UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP - DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA

Actuopaleontologia em moluscos bivalves no Complexo Estuarino de Paranaguá:
implicações paleoambientais e paleoecológicas em diferentes áreas de aporte
energético

Andrea Thays Paganella Marcondes

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-
USP, como parte das exigências para obtenção
do título de Mestre em Ciências – Área de
concentração: Biologia Comparada.

Ribeirão Preto / SP

2015

ANDREA THAYS PAGANELLA MARCONDES

Actuopaleontologia em moluscos bivalves no Complexo Estuarino de Paranaguá:
implicações paleoambientais e paleoecológicas em diferentes áreas de aporte
energético

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-
USP, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Biologia Comparada.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Annie Schmaltz Hsiou

Ribeirão Preto / SP

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Marcondes, Andrea Thays Paganella

Actuopaleontologia em moluscos bivalves no Complexo Estuarino de Paranaguá: implicações paleoambientais e paleoecológicas em diferentes áreas de aporte energético. Ribeirão Preto, 2015.

69 p.

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Biologia Comparada.

Orientadora: Annie Schmaltz Hsiou.

1. Actuopaleontologia. 2. Tafonomia. 3. Moluscos bivalves. 4. Complexo Estuarino de Paranaguá.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Annie Schmaltz Hsiou, que aceitou e incentivou o desafio de encarar uma área nova.

Ao Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi pelo compartilhamento dos conhecimentos, além do apoio para as análises laboratoriais dos materiais deste estudo.

Ao Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour pelas conversas valiosas sobre a dinâmica da área de estudo, além do apoio total com as coletas do material de estudo.

Aos estagiários e pesquisadores do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGeo) e ao Centro de Estudos do Mar, pela possibilidade de realização das coletas do material deste estudo.

Ao Dr. Fernando Erthal e ao Me. Mathias do Nascimento Ritter, pelas valiosas discussões e conselhos.

Aos amigos Lucas e Cássia, não só pela ajuda em campo, mas também pelo acolhimento durante as coletas.

Aos queridos colegas do Grupo Palaios – Paleontologia Estratigráfica (UEPG/CNPq), em especial ao Prof. Dr. Elvio Pinto Bosetti, pela iniciação, ensinamentos, trabalhos de campo e todas as oportunidades dentro da Paleontologia, desde o período da Graduação até o incentivo ao Mestrado.

Aos colegas do Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados (LAPALMA – UNESP Bauru), por toda ajuda, discussões e amizade durante os trabalhos laboratoriais.

Aos meus pais, tios, avós, irmãos e primos, pelo apoio financeiro, pelo cuidado mútuo, mas principalmente pelo incentivo a sempre seguir em frente.

As minhas amigas de sempre (Olga, Luciana, Karen, Daniela, Rebeca, Heloísa, Paula, Luana), pela melhor amizade, sincera e verdadeira.

Ao meu par, companheiro muito especial, Jorge Philipe Marçal de Albuquerque Gomes, por dividir comigo a vida, planos, sonhos, abraços, amor e infinita “zueira”.

“Toda a beleza do ser humano consiste em se tornar algo melhor do que se foi.”

Stefan Zweig

RESUMO

A Actuopaleontologia é o ramo da Paleontologia que visa aperfeiçoar as interpretações paleoambientais e paleoecológicas através das assinaturas tafonômicas, principalmente aquelas presentes em conchas bivalves. Tais estudos tafonômicos com bivalves marinhos têm sido conduzidos em ambientes sedimentares do Holoceno, porém, no Brasil, investigações similares são ainda incipientes, tendo sua predominância no litoral norte do Estado de São Paulo. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado na porção centro-norte do litoral do Paraná, possui feições fisiográficas distintas das encontradas no litoral norte do Estado de São Paulo. Com o objetivo de gerar dados comparativos entre os diferentes ambientes da costa brasileira, este estudo pretende caracterizar tafonomicamente as associações de moluscos bivalves em 11 pontos de coleta ao longo do CEP. Foram coletados oito litros de sedimento com a utilização de pegador de fundo tipo Petersen, em parceria com o Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGeo – CEM/UFPR). As assinaturas tafonômicas analisadas, podendo ser de origem química, física e/ou biológica, foram: articulação, tipo de valva, fragmentação, modificação da margem da concha, corrosão, perióstraco, brilho, cor, bioerosão, incrustação e predação. A ação dessas assinaturas pode resultar em outra assinatura tafonômica aqui analisada, a alteração da textura da superficial da concha. Foram analisados 150 bioclastos de cada um dos pontos de coleta, e cada assinatura tafonômica foi classificada individualmente. Os bioclastos foram peneirados em malhas de 2 mm para que as menores classes de tamanho não fossem excluídas das análises tafonômicas. Além dos bioclastos, foram coletadas amostras da água junto ao fundo dos locais amostrados, para registro de pH, salinidade, temperatura e turbidez. Ao total, 1.438 bioclastos foram utilizados nas análises tafonômicas e, das 11 estações de coleta, apenas duas não apresentaram o *n* mínimo de 150 conchas. Os dados abióticos não apresentaram grandes diferenças nas diferentes estações de coleta. A análise de cluster foi feita levando-se em consideração todas as assinaturas tafonômicas estudadas, e um dendograma geral relacionou os 9 pontos de coleta em que obteve-se o mínimo de 150 bioclastos. O dendograma gerado nesta análise mostrou quais as acumulações de moluscos bivalves e seus respectivos pontos de coleta estão mais semelhantes. Há um primeiro grupo formado pelas estações 683, 336, 482, 696 e 32. Com exceção da estação 32, as estações reunidas no primeiro grupo são os pontos de coleta mais próximos às desembocaduras do CEP, região de maiores profundidades e fortes correntes de marés. O segundo grupo é formado pelas estações 607, 152, 645 e 472, sendo pontos

de coleta mais internos na área do CEP, próximos a ilhas, manguezais e bancos de areia. As assinaturas alteração da cor, brilho, modificação da margem, perióstraco e corrosão não parecem ser assinaturas úteis na identificação ou para uma possível caracterização dos diferentes ambientes do CEP. Isto porque elas não são variáveis entre esses diferentes ambientes. Houve predominância de desarticulação e fragmentação das valvas em todos os ambientes estudados, sendo possível que a fragmentação esteja sobre maior influência dos danos biológicos. Bioerosão e incrustação não apareceram em frequências expressivas, porém, apenas as estações de coleta próximas a desembocadura do CEP apresentaram bioerosão, enquanto incrustação apareceu em todas as estações. A textura superficial da concha correlacionou-se positivamente com as assinaturas corrosão e bioerosão.

Palavras-chave: Actuopaleontologia. Tafonomia. Moluscos bivalves. Complexo Estuarino de Paranaguá.

ABSTRACT

Actuopaleontology is the branch of Paleontology that aims to enhance paleoecological and paleoenvironmental interpretations, through the taphonomic signatures, especially those in bivalve shells. Such taphonomic studies with marine bivalves have been conducted in sedimentary Holocene environments, however, in Brazil, similar investigations are still incipient, having its predominance in the northern coast of São Paulo. The Paranaguá Estuarine Complex (CEP), situated in the north central portion of the Paraná coast, has different physiographic characteristics of those found in the north coast of São Paulo. In order to generate comparative data between different environments of the Brazilian coast, this study aims to characterize the taphonomy of bivalve mollusk associations from 11 collection stations along the CEP. Eight liters of sediment were collected with background catcher Petersen, in partnership with the Laboratory of Geological Oceanography (LOGeo - CEM/UFPR). The taphonomic signatures analyzed, which may be of chemical, physical and/or biological origin, were: articulation, valve type, fragmentation, edge modification, corrosion, periostracum, brightness, color, bioerosion, encrustation and predation. The action of these signatures may result in other taphonomic signature analyzed here, the alteration of shell superficial texture. 150 bioclasts were analyzed from each collection point and each taphonomic signature was individually classified. The bioclasts were sieved through mesh of two millimeter, so that classes of smaller size were not excluded from the taphonomic analyzes. In addition, water samples were collected at the bottom of each station for analysis of pH, salinity, temperature and turbidity. In total, 1,438 bioclasts were used in the taphonomic analysis and only two stations did not show the minimum *n* of 150 shells. Abiotic data showed no great differences in the different sampling stations. The cluster analysis was performed taking into account all studied taphonomic signatures, and a general dendrogram listed the collection points that showed the minimum of 150 bioclasts. The dendrogram generated in this analysis showed which accumulations of bivalve molluscs and their respective collection points are more similar. There is a first group formed by the stations 683, 336, 482, 696 and 32. With the exception of station 32, the stations on the first group are the closest to the mouths of the CEP, region of greater depths and strong tidal currents. The second group is formed by stations 607, 152, 645 and 472, being the more internal collection points, near islands, mangroves and sandbanks. The signatures color, brightness, edge modification, periostracum and corrosion do not seem to be useful in identifying or for a possible characterization of the different environments of the CEP, because

they are not variable between these different environments. There was predominance of disarticulation and fragmentation of the valves in all study sites, being possible that the fragmentation was influenced more by biological damages. Bioerosion and encrustation did not appear in expressive frequencies, however, only the stations near the mouth of the CEP presented bioerosão, while encrustation appeared in all stations. The surface texture of the shell was correlated positively with the signatures of corrosion and bioerosion.

