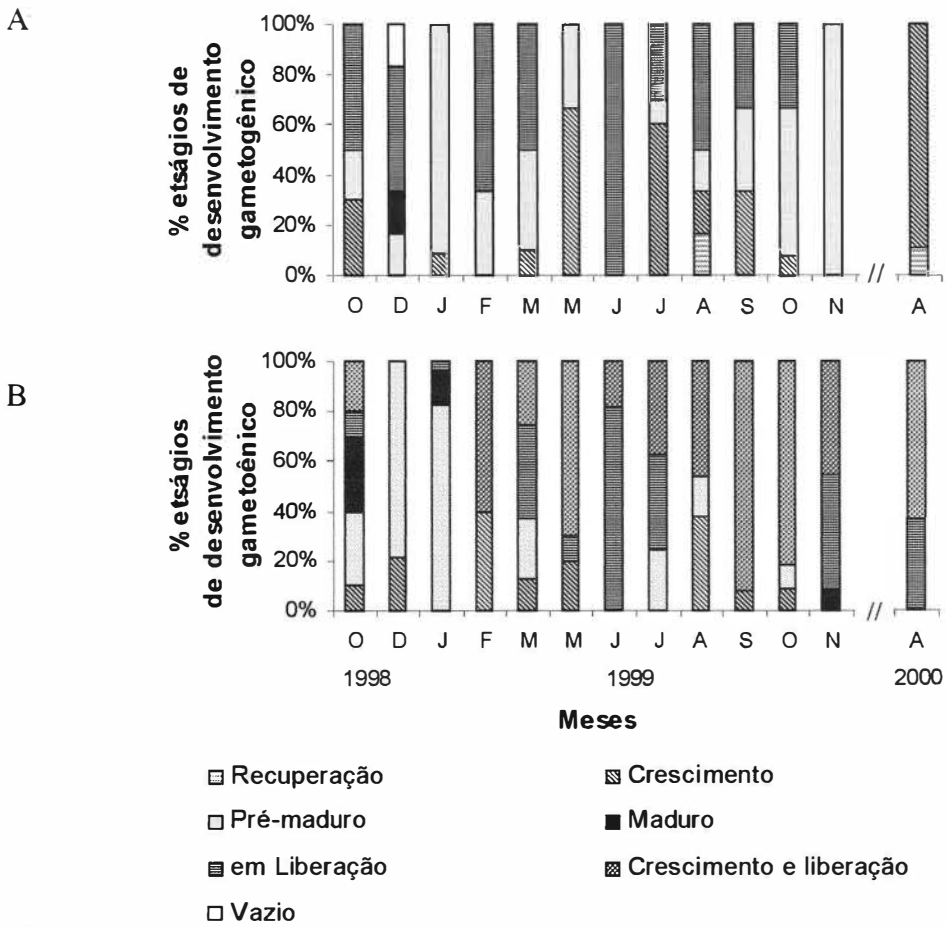


Fig. 8 – *Cassidulus mitis.* Ciclo gametogênico. Freqüência dos estágios de desenvolvimento gametogênico em fêmeas (A) e machos (B).

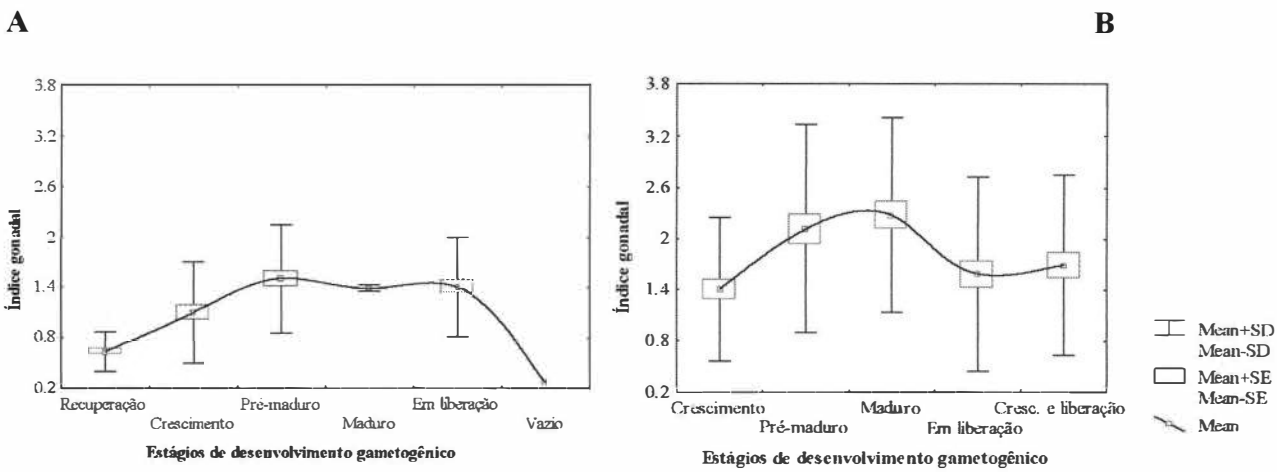


Fig. 9 - Índice gonadal em diferentes estágios de desenvolvimento gametogênico em fêmeas (A) e em machos (B).

