UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL DO FÓSSIL VIVO
BOUCHARDIA ROSEA (BRACHIOPODA,
TEREBRATELLIDAE) E SUAS APLICAÇÕES EM
PALEONTOLOGIA**

Fernanda de Freitas Torello

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL DO FÓSSIL VIVO BOUCHARDIA
ROSEA (BRACHIOPODA, TEREBRATELLIDAE) E SUAS
APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA**

FERNANDA DE FREITAS TORELLO

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente	Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões
Examinadores:	Prof. Dr. Kenitiro Suguio
	Prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli
	Prof. Dr. Michael Holz
	Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL DO FÓSSIL VIVO *BOUCHARDIA*
ROSEA (BRACHIOPODA, TEREBRATELLIDAE) E SUAS
APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA**

Fernanda de Freitas Torello

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Sedimentar

DEDALUS - Acervo - IGC

30900015052

SÃO PAULO
2004

**Aos meus pais Juan e Beatriz por todo estímulo
e amor que me guiaram até aqui**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas e Instituições que direta ou indiretamente contribuíram para que este projeto pudesse ser concluído, em especial:

Ao Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões (Departamento de Zoologia, IBB, UNESP-Botucatu), pela orientação, sugestões, revisões, discussões e pela transmissão de seu vasto conhecimento científico;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de doutorado (Proc. 00/05846-5);

Ao Prof. Dr. José Raimundo de Sousa Passos (Departamento de Bioestatística, IBB, UNESP- Botucatu), pelo auxílio no desenvolvimento do projeto piloto inicial, longas discussões e principalmente pela realização das análises estatísticas;

Ao Prof. Dr. Célio Losnak (Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, UNESP-Bauru), pelas sugestões durante a realização do projeto piloto e principalmente pelo auxílio na elaboração do modelo inicial do tambor;

Ao Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto (Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, USP), pelas discussões durante a fase inicial de delineamento dos experimentos e construção do tambor;

Aos professores Dr. Kenitiro Suguio e Dr. Luiz Eduardo Anelli, pela leitura crítica e sugestões na versão inicial desse documento;

Ao Engenheiro Ricardo Simões de Abreu (MAHLE), pelas sugestões durante o estágio inicial de montagem do projeto piloto;

À Profa. Dra. Liciane Vaz de Arruda Silveira (Departamento de Bioestatística, IBB- UNESP, Botucatu), pelo auxílio nas Análises de Sobrevida, além de revisão do capítulo "Análise Estatística";

Ao Sr. Milton Moggioni, técnico do Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, UNESP-Bauru, pela construção dos tambores;

Ao Departamento de Zoologia (IBB, UNESP-Botucatu), pela infraestrutura colocada a disposição;

Ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (IGc-USP), pelas facilidades oferecidas para a realização da presente pesquisa;

Aos funcionários da Biblioteca do IGc-USP, em especial à Brenda Mascarenhas Guimarães e Erica Celeste do Nascimento, pelo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho;

Aos funcionários de Departamento de Zoologia (IBB-UNESP Botucatu) Juliana Ramos, Hamilton Antonio Rodrigues, Flávio da Silva e Maria Aparecida Nunes de Oliveira, pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa;

À Ana Paula Cabanal e Magali Rizzo (Seção de Pós Graduação IG-USP) por estarem sempre prontas a ajudar;

Aos amigos Débora Cristina Damasceno e Carlos Eduardo Meirelles, pela acolhida na cidade de Bauru durante a realização dos experimentos piloto;

Ao meu marido Luiz Henrique Cruz de Mello, pelo amor, carinho, companheirismo, paciência, sugestões, auxílio, incentivo e principalmente por estar ao meu lado nos momentos em que mais precisei;

Aos meus pais Juan Torello Forn e Maria Beatriz de Freitas Torello e aos meus irmãos Karina e Mauro, pelo constante incentivo e apoio;

Aos amigos Lilian, Ricardo, Ana Maria, Rodrigo, Liciane, Raimundo, Débora, Carlos Eduardo, Carla, Augusto, Thais, Marcelo Manna, Maria Eunice e Maria, pelo incentivo e, principalmente, por se mostrarem sempre verdadeiros.

À todos muito obrigada.

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA	ii
	AGRADECIMENTOS	iii
	LISTA DE FIGURAS	vi
	LISTA DE TABELAS	ix
	LISTA DE QUADROS	x
	RESUMO	xi
	ABSTRACT	xiii
1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA	2
1.2	OBJETIVOS	4
2.	UTILIZAÇÃO DO BRAQUIÓPODE <i>BOUCHARDIA ROSEA</i> .	6
3.	MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1.	TAMBOR TAFONÔMICO	9
3.1.1.	Revisão do Conhecimento	9
3.1.2.	O tambor tafonômico: comentários gerais	13
3.1.3.	Tambor Tafonômico: partes do equipamento	17
3.1.4.	Padronização do método	20
3.2.	PREPARAÇÃO PARA O PROCESSO DE TAMBOREAMENTO	26
3.2.1.	Seleção, preparo dos espécimes e tamanho amostral	26
3.2.2.	Imersão em água	27
3.2.3.	Preparo do sedimento	27
3.2.4.	Tamboreamento	28
3.2.5.	Triagem	28
3.2.6.	Fotografia	29
3.3.	METODOLOGIA ESTATÍSTICA	30
3.3.1.	Modelos de Regressão	30
3.3.2.	Modelo Proposto	36
3.3.3.	Simulação	37
3.3.4.	Escolha do modelo	38
3.3.5.	Análise de sobrevivência	39
3.4.	PADRONIZAÇÃO DO MÉTODO: RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.4.1.	Determinação da velocidade de rotação do tambor	42
3.4.2.	Diâmetro do tambor	47
3.4.3.	Escolha do sedimento	53
3.4.4.	Tamanho amostral	62
4.	EXPERIMENTOS PROPOSTOS	67
4.1.	RESULTADOS E DISCUSSÃO: APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA	71
4.1.1.	Resistência comparativa de valvas de bivalves e braquiópodes	71
4.1.2.	<i>Bouchardia rosea</i> : resistência de valvas dorsais e ventrais	84
4.1.3.	<i>Bouchardia rosea</i> : resistência de valvas de acordo com o tamanho	94
4.1.4.	<i>Bouchardia rosea</i> : resistência de valvas incrustadas e bioerodidas	102
5.	OUTRAS APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA	110
6.	CONCLUSÕES	114
7.	ANEXOS.	116
8.	REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aspecto geral da concha de <i>Bouchardia rosea</i> . Em A: valva ventral, B: valva dorsal (escala de 1cm) do braquiópode em posição de vida.....	7
Figura 2: Mapa de localização da Baía de Ubatuba onde foram realizadas as coletas para obtenção das conchas de braquiópodes. Material adicional foi obtido também na praia de Itamambuca, 12km ao norte da Baía de Ubatuba, não representada no mapa.....	8
Figura 3: Esquema representativo da visão laterla (corte longitudinal) e frontal (corte transversal) do tambor tafonômico, com a indicação de suas principais dimensões.....	15
Figura 4: Fluxograma indicando as etapas envolvidas na determinação da configuração adequada do tambor tafonômico.....	16
Figura 5: A: partes constituintes do tambor tafonômico (diâmetro=15cm), incluindo: (1) corpo do tambor, (2) tampa com sistema interno de vedação e (3) parafusos de fixação da tampa ao corpo do tambor; B: Visão interna parcial do corpo do tambor, com destaque para as 3 aletas internas (3cm de altura cada uma) presas à parede do misturador.....	19
Figura 6: Aspecto geral dos três tambores tafonômicos empregados na determinação do diâmetro adequado utilizado; (A1 e B1) Tambotr com 22,3cm de diâmetro interno e 40,15cm de comprimento; (A3 e B3) Tambor com 7,7cm de diâmetro interno e 13,85cm de comprimento.....	22
Figura 7: Esquema representativo de um sistema e seus componentes de entrada, processo e saída (veja detalhes no texto).....	60
Figura 8: Representação de uma população completa (bolas pretas com fundo verde) e o gráfico de dispersão associado a esta população, caso a população fosse conhecida por completo. A amostra, representada por bolas vermelhas, ilustra parte da população conhecida e sua respectiva representação gráfica e a equação associada após ajuste do modelo.....	33
Figura 9: Modelo de regressão linear, onde é possível visualizar o coeficiente linear da reta α e o coeficiente angular da reta β . Note também a variância e com sua distribuição normal.....	34
Figura 10: Efeito de cada um dos parâmetros (β e δ) na curva de decaimento. Observe que as curvas representadas em vermelho e em azul apresentam valores de β iguais e δ diferentes, caracterizando assim a influência de δ no decaimento. Por outro lado, comparando-se as curvas representadas em vermelho e em verde é fácil observar que δ apresenta valores iguais e β valores diferentes, caracterizando a influência de β	35
Figura 11: Estimativas de sobrevivência para os dois grupos analisados (valva ventral e dorsal).....	41
Figura 12: Gráfico apresentando o comportamento da velocidade de decaimento de massas das conchas de bivalves submetidas ao tambor tafonômico, com 3 diâmetros distintos. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a velocidade de decaimento é aquela calculada de acordo com detalhamento no item "Análise Estatística".....	50
Figura 13: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas das conchas de bivalves submetidas ao tambor tafonômico, com diâmetros diferentes. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	51

Figura 14: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas das conchas de bivalves submetidas ao tambor tafonômico, com sedimentos de classes granulométricas distintas. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	57
Figura 15: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas das conchas de bivalves e braquiópodes submetidas ao tambor tafonômico, com sedimentos granulométricamente distintos. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	60
Figura 16: Gráfico apresentando o comportamento das conchas de bivalves submetidas ao tambor tafonômico e com tamanhos amostrais diferentes. No eixo X o tempo é representado em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	64
Figura 17: Gráfico apresentando o comportamento da velocidade de decaimento de massas das conchas de bivalves submetidas ao tambor tafonômico de acordo com o tamanho amostral. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a velocidade de decaimento é aquela calculada de acordo com detalhamento no item “Análise Estatística”.....	50
Figura 18: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas das conchas de bivalves e braquiópodes com diferentes quantidades de matéria orgânica na composição da concha, submetidas ao tambor tafonômico. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	77
Figura 19: Estimativas de sobrevivência para os grupos analisados (conchas de bivalves e braquiópodes).....	79
Figura 20: Conchas utilizadas nos experimentos onde foi utilizado o tambor tafonômico no estudo da abrasão. Em A <i>Anomalocardia brasiliensis</i> , em B <i>Anadara brasiliensis</i> , em C <i>Atrina</i> sp., em D <i>Mytilus edulis</i> e em E <i>Bouchardia rosea</i>	82
Figura 21: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas de valvas ventrais e dorsais do braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> , submetidas ao tambor tafonômico. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	87
Figura 22: Representação das valvas ventrais e dorsais do braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> após coleta e seleção, além de estado de preservação depois de 100 horas de processo de tamboreamento.....	89
Figura 23: Abrasão de valvas ventrais de <i>Bouchardia rosea</i> . Em A valvas resultantes do processo de abrasão através do tambor tafonômico, após 100 horas de tamboreamento. Em B valvas provenientes da praia de Itamambuca, Ubatuba (Simões & Kowalewski, 2003). Note as setas em cor laranja que indicam a presença de pequenas aberturas na região central da valva, demonstrando a similaridade entre o processo de abrasão que ocorre durante o processo de tamboreamento e o processo de abrasão que ocorre na natureza.....	90
Figura 24: Estimativas de sobrevivência para os dois grupos analisados (valvas dorsais e ventrais).....	92
Figura 25: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas de valvas ventrais do braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> pertencentes a três classes de tamanho (pequena:~1cm, média:~1,4cm e grande:~1,8cm), submetidas ao tambor tafonômico. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	97
Figura 26: Estimativas de sobrevivência para os grupos analisados (valvas pequenas, médias e grandes).....	98