Keywords: Actinopaleontology. Taphonomy. Bivalve molluscs. Paranaguá Estuarine Complex.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros abióticos obtidos no momento da coleta nas diferentes estações ao longo do CEP.....	26
Tabela 2 – Gêneros e espécies encontrados nas estações de coleta.....	27
Tabela 3 – Gêneros pertencentes a epifauna ou a infauna.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da região do CEP com estações de coletas indicadas pelos círculos e respectiva numeração.....	21
Figura 2 – Ocorrência de sedimentos de fundo na região do Complexo Estuarino de Paranaguá.....	22
Figura 3 – Dendograma relacionando os nove pontos de coleta do CEP.....	30
Figura 4 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica articulação.....	32
Figura 5 – Frequência de valvas articuladas e desarticuladas por estação de coleta.	32
Figura 6 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica tipo de valva.....	33
Figura 7 – Frequência do tipo de valvas por estação de coleta.....	34
Figura 8 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica fragmentação.....	35
Figura 9 – Frequência de fragmentação das conchas por estação de coleta.....	35
Figura 10 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados de ocorrência da assinatura tafonômica bioerosão.....	36
Figura 11 – Frequência de ocorrências de bioerosão nas conchas por estação de coleta.....	37
Figura 12 – Frequência da ocorrência dos tipos de bioerosão presente nas conchas por estação de coleta.....	37
Figura 13 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados de ocorrência da assinatura tafonômica incrustação.....	38
Figura 14 – Frequência de ocorrência de incrustação nas conchas por estação de coleta.....	39
Figura 15 – Frequência de ocorrência dos tipos de incrustação nas conchas por estação de coleta.....	39
Figura 16 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica predação.....	40
Figura 17 – Frequência de ocorrência de predação nas conchas por estação de coleta.....	41
Figura 18 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica textura superficial da concha.....	42
Figura 19 – Frequência de ocorrência de textura superficial nas conchas por estação de coleta.....	43

Figura 20 – Frequência de ocorrência da assinatura alteração da cor nas conchas por estação de coleta.....	44
Figura 21 – Frequência de ocorrência da assinatura brilho nas conchas por estação de coleta.....	45
Figura 22 – Frequência de modificação da margem das conchas por estação de coleta.....	45
Figura 23 – Frequência da assinatura tafonômica perióstraco por estação de coleta.	46
Figura 24 – Frequência de bioclastos apresentando a assinatura corrosão nas estações de coleta.....	47
Figura 25 – A: articulado fechado (PT 336); B: Articulado aberta (PT 152); C: desarticulada, valva esquerda (PT 683); D: Desarticulada, valva direita (PT 683).....	51
Figura 26 – Diferentes tipos de fragmentações encontrada nos bioclastos do CEP. A: Concha fragmentada pertencente ao PT 32; B: <i>Mytella</i> apresentando fragmentação na parte mais alta da valva, próxima ao umbo (PT 32); C: Fragmento irregular (PT 336); D: Concha fragmentada apresentando margens arredondadas (PT 482); E: Fragmento de concha PT 683; F: Concha fragmentada porém com ligamento ainda presente e uma das valvas inteira (PT 696); G: Umbo de concha fragmentada (PT 696).....	53
Figura 27 – Diferentes tipos de fragmentação encontrados nos bioclastos do CEP. A: Fragmento de concha (PT 152); B: <i>Mytella</i> articulada, apresentando fragmentação na região ventral da concha (PT 472); C: Fragmento <i>Mytella</i> (PT 472); D: <i>Anomalocardia</i> com as valvas ainda articuladas, porém fragmentadas (PT 607); E: Fragmento angular (PT 607); F: Fragmento de concha (PT 645).....	54
Figura 28 – Furos por predação nas estações de coleta do CEP. A: <i>Anadara ovalis</i> (PT 683); B: <i>Strigilla carnaria</i> (PT 683); C: <i>Cyclinella tenuis</i> (PT 696); D: Predação incompleta em <i>Corbula</i> sp. (PT 32).....	55
Figura 29 – A: Bioerosão por esponjas (PT 482); B: Bioerosão por esponjas (PT 336); C: Possível bioerosão por anelídeos (PT 336); D: Fragmento de concha apresentando bioerosão por esponjas (PT 696); E: Fragmento de mexilhão com possível bioerosão por algas; F: <i>Corbula</i> sp. Apresentando bioerosão por algas e/ou fungos (PT 696).....	57
Figura 30 – A: Fragmento de mexilhão apresentando incrustação por crustáceos (cracas) e briozoários (PT 32); B: Incrustação por bivalve e crustáceo (craca) (PT 152); C: Concha fragmentada apresentando incrustação por	

anelídeos (PT 336); **D:** Ostreidae apresentando incrustação por briozoários (PT 482); **E:** Ostreidae apresentando incrustação por bivalves (PT 482); **F:** Fragmento de mexilhão apresentando incrustação por algas (PT 472).... 58

Figura 31 – **A:** *Anomalocardia brasiliiana* com coloração alterada para branco (PT 607); **B:** *Tellina* sp. Apresentando coloração preta (PT 683); **C:** Alteração da coloração normal para marrom em *Anadara ovalis* (PT 482); **D:** *A. ovalis* apresentando cor alterada para cinza (PT 482)..... 61

Figura 32 – **A:** Assinatura tafonômica brilho, *A. ovalis* apresentando brilho secundário (PT482); **B:** Brilho perdido em *Corbula* sp. (PT 32); **C:** Assinatura tafonômica perióstraco, normal em *Nucula* sp. (PT 696); **D:** Perióstraco perdido em *Nucula* sp. (PT 696)..... 62

Figura 33 – **A:** Assinatura tafonômica alteração da margem para arredondada (PT 152); **B:** Margem irregular (PT 645); Assinatura tafonômica corrosão (**C-E**)..... 63

Figura 34 – **A:** Textura superficial em etching (PT 696); **B:** Textura superficial em cratera (PT 482); **C:** Textura superficial do tipo perfurada (PT 336); **D:** Fragmento de mexilhão apresentando textura superficial do tipo fosca na região do umbo (PT 472); **E:** Textura superficial do tipo fosca em *Anomalocardia* sp. (PT 607); **F:** Textura superficial do tipo granular (PT 645)..... 64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Fundamentação teórica e caracterização da área de estudo.....	17
2.2. Aquisição dos materiais.....	18
2.3. Estações de Coleta.....	19
2.4. Metodologia aplicada para a descrição das assinaturas tafonômicas.....	23
3. RESULTADOS.....	25
3.1. Articulação.....	31
3.2. Tipo de valva.....	33
3.3. Fragmentação.....	34
3.4. Bioerosão.....	36
3.5. Incrustação.....	38
3.6. Predação.....	40
3.7. Textura superficial da concha.....	42
4. DISCUSSÃO.....	48
5. CONCLUSÃO.....	65
6. BIBLIOGRAFIA.....	66

1. INTRODUÇÃO

A actuopaleontologia, ramo da Paleontologia, visa aperfeiçoar nosso entendimento sobre os acontecimentos do passado geológico registrados na forma de fósseis, através do estudo dos padrões e processos atuantes no presente. Esses estudos são de grande importância para a paleontologia, pois podem melhorar significativamente a confiabilidade das interpretações paleoambientais e paleobiológicas (KOWALEWSKI, 1999).

Apesar de ser de grande valia para a paleontologia, a actuopaleontologia possui várias limitações. Uma delas seria que as observações obtidas no presente nem sempre podem ser aplicáveis, ou diretamente aplicáveis, ao registro fóssil, porque elas existem apenas no momento atual (recente), e muitas vezes não são preservadas no processo de fossilização. No entanto, através de uma característica específica, ou determinados tipos de alterações, esses dados podem ser indiretamente úteis, como na identificação das tafofácies a que estão inseridas (KOWALEWSKI, 1999). De fato, as tafofáceis refletem as histórias de acumulação dos corpos de rochosos, especialmente nos momentos de pré-soterramento, o que permite a interpretação dos processos e ambientes de fossilização, tendo, por isso, grande potencial como ferramenta para interpretações (paleo)ambientais e (paleo)ecológicas (SPEYER; BRETT, 1988; RODRIGUES, 2006).

O uso de ferramentas metodológicas para se realizar esses tipos de análises é imprescindível, sendo a interpretação de assinaturas tafonômicas a mais fidedigna. As assinaturas tafonômicas são danos registrados ao material biogênico morto, como: fragmentação, desarticulação, incrustação. São facilmente quantificáveis, e muito úteis para interpretar ambientes sedimentares de deposição (ERTHAL, 2007).

Assim, diversos grupos de invertebrados marinhos recentes têm sido alvo de estudos tafonômicos. Entre eles, destacam-se as conchas bivalves, pois apresentam uma ampla diversidade de assinaturas tafonômicas que podem ser quantificadas (e.g., abrasão, desarticulação, fragmentação, bioerosão, incrustação, corrosão) (SPEYER; BRETT, 1988; RODRIGUES, 2006). As assinaturas em moluscos são ferramentas que permitem esmiuçar informações inacessíveis apenas utilizando as análises de dados sedimentológicos e estratigráficos (RITTER, 2011).

Os estudos tafonômicos para o reconhecimento das condições ambientais com bivalves marinhos têm sido conduzidos em ambientes sedimentares do Holoceno, particularmente no Hemisfério Norte (SOBERON et al., 2007), porém, no Brasil,

investigações similares são ainda incipientes (veja RODRIGUES, 2006; SOBERON et al., 2007 para exemplos brasileiros).

1.1. Justificativa

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado na porção centro-norte do litoral do Paraná, apresenta duas desembocaduras para o Oceano Atlântico, Norte e Sul, de acordo com a sua posição geográfica em relação à Ilha do Mel (LANA et al., 2001; LAMOUR, 2007).

Devido as suas feições fisiográficas serem distintas das encontradas no litoral norte do Estado de São Paulo, onde os trabalhos de actuopaleontologia têm sua predominância (RODRIGUES, 2006; RODRIGUES et al., 2009; SIMÕES et al., 2009; RODRIGUES; SIMÕES, 2010), seu estudo será de fundamental importância para gerar dados comparativos entre diferentes regiões da costa brasileira. Isso possibilitará uma melhor compreensão dos processos de gênese de concentrações de bioclastos em diferentes subambientes.

1.2. Objetivos

- (a) Caracterização tafonômica das associações de moluscos bivalves do Complexo Estuarino de Paranguá, ao longo de gradientes ambientais;
- (b) Estabelecer quais assinaturas tafonômicas podem ser passíveis de utilização na identificação das variações ambientais e, desse modo, úteis nas análises paleoambientais e paleoecológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Fundamentação teórica e caracterização da área de estudo

Alguns estudos recentes foram realizados analisando as assinaturas tafonômicas de conchas de bivalves obtidas na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Sul (SOBERON et al., 2007; ERTHAL, 2012). Erthal (2012) fez a associação entre essas assinaturas tafonômicas e fatores ambientais em larga escala, utilizando, para isso, assembleias mortas provenientes das costas Sul e Nordeste do Brasil, duas áreas geográficas afastadas e distintas ambientalmente.

No entanto, a maioria dos estudos em actuopaleontologia com bivalves marinhos foram realizados no litoral norte do estado de São Paulo (RODRIGUES, 2006; RODRIGUES et al., 2009; SIMÕES et al., 2009; RODRIGUES; SIMÕES, 2010). Esses estudos realizaram a análise tafonômica de moluscos bivalves e braquiópodes coletados em diferentes ambientes e profundidades: (a) praial, abrangendo diferentes estados, dissipativo e reflexivo; (b) enseada, de baixa energia e fundo argiloso; (c) enseada, de baixa energia e fundo arenoso, 10-20 metros de profundidade e (d) plataforma interna, de fundo arenoso, profundidades de mais de 20 metros. Ao longo da costa norte do estado de São Paulo predominam areias finas a muito finas, onde os processos de maior energia são eventuais na região, caracterizada como ambiente de baixa a média energia (RODRIGUES et al., 2002). A região é marcada por acentuada taxa de pluviosidade e constitui uma zona de transição entre clima subtropical e tropical, com pouca participação de massas polares e, por tanto, menos fria (RODRIGUES, 2006). O litoral de São Paulo possui uma extensão de aproximadamente 622 km.