Apesar da aparente homogeneidade, a análise estatística das distribuições de freqüência de tamanho dos ovócitos (Fig. 10) revelou diferenças significativas entre outubro e dezembro de 1998 (Dmax=20; $\alpha_{0.05}$=13), janeiro e fevereiro de 1999 (Dmax=20; $\alpha_{0.05}$=13), fevereiro e março de 1999 (Dmax=19; $\alpha_{0.05}$=13), junho e julho de 1999 (Dmax=19; $\alpha_{0.05}$=13), setembro e novembro de 1999 (Dmax=18; $\alpha_{0.05}$=13) e novembro e abril de 2000 (Dmax=26; $\alpha_{0.05}$=13) (Fig. 10). O tamanho médio dos ovócitos coletados em janeiro de 1999 foi de 382 μm (DP=49 μm).

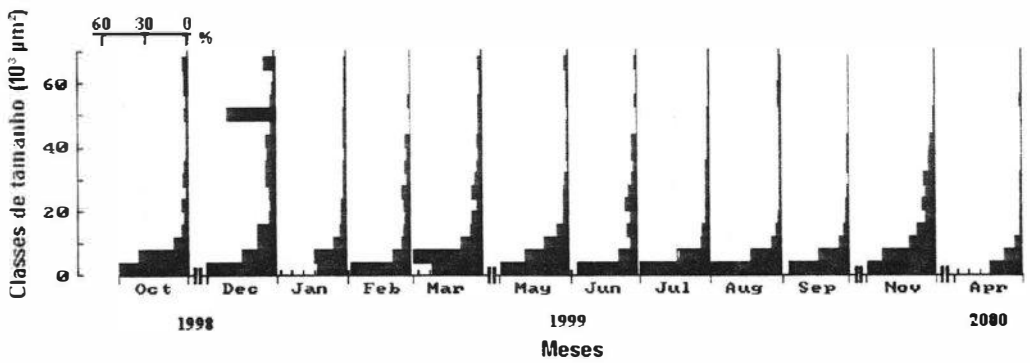


Fig. 11 – *Cassidulus mitis*. Distribuição da freqüência de tamanho dos ovócitos (μm^2).

DISCUSSÃO

A razão sexual encontrada em *C. mitis* está de acordo com a afirmação de Lawrence (1987), onde as espécies gonocóricas de equinodermas (que representam a vasta maioria das espécies do grupo) possuem a razão sexual tipicamente de 1:1. Entretanto este não foi o resultado encontrado por Freire *et al.* (1992) para a mesma população aqui estudada

Embora tais autores não tenham realizado nenhum tratamento estatístico para estabelecer a significância da diferença observada, a análise posterior de seus dados (compreendendo indivíduos acima de 30.05 mm) revelou que a proporção de machos e fêmeas (0.72:1) foi significativamente diferente de 1:1 (χ^2=6.08; $\alpha_{0.05}$=3.84). Em outras populações de cassidulóides cuja razão sexual é conhecida, existem mais fêmeas do que machos (Thum &

Allen, 1976; Gladfelter, 1978), sendo que para a população de *C. caribbearum*, nas Bahamas, chega a ser de 6 a 10 fêmeas para cada macho. Tal desigualdade na proporção sexual destas populações foi atribuída a um crescimento ou mortalidade diferenciada entre os sexos, o que parece não ocorrer para esta população de *C. mitis*.