Figura 27: Gráfico apresentando o comportamento de decaimento de massas de valvas ventrais do braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> de acordo com incrustação e bioerosão, submetidas ao tambor tafonômico. No eixo X o tempo é representando em horas e no eixo Y a porcentagem de material original transformada por arcsen (veja metodologia estatística).....	105
Figura 28: Estimativas de sobrevivência para os grupos analisados (valvas incrustadas, bioerodidas e frescas).....	107
Figura 29: Representação das valvas incrustadas e bioerodidas do braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> após coleta e seleção, além de estado de preservação após 60 horas de processo de tamboreamento.....	108
Figura 30: Em A mapa de localização do afloramento citado por Martinez & verde (1992) no Departamento de Colônia (Uruguai), em B seção colunar do afloramento onde foram encontradas as camadas de acumulações de <i>Bouchardia rosea</i>	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo diâmetro do tambor e repetição.....	49
Tabela 2: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento de avaliação dos diâmetros.....	49
Tabela 3: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo sedimento utilizado.....	56
Tabela 4: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento de avaliação do sedimento empregado.....	56
Tabela 5: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo sedimento utilizado e filo.....	59
Tabela 6: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento referente a análise da influência do sedimento no processo de tamboreamento segundo filis diferentes.....	61
Tabela 7: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo tamanho amostral.....	62
Tabela 8: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento (D), segundo os tamanhos amostrais.....	63
Tabela 9: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo táxon e espécie utilizada.....	74
Tabela 10: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento segundo filo e espécie utilizada.....	74
Tabela 11: Resultados obtidos através da análise de sobrevivência.....	78
Tabela 12: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo táxon e espécie utilizada.....	86
Tabela 13: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento segundo tipo de valva (dorsal ou ventral).....	86
Tabela 14: Resultados obtidos através de análise de sobrevivência.....	91
Tabela 15: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo tamanho da valva de <i>Bouchardia rosea</i>	95
Tabela 16: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento segundo classe de tamanho da valva de <i>Bouchardia rosea</i>	96
Tabela 17: Resultados obtidos através de análise de sobrevivência.....	98
Tabela 18: Estimativas dos parâmetros de forma (β e δ), variância residual e R^2 , segundo intensidade de bioerosão e incrustação em valvas de <i>Bouchardia rosea</i>	103
Tabela 19: Comparação entre os betas e gamas pelo teste de Student-Newman-Kills (SNK) ou Dunn, no experimento segundo bioerosão e incrustação em <i>Bouchardia rosea</i>	104
Tabela 20: Resultados obtidos através da análise de sobrevivência.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Experimentos e objetivos propostos para cada postulado apresentado.....	5
Quadro 2: Artigos consultados por autores prévios, relacionados à construção e operação do tambor tafonômico.....	14
Quadro 3: Tratamentos aplicados ao experimento (A) referente à determinação do diâmetro mais adequado do tambor.....	21
Quadro 4: Tratamentos aplicados ao experimento (B) referente à verificação da influência do sedimento no decaimento de massa do material original.....	23
Quadro 5: Tratamentos aplicados ao experimento (C) referente à avaliação da influência do sedimento na comparação da resistência de conchas de táxons diferentes.....	25
Quadro 6: Tratamentos aplicados ao experimento (D) referente à determinação do tamanho amostral adequado.....	27
Quadro 7: Velocidade de rotação do tambor tafonômico empregada por diversos autores.....	43
Quadro 8: Síntese dos dados de literatura a respeito do diâmetro do tambor tafonômico.....	48
Quadro 9: Artigos que utilizam o tambor tafonômico como método de avaliação de destruição de restos esqueléticos e suas observações quanto ao sedimento utilizado.....	54
Quadro 10: Experimentos realizados e seus respectivos tratamentos.....	68
Quadro 11: Composição microestrutural de restos bioclásticos de macroinvertebrados, segundo Kidwell & Branchley (1996), combinada com a porcentagem de matéria orgânica intercrystalina e seu arranjo estrutural.....	75

RESUMO

Em Tafonomia Experimental, o uso do tambor tafonômico simula condições operantes nos ambientes de alta energia (e.g., abrasão). Neste estudo foi empregado um tambor de aço inoxidável, com aletas internas, diâmetro de 15cm e velocidade de 60rpm. O tamanho amostral foi de 10 espécimes para cada experimento e réplicas. Os experimentos e réplicas foram avaliados estatisticamente, e investigaram a preservação diferencial e destruição após a morte de conchas calcíticas de braquiópodes vivos (*Bouchardia rosea*, Terebratellidae) e moluscos bivalves (Veneridae, Pectinidae, Mytilidae e Pinnidae), cujos restos são comuns no registro fóssil Fanerozóico. As conchas de *Bouchardia rosea* são importantes do ponto de vista tafonômico, pois apresentam características mineralógicas e estruturais semelhantes às conchas de alguns grupos de braquiópodes paleozóicos (e.g., rinchonelídeos e terebratulídeos), além de modo de vida comum aos membros desses grupos, neste intervalo de tempo. As observações efetuadas têm implicações no entendimento dos processos de destruição que operam sobre os bioclastos e que contribuem para produzir tendenciamentos no registro fóssil (fonte primária de dados paleobiológicos e evolutivos). Foi observado que: a) a composição orgânica, mineralógica e forma das conchas de bivalves e braquiópodes não estão diretamente associadas ao comportamento de decaimento de massa, durante a abrasão, podendo fatores extrínsecos serem responsáveis pela perda diferencial de massa; b) valvas dorsais e ventrais de *Bouchardia rosea* apresentam resultado de redução final de massa com valores muito próximos, apesar de possuírem comportamento de decaimento de massa distintos, levantando a suspeita de que a resistência à abrasão não é o principal fator que controla o tendenciamento observado em muitas concentrações fossilíferas, em favor de uma das valvas; c) valvas de *Bouchardia rosea* de tamanho pequeno (~1cm) apresentam comportamento distinto com relação ao decaimento de massa, quando comparadas às valvas médias (~1,4cm) e grandes (~1,8cm), que se comportam similarmente, possivelmente devido à diferença de densidade; d) valvas incrustadas, com bioerosão ou frescas não apresentam comportamento de decaimento de massa semelhantes, demonstrando que a presença de elementos incrustantes ou a atuação de organismos responsáveis pela bioerosão não necessariamente aumentam ou diminuem a resistência das valvas à abrasão. Os dados obtidos

através dos experimentos realizados em laboratório, complementados por observações de campo poderão auxiliar na interpretação da história deposicional e na identificação de processos de mistura espacial e temporal em acumulações modernas ou concentrações fósseis dominadas por conchas de braquiópodes.

ABSTRACT

The taphonomic tumbling barrel, used in Experimental Taphonomy, simulate high energy conditions (e.g., abrasion) that operate in some environments. In this study, it was used a steel barrel, with internal shelves, 15 centimeters diameter, and 60rpm of velocity. Ten specimens were used as sample size for each experiment and replicates. All experiments were evaluated by statistical methods. The main goal of this study was the investigation of differential preservation and post-mortem destruction of calcitic brachiopod shells (*Bouchardia rosea*, Terebratulidae) and bivalve mollusks (Veneridae, Pectinidae, Mytilidae e Pinnidae). *Bouchardia rosea* shells are taphonomically important because their composition and microstructures that are similar within Paleozoic members of rhynchonellids and terebratulids, as well as a free lying mode of life. The obtained results have implications in our understandings of decay processes that act over the bioclasts and contribute to the bias of the fossil record (the primary source of paleobiological and evolutionary data). The main obtained results are: a) the organic and mineralogical composition and the shell form would not represent the main factor associated to the mass decay behavior, being extrinsic factors probably responsible to the differential loss of mass; b) ventral and dorsal *Bouchardia rosea* valves present similar values for the mass decay, leading to the believe that the abrasion resistance is not the main factor controlling the bias between ventral and dorsal valves in the modern accumulations and fossil concentrations; c) small valves of *Bouchardia rosea* (~1cm) have distinct behavior in decay of mass when compared to medium (~1.4cm) and large shells (~1,8cm), that have similar decay behavior, probably due to density differences; d) incrustated, bioeroded and fresh valves have different mass decay behavior. It probably indicate that bioeroded and incrustated elements do not necessarily increase ou decrease the valve abrasion resistance. By complementing the obtained laboratory results with field observations both the depositional history and the spatial and temporal resolution of a given brachiopod-rich fossil concentration will be better understood .

1. INTRODUÇÃO

A Tafonomia Experimental é o ramo da Paleontologia (BRIGGS, 1995) que visa o estabelecimento de experimentos de curta (<1 ano) ou longa duração (>10 anos), em laboratório ou em campo (veja, por exemplo, o projeto "Shelf and Slope Experimental Taphonomy Initiative/ Natural Undersea Research Program, <http://www.hsrl.rutgers.edu/SSETI.html>"), para a investigação de uma ou mais variáveis, sob condições rigorosamente controladas, permitindo réplicas e repetições. Este tipo de estudo apresenta como principal finalidade a melhor compreensão de diversos processos tafonômicos, tanto bioestratinômicos (e.g., KIDWELL & BAUMILLER, 1990; WALKER & GOLDSTEIN, 1999; PARSONS-HUBBARD *et al.*, 1999; TORELLO & SIMÕES, 2003; TORELLO *et al.*, 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b; OJI *et al.*, 2003), como de diagênese precoce (e.g., GLOVER & KIDWELL, 1993; BEST & KIDWELL, 2000a, 2000b), responsáveis pela preservação dos restos esqueléticos no registro sedimentar. Dentre os tipos de experimentos realizados através da Tafonomia Experimental, destacam-se aqueles que investigam os processos de (a) necrólise das carcaças, (b) durabilidade das partes esqueléticas, frente à fragmentação e abrasão, (c) controle de mineralização, (d) preservação de partes moles em âmbar e (e) preservação de biomoléculas, cujas análises são realizadas através de experimentos envolvendo observações diretas de processos semelhantes que atualmente operam na natureza (veja síntese em BRIGGS, 1995). Obviamente, tais estudos não representam, na sua totalidade, os complexos fatores que, na natureza, atuam principalmente no ciclo exógeno, mas são importantes pelo fato de simplificarem condições e permitirem a exploração do efeito de variáveis podendo assim contribuir para a investigação dos fatores mais significativos que influenciam no processo de fossilização. Vale lembrar também que os processos simulados em laboratório, contrariamente aos que ocorrem na natureza, operam em escala de velocidade muito inferior. Certamente, quanto maior for o conhecimento disponível, de como estes fatores atuam sobre os restos esqueléticos, melhor serão as interpretações tafonômicas e, conseqüentemente, as reconstruções paleoambientais delas derivadas.

De momento, a maior parte dos estudos de Tafonomia Experimental disponível está relacionada com (1) organismos marinhos do Recente que são abundantes (e.g., moluscos), (2) ambientes de fácil acesso, tais como os ambientes de transição,

marinho raso e terrestres, e (3) experimentos, em laboratório e campo, de curta duração, conduzidos em intervalos de tempo inferiores a 1 ano. O conhecimento tafonômico atual gerado a partir desses experimentos é, portanto, tendencioso (e.g., válidos para um grupo restrito de organismos e ambientes sedimentares). Entretanto, conforme destacado por HOLZ & SIMÕES (2002), o fato de “tais abordagens somente agora ganharem força na Tafonomia é, em boa parte, reflexo da relutância de muitos paleontólogos treinados como geólogos, em aplicar diretamente seu conhecimento sobre movimento de partículas, seleção hidráulica, processos geoquímicos ao estudo dos fósseis e desenvolver experimentos físico-químicos para entender a formação de ocorrências fossilíferas”.

Desta maneira, a pesquisa aqui apresentada é única em seu escopo e objetivos, já que: (a) visa, pela primeira vez, o estudo experimental de conchas de braquiópodes articulados (Rhynchonelliformea) viventes (*Bouchardia rosea*, Bouchardiidae); (b) analisa, em laboratório, aspectos bioestratinômicos (e.g., fragmentação, comportamento mecânico frente à fragmentação e abrasão) de conchas de um grupo de organismos (Brachiopoda) que foi muito importante nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos marinhos do Paleozóico; e (c) fornece dados tafonômicos fundamentais para o entendimento dos processos bioestratinômicos (e.g., fragmentação e abrasão) e da mistura temporal (“time-averaging”, *sensu* KOWALEWSKI, 1996) de concentrações fossilíferas dominadas por bioclastos de braquiópodes articulados, especialmente do Cenozóico, como, por exemplo, das chamadas “Camadas de *Bouchardia*”, uma feição conspícua do registro geológico do Terciário (Mioceno) do Uruguai (MARTINEZ, 1994).