Ao contrário do litoral paulista, o litoral paranaense possui uma costa de pequena extensão e características oceânicas, sendo uma ampla planície costeira caracterizada por longas praias arenosas expostas (BIGARELLA et al., 1978), separadas por dois estuários bem desenvolvidos, a Baía de Guaratuba e o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) (Fig. 1) está situado na porção centro-norte do litoral do Paraná e é composto por dois eixos principais (LAMOUR, 2007): eixo N-S, Baía das Laranjeiras, e eixo L-O, a Baía de Paranaguá. Este complexo estuarino apresenta duas desembocaduras para o Oceano Atlântico, Norte e Sul, de acordo com a sua posição geográfica em relação à Ilha do Mel (LANA et al., 2001; LAMOUR, 2007).

A área interna do CEP é margeada por manguezais, marismas e planícies de maré, enquanto a área oceânica adjacente e as áreas de desembocadura são compostas por extensas praias arenosas e costas rochosas (ANGULO, 1992). A zona estuarina e costeira do Estado do Paraná apresenta grande riqueza de ecossistemas conservados e é utilizada como uma importante área de abrigo, alimentação e reprodução para diferentes espécies da fauna terrestre e marinha (LANA et al., 2001), sendo considerados habitats de grande importância para a sobrevivência de inúmeras espécies de interesse ecológico e econômico; são habitats essenciais para manter o equilíbrio ecológico (PROGRAMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE [PNMA II], 2006).

A área do CEP é composta por diversas baías e praias; constitui uma área profundamente recortada e composta por numerosas ilhas: Ilha Rasa da Cotinga, Ilha das Cobras, Ilha das Peças, Ilha do Mel, Ilha do Superagui e Ilha do Teixeira, entre outras (ANGULO, 1992).

As áreas de águas calmas e correntes fracas favorecem a deposição de sedimentos e a formação de baixios e planícies de maré. Os baixios ou fundos rasos não ultrapassam 2 m de profundidade, podendo ficar emersos em marés baixas. Suas formações incluem bancos areno-argilosos, vegetação de marismas e gramas marinhas (COUTO, 1996). Na Baía de Paranaguá ocorrem baixios de grande extensão, como o Baixo do Perigo, Baixo do Bagre e o Baixo do Saco do Limoeiro (ANGULO, 1992).

De maneira geral, areias finas são os sedimentos de fundo que predominam na plataforma rasa do litoral paranaense. Os sedimentos da baía de Paranaguá são compostos por siltes finos a areias finas (LAMOUR et al., 2004), mais finos e pior selecionados para o interior da baía (BIGARELLA et al., 1978). Na baía das Laranjeiras os sedimentos variam entre siltes médios e areias finas, de muito pobremente a pobremente selecionados. Na desembocadura sul predominam areias finas a médias, e, na norte, areias finas a grossas, sendo moderadamente a bem selecionados na sul, e moderadamente a pobremente selecionados na norte (LAMOUR, 2007).

2.2. Aquisição dos materiais

Complexo Estuarino de Paranaguá podem ser verificadas variações abruptas de profundidades relativas às extensas áreas rasas (planícies inter-marés) e profundas (canais) (LAMOUR, 2007). Os locais de coleta levaram em conta as diferentes condições energéticas, profundidades e condições ecológicas, com o objetivo de

identificar se há alguma ligação entre a ocorrência das diferentes assinaturas tafonômicas e as condições ambientais.

A amostragem nos diferentes pontos de coleta utilizou pegador de fundo do tipo Petersen, sendo coletados 8 litros de sedimento em cada ponto. As amostras bioclásticas foram peneiradas, via úmida, em peneiras com malhas granulométricas de 5mm e 2mm. Para análise tafonômica e taxonômica, subamostras de cada ponto de coleta foram obtidas de forma aleatória, gerando um n de 150 bioclastos, número adotado como o ideal para a caracterização tafonômica de uma determinada assembleia morta (KIDWELL et al., 2001). Foram analisadas tanto as conchas inteiras como fragmentos, não havendo preferência por aqueles bioclastos maiores e/ou completos. Isto porque tanto os bioclastos de classes de tamanho menores, como os fragmentos, também possuem importante poder tafonômico, capaz de maximizar as análises paleoecológicas e de tafofácies, podendo, inclusive, conter informações tafonômicas substancialmente diferentes do que a de indivíduos inteiros (DAVIES; POWELL; STANTON JR, 1989; STAFF; POWELL, 1990; ZUSCHIN; STACHOWITSCH; STANTON JR., 2003; RODRIGUES, 2006).

Além dos bioclastos, foram coletadas amostras de sedimento para análises granulométricas, e amostras da água junto ao fundo dos locais amostrados, para registro de pH, salinidade, temperatura e turbidez, já que este é o principal local de atuação dos agentes tafonômicos.

Os resultados tafonômicos foram plotados em Excel 2013 para os cálculos de frequência. As análises de agrupamento com ligação simples e distância foram feitas com o programa Statistica 12.

As onze estações de coleta, indicadas na Figura 1, foram estabelecidas de acordo com o acervo de informações coletadas pelo Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGeo) do Centro de Estudos do Mar (CEM/UFPR), e de acordo, também, com as diferentes condições energéticas e de ocorrência de sedimentos de fundo (Fig. 2), buscando-se contemplar toda a diversidade de ambientes presentes no CEP. As informações abaixo referentes a cada estação foram obtidas de acordo com Lamour (2007).

2.3. Estações de Coleta

A estação de coleta denominada PT 696, encontra-se próxima a Desembocadura Sul. Nesta região, as ondas que entram no setor entre a Ilha da Galheta e Balneário de Pontal do Sul possuem alturas inferiores a 0,5 m, fazendo com

que o fluxo seja turbulento, o que dá maior poder de re-suspensão e transporte de sedimentos. Neste setor há predominância de areia fina, e a velocidade de maré chega a 59 cm/s quando enchente, e 97 cm/s quando vazante. Devido a dragagem, a profundidade nesta estação atinge os 13,5 metros.

Na estação de coleta PT 482, próxima a Desembocadura Norte, há predominância de areia média, e a velocidade de maré chega a 59 cm/s quando enchente, e 70 cm/s quando vazante. Neste setor a profundidade é de, aproximadamente, 10 metros.

Na região da Ponta do Poço, estação de coleta denominada PT 683, predominam as areias finas, e as máximas correntes de maré chegam a 141 cm/s quando enchente, e 119 cm/s quando vazante. Neste ponto, as correntes de maré executam uma flexão em direção ao canal da Cotinga, concentrando o fluxo próximo à Ponta do Poço.

Ponta do Poço, Desembocaduras Sul e Norte possuem as maiores profundidades associadas às velocidades mais rápidas de correntes de maré, profundidade pode atingir até 38 m no trecho entre Ilha do Mel e Pontal do Sul.

A estação de coleta PT 336, localizada próximo ao Canal da Cotinga, possui areia fina a muito fina. A estação de coleta PT 911 está próxima ao Canal da Galheta, porém em uma área mais interna na Baía de Paranaguá, região onde o sedimento de fundo predominante é areia muito fina. A estação de coleta PT 152, no interior da Baía de Antonina, é composta por sedimentos de fundo areia média. Estação de coleta PT 32, próxima a Ilha do Teixeira e desembocadura do Rio Nhundiaquara, possui sedimentos de fundo que vão de silte grosso a médio. Estação de coleta PT 607, localizada na Baía das Laranjeiras, próxima a desembocadura do Rio do Medeiros, predomina areia fina. A estação de coleta PT 645, também na Baía das Laranjeiras, porém próxima à Ilha Rasa, possui como sedimentos de fundo areia fina a muito fina.

A estação de coleta PT 472, localizada na Baía de Guaraqueçaba, possui areia grossa a muito fina.

Estação de coleta PT 749. Este ponto foi escolhido, principalmente, por se tratar de um local próximo aos terminais de carga e descarga do Porto de Paranguá. Os sedimentos de fundo vão da areia muito fina ao silte médio.

Figura 1 – Mapa da região do CEP com estações de coletas indicadas pelos círculos e respectiva numeração.

Figura 2 – Ocorrência de sedimentos de fundo na região do Complexo Estuarino de Paranaguá (LAMOUR, 2007)

2.4. Metodologia aplicada para a descrição das assinaturas tafonômicas

Os trabalhos para descrição das assinaturas tafonômicas seguiram, basicamente, os propostos por Rodrigues (2006), Rodrigues et al. (2009), Simões et al. (2009), Rodrigues e Simões (2010) e Erthal (2012), tendo cada bioclasto passado por análise individualmente.

Foram observadas 12 assinaturas tafonômicas, independentemente para cada espécime, em seus diferentes estados (condição), sob microscópio estereomicroscópio. As assinaturas analisadas e descritas, seguindo os protocolos de análise de Rodrigues (2006), Rodrigues et al. (2009), Simões et al. (2009), Rodrigues e Simões (2010) e Erthal (2012), foram:

(1) articulação, considerando-se estado inarticulado (presença de uma valva) ou articulado (duas valvas). Quando articuladas, as valvas podem ser classificadas, ainda, em abertas, quando paralelas entre si, ou fechadas;

(2) tipo de valva, esquerda ou direita, quando possível;

(3) fragmentação, presença de quebras, devidas tanto a processos físicos, químicos e/ou biológicos. Adota-se aqui a definição de Davies et al. (1990), onde uma concha é considerada inteira quando contém >90% da forma original sendo, do contrário, considerado fragmento;

(4) modificação da margem da concha, considerando-se todas as extremidades do bioclasto. Margens irregulares, arredondadas ou com lascas angulosas de variados tamanhos;

(5) perióstraco, quando presente, pois é diferente para cada espécie, sendo que nem todas espécies o apresentam, analisado segundo seu estado de preservação: natural, parcial ou totalmente perdido;

(6) brilho/lustro, também é feição variável entre espécies. Será feita atribuição das intensidades de preservação do brilho original das porções internas das conchas (BEST; KIDWELL, 2000a);

(7) alteração da cor da concha, observando-se a porção externa da concha;

(8) corrosão, termo adotado para indicar o estado geral de desgaste nas conchas, resultado de qualquer uma das combinações dos processos de dissolução, corrosão (origem química) e abrasão (origem mecânica). Preferiu-se adotar o termo corrosão devido ao fato do efeito dessas três assinaturas serem muito semelhantes, só sendo possível distinguir através de análise em microscópio eletrônico.