As papilas genitais de *C. mitis*, explicitam o dimorfismo sexual da espécie (Freire *et al.*, 1992) e são de extrema importância no mecanismo reprodutivo da espécie. Chia (1977) propôs que as papilas servem para facilitar a dispersão de gametas acima do substrato em espécies que vivem enterradas sob o substrato. Além disso, as grandes papilas dos machos evitam que a massa de espermatozóide fique retida no muco, ou espinhos (Pawson & Miller, 1979). Em *C. mitis*, a papila das fêmeas devem ser no formato de uma pequena protuberância para que elas liberem seus ovócitos apenas entre os espinhos e não os percam para o ambiente. Logo, em uma espécie incubadora como *C. mitis*, a função da papila da fêmea é fazer com que os ovócitos permaneçam nos espinhos e muco. De fato, não se sabe se *C. mitis* libera gametas na corrente ou no interstício do substrato. Gladfelter (1978) observou fêmeas de *C. caribbearum* liberando gametas livremente em aquário. No trabalho de Freire *et al.* (1992), assim como neste estudo, foram observados machos de *C. mitis* liberando livremente em aquário. Todavia, no presente estudo os indivíduos observados morreram logo após a liberação, permanecendo a dúvida se foi uma reação ao ambiente estressante ou, apesar de terem morrido, a liberação de gametas na corrente é o comportamento normal de reprodução.

As gônadas de *C. mitis* são proporcionalmente muito pequenas, como pode ser evidenciado pelos baixos valores do IG. Gônadas pequenas também são encontradas em outros equinóides irregulares (Chesher, 1969; Niesen, 1977; Lane & Lawrence, 1979; Pearse & McClintock, 1990). A carapaça de *C. mitis* é muito leve. Para os indivíduos se estabilizarem no substrato e não serem levados por correntes de fundo, o peso intestinal atua como um cinto de lastro, quase da mesma forma que juvenis de escutelinídeos usam o divertículo intestinal (Chia,

1973; Mooi & Chen, 1996). Desta forma, o intestino ocupa quase todo o espaço interno limitando o crescimento das gônadas. Logo, o pequeno tamanho encontrado nas gônadas pode ser causado por limitações morfológicas. Esta característica indica um esforço reprodutivo pequeno quando comparado com outras espécies do filo.

Gladfelter (1978) usou a produção de ninhadas ao invés de usar o IG ou a observação dos estágios de desenvolvimento gametogênico para averiguar o ciclo reprodutivo de *C. carbbearum*. Ele encontrou uma baixa sazonalidade na reprodução, uma vez que a menor porcentagem de fêmeas com assentados encontrada em um mês foi de 50%. Quando a proporção de fêmeas com ninhadas foi utilizada como indicativo do ciclo reprodutivo em *C. mitis*, também observou-se uma baixa sazolalidade reprodutiva.

A quantidade de alimento pode ser um importante fator regulador do crescimento gonadal (Lawrence & Lane, 1982). As gônadas podem atuar como órgãos de armazenagem de energia em alguns equinóides por intermédio de fagócitos nutritivos, como ocorre em *Clypeaster ravenelii* (Vernom, *et al.*, 1993) e *Lovenia elongata* (Pearse, 1969a). Uma vez que tais células não foram encontradas em *C. mitis*, como também não o são em *A. cordatus* (Magnez, 1983), é possível que toda energia adquirida seja prontamente utilizada no crescimento somático e na reprodução. Em abril de 1999 ocorreu um acidente no emissário submarino de Ipanema, o que acarretou no desvio de esgoto para diversas praias, sendo uma delas a Praia Vermelha, que foi interditada durante este mês. O aporte de matéria orgânica proveniente do lançamento destes esgotos na Praia Vermelha, poderia ter causado um aumento do IG nos meses subsequentes, uma vez que os nutrientes seriam rapidamente absorvidos e convertidos na produção de gametas. Altos valores de IG de *Dendraster excentricus* (Niesen, 1977) e *Clypeaster ravenelii* (Vernon *et al.* 1993) foram atribuídos ao aporte extra de matéria orgânica no ambiente. Para a população de *C. mitis*, entretanto, um aumento imediato do IG não foi observado após abril de 1999, ocorrendo um pico somente em setembro do mesmo

ano. Os estágios de desenvolvimento gametogênico em que se encontravam as gônadas ratificam os baixos valores de IG obtidos nos meses subseqüentes a abril. Porém o aumento gradual na freqüência de fêmeas com assentados, de maio a setembro, pode ser um reflexo deste aporte de nutrientes. O pico no IG registrado em setembro, entretanto, não pode ser totalmente explicado. Este pode ter sido conseqüente de um aumento do despejo orgânico não registrado, considerando-se a suposta capacidade de absorção e conversão energética de *C. mitis*. Provavelmente, *C. mitis* é capaz de aumentar seu esforço reprodutivo toda vez que ocorre um aporte extra de matéria orgânica no ambiente.