1.1. PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA

As concentrações fossilíferas e seus fósseis são uma janela para o passado, isto é, para o estudo de organismos, em parte extintos, que viveram em ambientes que hoje não mais existem ou não são comuns (e.g., mares epicontinentais). Entretanto, os diversos estudos tafonômicos modernos, enfocando a historiografia do registro fóssil, tanto em concentrações fossilíferas do Paleozóico inferior (LI & DROSER, 1997) e superior (SIMÕES *et al.*, 2000a, 2000b), como do Mesozóico e Cenozóico (KIDWELL, 1990; KIDWELL & BRECHLEY, 1994, 1996) têm demonstrado que o registro paleontológico é inerentemente tendencioso.

Infelizmente, porém, o conhecimento tafonômico, o qual foi, em grande parte, gerado nas três últimas décadas (síntese em ALLISON & BRIGGS, 1991; DONOVAN, 1991; KIDWELL & BEHRENSMEYER, 1993; BRETT & BAIRD, 1997; MARTIN, 1999; HOLZ & SIMÕES, 2002), é também tendencioso, pelo fato da pesquisa tafonômica estar muito concentrada no estudo de determinados grupos de organismos. Dentre os macroinvertebrados marinhos, por exemplo, é notável que a maior parte dos dados tafonômicos disponíveis sejam fornecidos pelos moluscos, especialmente bivalves. Entretanto, diferentes organismos apresentam modos de vida e morfologia das partes duras distintas e mineralogias e microestruturas diferentes. Conseqüentemente, tais organismos possuem potenciais diferentes de preservação estando, desse modo, as concentrações fossilíferas geradas por seus restos esqueléticos, sujeitas a escalas distintas de mistura temporal e espacial (mistura temporal desarmoniosa, KOWALEWSKI, 1996). Apenas como um exemplo, poderia ser citado o caso do aumento da durabilidade das conchas de moluscos bivalves, a partir do Mesozóico. Este fato está associado ao surgimento das conchas calcíticas, com microestrutura laminar cruzada do tipo A, como a dos bivalves da infauna (Veneroida), que são mais resistentes à fragmentação e a abrasão do que as das conchas aragoníticas (veja discussão detalhada no item 4.1.1), típicas dos bivalves paleozóicos (KIDWELL & BRENCHLEY, 1996). Conseqüentemente, por serem mais duráveis, os depósitos formados por conchas calcíticas, típicos do Cenozóico, apresentam maior grau de mistura temporal ("time-averaging", *sensu* KOWALEWSKI, 1996), da ordem de 10^4 a 10^6 anos, como indicado pelas datações radiométricas (veja síntese em KOWALEWSKI *et al.*, 1998), o que é supostamente maior do que em depósitos do Paleozóico. Em outras palavras, o grau de mistura temporal das concentrações fossilíferas do Paleozóico não é, obrigatoriamente, o mesmo das concentrações do Mesozóico e Cenozóico, simplesmente porque as concentrações fossilíferas não são compostas pelos mesmos bioclastos, em termos de sua ecologia, mineralogia e microestrutura (veja CARROLL *et al.*, 2003, para uma revisão desse problema).

O problema, entretanto, é que as medidas absolutas (a partir de datações radiométricas) das durações do fenômeno de mistura temporal (veja KOWALEWSKI *et al.*, 1998, para revisão) estão, de momento, na sua grande maioria, disponíveis apenas para as concentrações dominadas por conchas de moluscos do Holoceno.

Uma das únicas exceções é o recente artigo de CARROLL *et al.* (2003) sobre a mistura temporal em acumulações de *Bouchardia rosea*.

Recentemente, KIDWELL & BRENCHLEY (1996) e KIDWELL (1998) sugeriram várias maneiras para testar, solucionar ou ampliar o conhecimento sobre os problemas acima mencionados. Dentre estas, destaca-se o estudo tafonômico atualístico (Tafonomia Experimental) de organismos que hoje não são comuns nas comunidades de macroinvertebrados marinhos, tais como os braquiópodes, briozoários e crinóides, mas que foram dominantes em muitas comunidades do passado. A condução destes estudos, entretanto, não é simples, em primeiro lugar, pela dificuldade intrínseca de obtenção do material para análise e, em segundo lugar, pelo fato destes organismos ocorrerem hoje em ambientes restritos, às vezes de difícil acesso (e.g., crinóides em ambiente marinho profundo). Neste contexto, os braquiópodes (inarticulados e articulados) são, de momento, os organismos com maior potencial para estudos, sob esta nova óptica (Tafonomia Experimental).

1.2. OBJETIVOS

Com o intuito de fornecer dados para o melhor entendimento dos problemas relacionados aos tendenciamentos (e.g., preservação diferencial) observados no registro paleontológico, e desta maneira, contribuir para reconstruções paleoambientais e paleoecológicas mais fidedignas, um conjunto de 5 hipóteses foram propostas e testadas através da Tafonomia Experimental (*sensu* BRIGGS, 1995), utilizando-se o Tambor Tafonômico: 1) possuem as conchas de braquiópodes articulados (Rhynchonelliformea), quando expostas à interface água/sedimento, baixa tolerância aos processos bioestratinômicos (e.g., retrabalhamento), comportando-se de maneira semelhante às conchas aragoníticas dos moluscos bivalves? 2) nas conchas dos braquiópodes articulados há preservação diferencial, com tendenciamento para a preservação de valvas ventrais? 3) o tamanho da concha dos braquiópodes articulados tem influência na resistência a abrasão? 4) a presença de organismos incrustantes sobre as conchas de braquiópodes articulados ou a presença de sinais de bioerosão influenciam ou não sua durabilidade, frente aos processos de destruição mecânica? 5) é a bioerosão um fator importante na diminuição da resistência das conchas de braquiópodes articulados? Os experimentos desenvolvidos estão incluídos no quadro 1.

QUADRO 1- EXPERIMENTOS E OBJETIVOS PROPOSTOS PARA CADA POSTULADO APRESENTADO

EXPERIMENTO	POSTULADO	OBJETIVOS
1	Supostamente, no fundo oceânico, as conchas de braquiópodes passam por um processo de desintegração muito rápido, possuindo baixa tolerância ao retrabalhamento e à exposição após a morte (EMIG, 1990; DALEY, 1993; LESCINCKY, 1997), menor até do que muitas conchas aragoníticas (KIDWELL, 1990). Em especial, as conchas de braquiópodes terebratulídeos tornam-se frágeis alguns meses (7 a 8 meses) após a morte do organismo e quebram-se sob fraca pressão (CAULET, 1972; MUNDLOS, 1978). Aparentemente, os fatores mais importantes que controlam a resistência dos materiais esqueléticos, frente à destruição física, são a mineralogia da concha, sua arquitetura e microestrutura (CARTER, 1980).	Verificar a resistência das conchas de braquiópodes terebratulídeos frescos (<i>i.e.</i> , livres de sinais de bioerosão e incrustação) frente à destruição física, causada por processos destrutivos gerados em laboratório, utilizando-se o tambor tafonômico. Comparar os resultados com aqueles obtidos para bivalves de diferentes composições e quantidade de matéria orgânica.
2	Dentre as concentrações fossilíferas descritas na literatura, em que a proporção de valvas dorsais e ventrais foi analisada, há preservação diferencial, com tendenciamento para maior preservação de valvas pediculares, em muitos casos (ALEXANDER, 1989; HOLLAND, 1988; VELBEL & BRANDT, 1989).	Verificar, através de experimento em laboratório, se realmente as valvas ventrais dos braquiópodes apresentam maior resistência ao retrabalhamento, estando menos sujeitas à fragmentação e abrasão do que as valvas dorsais.
3	Nas acumulações contendo conchas de braquiópodes articulados (Rhynchonelliformea), existe um tendenciamento em favor das conchas de indivíduos adultos (<i>e.g.</i> , NOBLE & LOGAN, 1981; COLLINS, 1986). Duas explicações principais para a baixa representação de indivíduos jovens (conchas pequenas) de braquiópodes em acumulações esqueléticas tem sido propostas (JAMES <i>et al.</i> , 1992; ALEXANDERSSON, 1979). A primeira está relacionada à mortalidade seletiva dos organismos jovens, feição comum nas populações de braquiópodes e, a segunda, diz respeito ao processo de maceração, ou seja, a perda da competência estrutural do esqueleto carbonático através da degradação da matriz orgânica (ALEXANDERSSON, 1979).	Verificar a resistência de conchas de braquiópodes articulados (Rhynchonelliformea) de tamanhos diferentes expostos à destruição física induzida pelo tambor tafonômico.
4	Bioclastos de invertebrados marinhos aragoníticos incrustados por algas calcárias possuem a mesma durabilidade do que aqueles que não apresentam elementos incrustantes (CHAVE, 1964). Em outras palavras: elementos incrustantes não aumentam a durabilidade e, conseqüentemente, o potencial de preservação dos restos esqueléticos de organismos incrustados.	Verificar a durabilidade de conchas de braquiópodes incrustados e compará-las à durabilidade destes mesmos organismos sem elementos incrustantes (conchas frescas).
5	A bioerosão é um fator importante na diminuição da resistência das conchas de braquiópodes (BRETT & BOURDEAUX, 1990). Porém, as informações disponíveis estão todas fundamentadas em observações de braquiópodes esperiferídeos devonianos do Grupo Hamilton, de Nova York.	Verificar a durabilidade dos bioclastos que apresentam bioerosão, ou livre de sinais de alteração (ou seja, conchas frescas).

2. UTILIZAÇÃO DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA*

O braquiópode articulado (Rhynchonelliformea) *Bouchardia rosea* (Figura 1), eleito como objeto de estudo, é uma das espécies mais comuns da família Bouchardiinae Allan, 1940, com registro fóssil de cerca de 60 milhões de anos. De acordo com SIMÕES & KOWALEWSKI (2003), esta é uma espécie interessante, do ponto de vista tafonômico, por três razões principais:

- (a) a concha de *Bouchardia rosea* apresenta trama fibrosa, característica da concha de rinconelídeos e terebratulídeos (já presentes em membros paleozóicos deste grupo);
- (b) o braquiópode *Bouchardia rosea* é um invertebrado de epifauna, de vida livre, com pedículo inerte, que habita substratos com concentrações carbonáticas variando de 40 a 70%, representando, assim, um modo de vida que parece ter sido comum entre formas adultas de braquiópodes do Paleozóico;
- (c) habitam ambientes de plataforma, em baixa latitude, assim como ocorre com a distribuição de muitos braquiópodes paleozóicos.

As conchas de *Bouchardia rosea* utilizadas nos experimentos aqui propostos são provenientes da baía de Ubatuba (23°53'02", 45°29'02"), litoral do Estado de São Paulo (Figura 2), onde são abundante em fundos carbonáticos/siliciclásticos e podem ser obtidos através da coleta com draga ou pegador do tipo Van Veen (veja KOWALEWSKI *et al.*, 2002; CARROLL *et al.*, 2003; SIMÕES *et al.*, 2004).

FIGURA 1- ASPECTO GERAL DA CONCHA DE *BOUCHARDIA ROSEA*. EM A: VALVA VENTRAL, B: VALVA DORSAL (ESCALA DE 1cm) E, EM C, NOTE O PEDÍCULO INERTE INDICADO PELA SETA) DO BRAQUIÓPODE EM POSIÇÃO DE VIDA

FIGURA 2- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BAÍA DE UBATUBA ONDE FORAM REALIZADAS AS COLETAS PARA OBTENÇÃO DAS CONCHAS DE BRAQUIÓPODES. MATERIAL ADICIONAL FOI OBTIDO TAMBÉM NA PRAIA DE ITAMAMBUCA, 12 KM AO NORTE DA BAÍA DE UBATUBA, NÃO REPRESENTADA NO MAPA

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. TAMBOR TAFONÔMICO

3.1.1. Revisão do conhecimento

Inicialmente, em Geologia, estudos envolvendo a utilização de tambores foram realizados por DAUBRÉE (1879) e, a seguir, empregados por vários autores (WENTWORTH, 1919, 1922a, 1922b, 1936; MARSHALL, 1927; KRUMBEIN 1941; RAYLEIGH, 1943, 1944; POTTER, 1955; KUENEN, 1956; dentre outros), com o objetivo de analisar a abrasão de fragmentos de rochas, resultando em uma bibliografia extensa.