(9) bierosão, conchas analisadas nas porções interna e externa, em termos de organismos causadores, e porcentagem da área afetada, podendo ser classificada em três estados: nenhuma, baixa ou intensa bioerosão;

(10) incrustação, conchas analisadas nas porções interna e externa, em termos de organismos causadores, e porcentagem da área afetada, podendo ser classificada em três estados: nenhuma, baixa ou intensa incrustação;

(11) predação, identificadas como as perfurações que atinjam a concha de fora para dentro, com diâmetro externo relativamente maior que o interno, perpendicular à superfície da concha, e de contorno regular;

(12) textura superficial da concha, quando sua textura superficial apresentar novas conformações devido a processos biológicos, físicos e químicos.

Os bioclastos analisados tafonomicamente também foram identificados taxonomicamente (MIKKELSEN; BIELER, 2008; RIOS, 2009; CONQUILIOLOGISTAS DO BRASIL), ao menor nível taxonômico em que se foi possível chegar. Quando não foi possível chegar ao gênero dos bivalves, os mesmos foram classificados como indeterminados.

3. RESULTADOS

Ao total, 1.438 bioclastos foram utilizados nas análises tafonômicas e taxonômicas. Das 11 estações de coleta (fig. 1), apenas duas não apresentaram o *n* mínimo de 150 conchas, número ideal para que os resultados das análises tafonômicas sejam consistentes (KIDWELL et al., 2001).

A tabela 1 relaciona os dados abióticos obtidos para cada estação de coleta, sendo eles temperatura, pH, salinidade, turbidez e a profundidade registrada no momento da coleta. Na tabela 2 estão indicados os gêneros e espécies identificados e, na tabela 3, quais deles pertencem a epifauna ou a infauna (a grande maioria dos gêneros são infaunais). Foram 41 espécies de 35 gêneros, além de espécimes que só puderam ser identificado em nível de família, Ostreidae e Mytillidae.

A figura 3 apresenta a análise de cluster relacionando os 9 pontos de coleta no CEP (fig. 1). Para esse dendograma, foram relacionados apenas aqueles pontos em que obteve-se, no mínimo, 150 bioclastos para as análises tafonômicas (KIDWELL et al., 2001), assim, as estações de coleta 911 (15 bioclastos) e 749 (67 bioclastos), foram excluídas desta análise por não terem atingido o mínimo satisfatório para análise. Todas as assinaturas tafonômicas analisadas foram levadas em questão nesta análise de cluster.

Nota-se que nesta análise as estações 683 e 336 estão mais próximas, seguidas pela estação 482. Este primeiro grupo relaciona-se com um segundo, formado pelas estações 696 e 32 (fig. 3). A estação 683 localiza-se na região da Ponta do Poço, ponto onde as correntes de maré executam uma flexão em direção ao canal da Cotinga. A estação 336 encontra-se próxima ao canal da Cotinga e, ambas estações, 683 e 336, estão próximas à Desembocadura Sul.

PONTOS	TEMPERATURA	Ph	SALINIDADE	TURBIDEZ	PROFUNDIDADE (momento da coleta)
696	18° C	7,52	27%	21,8	3,1 metros
683	17° C	7,37	28%	28,1	9,9 metros
336	17°C	7,31	28%	24,6	13,6 metros
749	18°C	7,13	27%	26,8	8,9 metros
911	18°C	7,18	21%	30,1	3 metros
32	18°C	7,33	23%	33,1	3,8 metros
152	17°C	7,04	11%	42,4	2,1 metros
482	11°C	7,47	26%	24,4	8 metros
607	18°C	7,56	23%	21,1	0,5 metros
645	17,5°C	7,32	24%	21,3	1,5 metros
472	17°C	7,18	17%	21,9	3,6 metros

Tabela 1 – Parâmetros abióticos obtidos no momento da coleta nas diferentes estações ao longo do CEP. As profundidades aqui mostradas são aquelas registradas no momento da coleta.

	PT 336	PT 32	PT 152	PT 482	PT 607	PT 645	PT 683	PT 749	PT 911	PT 472	PT 696	TOTAL
valva indeterminada	7	2	7	9	5	7	7	0	0	0	4	48
frag. Indeterminado	39	46	65	36	69	0	45	45	14	27	63	449
<i>Chione</i>	17	5	0	0	0	1	3	0	0	0	16	42
<i>A.ovalis</i>	4	4	0	23	0	0	9	0	0	0	0	40
<i>Anadara</i>	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>A. notabilis</i>	1	2	0	5	0	0	0	0	0	0	1	9
<i>Tellina</i>	9	0	1	4	0	1	12	2	0	0	10	39
<i>Strigilla carnaria</i>	1	0	0	11	0	0	5	0	0	0	18	35
<i>Lucina</i>	24	4	0	1	4	0	15	0	0	0	1	49
<i>Mactra</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
<i>Cyclinella</i>	3	1	0	1	0	0	7	0	0	0	6	18
<i>Macoma</i>	3	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	15
<i>Trachycardium muricatum</i>	3	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	8
<i>Leptopecten bavayi</i>	5	1	0	9	0	0	4	0	0	0	0	19
<i>Pitar</i>	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
<i>Solen</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
<i>Crassinella aff. Marplatensis</i>	6	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	16
<i>Pholas campechiensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Corbula</i>	13	23	0	2	0	0	26	17	0	0	0	81
<i>Abra</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
Ostreidae	7	0	0	6	0	0	5	0	0	0	0	18
<i>Barnea</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Macoma</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10
<i>Mytella</i>	0	30	14	1	0	0	0	0	0	123	0	168
Frag. Mytillidae	0	16	54	0	0	136	0	0	0	0	0	206

Mytillidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Nuculana (Propelada)</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Erodona mactroides</i>	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
<i>Nucula semiornata</i>	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	12
<i>Barbatia candida</i>	0	0	0	? 5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Donax</i>	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	1	8
<i>Macoma constricta</i>	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	6
<i>Amiantis purpuratus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Crassatella</i>	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	5
<i>Modiolus carvalhoi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ctena (Parvilucina) pectinella</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Lirophora</i>	0	0	0	?1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Chama</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	0	0	0	0	65	0	0	2	0	0	0	2	69
<i>Tagelus</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	8
<i>Tagelus divisus</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
<i>Dosinia concentrica</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	4
<i>Pitar aff. rostratus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Isognomon</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
<i>Divaricella quadrisulcata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Donax hanleyanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
													1438

Tabela 2 – Gêneros e espécies encontrados nas estações de coleta.

INFAUNA	INFAUNA/EPIFAUNA
<i>Chione</i>	<i>Pholas campechiensis</i>
<i>A. ovalis</i>	<i>Barbatia cândida</i>
<i>Anadara</i>	EPIFAUNA
<i>A. notabilis</i>	<i>Leptopecten bavayi</i>
<i>Tellina</i>	Ostreidae
<i>Strigilla carnaria</i>	Mytilidae
<i>Lucina</i>	<i>Modiolus carvalhoi</i>
<i>Mactra</i>	<i>Chama</i>
<i>Cyclinella</i>	<i>Isognomon</i>
<i>Macoma</i>	
<i>Trachycardium muricatum</i>	
<i>Pitar</i>	
<i>Solen</i>	
<i>Crassinella aff. Marplatensis</i>	
<i>Corbula</i>	
<i>Abra</i>	
<i>Barnea</i>	
<i>Nuculana (Propelada)</i>	
<i>Erodona mactroides</i>	
<i>Nucula semiornata</i>	
<i>Donax</i>	
<i>Macoma constricta</i>	
<i>Amiantis purpuratus</i>	
<i>Crassatella</i>	
<i>Ctena (Parvilucina) pectinella</i>	
<i>Lirophora</i>	
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	
<i>Tagelus</i>	
<i>Tagelus divisus</i>	
<i>Dosinia concêntrica</i>	
<i>Pitar aff. rostratus</i>	
<i>Divaricella quadrisulcata</i>	
<i>Donax hanleyanus</i>	

Tabela 3 – Gêneros pertencentes a epifauna ou a infauna.

Figura 3 – Dendrograma relacionando os nove pontos de coleta do CEP.

As estações de coleta 696 e 482 encontram-se, respectivamente, nas Desembocaduras Sul e Norte do CEP com o mar aberto. A estação 696 é próxima a um grande banco de areia, o Saco do Limoeiro. Por esse motivo, apresenta menor profundidade. Ponta do Poço e as Desembocaduras Sul e Norte são os locais que possuem as maiores profundidades associadas às velocidades mais rápidas de correntes de maré do Complexo Estuarino de Paranaguá.

Já a estação de coleta 32, localizada no interior do CEP, está próxima a Ilha do Teixeira e desembocadura do Rio Nhundiaquara, não possuindo grande profundidade.

As estações 607 e 152 próximas entre si, unem-se em seguida ao grupos das 5 primeiras estações (fig.3). A primeira está localizada em um grande baixio, o Baixio do Perigo, no eixo N-S, e, a segunda, no interior do eixo L-O.

As estações 645 e 472 são as que menos se aproximam das demais, sendo 472 a estação que liga-se com a maior distância às outras (fig. 3). Essas são as estações mais internas no sentido norte-sul do CEP, na Baía das Laranjeiras. A estação 645 está próxima à Ilha Rasa, e a 472, localizada no interior da Baía de Guaraqueçaba, está próxima ao manguezal (fig. 1).

O dendograma da figura 3, nos mostra quais estações de coleta são mais semelhantes, com base na análise das assinaturas tafonômicas de 150 bioclastos de cada um desses pontos de coleta.

As análises de cluster foram feitas, também, para cada assinatura tafonômica em particular. Desta forma, pode-se inferir quais as assinaturas que mais estariam influenciando no agrupamento obtido na figura 3.

3.1. Articulação

Com relação a assinatura articulação, notou-se o predomínio do estado desarticulado em todas as estações de coleta (fig. 4).

Pelo dendograma da figura 3, pode-se observar que as estações 152 e 645 são as mais próximas. Ambas apresentam o mesmo índice de desarticulação, com 96,7% das valvas desarticuladas. A estação 482, com 97,3% das valvas desarticuladas, é a mais próxima a elas. Em seguida, as estações 32 e 683 unem-se a este primeiro grupo, com 95% e 96% de desarticulação, respectivamente. As estações 696 e 336 estão mais relacionadas entre si com 93% de desarticulação das valvas. Por último 472 e 607 com menor frequência de desarticulação, apresentando 88,7% e 88% de valvas desarticuladas, respectivamente.

As estações de coleta 911 e 749 foram excluídas das análises de cluster por não apresentarem n=150. Mesmo assim, nestas duas a desarticulação das valvas também apresentou maior frequência de ocorrência.