O tamanho médio dos ovócitos maduros de *C. mitis* é relativamente grande, como em *C. caribbearum* (350 µm) (Gladfelter, 1978), e uma vez e meia maior que em *E. crassa* (220 µm) (Cram, 1971). O investimento energético das fêmeas parece estar prioritariamente na produção de poucos ovócitos ricos em vitelo, ao invés de ser canalizado para o aumento do número de novas células reprodutivas. Esta característica reprodutiva deve estar associada a menores valores de IG, quando comparado com as gônadas masculinas. Magnez (1983) também encontrou menores valores de IG para fêmeas de *Abatus cordatus*, e atribuiu estas diferenças às variações morfológicas entre machos e fêmeas, isto é, a presença de bolsas incubadoras em fêmeas limitaria um maior desenvolvimento das gônadas. Entretanto, segundo Magnez (1983), as fêmeas de *Abatus cordatus* possuem, provavelmente, gônadas com maior conteúdo energético do que os machos. O mesmo pode ser sugerido para *C. mitis*.

A gametogênese em *C. mitis* aparentemente ocorre de modo rápido, contínuo e não sincronizado na população ao longo do tempo. Pode-se encontrar estágios de crescimento, pré-maduro e liberação em praticamente todos os meses, mas não se encontra sincronia no desenvolvimento gonadal entre machos e fêmeas. Aparentemente, a espermatogênese ocorre mais rapidamente que a ovogênese, pois durante quase todos os meses foram encontrados machos em estágio de crescimento e de liberação, concomitante ou não. A ovogênese parece

se completar a intervalos de dois a três meses. Pearse e McClintock (1990) também encontraram uma gametogênese contínua, apesar de lenta, em *Abatus nimrodi* and *Abatus shacketoni*. Pearse (1969b) encontrou o início da espermiogênese em *Echinometra mathaei* ao longo de todo ano, mas com a subseqüente destruição dos espermatozóides pelas células fagocitárias.

Machos e fêmeas de *C. mitis* provavelmente não liberam seus gametas de uma única vez Em machos percebe-se que colunas espermáticas ocorrem em testículos no estágio de liberação e em fêmeas praticamente não se observaram estágios maduros, o que sugere uma liberação permanente de ovócito e uma rara repressão dos ovários. A distribuição de tamanhos dos ovócitos indica uma produção contínua dessas células, uma vez que existe uma maior freqüência de células pequenas em todos os meses estudados. Tais dados também indicam que não há grande acúmulo de células maduras no lúmen. Segundo Pearse (1969a) *Lovenia elongata* não é capaz de reter ovócitos maduros por muito tempo. É provável que fêmeas de *C. mitis* também não sejam capazes de fazê-lo.

A liberação contínua de gametas nessa população de *C.* mitis não resulta, necessariamente, na entrada, também contínua, de novos indivíduos na população. A variação na freqüência de fêmeas com assentados indica um sucesso diferenciado nas taxas de fertilização e/ou assentamento em diferentes épocas do ano. Por outro lado, a maior freqüência de fêmeas com assentados (incubadoras) registrada para os meses do primeiro semestre do ano, parecem estar de acordo com o período de maior recrutamento da população. Segundo Varotto (2001), a maior freqüência de espécimes menores que 9 mm (recrutas) ocorreu de julho a dezembro nessa mesma população durante o mesmo período. Provavelmente, a taxa de sobrevivência dos assentados é alta.

As gônadas anteriores são geralmente menores do que as posteriores. A análise dessas gônadas mostrou que estas podem ou não estar sincronizadas com as gônadas posteriores. Por

serem de menor tamanho. e provável que elas fiquem aptas a liberarem primeiro, independente e em taxas diferentes das posteriores. Isto pode constituir-se numa importante estratégia para diminuir o tempo entre periodos de liberação.

A primeira maturação de *C. mitis*, evidenciada neste estudo, ocorre em indivíduos de aproximadamente 2 anos de vida (17 mm) (Varotto, 2001). Após este período, haverá investimento energético na produção de gameta. Não há na literatura, até o momento, informações semelhantes sobre outras espécies de cassidulóides para que se possa comparar com os dados opbtidos.. Como as gônadas destes indivíduos estavam no mesmo estágio de desenvolvimento que as gônadas dos indivíduos acima de 30 mm, é possível que a maturação ocorra de modo rápido.