Em Paleontologia, o tambor vem sendo empregado no estudo tafonômico de diversos táxons (e.g., bivalves, equinodermas, répteis), com o objetivo de entender processos, tais como, a destruição seletiva de conchas, e a resistência de bioclastos ao transporte, dentre outros. CHAVE (1960, 1964) foi o pioneiro no emprego desta técnica, visando o entendimento de processos relacionados à gênese de carbonatos. De acordo com CHAVE (1964), a textura dos carbonatos está diretamente relacionada ao tamanho dos restos esqueleticos dos organismos presentes. Assim, nos processos de sedimentação, talvez a diferença mais importante entre as propriedades de grãos carbonáticos e siliciclásticos seja a durabilidade, que pode ser avaliada através do emprego do tambor, o qual testará, em laboratório, a durabilidade física dos esqueletos carbonáticos (CHAVE, 1964).

Com o objetivo de estudar os processos relacionados à gênese de carbonatos, mais especificamente a produção de grãos carbonáticos a partir de corais, HOSKIN *et al.* (1983) utilizaram o mesmo tipo de tambor fechado empregado por CHAVE (1960, 1964), além de tambor equipado com janela (tambor aberto), que permite o escape de partículas finas fragmentadas através de 2 aberturas (ranhuras) compostas por malhas de aço inoxidável fixas com silicone. Segundo HOSKIN *et al.* (1983), o tambor aberto é mais eficiente que o fechado em experimentos que enfatizam o produto da abrasão, onde há produção de partículas finas em grande quantidade. Tais partículas são lançadas, através das janelas, para um recipiente externo, e, posteriormente, são recuperadas através de decantação sem que haja perda de material, durante o processo de manipulação. De acordo com os autores,

que empregaram corais vivos e mortos, os últimos produzem duas vezes mais sedimentos finos do que os corais vivos, após o processo de tamboreamento.

Seguindo a metodologia proposta por CHAVE (1964), o tambor tafonômico foi utilizado com objetivos diferentes daqueles propostos inicialmente onde o entendimento da gênese de carbonatos era o objeto principal de estudo. Assim, vários grupos de organismos passaram a ser submetidos ao processo de tamboreamento visando o entendimento de processos bioestratinômicos.

Os moluscos (bivalves e gastrópodes) estão dentre os organismos mais empregados em estudos utilizando esta metodologia. Ainda na década de 1960, HALLAM (1967) estudou a distribuição da frequência de tamanho das conchas, nas assembléias de moluscos, pois, segundo o autor, a destruição seletiva pode ser testada em laboratório através da utilização deste método. HALLAM (1967) demonstrou que a distribuição da frequência por tamanho das conchas reflete graus de crescimento e mortalidade que podem ser modificados pela destruição seletiva de conchas menores. Poucos anos depois, FORCE (1969) analisou o controle de fragmentação das conchas de bivalves e verificou que a microestrutura da concha apresenta implicações na análise do tamanho das partículas produzidas pelo processo de fragmentação.

Por outro lado, DRISCOLL & WELTIN (1973) submeteram gastrópodes e bivalves vivos ao tambor tafonômico, com a finalidade de verificar qual dos dois táxons apresentava maior probabilidade de preservação no registro fossilífero, além de ressaltar as implicações paleoecológicas destes resultados. Os autores concluíram que a arquitetura da concha (orientação das unidades maiores da microestrutura da concha) é um fator importante no grau de destruição por abrasão.

Outro experimento, envolvendo apenas conchas de bivalves vivos, foi realizado por CUTLER (1995), tendo como objetivo principal analisar a textura das superfícies das conchas, visando o entendimento da degradação e da natureza da perda de informações nas comunidades fósseis. O autor observou que, com a utilização de areia no processo de tamboreamento, as marcas de impacto foram semelhantes ao experimento no qual utilizou-se apenas conchas.

Em 1995, SMITH e colaboradores apresentaram um estudo envolvendo a comparação entre o comportamento de valvas de braquiópodes inarticulados (Linguliformea) e conchas de bivalves, quando submetidas ao tambor tafonômico juntamente com seixos graníticos (SMITH *et al.*, 1995). Por meio desta comparação

foi possível observar que os lingúlídeos são menos resistentes à destruição física e transporte, porém mais resistentes à destruição química.

Dentre as análises envolvendo invertebrados, destaca-se também o estudo de KIDWELL & BAUMILLER (1990), que utilizaram o tambor tafonômico, nos moldes do tambor empregado por CHAVE (1964), para o estudo da tafonomia de equinóides vivos, com implicações no tendenciamento de preservação no registro fóssil. Durante os experimentos, os autores analisaram também a influência da temperatura na decomposição dos organismos, além do papel da anoxia na preservação de esqueletos calcários multielemento (veja BRETT & BAIRD, 1986, para a classificação dos tipos de esqueletos em invertebrados marinhos). Segundo os autores, a desintegração dos equinóides ocorre em seqüências ordenadas (perda de espinhos e membrana oral, desarticulação da lanterna, fratura e quebra da coroa em fragmentos grandes e logo após em fragmentos pequenos), sendo diretamente influenciada pelo período de decomposição inicial.

Os crustáceos vivos também foram utilizados no estudo da fragmentação durante transporte (ALLISON, 1986), com o objetivo de fornecer informações quantitativas sobre a relação entre a durabilidade esquelética e a decomposição. O autor verificou que os crustáceos em estudo (*Nephrops* sp. e *Palaeomon* sp.) possuem resistência considerável ao desgaste, durante transporte sob condições experimentais, uma vez que ao final do experimento estes apresentavam-se pouco fragmentados. Esta resistência diminui de acordo com o avanço da decomposição. Além disso, um alto grau de desarticulação induzido pela decomposição pode ocorrer com o transporte mínimo quando as carcaças estão flutuando na interface água-sedimento, por influência dos gases de decomposição. Assim, o tendenciamento na preservação de crustáceos está associado, em maior intensidade, à decomposição prévia destes animais do que à natureza e duração do transporte (ALLISON, 1986).

O tambor tafonômico foi empregado também no estudo de microfósseis, porém com pequenas modificações para que possa ser adaptado ao tamanho dos organismos que serão submetidos ao processo de tamboreamento. Assim sendo, PEBLES & LEWIS (1991) empregaram a técnica do tambor com o objetivo de analisar a textura das superfícies das testas de foraminíferos bentônicos. O tambor empregado pelos autores apresenta modificações na estrutura, como a utilização de tambor pequeno (aproximadamente 12mm de diâmetro), que colocado no interior de

um tambor de borracha, permanece em movimento. Através destes ensaios, PEBLES & LEWIS (1991) concluíram que a arquitetura dos elementos esqueléticos tem importância fundamental na resistência das testas à abrasão.

Além disso, estudo de abrasão em conodontes também foi realizado através do emprego do tambor tafonômico (BROADHEAD & DRIESE, 1994), ao qual foram submetidos conodontes devonianos, que experimentaram, segundo o autor, transporte equivalente à 20km. Pôde-se observar que os processos bioestratinômicos são, geralmente, insuficientes para gerar abrasão em esqueletos fosfáticos pequenos, quando estes são submetidos ao tambor tafonômico juntamente com partículas de tamanho areia.

Além do emprego do tambor no estudo da tafonomia de invertebrados, os vertebrados também foram analisados através da utilização deste método por ARGAST *et al.* (1987), que submeteram dentes de répteis (dinossauros e crocodilos) ao processo de tamboreamento. O objetivo principal do estudo foi determinar a durabilidade dos dentes fósseis, durante o transporte sedimentar e ainda, avaliar a utilização da aparência do dente, como indicador de transporte e retrabalhamento, sendo que os dentes permaneceram sem alteração brusca mesmo após 577 horas de tamboreamento.

Não só na paleontologia de invertebrados e vertebrados o tambor tafonômico pode ser utilizado. HUBER & FERGUSON (1998) testaram a resistência de diásporas atuais (pinhas, frutas, sementes) a abrasão, cuja destruição foi bastante acentuada com o emprego de sedimento grosso como abrasivo, sendo que algumas diásporas foram destruídas no período de alguns dias.

Pelo exposto acima, é possível notar que o tambor é utilizado no estudo tafonômico de uma ampla gama de organismos (invertebrados, vertebrados e vegetais), visando, principalmente o entendimento do tendenciamento na preservação destes grupos no registro fóssil. Dentre os organismos estudados a partir de experimentos utilizando o tambor tafonômico, fica evidente também, que os braquiópodes articulados, apesar de sua ampla distribuição temporal e abundância no registro fóssil e holocênico, não estão incluídos entre os táxons analisados sob este aspecto, carecendo de análises tafonômicas experimentais.

3.1.2. O tambor tafonômico: comentários gerais

Para uma análise acurada da influência de certos aspectos (e.g., abrasão, fragmentação) na preservação de conchas de braquiópodes, no registro fossilífero, é fundamental o estabelecimento de um protocolo de montagem e funcionamento do tambor tafonômico. Porém, para a elaboração de um protocolo, é fundamental notar que dos autores que sucederam CHAVE (1960, 1964), apenas HALLAM (1967), FORCE (1969), DRISCOLL & WELTIN (1973) e ALLISON (1986) foram citados como base para construção do tambor (Quadro 2), destacando-se CHAVE (1964). Contudo, é importante salientar que não há nesse artigo (CHAVE, 1964), de maneira clara, uma descrição dos métodos empregados para a especificação do tambor, nem as implicações que as mudanças em variáveis, tais como, o diâmetro, a velocidade de tamboreamento, o tamanho amostral e o sedimento podem ter nos resultados finais obtidos. Porém, isto não quer dizer que todos tenham utilizado os mesmos parâmetros. Curiosamente, apesar da maioria dos autores citar CHAVE (1964), como referência básica, as dimensões e o modo de funcionamento dos tambores variam e, com raras exceções, são justificadas (e.g., DRISCOLL & WELTIN, 1973).

Apesar de não existirem informações precisas sobre a construção de tambores, em Paleontologia, é possível elaborar uma configuração adequada a partir de dados provenientes de estudos relacionados à Engenharia Química, Mecânica e de Minas, além de experimentos em laboratório.

Em estudos realizados pela Engenharia Mecânica e, posteriormente, aplicados na Indústria (e.g., química, farmacêutica), são utilizados diversos tipos de tambores (e.g., misturadores de corpo móvel e fixo), com a finalidade, principalmente, de produzir misturas homogêneas, como, por exemplo, para pós (fármacos). Estes tambores apresentam dimensões (de centimétricas a métricas) e formas (e.g., cúbica, duplo cone, cilíndrica, tipo V) variadas. Os misturadores de corpo móvel são, porém, semelhantes aos tambores empregados em Paleontologia e, portanto, podem ser úteis como fonte de dados para a sua configuração, principalmente, quanto ao estabelecimento do formato externo geral. Este formato, aliado ao tempo de operação e potência exigida pelo misturador são as variáveis mais importantes envolvidas no processo de mistura relacionado à Engenharia Química e Mecânica,

pois influenciam na homogeneidade do produto final. Desta maneira, a configuração externa geral do misturador, utilizado nos experimentos realizados (apresentada na figura 3) pôde ser estabelecida com base em informações fornecidas por CARLEY-MACAULY & DONALD (1962), que testaram o misturador cilíndrico de corpo móvel com o objetivo de analisar a eficiência no processo de mistura. Adicionalmente, a velocidade de rotação do cilindro foi estabelecida também a partir de fórmulas utilizadas em experimentos relacionados à Engenharia Química (veja discussão mais adiante).

Por outro lado, a influência de variáveis, tais como, a) o diâmetro do tambor e b) o tamanho amostral não puderam ser estabelecidas a partir de dados fornecidos pela Engenharia Química e Mecânica, pois estão intrinsecamente relacionados aos resultados finais específicos para o estudo tafonômico. Desta maneira, tendo em vista a ausência de informações referentes à influência de variáveis, como, por exemplo, o diâmetro do tambor e o tamanho amostral utilizado no processo de tamboreamento e, conseqüentemente, nos resultados finais, foram inicialmente realizados estudos de determinação de um tambor "ideal", em laboratório, analisando-se o diâmetro, tamanho amostral e sedimento utilizado (representados na figura 4).