Figura 4 – Dendrograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica articulação.

Figura 5 – Frequência de valvas articuladas e desarticuladas por estação de coleta.

3.2. Tipo de valva

A assinatura tipo de valva possui os estados: esquerda, direita ou indeterminada. Em todas as estações de coleta, a maior frequência foi de valvas indeterminadas (fig. 7), mas esse fato pode ser atribuído ao grande número de conchas fragmentadas.

Observando-se o dendograma gerado para esta assinatura (fig. 6), observa-se os pontos 336 e 32 são os mais próximos, unindo-se a eles, o ponto 696. No geral, as frequências de valvas direitas e valvas esquerdas manteve-se muito semelhante em todos os pontos, com exceção dos pontos 696 e 683, onde houve disparidade dos tipos de valvas. Tanto na estação 696 como na 683, houve dominância de valvas direitas e relação a valvas esquerdas. Na primeira, 31% eram valvas direitas e 19,3% valvas esquerdas; na segunda, 40% são valvas direitas e 26% esquerdas.

Figura 6 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica tipo de valva.

Figura 7 – Frequência do tipo de valvas por estação de coleta.

As estações 607, 152 e 645 também são exceção. Devido a predominância de fragmentos, a as frequências de valvas indeterminadas nestas estações são as maiores, com 60%, 84% e 93% de valvas indeterminadas, respectivamente.

Nota-se, no dendograma da figura 6, que estas são as estações de coleta mais distantes das demais, com as estações 152 e 645 formando um grupo que se une as demais estações com uma maior distância de ligação.

3.3. Fragmentação

No geral, todos os pontos de coleta apresentam valvas fragmentadas (fig. 9). As estações 683, 336 e 482 apresentam as maiores frequências de valvas completas, com 36,7%, 35,3% e 34,7% de valvas completas, respectivamente. Estas são as estações mais próximas, segundo o dendograma da figura 8.

Ainda segundo o dendograma para fragmentação (fig. 8), podemos notar as estações 645 e 152 formando um grupo que se une as demais estações com uma maior distância de ligação. Essas duas estações são constituídas principalmente por fragmentos de conchas, apresentando frequências de 95,4% (estação 152) e 99,4% de fragmentação.

Figura 8 – Dendrograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica fragmentação.

Figura 9 – Frequência de fragmentação das conchas por estação de coleta.

3.4. Bioerosão

Não há grande frequência de bioerosão nas conchas analisadas, e as estações 911, 645, 607 e 152 não apresentaram nenhum bioclasto bioerodido (fig. 11).

No dendograma da figura 10, as estações 638 e 696 são as mais relacionadas. Estas estações apresentaram 7,3% e 7,4% de bioerosão. A seguir, com maior distância de ligação, aparece a estação 482, com 9,3% das conchas bioerodidas, e a estação 336, com 12,7% de bioerosão.

O ponto de coleta que apresenta maior frequência de bioerosão é o ponto 472, composto essencialmente por moluscos mexilhões da família Mytillidae. Toda a bioerosão presente neste ponto de coleta foi atribuído a ação de algas e/ou fungos (fig. 12).

Figura 10 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados de ocorrência da assinatura tafonômica bioerosão.

Figura 11 – Frequência de ocorrências de bioerosão nas conchas por estação de coleta.

Figura 12 – Frequência da ocorrência dos tipos de bioerosão presente nas conchas por estação de coleta.

O gráfico da figura 12 mostra quais os tipos de bioerosão registrados. Nos pontos em que houve bioerosão, esta foi causada principalmente por esponjas, em maior frequência, e algas e/ou fungos. Apenas o ponto 336 apresentou bioerosão por anelídeos; já na estação 472 houve apenas bioerosão por algas.

Apesar das altas frequências dos tipos de bioerosão, deve-se lembrar que a sua ocorrência não foi grande nas estações de coleta.

3.5. Incrustação

Apesar de ter sido identificada em todos os pontos de coleta, incrustação também foi uma assinatura que apareceu em baixa frequência nas conchas analisadas (fig. 14).

No dendograma da figura 13, as estações 645 e 607 são as mais relacionadas, apresentando as menores taxas de incrustação, 2% e 1,3%, respectivamente. A estação de coleta 472 apresenta a maior distância de ligamento com as demais, sendo a que apresentou a maior frequência de incrustação (35,3%), sendo a maior parte causada por algas e, em menor número, briozoários e crustáceos (cracas) (fig. 15).

Figura 13 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados de ocorrência da assinatura tafonômica incrustação.

Figura 14 – Frequência de ocorrência de incrustação nas conchas por estação de coleta.

Figura 15 – Frequência de ocorrência dos tipos de incrustação nas conchas por estação de coleta.

O gráfico da figura 15 mostra quais os tipos de incrustação registrados. Nos pontos em que houve incrustação, esta foi causada por algas, em maior frequência, briozoários, bivalves, e crustáceos. O ponto 911 apresentou apenas uma concha com

incrustação, por anelídeos. Além deste ponto, as estações 336 e 482 também apresentaram incrustação por anelídeos, com 7% e 20% de frequência, respectivamente.

Apenas as estações 482 (7% de frequência) e 336 (2%) apresentaram incrustação por gastrópodes, e não foram registradas nenhuma incrustação por foraminíferos.

Da mesma forma que ocorre com a bioerosão, as altas frequências de determinados tipos de incrustação são atribuídas a pequenas frequências de ocorrência nas estações de coleta.

3.6. Predação

As estações 696, 482, 336, 683, 607, 32 e 152 apresentaram furos por predação. 32, 152 e 607 possuem as menores frequências de predação, com 2,7%, 2,7% e 0,7% (fig. 17).

Figura 16 – Dendrograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica predação.

Figura 17 – Frequência de ocorrência de predação nas conchas por estação de coleta.

A estação de coleta 683 foi a que apresentou a maior frequência de furos por predação, 16% das conchas predadas. Através do dendograma da figura 16, pode-se ver que essa é a estação com maior distância de ligação das outras.

3.7. Textura superficial da concha

As texturas fosca e granular foram as mais frequentes no geral, seguidas pela textura do tipo perfurada (fig.19). Já a textura em cratera foi observada apenas em dois pontos de coleta, 696 e 482, ambos com baixa frequência de 0,7%, assim como a textura em ecthing, presente nas estações 32 e 696, com 1,3% de ocorrência.

Pelo dendograma da figura 18, vemos que a estação 472 possui maior distância de ligação com as demais. Esta é a estação com maior frequência da textura do tipo fosca (96%).

Figura 18 – Dendograma para as estações de coleta, obtido com os dados da assinatura tafonômica textura superficial da concha.

Figura 19 – Frequência de ocorrência de textura superficial nas conchas por estação de coleta.

As estações 683 e 482 são as estações mais próximas quando levamos em consideração a assinatura tafonômica textura superficial da concha (fig. 18). Podemos observar um grupo formado por estas duas estações, em adição das estações 696 e 336. Este primeiro grupo se une a um segundo grupo, formado pelas estações 607, 32, 152 e 645. E, por último, está a estação 472, com maior distância de ligação.

As assinaturas alteração da cor, brilho, modificação da margem, perióstraco e corrosão não parecem ser assinaturas úteis na identificação ou para uma possível caracterização dos diferentes ambientes do CEP. Isto porque elas não são variáveis entre esses diferentes ambientes. A seguir, mostramos os gráficos das frequências de ocorrência de cada uma dessas assinaturas.

Figura 20 – Frequência de ocorrência da assinatura alteração da cor nas conchas por estação de coleta.

Com relação a alteração da cor, a maioria dos bioclastos apresentou-se com sua coloração natural. O estado indeterminado foi atribuído aos fragmentos que não puderam ser identificados a algum nível taxonômico. Pode-se observar no gráfico da figura 20 que as estações de coleta 32, 482 e 336 apresentaram as maiores frequências para alteração “marrom e preto”, com 14%, 19% e 25%, respectivamente. A estação 607 apresentou a maior alteração para branco (30,7%), e a estação 472 a maior frequência de alteração para cinza (40%).

Assim, devido ao estado natural presente nas estações, esta não parece ser uma assinatura variável entre os diferentes ambientes do CEP.

A mesma situação ocorre para o brilho das conchas. As maiores frequências dessa assinatura são para os estados indeterminado e perdido (fig. 21). Há dominância desses dois estados por dois fatores principais: 1) fragmentação das conchas, que na grande maioria das vezes ocorreu na porção inferior da concha, local onde é feita a análise dessa feição, levando, assim, ao grande índice do estado perdido e também do indeterminado, naqueles casos em que a fragmentação impediu a identificação taxonômica e; 2) a perda propriamente dita do brilho.

Figura 21 – Frequência de ocorrência da assinatura brilho nas conchas por estação de coleta.

Figura 22 – Frequência de modificação da margem das conchas por estação de coleta.

A modificação da margem do tipo irregular foi a predominante nos pontos de coleta do CEP (fig. 22). As estações 749 e 482 foram as que apresentaram os maiores

índices do estado de margem arredondada. No entanto, as frequências ainda foram baixas, de apenas 20,9% e 18%, respectivamente.

Figura 23 – Frequência da assinatura tafonômica perióstraco por estação de coleta.

O gráfico da figura 23 mostra os resultados da análise do perióstraco das conchas. Mais uma vez, a grande frequência do estado indeterminado deve-se a fragmentação dos bioclásticos. Fora isso, a feição predominante nas estações de coleta foi perióstraco perdido. A estação de coleta 472, composta por apenas por mexilhões, apresentou predominância do estado parcialmente perdido, com uma frequência de 99,3%. O perióstraco é classificado como parcialmente perdido, quando este se perdeu em até 50% da concha.

Figura 24 – Frequência de bioclastos apresentando a assinatura corrosion nas estações de coleta.

A assinatura tafonômica corrosion apareceu com mais de 50% de frequência nos fragmentos de todas as estações de coleta (com exceção da estação 911, onde apenas um dos 11 fragmentos não apresentou corrosion). As estações que apresentaram as menores frequências de corrosion foram as estações 683, 336 e 482 (58%, 60,7% e 64% de corrosion, respectivamente).

4. DISCUSSÃO

Os danos registrados no material biogênico morto enquanto estão na Zona Tafonomicamente Ativa são chamados assinaturas tafonômicas. A Zona Tafonomicamente Ativa (ZTA, Tafonomically Active Zone) (DAVIES et al., 1989) é considerada a interface sedimento-água e o sedimento imediatamente abaixo, onde a combinação das condições físicas, químicas e biológicas do ambiente incorpora ou retira injúrias do material esquelético, registrando-as na forma das assinaturas tafonômicas (PARSONS-HUBBARD, 2005).