O sucesso reprodutivo de uma espécie está associada a sua capacidade de converter a energia adquirida no ambiente em produção de gametas, particularmente gametas femininos, ou seja, transformar alimento em vitelo. A velocidade com que os processos vitelogênicos ocorrem caracteriza diferentes estratégias reprodutivas. Segundo Eckelbager (1994), a vitelogênese é lenta nas espécies semélparas e iteróparas anuais. Ao contrário, espécies com reprodução contínua são capazes de transformar o alimento em vitelo mais rapidamente. *Cassidulus mitis* parece corresponder às características relacionadas com uma rápida vitelogênese, ou seja, possui baixa fecundidade, pequeno tamanho corporal, cuidado com a prole (espécie incubadora), baixa reserva alimentar, vive em ambiente instável com eutrofização contínua, possui pequena longevidade e alcança a maturidade sexual rapidamente (Eckelbager, 1994). O modelo proposto por Eckelbager (1994) torna possível a comparação da estratégia reprodutiva de *C. mitis* com outros metazoários e estimula a geração de conhecimento sobre o ciclo de vida de outras espécies de cassidulóides.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Begon M, Harper JL, Townsend CR (1996) Ecology: individuals, populations and communities. 3rd ed., Blackwell Science, Oxford, 1068 pp.

Brown JH, Marquet PA, Taper M L (1993) Evolution of body size: consequences of an energetic definition of fitness. Am Nat 142:573-584

Byrne M (1990) Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. Mar Biol 104: 275-289

Chesher RH (1969) Contributions to the biology of *Meoma ventricosa* (Echinoidea: Spatangoidea). Bull Mar Sci 19:72-110

Chia F–S (1973) Sand dollar: a weight belt for the juvenile. Science 181:73-74

Chia F–S (1977) Structure and function of the genital papillae in a tropical sand dollar, *Arachinoides placenta* (L.) with a discussion on the adaptative significance of genital papillae in echinoids. J Exp Mar Biol Ecol 27: 187-194

Cram DL (1971) Life history studies on South African echinoids (Echinodermata). 2. *Echinolampas (Paleolampas) crassa* (Bell) (Echinolampadidae). Trans Roy Soc S Africa 39:339-352

Crump RG 1985. Sexual and asexual reproduction in geographically separated populations of the fissiparous asteroid *Coscinasterias calamaria* (Gray). J Exp Mar Biol Ecol 88: 109-127

Eckelbarger KJ (1994) Diversity of metazoan ovaries and vitellogenic mechanisms: implications for life-history theory. Proc Biol Soc Wash 107:193-218

Freire CA, Santos PJP, Fontoura NF, Magalhães RAO, Grohmann P A (1992) Growth and spatial distribution of *Cassidulus mitis* (Echinodermata: Echinoidea) on a sand beach in Southeastern Brazil. Mar Biol 112:625-630

Ghiold J (1988/1989) Species distributions of irregular echinoids. Biol Oceanogr 6:79-162

Gladfelter WB (1978) General ecology of the cassiduloid urchin *Cassidulus caribaearum*. Mar Biol 47:149-160

Higgins RC (1974) Observation on the biology of *Apatopygus recens* (Echinoidea: Cassiduloida) around New Zealand. J Zool 173:505-516

Kier PM (1962) Revision of the cassiduloid echinoids. Smithsonian Misc Collect 114 (3): 1-262

Krau L (1954) Nova espécie de ouriço do mar: *Cassidulus mitis*, Ordem Cassiduloidea, Echinoidea, capturado na Baía de Sepetiba. Mems Inst Oswaldo Cruz 52:455-475

Lane JM, Lawrence JM (1979) Gonadal growth and gametogenesis in the sand dollar *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778). J Exp Mar Biol Ecol 38:271-285

Lawrence JM, Lane JM (1982) Utilisation of nutrients by post-metamorphic echinoderms. In: Echinoderm Nutrition, M. Jangoux and J. M. Lawrence (eds.), Balkema Press, Rotterdam, pp. 331-371

Lawrence JM (1987) A functional biology of echinoderms. Croom Helm, London & Sydney 340pp.

Magniez P (1983) Reproductive cycle of the brooding echinoid *Abatus cordatus* (Echinodermata) in Kerguelen (Antarctic Ocean): changes in the organ indices, biochemical composition and caloric content of the gonads. Mar Biol 74:55-64

Mooi R (1990a) A new "living fossil" echinoid (Echinodermata) and the ecology and paleobiology of Caribbean cassiduloids. Bulletin of Marine Science 46 (3):688-700

Mooi R (1990b) Living cassiduloids (Echinodermata: Echinoidea): a key and annoted list. Proc Biol Soc Wash 101 (1):63-85

Mooi R, Chen C–P (1996) Weight belts, diverticula, and the phylogeny of the sand dollars. Bull Mar Sci 58:186-195