QUADRO 2- ARTIGOS CONSULTADOS POR AUTORES PRÉVIOS, RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO TAMBOR TAFONÔMICO

Autor	Citações relacionadas à metodologia
CHAVE (1960)	Sem citações
CHAVE (1964)	Sem citações
HALLAM (1967)	Sem citações
FORCE (1969)	CHAVE (1960, 1964)
DRISCOLL & WELTIN (1973)	CHAVE (1964); HALLAM (1967)
HOSKIN <i>et al.</i> (1983)	CHAVE (1960, 1964); FORCE (1969)
ALLISON (1986)	CHAVE (1960)
ARGAST <i>et al.</i> (1987)	CHAVE (1960); ALLISON (1986)
KIDWELL & BAUMILLER (1990)	CHAVE (1964); FORCE (1969); DRISCOLL & WELTIN (1973); ARGAST <i>et al.</i> (1987)
PEBLES & LEWIS (1991)	CHAVE (1964); FORCE (1969); ARGAST <i>et al.</i> (1987); COTTEY & HALLOCK (1988)
TAUTON & KAESLER (1991)	Forma de resumo (sem citações)
GREENSTEIN (1991)	ALLISON (1986); KIDWELL & BAUMILLER (1990)
BROADHEAD & DRIESE (1994)	DRISCOLL & WELTIN (1973); ARGAST <i>et al.</i> (1987)
CUTLER (1995)	Sem citações
SMITH <i>et al.</i> (1995)	Forma de resumo (sem citações)
HUBER & FERGUSON (1998)	Sem citações

FIGURA 3- ESQUEMA REPRESENTATIVO DA VISÃO LATERAL (CORTE LONGITUDINAL) E FRONTAL (CORTE TRANSVERSAL) DO TAMBOR TAFONÔMICO, COM A INDICAÇÃO DE SUAS PRINCIPAIS DIMENSÕES

Determinação dos parâmetros adequados do tambor tafonômico

Objetivos: verificação da real influência das variáveis associadas ao tambor tafonômico, com otimização do tempo empregado nos experimentos e qualidade dos resultados assegurada

Itens envolvidos

Diâmetro do Tambor

Variáveis (tratamentos)

- 15cm
- 7,7 cm
- 22 cm

Tambores com diâmetros de 15cm e 22cm apresentam velocidades de decaimento semelhantes, verificadas através de análise estatística

Velocidade de rotação

Variáveis (tratamentos)

Utilização da fórmula proposta por Sterbacek & Tausk (1965)

Segundo a fórmula

$$\frac{42,1}{\sqrt{D}}$$

A velocidade adequada varia entre 50% e 65% da velocidade crítica

Tamanho da amostra

Variáveis (tratamentos)

- 3 exemplares
- 10 exemplares
- 15 exemplares

Analisados estatisticamente, os resultados demonstram que tanto a utilização de 3 como de 10 exemplares apresentam velocidades de decaimento semelhantes

Sedimento associado

Variáveis (tratamentos)

- seixo
- areia
- ausente

Os três tratamentos apresentam comportamentos distintos. A utilização da areia aproxima os resultados, relacionados a abrasão, daqueles observados na natureza.

Tamanho amostral=10

60rpm

areia

Sistema Eleito

Tambor com diâmetro de 15 cm, velocidade de rotação de 60rpm e tamanho amostral de 3 ou 10 exemplares, de acordo com a disponibilidade. Sedimento utilizado: areia

FIGURA 4- FLUXOGRAMA INDICANDO AS ETAPAS ENVOLVIDAS NA DETERMINAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO ADEQUADA DO TAMBOR TAFONÔMICO

3.1.3. Tambor tafonômico: partes do equipamento

Foram construídos 3 tambores, com tamanhos diferentes, nos quais variáveis como diâmetro, tamanho amostral, velocidade de rotação e sedimento adequado, puderam ser investigadas, de acordo com as especificações a seguir.

Os tambores tafonômicos utilizados assemelham-se a um misturador cilíndrico de corpo móvel (e.g., CARLEY-MACAULY & DONALD, 1962; RAZUK, 1992), possuindo movimento de tamboreamento (CARLEY-MACAULY & DONALD, 1962, 1964). Os tambores utilizados na Engenharia Química e na Engenharia de Minas diferem dos tambores empregados em estudos paleontológicos, em vários aspectos de sua configuração, tais como: a ausência de aletas internas, a presença de rugosidades nas paredes do misturador e suas dimensões. Portanto, o tambor confeccionado (Figura 5), difere desses, tendo 150mm de diâmetro em aço inoxidável do tipo 304 L, sendo composto pelas seguintes partes:

- a) corpo do tambor: construído a partir de um tubo de 270mm de comprimento, 150mm de diâmetro e 2mm de espessura;
- b) fundo fixo: constituído de disco de 3mm de espessura e 160mm de diâmetro que, soldado a uma das extremidades do tambor, tem como função fechar uma das aberturas do tubo. Apresenta também, soldado ao centro, eixo circular por onde o tambor é acoplado ao motorreductor;
- c) tampa do tambor: removível, construída a partir de um disco de 9mm de espessura e 190mm de diâmetro, possuindo 4 pequenas aberturas circulares próximas à borda, por onde são inseridos os parafusos externos responsáveis pelo fechamento do tambor. Apresenta também abertura na parte central onde está acomodado um rolamento responsável pelo acoplamento do eixo externo móvel;
- d) parafusos de fixação: construídos a partir de parafusos em aço inoxidável onde foram fixadas extremidades amplas que facilitam o manuseio, durante o fechamento do tambor;
- e) aletas internas: apresentam-se em número de 3 e foram construídas a partir de barras de 6mm de espessura, 60mm de altura e 270mm de comprimento. Fixadas com a função de fazer com que o material em análise não permaneça escorregando pela parede interna do misturador, durante o tamboreamento, aumentando a eficiência do processo. Estas aletas são acopladas ao corpo do

tambor através de parafusos inseridos em barras dispostas longitudinalmente no interior do mesmo, o que facilita a troca dessas, quando necessário;

f) borracha de vedação: acoplada à tampa do tambor constitui um sistema eficiente de vedação interno.

Os outros dois tambores, com 7,7 e 22,7cm de diâmetro foram construídos com o mesmo tipo de material e princípios, porém com medidas 51,3% menores e maiores, respectivamente, conforme discussão mais adiante.

O tambor foi acoplado a um motorreductor SEW de 0,75Kv e 1780rpm e ligado a um conversor de frequência da mesma marca, que possui a capacidade de alterar a rotação do moterredutor, de maneira a ajustar a velocidade de rotação necessária a cada experimento (veja discussão mais adiante).

FIGURA 5- A: PARTES CONSTITUINTES DO TAMBOR TAFONÔMICO (DIÂMETRO=15cm), INCLUINDO: (1) CORPO DO TAMBOR, (2) TAMPA COM SISTEMA INTERNO DE VEDAÇÃO E (3) PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DA TAMPA AO CORPO DO TAMBOR; B: VISÃO INTERNA PARCIAL DO CORPO DO TAMBOR, COM DESTAQUE PARA AS 3 ALETAS INTERNAS (3cm DE ALTURA CADA UMA) PRESAS À PAREDE DO MISTURADOR

3.1.4. Padronização do método

De acordo com os conhecimentos expostos acima, optou-se pela elaboração de um protocolo de construção e utilização do tambor tafonômico, onde pudessem ser estabelecidos parâmetros do tambor mais apropriados aos experimentos propostos. Os experimentos envolvidos no estabelecimento deste protocolo foram realizados utilizando-se, quando não especificado no respectivo item, conchas de *Anomalocardia brasiliiana*, conforme detalhamento mais adiante. Ainda, durante estes experimentos iniciais, com exceção da avaliação da influência do sedimento, foi utilizado o seixo como partícula, seguindo as recomendações de CHAVE (1960, 1964).

Os itens seguintes descrevem as etapas envolvidas na padronização do método:

a) Determinação da velocidade de rotação: a velocidade de rotação foi a primeira variável investigada, pois, desta maneira, os experimentos relacionados à determinação do diâmetro, tamanho amostral e determinação do sedimento adequado, puderam ser conduzidos, utilizando-se a velocidade "adequada". Tal velocidade, apropriada a cada tambor de diâmetro distinto, foi determinada, segundo STERBACEK & TAUSK (1965) e MIKOS & JAEGGI (1995), onde a velocidade crítica de rotação pode ser calculada através das seguintes fórmulas, respectivamente:

$$v = \frac{41,1}{\sqrt{D}}$$

$$n = \frac{1800}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}$$

A velocidade adequada de rotação do tambor, está relacionada ao diâmetro, conforme discussão mais adiante, e compreende de 50% a 65% do valor da velocidade crítica (STERBACEK & TAUSK, 1965).

b) Determinação do diâmetro: Empiricamente sabe-se que o diâmetro do tambor poderá influenciar na aceleração ou retardo do processo de redução da massa inicial das conchas utilizadas, sem, contudo, alterar os resultados finais. Desta maneira, a fim de verificar a influência do diâmetro do tambor nos resultados finais, foram construídos 3 tambores de tamanhos distintos (diâmetro e comprimento) (Figura 6) e realizados experimentos de comparação, aqui denominado experimento (A) (tratamentos 1,2 e 3) acompanhados de suas respectivas repetições.

O primeiro tambor construído possui 15cm de diâmetro, 27cm de comprimento. O segundo tambor projetado apresenta 22,3cm de diâmetro e 40,15cm de comprimento e, o terceiro, 7,7cm de diâmetro e 13,85cm de comprimento. As medidas utilizadas aqui foram calculadas para que o tambor maior apresentasse tamanho 51,3% superior ao primeiro e, o tambor menor, 51,3% inferior ao de 15cm. É importante ressaltar que o valor 51,3% foi escolhido, pois se aproxima do valor médio de 50% e possui, no mercado, tubos de aço inoxidável (tipo 304 L) disponíveis do tamanho menor, sendo possível produzir, a partir de chapa plana, o de maior dimensão, o que não pode ser feito com tubos inferiores a 10cm de diâmetro. Desta maneira, os tratamentos empregados, neste experimento, constaram de duas repetições e estão listados no quadro 3.

QUADRO 3- TRATAMENTOS APLICADOS AO EXPERIMENTO (A) REFERENTE À DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MAIS ADEQUADO AO TAMBOR ⁽¹⁾

Tratamento	Tambor	Sedimento	Água	Rotação
1	7,7cm de diâmetro e 13,85cm de comprimento	Seixo (250g)	125ml	90rpm
2	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	Seixo (500g)	250ml	60rpm
3	Tambor: 22,3cm de diâmetro e 40,15cm de comprimento	Seixo (750g)	375ml	50rpm

(1) Veja detalhes sobre o preparo e propriedades de sedimento e água no item 3.2.

Após o término de cada experimento, foi realizada análise estatística, de acordo com a metodologia detalhadamente descrita no item "Metodologia Estatística (3.3)".

FIGURA 6- ASPECTO GERAL DOS TRÊS TAMBORES TAFONÔMICOS EMPREGADOS NA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO ADEQUADO UTILIZADO; (A1 E B1) TAMBOR COM 22,3cm DE DIÂMETRO INTERNO E 40,15cm DE COMPRIMENTO; (A2 E B2) TAMBOR COM 15cm DE DIÂMETRO INTERNO E 27cm DE COMPRIMENTO; (A3 E B3) TAMBOR COM 7,7cm DE DIÂMETRO INTERNO E 13,85cm DE COMPRIMENTO

c) Escolha do sedimento: Para a verificação da influência do sedimento no decaimento de massa dos organismos submetidos ao processo de abrasão no tambor tafonômico, foram realizados 2 experimentos distintos (aqui denominados experimentos B e C).

O primeiro experimento (experimento B), envolveu 3 tratamentos, contando com réplicas, e teve como objetivo principal verificar a influência de tais partículas, como a areia e o seixo, nos resultados finais. Foi também elaborada uma análise com a ausência de sedimento, durante o processo de tamboreamento. Todos os tratamentos estão listados no quadro 4 abaixo.

QUADRO 4- TRATAMENTOS APLICADOS AO EXPERIMENTO (B) REFERENTE À VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO SEDIMENTO NO DECAIMENTO DE MASSA DO MATERIAL ORIGINAL ⁽¹⁾

Tratamento	Tamanho amostral	Tambor	Sedimento	Água	Rotação
1	10 conchas de bivalves	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	Seixos (500g)	250ml	60rpm
2	10 conchas de bivalves	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	Areia média (500g)	250ml	60rpm
3	10 conchas de bivalves	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	Ausente	250ml	60rpm

(1) Veja detalhes sobre o preparo e propriedades de sedimento e água no item 3.2.

Os sedimentos escolhidos para análise, nesta primeira etapa, foram eleitos de acordo com dados de literatura (e.g., CHAVE 1964; FORCE, 1969; DRISCOLL & WELTIN 1973; CUTLER 1995; HUBER & FERGUSON, 1998), a fim de comparar os resultados, quando possível. Vale ressaltar que esta comparação não deverá ser quantitativa, pois os parâmetros dos tambores utilizados pelos autores prévios não apresentam dimensões similares entre si, o que impossibilita a comparação. Somente aspectos relacionados ao grau de resistência comparativa entre os táxons e padrões de desgaste dos bioclastos podem ser comparados, uma vez que a alteração de variáveis como diâmetro, velocidade de rotação e tamanho amostral podem influenciar na curva de decaimento de massa e na velocidade de aquisição dos resultados finais.