A interpretação de assinaturas tafonômicas é uma das ferramentas mais fidedignas para se realizar a identificação das condições paleoambientais e paleoecológicas a que os organismos podem estar submetidos enquanto na TAZ. Conchas bivalves têm sido utilizadas para o reconhecimento das condições ambientais por apresentarem uma ampla diversidade de assinaturas tafonômicas que podem ser quantificadas (SPEYER; BRETT, 1988; RODRIGUES, 2006; ERTHAL, 2007).

Assim, com base nas 12 assinaturas tafonômicas aqui analisadas, o dendograma apresentado na figura 3 relaciona todos os pontos de coleta no CEP, nos mostrando quais as acumulações de moluscos bivalves e seus respectivos pontos de coleta estão mais semelhantes.

Segundo o dendograma dos pontos de coleta no CEP (fig. 3), há um primeiro grupo formado pelas estações 683 e 336, de maior similaridade entre si, que se une a estação 482. As estações 696 e 32, mais similares entre si, ligam-se, posteriormente, a estas três primeiras estações. Um segundo grupo é formado pelas estações 607 e 152. Este grupo, mais a estação 645 unem-se, então, ao primeiro grupo e, por fim, a estação 472 une-se as demais estações no agrupamento.

Com exceção da estação 32, localizada no interior da baía de Paranaguá, próxima a Ilha do Teixeira e da desembocadura do Rio Nhundiaquara, todas as estações reunidas no primeiro grupo (683, 336, 482 e 696), são os pontos de coleta mais próximos às desembocaduras do CEP com o oceano, ou seja, são os pontos de maior influência marinha. Além disso, essa é a região do CEP que possui as maiores profundidades e fortes correntes de marés, além de estar sob maior influência de ventos, ondas e eventos de tempestade (ANGULO; ARAÚJO, 1996; LAMOUR, 2007; ROSA; BORZONE, 2008).

As ondas que entram por essa região possuem alturas inferiores a 0,5 m, fazendo com que o fluxo seja turbulento, o que dá maior poder de ressuspensão e transporte de sedimentos (LAMOUR, 2007). Somado a isso, essa região localiza-se na

rota de grandes embarcações com destino ao Porto de Paranaguá, além de embarcações que realizam o transporte de turistas até a Ilha do Mel.

Foi nesta região, também, onde se verificou as duas únicas estações com maior disparidade na ocorrência do tipo de valva. As estações 683 e 696 apresentaram maior frequência de valvas direita do que esquerda, o que talvez possa ser característica de regiões mais energéticas.

Já as demais estações, (607, 152, 645, 472) são os pontos de coleta mais internos na área do CEP, próximos a ilhas, manguezais e bancos de areia. As áreas internas do CEP são mais afetadas por ondas geradas localmente em pista curta, e não por ondas oceânicas, como ocorre nos locais mais próximos à desembocadura do CEP. Segundo Rosa e Borzone (2008), de forma geral, os ambientes próximos à desembocadura do CEP possuem uma planície arenosa (com algumas exceções, como a região da Ponta do Poço (PT 683), a qual não apresentou formação de planície segundo os autores), enquanto que as praias mais internas apresentam planícies areno-lodosas.

Nas áreas mais internas, também são comuns bancos arenosos de partículas grosseiras, pobremente selecionadas, devido ao aporte fluvial de sedimentos (BIGARELLA et al. 1978; LAMOUR et al. 2004), considerado a principal fonte de sedimento para a formação dos ambientes mais internos da baía (ROSA; BORZONE, 2008).

Através dos resultados obtidos a partir da análise de agrupamento dos pontos de coleta analisados na extensão do CEP, o dendograma da figura 3 nos mostra, então, que aqueles pontos de coleta de maior influência marinha possuem maior semelhança tafonômica entre si, o mesmo ocorrendo com as estações de coleta localizadas nas áreas mais internas do CEP, de menor influência marinha.

As análises de cluster foram feitas, então, para cada assinatura tafonômica em particular. Assim, poderíamos inferir quais as assinaturas que mais estariam influenciando no agrupamento obtido na figura 3, quais poderiam ser as semelhanças tafonômicas presentes nessas associações de moluscos bivalves. Dessa forma, podemos tentar identificar quais as assinaturas seriam diagnosticas que alguma característica ambiental.

Segundo Rodrigues (2006), em ambiente de baixa energia, há altas taxas de desarticulação de valvas, sendo o tempo de residência dos bioclastos na zona de soterramento final e sua exposição ou re-exposição à zona tafonomicamente ativa, em conjunto com outros fatores físicos (como as ondas geradas pelos navios, neste caso) e biológicos (como predação), fator importante para a desarticulação das valvas. Para

a região do Complexo Estuarino de Paranaguá, houve o predomínio do estado desarticulado (fig. 25) não apenas naquelas estações de coleta próximas à desembocadura e sob condições energéticas mais fortes, mas nas estações das áreas mais internas do CEP o estado desarticulado das valvas também foi a condição dominante (fig. 5).

Assim como a desarticulação, fragmentação predominou nos bioclastos tanto das estações de coleta mais externas na área do CEP (fig. 26), quanto naquelas mais internas (fig. 27). A fragmentação é um processo complexo e pode estar relacionada a vários fatores, e não apenas a processos físicos em meio de alta energia. Segundo Erthal (2012), a fragmentação pode ser resultado da combinação de vários processos ecológicos (pré-morte) ou tafonômicos (pós-morte), sendo a predação o principal fator ecológico responsável pela fragmentação. Outros processos envolvidos na fragmentação seriam a espessura da concha do molusco, além do seu hábito de vida, já que conchas de espécies da epifauna estão mais suscetíveis aos danos do que espécies da infauna (KONDO, 1998; BEST; KIDWELL, 2000b; ZUSCHIN et al., 2003; LOCKWOOD; WORK, 2006; ERTHAL, 2012). Além disso, a alteração de agentes químicos no meio também pode favorecer a fragmentação das conchas (RODRIGUES, 2006).

Figura 25 – **A:** articulado fechado (PT 336); **B:** Articulado aberta (PT 152); **C:** desarticulada, valva esquerda (PT 683); **D:** Desarticulada, valva direita (PT 683).

Corroborando o fato de que a fragmentação pode ter causa de diferentes processos em subambientes diferentes, Rodrigues e Simões (2010) encontraram altas taxas de fragmentação de diferentes origens para o braquiópode *Bouchardia rosea* em diferentes ambientes da Baía de Ubatuba. Os autores verificaram taxas de fragmentação causadas por transporte e retrabalhamento de conchas em ambiente praial de alta energia, assim como índices de fragmentação para os bioclastos de ambientes mais calmos de plataforma interna, neste caso de origem biológica, pelo ataque de predadores durófagos. Há um terceiro caso, em ambiente de plataforma externa, onde a fragmentação é causada por intensa dissolução.

Segundo Zuschin et al. (2003), como as fontes de quebra do bioclasto são diversas, informações baseadas em padrões distintivos da fragmentação aumentam em muito o valor de um fragmento para análises de tafócies e outras análises.

Uma das principais fontes de fragmentação de conchas é a atividade de alimentação de diversos organismos. Os efeitos dessas atividades são diversos, podendo apenas enfraquecer a concha até levar a sua destruição total (ZUSCHIN et

al., 2003). Segundo os autores, os principais casos de enfraquecimento das conchas são representados pela predação por perfuração, geralmente atribuída a gastrópodes Naticides (ZUSCHIN et al., 2003). Na região do CEP este tipo de fragmentação por predação em furo foi observada em baixa frequência em todos os pontos de coleta (fig. 28).

Outros casos de fragmentação por atividades de alimentação citados pelos autores, incluem conchas danificadas com suas margens lascadas, descamadas e/ou raspadas; além daqueles casos em que as conchas estão danificadas extensivamente, ou ainda quando uma valva encontra-se quebrada, mas a outra permanece intacta. Muitos predadores durófagos quebram as conchas em vários pedaços angulares, criando um “picado” de conchas (ZUSCHIN et al., 2003). Para Checa (1993) danos na concha de bivalves infaunais não são devidos a predação, mas são interpretados como resultado de enterramento rápido para escapar de predadores.

Na região do CEP, há predominância de fragmentos em todos os pontos amostrados. Foram verificadas várias das ocorrências citadas e atribuídas a predação por Zuschin et al. (2003). Há conchas fragmentadas de maneira irregular, margens lascadas, valvas fragmentadas porém com o ligamento intacto, além de fragmentos angulares em grande quantidade, em uma mesma estação de coleta, como no caso da estação 607, onde houve grande quantidade de fragmentos angulares, além da presença de valvas fragmentadas articuladas (fig. 26 e 27).

Boyd e Newell (1972) interpretaram as fraturas nas partes mais grossas das valvas como predação, porque a energia da água quebraria, preferencialmente, as porções mais finas da valva. De fato, os processos de alimentação podem criar grandes quantidades de fragmentos (ZUSCHIN, et al., 2003). Porém, os autores enfatizam que reconhecer a causa da fragmentação baseado nos padrões de quebra é extremamente difícil, já que, além do fato da fragmentação não ser devida apenas as causas biológicas, os predadores e suas estratégias de predação são diversas e variáveis na natureza (ZUSCHIN et al., 2003).

Dessa forma, pretende-se aqui considerar que, apesar dos bioclastos apresentarem vários indícios de fragmentação por predação, não se pode relacionar essa característica apenas a esse fator. Também verificam-se altas frequências de corrosão em todas estações estudadas. Há corrosão e desgaste das partes mais altas e da ornamentação das conchas, porém há predominância da margem irregular à arredondada, esta última característica de dano físico. A causa da fragmentação, portanto, provavelmente se deve a mais de um fator, sendo, porém, que a predação talvez exerça um peso maior nesse caso.

Figura 26 – Diferentes tipos de fragmentações encontrada nos bioclastos do CEP. **A:** Concha fragmentada pertencente ao PT 32; **B:** *Mytella* apresentando fragmentação na parte mais alta da valva, próxima ao umbo (PT 32); **C:** Fragmento irregular (PT 336); **D:** Concha fragmentada apresentando margens arredondadas (PT 482); **E:** Fragmento de concha PT 683; **F:** Concha

fragmentada porém com ligamento ainda presente e uma das valvas inteira (PT 696); **G**: Umbo de concha fragmentada (PT 696).

Figura 27 – Diferentes tipos de fragmentação encontrados nos bioclastos do CEP. **A**: Fragmento de concha (PT 152); **B**: *Mytella* articulada, apresentando fragmentação na região ventral da concha (PT 472); **C**: Fragmento *Mytella* (PT 472); **D**: *Anomalocardia* com as valvas ainda articuladas, porém fragmentadas (PT 607); **E**: Fragmento angular (PT 607); **F**: Fragmento de concha (PT 645).