Niesen TM (1977) Reproductive cycles in two populations of the Pacific sand dollar *Dendraster excentricus*. Mar Biol 42:365-373

Pawson DL, Miller JE (1979) Secondary sex characters in *Coelopleurus floridanus* A. Agassiz, 1872 (Echinodermata: Echinoidea). Bull Mar Sci 29:581-586

Pearse JS (1969a) Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. I. The echinoids *Prionocidaris baculosa* (Lamarck) and *Lovenia elongata* (Gray). Bull Mar Sci 19:580-613

Pearse JS (1969b) Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. The echinoid *Echinometra mathaei* (De Blainville). Bull Mar Sci 19:580-613

Pearse JS, McClintock JB (1990) A comparison of reproduction by the brooding spatangoid echinoids *Abatus shackletoni* and *A. nimrodi* in McMurdo Sound, Antarctica. Invert Reprod Devel 17:181-191

Siegel S (1975) Estatística não-paramétrica. McGraw-Hill, São Paulo, 350pp.

Suter SJ (1994a) Cladistic analysis of cassiduloid echinoids: trying to see the phylogeny for the trees. Biol J Linn Soc 53:31-72

Suter SJ (1994b) Cladistic analysis of the living cassiduloids (Echinoidea), and the effects of character ordering and successive approximations weighting. Zool J Linn Soc 112:363-387

Telford M, Mooi R (1996) Podial particle picking in *Cassidulus caribaearum* (Echinodermata: Echinoidea) and the phylogeny of sea urchin feeding mechanisms. Biol Bull 191:209-223

Thum AB, Allen JC (1975) Distribution and abundance of the lamp urchin *Echinolampas crassa* (Bell) 1880 in False Bay, Cape. Trans Roy Soc S Africa 41:359-373

Thum AB, Allen JC. (1976) Reproductive ecology of the lamp urchin *Echinolampas crassa* (Bell) 1880 from a subtidal biogenous ripple train. Trans Roy Soc S Africa 42:23-33

Tommasi LR, Lima-Verde JS (1970) Observações sobre *Cassidulus mitis* Krau, 1954 (Cassiduloida, Echinoidea). Bolm Inst Oceanogr, S paulo 18:1-9

Varotto RS (2001) Modelagem matemática do crescimento somático do ouriço-do-mar *Cassidulus mitis* Krau, 1954 (Echinodermata: Echinoidea).

Vernon JD, McClintock JB, Hopkins TS, Watts AS, Marion KR (1993). Reproduction of *Clypeaster ravenelii* (Echinodermata: Echinoidea) in the northern Gulf of Mexico. Invert Reprod Devel 24:71-78

Zar JH (1984) Bioestatistical Analyis. Prentice Hall, New York, 718pp.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos deste trabalho foram alcançados em sua plenitude. Ao comparar a reprodução de *Cassidulus mitis* com a encontrada em outros grupos, pode-se perceber que esta espécie apresenta uma estratégia muito particular. *Cassidulus mitis* tem uma reprodução contínua e não sincronizada ao longo de todo o ano. Machos e fêmeas diferem quanto ao esforço reprodutivo, pois os machos apresentam maiores valores do índice gonadal. As etapas da gametogênese também diferem entre machos e fêmeas. As gônadas masculinas nunca ficam vazias e, logo, não necessitam se recuperar. Em compensação, apresentam um estágio intermediário entre a liberação de gametas e a produção de gametas. As fêmeas podem apresentar as gônadas vazias, o que dependerá se as gônadas alcançaram o estágio maduro. As gônadas anteriores, comumente menores que as posteriores, podem ou não estar sincronizadas com estas quanto à gametogênese. A maturidade sexual em *C. mitis* é alcançada em indivíduos de pequeno porte (maiores que 17 mm).

Algumas questões puderam ser levantadas após este estudo:

1. O que causou os picos no índice gonadal (IG)? Poderiam ter sido causados por um aumento da quantidade de matéria orgânica no substrato que foi convertida em maior esforço reprodutivo, refletido quantitativamente em machos e qualitativamente em fêmeas?

2. Caso a hipótese do aumento da quantidade de matéria orgânica no substrato (número 1)

esteja correta, a fêmea realmente investe na qualidade do ovócito ou direciona a energia extra para outra função?

3. Dados obtidos, não incluídos neste estudo, descrevem uma gama de defeitos morfológicos referentes aos órgãos envolvidos na reprodução. Por ser um ouriço incubador, consequentemente com pouca dispersão, e com baixa distribuição geográfica, estariam sofrendo efeitos de endogamia?