A segunda etapa de avaliação, correspondente ao experimento (C), refere-se a comparação do decaimento de massa de 2 grupos distintos (braquiópodes e bivalves) em 2 tipos de sedimentos com tamanhos diferentes (seixos e areia média) que foram submetidos ao tambor tafonômico (Quadro 5), incluindo 4 tratamentos distintos. Com os resultados finais obtidos foi possível verificar se o decaimento de material original de um mesmo filo apresentava comportamento de decaimento de massa distinto, de acordo com o sedimento empregado no experimento, ou ainda, se a diferença ou semelhança no comportamento de massa de 2 filos distintos permanecia independente do sedimento utilizado.

Vale ressaltar que, no tratamento 4 deste experimento (C), foram utilizadas 3 conchas de braquiópodes, diferentemente do tamanho amostral (10 conchas) empregado nos demais. Esta diferença justifica-se pela raridade do material (conchas de braquiópodes), sendo que os resultados referentes a utilização de 3 exemplares não apresentam diferença significativa se comparados ao emprego de 10 conchas, de acordo com os resultados do experimento 4 e análise estatística que serão expostos mais adiante.

QUADRO 5- TRATAMENTOS APLICADOS AO EXPERIMENTO (C) REFERENTE A AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO SEDIMENTO NA COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CONCHAS DE TÁXONS DIFERENTES ⁽¹⁾

Tratamento	Táxon e Tamanho amostral	Tambor	Sedimento	Água	Rotação
1	10 conchas de bivalves	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml	60rpm
2	10 conchas de bivalves	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de seixos	250ml	60rpm
3	10 conchas de braquiópodes	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de seixos	250ml	60rpm
4	3 conchas de braquiópodes	15 cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml	60rpm

(1) Veja detalhes sobre o preparo e propriedades de sedimento e água no item 3.2.

3.2. PREPARAÇÃO PARA O PROCESSO DE TAMBOREAMENTO

3.2.1. Seleção, preparo dos espécimes e tamanho amostral

Os espécimes do bivalve *Anomalocardia brasiliiana*, disponíveis para estudos, foram preliminarmente selecionados e preparados para o processo de tamboreamento. Uma vez que as conchas articuladas de braquiópodes, disponíveis para experimentos, não são abundantes, as conchas de bivalves foram inicialmente escolhidas para os experimentos de padronização do tambor tafonômico, pois são necessárias conchas articuladas fechadas (frescas), livres de sinais de bioerosão e/ou predação.

Os bivalves frescos selecionados foram preparados para o processo de tamboreamento em laboratório, obedecendo as seguintes etapas:

- 1) seleção de conchas de tamanhos semelhantes (comprimento da concha $\cong$ 2,0cm);
- 2) remoção de eventuais partes moles aderidas às conchas;
- 3) limpeza das valvas em água corrente;
- 4) secagem em estufa por 40 minutos à temperatura de 75° C, sendo que o tempo ideal de secagem foi estabelecido após testes prévios constando de três réplicas, com pesagens a cada 5 minutos até as conchas atingirem peso constante. A temperatura de secagem foi estabelecida, seguindo resultados obtidos por CURREY (1979), que indica temperaturas até 80°C como pouco drásticas para a resistência das conchas, sendo que o aquecimento acima de 90°C provavelmente reduzirá a resistência das conchas, porém o autor não detalha o processo que leva a esta perda de resistência;
- 5) triagem das valvas, de acordo com o tamanho e tipo (direita ou esquerda);
- 6) análise microscópica das valvas com a finalidade de identificar possíveis alterações (e.g., bioerosão), que possam falsear os resultados finais.

Para a análise da influência do tamanho amostral, nos resultados dos experimentos a serem realizados, foram empregadas amostras com três tamanhos diferentes (3, 10 e 15 exemplares), utilizando-se conchas de bivalves, as quais fazem parte do experimento (D). A escolha dos tamanhos amostrais iniciais foi aleatória, utilizou-se em princípio 10 exemplares e, posteriormente, o número foi aumentado (15 exemplares) e diminuído (3 conchas), respectivamente. Todo o processo envolvido neste experimento segue as etapas de seleção e preparo dos

espécimes, imersão em água, preparo do sedimento, tamboreamento, triagem e fotografia, que são mais adiante explicados.

Os experimentos receberam os tratamentos listados no quadro 6 e, após o término de cada um, foi realizada análise estatística, de acordo com a metodologia detalhadamente descrita no item “análise estatística”.

QUADRO 6- TRATAMENTOS APLICADOS AO EXPERIMENTO (D) REFERENTE À DETERMINAÇÃO DO TAMANHO AMOSTRAL MAIS ADEQUADO ⁽¹⁾

Tratamento	Tamanho amostral	Tambor	Sedimento	Água	Rotação
1	3 conchas	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g	250ml	60rpm
2	10 conchas	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g	250ml	60rpm
3	15 conchas	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g	250ml	60rpm

(1) Veja detalhes sobre o preparo e propriedades de sedimento e água no item 3.2.

3.2.2. Imersão em água

Após a seleção e pesagem das valvas já preparadas para o processo de tamboreamento, as mesmas foram imersas em água salgada com valores de salinidade e pH similares aos encontrados na água marinha natural (salinidade 1,023ppm e pH aproximado de 8), preparada com sal sintético importado (Kent Marine), por 30 minutos até atingirem peso constante. Para a determinação do tempo de submersão das conchas em 30 minutos, foram realizados testes prévios (constando de 3 réplicas), onde as conchas foram mergulhadas em água salgada e pesadas, em balança de precisão, a cada 5 minutos até estabilização do peso.

3.2.3. Preparo do sedimento

Todo o sedimento utilizado foi selecionado através de processo manual e análise visual onde fragmentos de conchas e vegetais foram retirados e o sedimento lavado em água corrente até a limpeza completa. Vale ressaltar que a presença de qualquer fragmento de concha no sedimento, a ser utilizado nos experimentos, pode

falsear os resultados. Após limpeza, o sedimento foi seco em estufa por 24 horas para que pudesse estar completamente livre de umidade, antes de ser pesado em balança de precisão. A areia média, também utilizada nos experimentos com o tambor tafonômico, foi tratada com HCl 50% visando a eliminação de fragmentos de conchas que pudessem interferir nos resultados finais. Logo após o ataque com ácido, a areia foi lavada em água corrente e seca em temperatura ambiente até a ausência completa de água.

3.2.4. Tamboreamento

Após trinta minutos submersas em água salgada, as conchas foram levadas ao tambor juntamente com o sedimento, em quantidade suficiente, sempre constante, para cobrir as conchas dentro do tambor, além de água salgada, em quantidade também suficiente para deixar submerso todo o material (a quantidade depende do diâmetro do tambor). Após 1 hora de funcionamento contínuo do tambor, o material foi cuidadosamente retirado, para evitar perda de sedimento e bioclastos durante o manuseio, e fracionado granulometricamente, com o auxílio de peneiras com malhas de 2,83 e 2,00 mm e utilização de água corrente. Não foi empregada a separação por meio de agitador de peneiras, pois as conchas poderiam se fragmentar durante o processo, alterando o resultado.

3.2.5. Triagem

Após o fracionamento, o material foi triado, sob estereomicroscópio, com o auxílio de uma pinça, para a separação dos fragmentos de conchas maiores que 2mm, restantes após o processo de tamboreamento. CHAVE (1960, 1964) realiza o processo de triagem selecionando apenas fragmentos maiores que 2mm e que, corresponde a definição de bioclasto, segundo KIDWELL & HOLLAND (1991). Seguindo-se este procedimento, as conchas foram colocadas em papel de filtro e levadas à estufa a 75°C, onde permaneceram por 40 minutos. A temperatura de secagem segue recomendações de CURREY (1979), que concluíram que acima de 90°C as conchas em aquecimento perdem resistência devido a temperatura elevada. O tempo de secagem é necessário e suficiente para que possam atingir peso constante. Novamente, a determinação do tempo de secagem em estufa foi

estabelecida através de pesagens consecutivas (constando de 3 réplicas) de conchas previamente submersas em água salgada, a cada 5 minutos até atingirem peso constante. Após a secagem, as conchas e o papel de filtro foram pesados em balança de precisão e a seguir fotografados.

3.2.6. Fotografia

Todas as amostras resultantes do processo de tamboreamento foram fotografadas utilizando-se lente macro e máquina fotográfica Yashica, preparadas em mesa estativa equipada com lâmpada Photoflood. As fotografias foram catalogadas, juntamente com seus negativos e posteriormente digitalizadas a fim de serem utilizadas para ilustração e consulta dos resultados das diversas etapas dos processos de tamboreamento dos experimentos realizados e análises complementares.

3.3. METODOLOGIA ESTATÍSTICA

"If do would converse with me, first define your terms"

VOLTAIRE

Durante as análises dos dados obtidos através dos experimentos, foram utilizadas metodologias estatísticas que serão brevemente descritas a seguir.

O objetivo desta explanação é facilitar a leitura dos resultados obtidos através da análise estatística, definindo termos utilizados e transmitindo o conhecimento básico para a interpretação desses. As informações contidas no item 3.3.1 seguem PASSOS (2004).

3.3.1 Modelos de Regressão

Primeiramente, para que os modelos sejam, compreendidos, é necessário a definição de sistema. Pode-se considerar um sistema como sendo um grupo de objetos ou fatos unidos por alguma forma de interação ou interdependência, executando funções específicas. Um sistema seja ele biológico, físico ou econômico, pode ser considerado também, de modo mais simples, como um conjunto de elementos, que possuem certos atributos ou variáveis, podendo ser representados pelos seguintes componentes: entrada, processo e saída (Figura 7).

Para o caso em estudo, os componentes podem ter a seguinte caracterização: a entrada corresponde aos estímulos ("inputs"), caracterizados por suas variáveis (as conchas de bivalves e braquiópodes), o processo entende-se como a ação (processo de tamboreamento) e a saída corresponde a resposta ao estímulo dado (perda massa por abrasão).

FIGURA 7- ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM SISTEMA E SEUS COMPONENTES DE ENTRADA, PROCESSO E SAÍDA (VEJA DETALHES NO TEXTO)

Os modelos são necessários para que haja o conhecimento a respeito dos sistemas, podendo nos fornecer alguma idéia (“insight”) sobre o próprio processo real (Morgan, 1984). Na Estatística os modelos contêm “parâmetros”, que significam constantes ou características da população.

Existe um grande número de sistemas que podem ser explicados por modelos matemáticos ou determinísticos, como por exemplo, o uso de equações diferenciais aplicadas em estudos de dinâmica populacional.

De uma maneira geral, pode-se representar um modelo matemático utilizando-se uma equação matemática (1). A resposta ou saída é representada por Y . As variáveis ou condições de estado do sistema estão representados por $x_1, \dots, x_n$, e f representa a maneira de “ligar” ou de conectar a saída com a entrada.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

No entanto, existe uma outra classe de fenômenos na qual os modelos matemáticos não são suficientes para que se possa conhecer a saída do sistema. Surgem assim os chamados modelos estatísticos.

Assim, é possível representar os modelos estatísticos¹ como tendo um componente matemático ou funcional, similar a função f do modelo matemático anterior, acrescentando-se parâmetros $(\alpha; \beta; \gamma)$, além de um componente aleatório e , também chamado “ruído” (2). Deste modo, $f(x_1, x_2, \dots, x_n; \alpha; \beta; \gamma)$ é denominado de componente determinístico do modelo.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \alpha; \beta; \gamma) + e \quad (2)$$

¹ A estatística pode ser definida como um conjunto de processos empregados no estudo da variação (ou variabilidade) e dos fatores a ela associados.

A) Modelo de Regressão Linear

A partir de um problema biológico de interesse, pode-se inicialmente supor que fosse possível “medir” ou conhecer toda a população, ou seja, todo o conjunto universo associado ao fenômeno em estudo.

Observando-se o gráfico de uma variável aleatória Y contra valores de uma grandeza X (conhecida ou pré-fixada), encontra-se uma relação que aparenta ser linear. Neste caso, os pontos não se dispõem exatamente sobre uma equação de reta, como nos modelos matemáticos, e sim possuem uma dispersão natural, que nos faz lembrar uma reta, segundo os valores de X (Figura 8).