Figura 28 – Furos por predação nas estações de coleta do CEP. **A:** *Anadara ovalis* (PT 683); **B:** *Strigilla carnaria* (PT 683); **C:** *Cyclinella tenuis* (PT 696); **D:** Predação incompleta em *Corbula* sp. (PT 32).

Bioerosão (fig. 29) e incrustação (fig. 30), por outro lado, apareceram em baixas frequências nas conchas analisadas. Incrustação foi registrada em todas as estações de coleta, já a bioerosão foi identificada apenas nas estações pertencentes àquele primeiro grupo de estações formado pelo dendograma da figura 3, próximas a desembocadura do CEP. A estação 472 também apresentou bioerosão. Os tipos de bioerosão registrados foram aqueles causados, principalmente, por esponjas, em maior frequência, seguido de bioerosão por algas e/ou fungos. Apenas o ponto 336 apresentou bioerosão por anelídeos, em frequência muito baixa; já na estação 472 houve apenas bioerosão por algas.

Ao contrário do que se verificou para a bioerosão, incrustação não possui uma divisão tão bem marcada entre as áreas do CEP. As duas estações que apresentaram menor frequência de incrustação (607 e 645) estão em áreas mais internas do CEP, porém, a estação 683, localizada na desembocadura, também apresentou baixa frequência de incrustação; e as estações de maior frequência de incrustação, são as estações 472, interna, e as estações 336 e 696, mais externas.

Incrustação foi causada em maiores quantidades por algas, seguido por briozoários, bivalves, crustáceos e anelídeos. Apenas as estações 482 (7% de frequência) e 336 (2%) apresentaram incrustação por gastrópodes.

Incrustação e bioerosão são praticamente ausentes em ambientes de água doce, já que a maioria dos organismos causadores desses danos são de habitat marinho (PARSONS-HUBBARD, 2005). Ritter et al. (2013), ao investigarem assinaturas tafonômicas em moluscos bivalves do complexo lagunar da Laguna Tramandaí, não observaram sinais de atividades biológicas nas conchas. Para eles, as assinaturas tafonômicas causadas por atividades biológicas em ambientes marinhos, são produzidas por dissolução nos ambientes estuarinos/lagunares. Assim, ambientes transicionais apresentariam padrão de dano tafonômico mais semelhante aos ambientes fluviais (RITTER et al, 2013). Lockwood e Work (2006) também encontraram taxas de bioerosão e incrustação muito baixas para assembleias de moluscos pertencentes à Baía de Chesapeake, nos Estados Unidos. Segundo Farinati et al. (2008) o baixo grau ou ausência de bioerosão também pode ser indicativo de baixo tempo de exposição na interface sedimento-água.

No caso do CEP, acredita-se que a baixa frequência destes danos biológicos não pode ser atribuída a pouca exposição dos bioclastos na TAZ. Isto devido à alta frequência de assinaturas como desarticulação e fragmentação, as quais estão ligadas a constante reexposição dos bioclastos na TAZ (Rodrigues, 2006), e ao fato de que os danos de origem biológica exercem papel importante no enfraquecimento da concha, favorecendo, também, danos como desarticulação e fragmentação (Zuschin et al. 2003). Como mostrado, o Complexo Estuarino de Paranaguá, o CEP, é um ambiente muito diverso, o que pode estar resultando em grande combinação de assinaturas nos bioclastos.

Figura 29 – **A:** Bioerosão por esponjas (PT 482); **B:** Bioerosão por esponjas (PT 336); **C:** Possível bioerosão por anelídeos (PT 336); **D:** Fragmento de concha apresentando bioerosão por esponjas (PT 696); **E:** Fragmento de mexilhão com possível bioerosão por algas; **F:** *Corbula* sp. Apresentando bioerosão por algas e/ou fungos (PT 696).

Figura 30 – **A:** Fragmento de mexilhão apresentando incrustação por crustáceos (cracas) e briozoários (PT 32); **B:** Incrustação por bivalve e crustáceo (craca) (PT 152); **C:** Concha fragmentada apresentando incrustação por anelídeos (PT 336); **D:** Ostreidae apresentando incrustação por briozoários (PT 482); **E:** Ostreidae apresentando incrustação por bivalves (PT 482); **F:** Fragmento de mexilhão apresentando incrustação por algas (PT 472).

O trabalho de Lockwood e Work (2006) sobre os danos tafonômicos presentes nos moluscos da Baía de Chesapeake, mostraram que as assinaturas desarticulação, fragmentação, perda do perióstraco, modificação da margem e alteração das

superfícies externas e internas, são os danos mais severos para as associações presentes nesta baía. Nos bioclastos do CEP, verificamos que as assinaturas alteração da cor, brilho, modificação da margem e perda do perióstraco, não apresentaram frequências variáveis entre os pontos de coleta do CEP (fig. 31, 32 e 33 A e B). A maioria dos bioclastos em todos os pontos de coleta apresentaram coloração natural, brilho e perióstraco perdidos, e margem irregular.

Em estudo dos danos presentes em moluscos e braquiópodes nas enseadas de Ubatuba e Pinciguaba, Rodrigues (2006) verificou que corrosão, modificação da margem, bioerosão e incrustação, são assinaturas que mostraram distribuição homogênea nas assembleias estudadas.

Segundo a autora, isto pode ser devido ao fato dos bioclastos estarem submetidos a uma complexa história tafonômica, com exposição ou re-exposição à zona tafonomicamente ativa, levando a um prolongado tempo de residência na zona de soterramento final, deixando-os constantemente expostos aos processos físicos, químicos e biológicos, antes de sua completa destruição ou provável incorporação final ao substrato.

Desta forma, Rodrigues (2006) verificou que a assinatura textura superficial da concha permite uma melhor interpretação ambiental, já que é produto das demais assinaturas tafonômicas. Segundo Rodrigues (2006), a distribuição das assinaturas abrasão, corrosão e bioerosão entre os ambientes amostrados correlacionou-se bem com as frequências das texturas superficiais.

Rodrigues (2006) verificou que as conchas que não possuíam alterações da textura eram típicas do ambiente de enseada de fundo argiloso, onde tanto abrasão como corrosão e bioerosão foram raras; textura fosca foi mais comum nos bioclastos do ambiente praiar e rara nos demais ambientes. Justamente no ambiente praiar, o mais energético dentre os estudados, foram registrados os mais altos índices de abrasão.

A textura granular foi mais frequente (acima de 50%) nos ambientes de plataforma interna, de fundo arenoso, ambientes nos quais foram registrados os mais altos índices de corrosão (enseadas de baixa energia e fundo arenoso e plataforma interna e fundo arenoso), sendo altos, também, os índices de bioerosão. Altos índices de textura granular também foram observados para os bioclastos de enseada de fundo arenoso, porém, nesse ambiente, predominaram as texturas biogênicas, as quais foram verificadas em todos os ambientes estudados, inclusive no ambiente praiar, porém em menor proporção.

Para o CEP, as texturas superficiais registradas em maiores frequências foram as texturas fosca e granular, seguida pela textura perfurada (fig. 34). Da mesma forma do que foi observado por Rodrigues (2006), as frequências das texturas superficiais correlacionaram-se bem com as frequências de corrosão (fig. 33 C-E) e bioerosão dos pontos de coleta: as estações que apresentaram as maiores frequências de corrosão, são também as estações que apresentaram maiores frequências da textura fosca, principalmente, e também da textura granular. Porém, estas são as estações de coleta das áreas mais internas do CEP (472, 152, 645 e 607). As estações próximas à desembocadura do CEP (482, 336, 683 e 696), apresentaram menores frequências de corrosão e maiores frequências da textura do tipo natural. Estas estações também apresentaram texturas fosca e granular, porém em menor frequência do que o grupo de estações de coleta mais internas. As estações de coleta 482, 336, 683 e 696, as quais apresentaram bioerosão, também apresentaram texturas biogênicas, em pequenas frequências, sendo a mais frequente, a textura do tipo perfurada.

O percentual de 96% dos bioclastos da estação 472 do CEP, apresentaram a textura superficial do tipo fosca. Este tipo de textura é identificada quando o bioclasto sofre perdas não pontuais de suas camadas superficiais, sendo considerado um dano físico. Ao contrário do observado por Rodrigues (2006), a pesar de se tratar de um local de sedimento mais lamoso e menores níveis energéticos, a grande frequência desta textura aqui deve-se a corrosão encontrada nos mexilhões, especialmente na região do umbo, o que talvez possa ser atribuído ao seu hábito de vida sésil, presos a rochas.

Já nas estações 482, 683, 336 e 696, há maior diversidade de texturas superficiais, devido a maior variedade de danos físico/químicos e biológicos observados. Por se tratar de um ambiente com níveis energéticos mais elevados, além do movimento causado por diversas embarcações que chegam e partem do porto de Paranaguá, os bioclastos estariam em constante reexposição aos danos físicos e, uma maior exposição na interface sedimento/água favoreceria, também, os ataques biológicos, encontrados nas estações próximas a desembocadura do CEP.

Apesar da correlação entre a textura superficial com as assinaturas de corrosão e bioerosão ter sido positiva, percebe-se, pelo exposto acima, que a ocorrência dos danos não teve a mesma relação com o meio, como encontrado por Rodrigues (2006). Isto é, mesmo os bioclastos dos ambientes de menor energia apresentaram danos químicos e físicos. Para Ritter et al. (2013), em ambientes estuarinos e lagunares, dissolução é o principal dano tafonômico responsável pelas assinaturas observadas nestes ambientes. Sem descartar os fatores biológicos, como a ação de predadores

durófagos, é possível que os maiores níveis de corrosão e alteração da textura superficial encontrados nos bioclastos das estações mais internas do CEP, sejam causados por maior influência da dissolução. No entanto, isto é algo que não podemos afirmar, visto que não foi possível realizar um estudo mais detalhado sobre a presença de dissolução nos bioclastos do CEP.

Figura 31 – **A:** *Anomalocardia brasiliiana* com coloração alterada para branco (PT 607); **B:** *Tellina* sp. Apresentando coloração preta (PT 683); **C:** Alteração da coloração normal para marrom em *Anadara ovalis* (PT 482); **D:** *A. ovalis* apresentando cor alterada para cinza (PT 482).

Figura 32 – **A:** Assinatura tafonômica brilho, *A. ovalis* apresentando brilho secundário (PT482); **B:** Brilho perdido em *Corbula* sp. (PT 32); **C:** Assinatura tafonômica perióstraco, normal em *Nucula* sp. (PT 696); **D:** Perióstraco perdido em *Nucula* sp. (PT 696).