4. A população da Praia Vermelha estaria isolada da(s) população(ões) da região de Ilha Grande (TOMMASI & LIMA-VERDE, 1970)?

5. *Cassidulus. caribaearum* e *C. mitis* são extremamente semelhantes morfologica e biologicamente. Poderiam estas serem uma única espécie?

As próximas etapas a serem realizadas são: a) a descrição dos defeitos morfológicos encontrados; b) a verificação do tempo de desenvolvimento do juvenil sobre a fêmea; .c) averiguar se ocorrem diferentes coortes simultaneamente e se existe preferência por ambulacro ou interambulacro no posicionamento do juvenil sobre a fêmea.

O presente estudo foi o primeiro a enfatizar a reprodução em *Cassidulus* e um dos primeiros na Ordem Cassiduloida. Mesmo realizado com uma única espécie desta Ordem, contribuiu com informações essenciais para se entender outras características biológicas do grupo, o que poderá trazer conseqüências no entendimento na evolução dos modos de desenvolvimento, não apenas na Ordem Cassiduloida, como também dentro da própria Classe Echinoidea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGON, M; HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. 1996 **Ecology: individuals, populations and communities**. 3rd ed., Blackwell Science, Oxford, 1068 pp.

BROWN, J. H.; MARQUET, P. A. & TAPER, M. L. 1993. Evolution of body size: consequences of an energetic definition of fitness. **Am. Nat.**, Chicago, **142**:573-584

BYRNE, M. 1990. Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus*

lividus from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. **Mar. Biol.**, Berlin, **104**: 275-289

CHESHER, R. H. 1969. Contributions to the biology of *Meoma ventricosa* (Echinoidea: Spatangoidea). **Bull. Mar. Sci.**, Miami, **19**:72-110

CHIA, F. –S. 1973. Sand dollar: a weight belt for the juvenile. **Science**, New York, **181**:73-74

CHIA, F. S. 1977. Structure and function of the genital papillae in a tropical sand dollar, *Arachinoides placenta* (L.) with a discussion on the adaptative significance of genital papillae in echinoids. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, Amsterdam, **27**: 187-194

CRAM, D. L. 1971. Life history studies on South African echinoids (Echinodermata). 2. *Echinolampas (Paleolampas) crassa* (Bell) (Echinolampadidae). **Trans. Roy. Soc. S. Africa**, Cape City, **39**:339-352

CRUMP, R. G. 1985. Sexual and asexual reproduction in geographically separated populations of the fissiparous asteroid *Coscinasterias calamaria* (Gray). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, Amsterdam, **88**: 109-127

ECKELBARGER, K. J. 1994. Diversity of metazoan ovaries and vitellogenic mechanisms: implications for life-history theory. **Proc Biol Soc Wash**, Washington, **107**:193-218

FREIRE, C.A.; SANTOS, P. J. P.; FONTOURA, N. F.; MAGALHÃES, R. A. O. & GROHMANN, P. A. 1992. Growth and spatial distribution of *Cassidulus mitis* (Echinodermata: Echinoidea) on a sand beach in Southeastern Brazil. **Mar. Biol.**, Berlin, **112**:625-630

GHIOLD, J. 1988/1989. Species distributions of irregular echinoids. **Biol. Oceanogr.**, London, **6**:79-162

GLADFELTER, W. B. 1978. General ecology of the cassiduloid urchin *Cassidulus caribaearum*. **Mar. Biol.**, Berlin**47**:149-160

HIGGINS, R. C. 1974. Observation on the biology of *Apatopygus recens* (Echinoidea:

Cassiduloida) around New Zealand. **J. Zool.**, London, **173**:505-516

JABLONSKI, D. 1986. Background and Mass Extinction: The Alternation of Macroevolutionary Regimes. **Science**, New York, **231**:129-133

JABLONSKI, D. 1991. Extinctions: A Paleontological Perspective. **Science**, New York, **253**:754-757

KIER, P. M. 1962. Revision of the cassiduloid echinoids. **Smithsonian Misc. Collect.**, Washington, **114** (3): 1-262

KRAU, L. 1954. nova espécie de ouriço do mar: *Cassidulus mitis*, Ordem Cassiduloidea, Echinoidea, capturado na Baía de Sepetiba. **Mems. Inst. Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, **52**:455-475

LANE, J. M. AND LAWRENCE, J. M. 1979. Gonadal growth and gametogenesis in the sand dollar *Mellita quinquiesperforata* (Leske, 1778). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, Amsterdam, **38**:271-285