Suponha que o modelo estatístico utilizado, com componente determinístico linear, fosse do tipo:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$$

em que, i refere-se a i -ésima observação, Y_i são os valores da variável aleatória resposta, α e β são parâmetros da população, X_i valores conhecidos ou pré-fixados não correlacionados entre si e os e_i (componente aleatório) são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, seguindo distribuição normal, com média (μ) igual a zero e variância constante (σ^2), ou seja, $e \sim N(0, \sigma^2)$. No modelo anterior, ao aplicarmos esperança matemática², obtemos a equação de reta:

$$E(Y | X) = \alpha + \beta X$$

já que o componente aleatório possui média nula. Esta equação, associada à população, está representada na figura 8.

² $E(Y)$ é uma função que em estatística significa: a média de uma variável aleatória Y . Como os valores de X são pré-fixados, podemos obter a esperança condicionada a X , ou seja $E(Y | X)$.

FIGURA 8- REPRESENTAÇÃO DE UMA POPULAÇÃO COMPLETA (BOLAS PRETAS COM FUNDO VERDE) E O GRÁFICO DE DISPERSÃO ASSOCIADO A ESTA POPULAÇÃO, CASO A POPULAÇÃO FOSSE CONHECIDA POR COMPLETO. A AMOSTRA, REPRESENTADA POR BOLAS VERMELHAS, ILUSTRA PARTE DA POPULAÇÃO CONHECIDA E SUA RESPECTIVA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E A EQUAÇÃO ASSOCIADA APÓS AJUSTE DO MODELO

Os parâmetros α e β são, respectivamente, o coeficiente linear da reta e o coeficiente angular da reta. O e_i , além de α e β estão representados na figura 9.

FIGURA 9- MODELO DE REGRESSÃO LINEAR, ONDE É POSSÍVEL VISUALIZAR O COEFICIENTE LINEAR DA RETA α E O COEFICIENTE ANGULAR DA RETA β . NOTE TAMBÉM A VARIÂNCIA RESIDUAL e_i COM SUA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Na prática não se trabalha com a população, e sim com amostras. O ramo da estatística que lida com este fato denomina-se Amostragem. Deste modo, o modelo proposto será ajustado por uma dada técnica matemática (mínimos quadrados, por exemplo), produzindo as estimativas dos parâmetros populacionais, representados por $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$ (parte inferior da figura 8). Obtém-se assim a equação que produzirá os valores estimados $\hat{Y}$:

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X$$

Após o ajuste, é possível, de maneira similar, obter as diferenças entre os valores esperados e observados, calculando-se assim a variância residual, necessária para que se possa verificar se as pressuposições assumidas são válidas (análise de resíduos).

B) Modelos de Regressão não Linear

Em muitas situações práticas, o pesquisador observa que o modelo mais apropriado para a situação é linear, como visto anteriormente. No entanto, ocorrem situações em que o modelo é não linear (3). Um modelo é dito “não linear”, se ele é não linear, como função dos seus parâmetros. As pressuposições do modelo são similares a do modelo linear.

$$Y_i = \alpha + \beta(X_i)^\gamma + e_i \quad (3)$$

Considerando somente o componente determinístico deste modelo a função, $f(X; \alpha, \beta, \gamma) = \alpha + \beta(X_i)^\gamma$, pode-se verificar o efeito de cada um dos parâmetros na forma da curva (Figura 10). O parâmetro α é o valor que intercepta o eixo Y, β e γ têm efeito na forma da curva, onde ocorre decaimento para o caso de gama menor que 1.

FIGURA 10- EFEITO DE CADA UM DOS PARÂMETROS (β e γ) NA CURVA DE DECAIMENTO. OBSERVE QUE AS CURVAS REPRESENTADAS EM VERMELHO E EM AZUL APRESENTAM VALORES DE β IGUAIS E γ DIFERENTES, CARACTERIZANDO ASSIM A INFLUÊNCIA DE γ NO DECAIMENTO. POR OUTRO LADO, COMPARANDO-SE AS CURVAS REPRESENTADAS EM VERMELHO E EM VERDE É FÁCIL OBSERVAR QUE γ APRESENTA VALORES IGUAIS E β VALORES DIFERENTES, CARACTERIZANDO A INFLUÊNCIA DE β

3.3.2. Modelo Proposto

"Models are to be used not to be belived"

HARRY THEIL

Após o término de cada experimento, visando buscar a melhor combinação dos parâmetros relacionados ao tambor foi empregado um modelo estatístico de regressão não-linear (veja abaixo), obtendo assim os parâmetros estimados, com o objetivo de verificar a diferença entre os decaimentos de material original das conchas utilizadas. Para tanto, os dados obtidos relacionados à massa de material original, de acordo com o tempo de processamento no tambor tafonômico e com os diversos tratamentos utilizados, foram organizados em planilha de cálculo de Microsoft Excell 7.0. Os dados foram analisados através do programa SAS (Statistical Analysis System, 1996), versão 6,01 (para Windows), onde o modelo foi ajustado. Ainda, gráficos foram elaborados em Microsoft Excell 7.0, a partir dos resultados obtidos anteriormente.

Para o estudo do decaimento da massa de bivalves e braquiópodes, segundo os experimentos (variação do diâmetro, tamanho amostral e escolha do sedimento) anteriormente mencionados, foi utilizado o modelo de regressão não-Linear (RATKOSWSKY, 1989). Este modelo foi utilizado também na análise dos resultados obtidos durante os experimentos propostos (veja detalhamento mais adiante). A escolha de modelos de regressão não-linear, com o objetivo de estudar o fenômeno em questão, deve-se ao fato de que os resultados dos experimentos se apresentaram com característica não linear no tempo (conforme explanado anteriormente). Estes modelos possuem, caracteristicamente, em seu componente determinístico, uma função não-linear nos parâmetros, razão pela qual será empregado aqui.

3.3.3. Simulação

Antes de se iniciar a determinação do modelo a ser utilizado através da análise de regressão não-linear, foram geradas repetições, a partir dos resultados experimentais obtidos. Para isso, foi utilizada a técnica de "Bootstrap" Paramétrico (EFRON, 1979), como base para geração de repetições via simulação, já que, originalmente só se dispunha de duas para cada tratamento. De acordo com esta técnica:

- 1) utilizando-se os valores de X_i e de $\hat{\theta}$, o componente determinístico fica assim caracterizado;
- 2) a partir da variância residual estimada pelo modelo, geram-se os erros (ruídos) de modo que $e_i \sim N(0, \hat{\sigma}_e)$;
- 3) finalmente obtém-se repetições da variável resposta Y_i , já que:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta(X_{ij})^r + e_{ij}$$

Foram geradas 10 repetições para cada tratamento e, posteriormente, realizou-se o teste de Kruskal-Wallis (ZAR 1996). Tal teste é necessário uma vez que são desconhecidas as distribuições dos estimadores dos parâmetros para comparação entre tratamentos.

3.3.4. Escolha do modelo

Desta maneira, foram escolhidos modelos não-lineares, apresentados por RATKOWSKY (1989), sendo que os critérios de seleção do melhor modelo foram: (a) baixa variância residual; (b) elevado coeficiente de determinação (R^2) e (c) análise de resíduo.

A variância residual refere-se a variação aleatória adicional dos pontos experimentais, em torno da linha teórica de regressão, o coeficiente de determinação está associado a medida da qualidade de ajuste (quando $R^2=1$ todos os pontos estão alinhados e não há variação residual, há uma correlação perfeita) e a análise de resíduos verifica se o ajuste está de acordo com as pressuposições.

O modelo utilizado é o que segue:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_j (X_{ij})^{\gamma_j} + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} é a porcentagem de material original, transformada via arco seno ($Y_{ij} = \arcsen(\text{pct_mor}/100)$); X_i é o tempo (horas); α é um valor constante ($\alpha = \arcsen(1)$), que representa o início, ou seja $Y_{ij}=100$, para $X=0$; β e γ são parâmetros que têm efeitos na forma da curva, ou seja no decaimento; e_i = componente aleatório (ruído).

Os índices i e j são, respectivamente, relativos à i -ésima observação do j -ésimo tratamento (veja item 4, para tratamentos). As estimativas dos parâmetros (β e γ) foram obtidas pelo método dos mínimos quadrados. A expressão que fornece a velocidade instantânea de crescimento do componente determinístico $f(X)$ é função dos parâmetros β e γ :

$$f(X; \beta; \gamma) = \alpha + \beta_j (X_{ij})^{\gamma_j}$$

Substituindo $f(X)$ na expressão anterior, tem-se:

$$Y_{ij} = f(X; \beta; \gamma) + e_{ij}$$

e a expressão da velocidade é representada do seguinte modo:

$$\frac{d}{dx}f(X) = \beta\gamma(X^{\gamma-1})$$

Nos casos em que houve diferença significativa por esse teste, foi aplicado o Teste de Dunn's (SNK) (ZAR, 1996) ao nível de 5% de significância. Observa-se que a velocidade de decaimento é função dos parâmetros de forma β e γ , que determinam a inclinação da curva determinada pelo modelo eleito. Assim nos tratamentos em que (não) há diferença estatística, pelo teste anterior, entre os β 's e os γ 's, tem-se que (não) há diferença entre as velocidades de decaimento.

3.3.5. Análise de sobrevivência

"Nada é bom ou mau, a não ser por comparação"

THOMAS FULLER

Com o objetivo de complementar as análises já realizadas, todos os resultados anteriormente obtidos, e que já haviam sido submetidos à Análise de Regressão Não Linear, foram novamente analisados. A utilização desta análise complementar foi proposta para verificar se os resultados obtidos anteriormente seriam confirmados através deste método estatístico.

A importância da confirmação dos resultados está na possibilidade de utilização da Análise de Sobrevivência neste tipo de estudo (perda de massa durante o processo de tamboreamento), uma vez que de acordo com este método, não é necessário atingir o tempo 100 (100 horas de tamboreamento) para finalizar as observações, mas sim registrar a perda de 50% da massa inicial do organismo em estudo. Assim, os experimentos que forem realizados no futuro podem incluir menor tempo de execução do que aqueles realizados aqui.

Vale lembrar que este método não foi utilizado nem proposto inicialmente, uma vez que havia a necessidade de realizar primeiramente a Análise de Regressão Não Linear (que neste caso necessitou de 100 horas de experimento de tamboreamento) com o intuito de observar o comportamento de decaimento de massa ao longo do tempo. Apenas desta maneira, pode-se confirmar se a Análise de Sobrevivência pode ser empregada neste estudo, uma vez que nunca havia sido proposta para este tipo de experimento.

A metodologia utilizada, Análise de Sobrevivência, é sucintamente explicada a seguir.

Esta análise é um método estatístico em que a variável resposta é, geralmente, o tempo até a ocorrência de um evento de interesse, denominado tempo de falha. A principal característica de dados de sobrevivência é a presença de censura, que é a observação parcial da resposta, ou seja, a interrupção na observação. Tal fato pode estar representado pela não observância do evento que se espera, no período total de análise. Com este método, é possível incorporar na análise os resultados dos dados censurados.

Na Análise de Sobrevivência, os resultados obtidos podem ser apresentados na forma de gráficos. Estes gráficos apresentam em seu eixo x o tempo diante do processo de tamboramento e no eixo y a função de sobrevivência, ou seja a probabilidade de sobreviver até um em cada tempo t representado no eixo y. A figura 11, ilustra a maneira como os resultados são apresentados graficamente. Neste exemplo, será levado em conta a comparação entre a perda de massa de valvas dorsal e ventral durante o processo de tamboreamento em laboratório (que mais adiante será detalhadamente explicada).

Observe que o tempo 50 representa o fim das observações e que aparentemente as valvas dorsais apresentam maior probabilidade de sobrevivência do que as valvas ventrais. Porém, nota-se que os dois grupos alcançam 50% de perda de massa durante o tempo em análise.

Na segunda etapa de análise, foi possível detectar a diferença entre as curvas de desgaste das valvas através de Teste de Log Rank (MANTAEL, 1966), Aplicando-se o teste através do Programa SAS foi possível observar que não há diferença entre as curvas de desgaste. O valor de p é o nível de significância, que quando menor que 5% ($p=0,05$) indica diferença entre as curvas dos grupos em análise. No caso da comparação entre valvas dorsais e ventrais o valor de p é igual a 0,3173, o que indica que não há diferença entre as curvas de desgaste.