Figura 33 – **A**: Assinatura tafonômica alteração da margem para arredondada (PT 152); **B**: Margem irregular (PT 645); Assinatura tafonômica corrosão (**C-E**).

Figura 34 – **A:** Textura superficial em etching (PT 696); **B:** Textura superficial em cratera (PT 482); **C:** Textura superficial do tipo perfurada (PT 336); **D:** Fragmento de mexilhão apresentando textura superficial do tipo fosca na região do umbo (PT 472); **E:** Textura superficial do tipo fosca em *Anomalocardia* sp. (PT 607); **F:** Textura superficial do tipo granular (PT 645).

5. CONCLUSÃO

A análise tafonômica dos danos presentes nas assembleias de moluscos bivalves marinhos, em 11 estações da região do Complexo estuarino de Paranaguá, revelou, através de análise de similaridade entre esses pontos, dois grupos principais: um primeiro grupo, formado pelas estações 482, 683, 696, 336 e 32; e um segundo grupo, formado pelas estações 607, 152, 645 e 472.

As estações reunidas no primeiro grupo são os pontos de coleta mais próximos às desembocaduras do CEP com o oceano (com exceção da estação 32, localizada em área mais interna do CEP), além de ser a região do CEP que possui as maiores profundidades e fortes correntes de marés, possuindo um fluxo mais turbulento. As estações de coleta pertencentes ao segundo grupo, são os pontos de coleta mais internos na área do CEP, próximos a ilhas, diversos manguezais e bancos de areia.

Houve predominância de desarticulação e fragmentação das valvas em todos os ambientes estudados. A fragmentação foi atribuída a mais de um fator, porém é possível que esteja sobre maior influência dos danos biológicos do que aos danos físicos e químicos.

Bioerosão não apareceu em frequências expressivas, porém, apenas as estações de coleta próximas a desembocadura do CEP apresentaram este tipo de dano. Incrustação apareceu em todas as estações de coleta, também em baixa frequência.

A assinatura alteração da superfície externa da concha correlacionou-se positivamente com as assinaturas *corrasion* e *bioerosão*: as estações com as maiores frequências de *corrasion* foram as mesmas que apresentaram as maiores frequências das alterações do tipo *fosca* e *granular*, e as estações que apresentaram *bioerosão* foram as que apresentaram as alterações *biogênicas*, sendo a textura *perfurada* a que apareceu em maior frequência. A alteração da superfície externa, no entanto, não apresentou uma correlação com o meio, como encontrado em outros trabalhos, isto é, as estações mais internas e de águas mais calmas, foram as que apresentaram as maiores frequências de *corrasion* e texturas *fosca* e *granular*. É possível que, além dos danos biológicos, danos químicos, como a dissolução, estejam contribuindo para o enfraquecimento dos bioclastos destas estações, relacionados, desta forma, com as ocorrências de *corrasion* e alteração superficial. No entanto, não foi possível realizar um estudo mais detalhado sobre a presença da dissolução nas assembleias de moluscos bivalves do CEP.

6. BIBLIOGRAFIA

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 1992. 334p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ANGULO R. J.; ARAÚJO A. D. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 44, p. 7-17, 1996.

BEST, M. M. R.; KIDWELL, S. M. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic carbonate settings: I. Environmental variation in shell condition. **Paleobiology**, v. 26, p. 80– 102, 2000a.

BEST, M. M. R.; KIDWELL, S. M. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic carbonate settings: II. Effect of bivalve life habits and shell types. **Paleobiology**, v. 26, p. 103– 115, 200b.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: Secretaria de Estado de Planejamento/ ADEA, 1978. 249p.

BOYD, D. W.; NEWELL, N. D. Taphonomy and diagenesis of a Permian fossil assemblage from Wyoming. **Journal of Paleontology**, v. 46, p. 1 –14, 1972.

CHECA, A. Non-predatory shell damage in Recent deep-endobenthic bivalves from Spain. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 100, p. 309– 331, 1993.

CONQUILIOLOGISTAS DO BRASIL. **CdB**. Disponível em: <<http://www.conchasbrasil.org.br>> Acesso em 10 Dez. 2014.

COUTO, E. C. G. **Estrutura espaço-temporal da comunidade macrobêntica da planície intertidal do Saco do Limoeiro – Ilha do Mel (Paraná-Brasil)**. 1996. 139p. Tese (Doutorado em Zoologia), Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

DAVIES, D. J.; POWELL, E. N.; STANTON JR., R. J. Taphonomic signature as a function of environmental process: shells and shell beds in a hurricane-influenced inlet on the Texas coast. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 72, p. 317- 356, 1989.

DAVIES, D. J.; STAFF, G. M.; CALLENDER, W. R.; POWELL, E. N. **Description of a quantitative approach to taphonomy and taphofacies analysis: all dead things are not created equal.** In: Miller, W. (Ed.). *Paleocommunity Temporal Dynamics: The Long-Term Development of Multispecies Assemblies.* The Paleontological Society Special Publication, vol. 5. The University of Tennessee, Knoxville, p. 328– 350, 1990.

ERTHAL, F. **Assinaturas Tafonômicas e Fidelidade Quantitativa de Moluscos da Formação Touro Passo (Pleisto-Holoceno), Brasil.** 2007. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Exatas), Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ERTHAL, F. **Assinaturas Tafonômicas em Bivalves Marinhos Recentes na Costa do Brasil e seu Significado Paleoambiental.** 2012. 212f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FARINATI, E. A.; SPAGNUOLO, J.; ALIOTTA, S. Tafonomía de bivalvos holocenos en la costa del estuario de Bahía Blanca, Argentina. **Geobios**, v. 41, p. 61 – 67, 2008.

KOWALEWSKI, M. Actupaleontology: The strength of its limitations. **Acta Paleontologica Polonica**, v. 44, n. 4, p. 452-454, 1999.

KIDWELL, S. M.; ROTHFUS, T. A.; BEST, M. M. R. Sensitivity of taphonomic signatures to sample sizes, sieve size, damage scoring system, and target taxa. **Palaios**, v. 16, p. 25-52, 2001.

KONDO, Y. **Adaptative strategies of suspension-feeding, soft-bottom infaunal bivalves to physical disturbance: evidence from fossil preservation.** In: JOHNSTON, P. A.; HAGGART, J. W. *Bivalves: an Eon of Evolution.* University of Calgary Press, p. 377-319, 1998.

LAMOUR, M. R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. Mapas dos parâmetros texturais dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – Pr. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 77-82, 2004.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá – PR.** 2007. 162p. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. 2001. **The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil.** In: SEELIGER, U.; LACERDA, L. D.; KJERFVE, B. (Eds.), *Coastal Marine Ecosystems of Latin America.* Basel: Springer Verlag. Ecological Studies, v. 144, p. 131-145, 2001.

LOCKWOOD, R.; WORK, L. A. Quantifying taphonomic bias in molluscan death assemblages from the upper Chesapeake Bay: patterns of shell damage. **Palaios**, v. 21, p. 442–450, 2006.

MIKKELSEN, P.; BIELER, R. **Seashells of southern Florida: living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions**. Princeton: Princeton University Press, 2008. 503 p.

PARSONS-HUBBARD, K. Molluscan taphofacies in recent carbonate reef/lagoon systems and their application to sub-fossil samples from reef cores. **Palaios**, v. 20, n. 2, p. 175-191, 2005.

PROGRAMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – PNMA II. **Paraná - Mar e Costa: Subsídios ao ordenamento das áreas estuarina e costeira do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, 2006. 144p.

RIOS, E. C. **Compendium of Brazilian Sea Shells**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Evangraf, 2009. 668p.

RITTER, M. do N. **Concentrações Conchíferas em Depósitos Lagunares Holocênicos da Porção Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil: Aspectos Tafonômicos e Paleoambientais**. 2011. 67p. Monografia (Graduação em Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Imbé, 2011.

RITTER, M. do N.; ERTHAL, F.; COIMBRA, J. C. Taphonomic signatures in molluscan fossil assemblages from the Holocene lagoon system in the northern part of the coastal plain, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Quaternary International**, v. 305, p. 5-14, 2013.

RODRIGUES, M.; MAHIQUES de, M. M.; TESSLER, M. G. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba, região norte de Ubatuba, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 50, p. 27-45, 2002.

RODRIGUES, S. C. **Tafonomia de Moluscos Bivalves e Braquiópodes das Enseadas de Ubatuba e Picinguaba, Norte do Estado de São Paulo: Implicações do Uso de Assinaturas Tafonômicas no Reconhecimento de Gradientes Ambientais**. 2006. 118f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RODRIGUES, S. C.; SIMÕES, M. G.; PIRES-DOMINGUES, R. A. Viés Analítico em Estudos Tafonômicos com Macroinvertebrados: Implicações (Paleo)Ambientais e (Paleo)Ecológicas. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 9, n. 1, p. 101-114, 2009.

RODRIGUES, S. C.; SIMÕES, M. G. Taphonomy of *Bouchardia rosea* (Rhynchonelliformea, Brachiopoda) shells from Ubatuba Bay, Brazil: implications for the use of taphonomic signatures in (paleo)environmental analysis. **Ameghiniana**, v. 47, n. 3, p. 373-386, 2010.

ROSA, L. C da.; BORZONE, C. A. Uma abordagem morfodinâmica na caracterização física das praias estuarinas da Baía de Paranaguá, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 237-245, 2008.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; KOWALEWSKI, M. *Bouchardia rosea*, a vanishing brachiopod species of the Brazilian platform: taphonomy, historical ecology and conservation paleobiology. **Historical Biology**, v. 21, n. 3-4, p. 123-137, 2009

SOBERON, G.; LACERDA, M. A.; ERTHAL, F.; KOTZIAN, C. B.; RODRIGUES, S. C.; SIMÕES, M. G. Assinaturas Tafonômicas em Tanatocenoses de Bivalves (Mollusca) Recentes de duas Localidades da Costa Sul (RS) do Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia**, n. 57, p. 24-25, 2007.

SPEYER, S. E.; BRETT, C. E. Taphofacies models for epeiric sea environments: middle Paleozoic examples. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 63, p. 225-262, 1988.

STAFF, G. M.; POWELL, E. N. Local variability of taphonomic attributes in a parautochthonous assemblage: can taphonomic signature distinguish a heterogeneous environment? **Journal of Paleontology**, v. 64, p. 648-658, 1990.

ZUCHIN, M.; STACHOWITSCH, M.; STANTON Jr., R. J. 2003. Patterns and processes of shell fragmentation in modern and ancient marine environments. **Earth-Science Reviews**, v. 63, p. 33-82, 2003.