LAWRENCE, J. M. AND LANE, J. M. 1982. Utilisation of nutrients by post-metamorphic echinoderms. *In*: **Echinoderm Nutrition**, M. Jangoux and J. M. Lawrence (eds.), Balkema Press, Rotterdam, pp. 331-371

MAGNIEZ, P. 1983. Reproductive cycle of the brooding echinoid *Abatus cordatus* (Echinodermata) in Kerguelen (Antarctic Ocean): changes in the organ indices, biochemical composition and caloric content of the gonads. **Mar. Biol.**, Berlin, **74**:55-64

MOOI, R. 1990a. A new "living fossil" echinoid (Echinodermata) and the ecology and paleobiology of Caribbean cassiduloids. **Bull. Mar. Sci.**, Miami, **46** (3):688-700

MOOI, R. 1990b. Living cassiduloids (Echinodermata: Echinoidea): a key and annoted list. **Proc. Biol. Soc. Wash.**, Washington, **101** (1):63-85

MOOI, R. AND CHEN, C.-P. 1996. Weight belts, diverticula, and the phylogeny of the sand dollars. **Bull. Mar. Sci.**, Miami, **58**:186-195

NIESEN, T.M. 1977. Reproductive cycles in two populations of the Pacific sand dollar *Dendraster excentricus*. **Mar. Biol.**, Berlin, **42**:365-373

PAWSON, D. L. & MILLER, J. E. 1979. Secondary sex characters in *Coelopleurus floridanus* A. Agassiz, 1872 (Echinodermata: Echinoidea). **Bull. Mar. Sci.**, Miami, **29**:581-586

PEARSE, J. S. 1969a. Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. I. The echinoids *Prionocidaris baculosa* (Lamarck) and *Lovenia elongata* (Gray) **Bull. Mar. Sci**., Miami, **19**:580-613

PEARSE, J. S. 1969b. Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. The echinoid *Echinometra mathaei* (De Blainville). **Bull. Mar. Sci.**, Miami, **19**:580-613

PEARSE, J. S. & MCCLINTOCK, J. B. 1990. A comparison of reproduction by the brooding spatangoid echinoids *Abatus shackletono* and *A. nimrodi* in McMurdo Sound, Antarctica. **Invert. Reprod. Devel.**, Philadelphia, **17**:181-191

SIEGEL, S. 1975 **Estatística não-paramétrica**. McGraw-Hill, São Paulo, 350pp.

SCHOPF, T. J. M. 1984. Rates of evolution and the notion of "living fossil". **Ann. Rev. Earth Planet. Sci.**, **12**:245-292

SMITH, A B. & JEFFERY, C. H. 1998. Selectivity of extinction among sea urchins at the end of the Cretaceous period. **Nature**, London, **392**:69-71

SUTER, S. J. 1994a. Cladistic analysis of cassiduloid echinoids: trying to see the phylogeny for the trees. **Biol. J. Linn. Soc.**, London, **53**:31-72

SUTER, S. J. 1994b. Cladistic analysis of the living cassiduloids (Echinoidea), and the effects of character ordering and successive approximations weighting. **Zool. J. Linn. Soc.**, London, **112**:363-387

TELFORD, M. & MOOI, R. 1996. Podial particle picking in *Cassidulus caribaearum*

(Echinodermata: Echinoidea) and the phylogeny of sea urchin feeding mechanisms. **Biol. Bull.**, Lancaster, **191**:209-223

THUM, A. B. AND ALLEN, J. C. 1975. Distribution and abundance of the lamp urchin *Echinolampas crassa* (Bell) 1880 in False Bay, Cape. **Trans. Roy. Soc. S. Africa**, Cape City, **41**:359-373

THUM, A. B. AND ALLEN, J. C. 1976. Reproductive ecology of the lamp urchin *Echinolampas crassa* (Bell) 1880 from a subtidal biogenous ripple train. **Trans. Roy. Soc. S. Africa**, Cape City, **42**:23-33

TOMMASI, L. R. AND LIMA-VERDE, J. S. 1970. Observações sobre *Cassidulus mitis* Krau, 1954 (Cassiduloida, Echinoidea). **Bolm. Inst. Oceanogr., S paulo**, São Paulo, **18**:1-9

VERNON, J. D.; MCCLINTOCK, J. B.; HOPKINS, T. S.; WATTS, S. A. AND MARION, K. R. 1993. Reproduction of *Clypeaster ravenelii* (Echinodermata: Echinoidea) in the northern Gulf of Mexico. **Invert. Reprod. Devel.**, Philadelphia, **24**:71-78

ZAR, J. H. 1984. **Bioestatistical Analyis. Prentice** Hall, New York, 718pp.