Desta maneira, através da Metodologia descrita anteriormente e com os resultados já obtidos através dos experimentos (veja quadro 1) utilizando-se o processo de tamboreamento, onde obteve-se a massa das conchas utilizadas no processo a cada 1 hora, foi realizada a Análise de Sobrevivência (KLEINBAUN, 1996). Nesta análise, o tempo de falha, ou seja o tempo até o evento de interesse, foi definido como sendo o tempo até a perda de 50% da massa das conchas

submetidas ao processo de tamboreamento. Por outro lado, caso ao final de 100 horas (tempo total de experimento), a massa analisada não houvesse atingido 50% de seu material original considera-se como censura, ou seja, observação parcial da resposta.

FIGURA 11- ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA PARA OS DOIS GRUPOS ANALISADOS (VALVA VENTRAL E DORSAL)

A escolha de 50% de perda da massa original, como tempo de falha foi determinada ao acaso, uma vez que em nenhum estudo paleontológico anterior esta metodologia estatística foi empregada para análise de resultados obtidos através de processos de tamboreamento. Pode-se comparar também a perda de 50% de massa com a meia vida de conchas (MELDAHL *et al.*, 1997; OLSZEWSKI, 1999; CARROLL *et al.*, 2003) que leva em consideração o tempo de perda de 50% das conchas de uma determinada associação.

3.4. PADRONIZAÇÃO DO MÉTODO: resultados e discussão

3.4.1. Determinação da velocidade de rotação do tambor

A velocidade de rotação dos tambores empregados em Paleontologia é uma variável de extrema importância, uma vez que se a rotação empregada for a rotação crítica, citada por STERBACEK & TAUSK (1965), o conteúdo do tambor irá permanecer aderido à parede interna, durante o processo de tamboreamento devido à força centrífuga.

Apesar de não existirem informações relacionadas à velocidade de rotação na literatura paleontológica (Quadro 7), fórmulas propostas para calcular a velocidade crítica em um processo de tamboreamento, empregadas na Engenharia Mecânica e Química, são perfeitamente aplicáveis aos tambores tafonômicos, uma vez que estas relações são diretamente dependentes, do diâmetro do corpo do misturador e, em alguns casos, da força da gravidade e do número de Froude (Fr).

Dentre a literatura analisada, pôde-se notar também no artigo de MIKOS & JAEGGI (1995) que, por não apresentar aletas internas, as velocidades recomendadas para estes tambores empregados na Engenharia de Minas e em pesquisas hidráulicas é menor, pois desta maneira o material no interior do tambor não corre o risco de permanecer apenas deslizando pela parede, durante o processo de tamboreamento. Assim, sabe-se que a presença de aletas é importante na determinação da velocidade de rotação.

Segundo STERBACEK & TAUSK (1965), a velocidade crítica de um tambor, ou seja a velocidade na qual as partículas permanecem presas a parede do tambor durante o processo de tamboreamento, pode ser calculada pela fórmula:

$$v = \frac{41,1}{\sqrt{D}} = \frac{41,1}{\sqrt{0,15}}$$

$$v = \frac{41,1}{0,39} = 105,38rpm$$

Onde: v= velocidade crítica; D= diâmetro do tambor (cm).

QUADRO 7- VELOCIDADES DE ROTAÇÃO DO TAMBOR TAFONÔMICO EMPREGADA POR DIVERSOS AUTORES

Autor	Velocidade de rotação	Justificativa
CHAVE (1960)	30rpm	Não justificado
CHAVE (1964)	30rpm	Não justificado
HALLAM (1967)	Sem especificações	Não justificado
FORCE (1969)	30rpm e 41rpm	Não justificado
DRISCOLL & WELTIN (1973)	Não especificado	Não justificado
HOSKIN <i>et al.</i> (1983)	29rpm	Não justificado
ALLISON (1986)	125rpm	Não justificado
ARGAST <i>et al.</i> (1987)	29 e 41,5rpm	Não justificado
KIDWELL & BAUMILLER (1990)	20rpm	Não justificado
PEBLES & LEWIS (1991)	40rpm	Não justificado
TAUTON & KAESLER (1991)	Forma de resumo (sem especificações)	Não justificado
GREENSTEIN (1991)	25rpm	Proporciona agitação moderada ao conteúdo do tambor
BROADHEAD & DRIESE (1994)	Não especificado	Não justificado
CUTLER (1995)	40,8rpm	Não justificado
SMITH <i>et al.</i> (1995)	Forma de resumo (sem citações)	Não justificado
HUBER & FERGUSON (1998)	Não especificado	Não justificado
Este estudo	60rpm	Corresponde a 50% da velocidade crítica de rotação (veja detalhes no texto)

A velocidade ideal de rotação do tambor corresponde a 50-65% da velocidade crítica e, nesse caso, para tambor com diâmetro de 15cm, poderia variar entre 52,69 e 68,50rpm. Em tambor com diâmetro igual a 7,7cm, a velocidade crítica é de 158,7rpm, enquanto que a rotação adequada pode variar de 79 a 102,74rpm. Para tambores com diâmetro de 22cm, a velocidade crítica é calculada em 87,45rpm e rotação adequada pode estar entre 43,7rpm e 57rpm.

Segundo STEINER (1996), a velocidade crítica de rotação pode ser calculada segundo a seguinte fórmula:

$$nc = \sqrt{\frac{g}{2\pi^2 D}}$$

Onde:

nc=velocidade crítica de rotação; g= força da gravidade; D= diâmetro em cm.

Desta maneira, para tambor com diâmetro de 15cm temos:

$$nc = \sqrt{\frac{9,81}{2 \times (3,14)^2 \times 0,15}}$$

$$nc = \sqrt{\frac{9,81}{2 \times 9,86 \times 0,15}}$$

$$nc = \sqrt{\frac{9,81}{2,96}}$$

$$nc = \frac{3,13}{1,72}$$

$$nc = 1,81rps$$

$$nc = 108,6rpm$$

Ainda segundo o autor, a razão entre a velocidade adequada (n) e a velocidade crítica (n_c) deve equivaler a raiz quadrada do número Froude (Fr), sendo recomendável que este seja de $\frac{1}{2}$, isto é, a aceleração centrífuga deve equivaler a $\frac{1}{2}$ da aceleração da gravidade, correspondendo, desta maneira, a aproximadamente 0,7, ou ainda a 70,7% da velocidade crítica, considerando ainda que este número pode variar em 10%, ou seja n/n_c deve ser igual a 70,7 $\pm$ 10%. Assim, tem-se as seguintes equações:

$$n_c = \sqrt{\frac{g}{(2\pi^2 D)}}$$

$$\frac{n}{n_c} = \sqrt{Fr}$$

Desta maneira, para tambores com diâmetro de 15cm e velocidade crítica de 108,6rpm (veja cálculo acima) tem-se:

$$\frac{n}{108,6} = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{n}{108,6} = 0,7$$

Se a velocidade ideal (n) pode variar +-10%, então tem-se:

$$n = 75,6 \pm 7,5$$

Assim, segundo STEINER (1996), a rotação ideal para tambores com diâmetro igual a 15cm deve variar entre 68,1 e 83,1rpm.

Da mesma maneira que a fórmula acima, MIKOS & JAEGGI (1995) também se referem à velocidade crítica de tamboreamento, porém com a utilização de uma fórmula distinta:

$$n = \frac{1800}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}$$

Onde:

n= velocidade crítica de rotação (rph);

g= aceleração da gravidade;

R= raio interno do tambor (m).

Deste modo, para tambor com diâmetro interno de 15cm a velocidade crítica pode ser calculada, como:

$$n = \frac{1800}{3,14} \sqrt{\frac{9,81}{0,07}}$$

$$n = \frac{1800}{3,14} \times \frac{3,13}{0,26}$$

$$n = \frac{5688}{0,8}$$

$$n = 118,5rpm$$

Conforme mencionado anteriormente, de acordo com STERBACEK & TAUSK (1965), a velocidade ideal de rotação corresponde a 50-65% da velocidade crítica, e neste caso, poderia variar de 59 a 77,02%. Assim sendo, a velocidade eleita para rotação do tambor de 15cm foi de 60rpm, concordando com as propostas de STERBACEK & TAUSK (1965) e MIKOS & JAEGGI (1995) e aproximando-se bastante da velocidade indicada por STEINER (1996).

Da mesma forma, as velocidades de rotação para os tambores de 22cm e 7cm de diâmetro foram calculadas, segundo STERBACEK & TAUSK (1965) e MIKOS & JAEGGI (1995) e correspondem a 50 e 90rpm, respectivamente. As velocidades ideais calculadas são facilmente alcançadas devido ao emprego do conversor de frequência SEW, acoplado ao motorreductor, que possibilita o estabelecimento da velocidade de rotação escolhida. Vale ressaltar que em artigos relacionados à Engenharia de Minas (RAJAMANI *et al.*, 1999), os tambores analisados não apresentam aletas internas, o que faz com que a velocidade empregada no processo seja menor, não podendo ser utilizada em processos de tamboreamento relacionados a estudos tafonômicos que possuem tais aletas internas. É curioso notar que o mesmo princípio foi empregado por FORCE (1969), em estudos paleontológicos, quando utilizou dois tambores de mesmo diâmetro, um com aletas e outro sem, empregando velocidades diferentes, sendo que a menor velocidade (30rpm), foi utilizada em tambor sem aletas e a maior (41rpm), em misturador

apresentando tais estruturas. Novamente, nenhum tipo de comentário foi feito por FORCE (1969) quanto à diferença de velocidade entre os dois tipos de tambores (com ou sem aletas), porém, à luz dos estudos realizados pela Engenharia, pode-se observar que o emprego de tais velocidades (maior ou menor) estaria correto.

3.4.2. Diâmetro do tambor

O diâmetro do tambor foi a primeira variável testada em laboratório, uma vez que a determinação da velocidade de rotação foi feita através de fórmulas já existentes na literatura. Empiricamente sabe-se que o diâmetro poderá influenciar na aceleração ou retardo do processo realizado pelo tambor, sem contudo alterar os resultados finais. Esta análise torna-se importante uma vez que, o conhecimento da influência desta variável implica em resultados mais confiáveis e, além disso, com o estabelecimento adequado do diâmetro em que o tempo envolvido no experimento seja menor, mais rápido o resultado será obtido.

Os artigos disponíveis, onde a utilização de tambor tafonômico é relatada (veja quadro 8), não apresentam, preocupação com a escolha adequada do diâmetro do tambor, com raras exceções. FORCE (1969), por exemplo, demonstra claramente que utilizou o método de CHAVE (1964), porém cita como variáveis importantes nos experimentos, utilizando-se este método, o tamanho do tambor, velocidade de rotação, tipos de conchas, material abrasivo e duração. Contudo, apesar de chamar a atenção para o fato, curiosamente não testou estas variáveis de maneira a esclarecer a real importância de cada uma delas.

Por outro lado, somente DRISCOLL & WELTIN (1973) justificaram o diâmetro de 57cm para tambor hexagonal com o argumento de que, com estas medidas, qualquer ponto no interior do tambor move-se 1 quilômetro a cada 56 minutos. Contudo, deixa claro que é praticamente impossível determinar a distância percorrida pelas conchas submetidas ao processo de tamboreamento em um determinado misturador. Apesar da preocupação em empregar um diâmetro apropriado, a justificativa para a escolha de 1 quilômetro a cada 56 minutos não é mencionada.

O estudo da influência do diâmetro na velocidade de decaimento da massa de bivalves foi realizado utilizando-se tambores com diâmetro de 7,7cm, 15cm, 22cm, de acordo com a metodologia já descrita (item 3.1.4).

QUADRO 8- SÍNTESE DOS DADOS DE LITERATURA A RESPEITO DO DIÂMETRO DO TAMBOR TAFONÔMICO

Autor	Diâmetro empregado	Justificativa
CHAVE (1960)	Não especificado	Não justificado
CHAVE (1964)	Não especificado	Não justificado
HALLAM (1967)	Não especificado	Não justificado
FORCE (1969)	20cm	Não justificado
DRISCOLL & WELTIN (1973)	0,57m	Qualquer ponto no interior do tambor move-se 1 quilômetro a cada 56 minutos
HOSKIN <i>et al.</i> (1983)	17cm (diâmetro interno)	Não justificado
ALLISON (1986)	23cm	Não justificado
ARGAST <i>et al.</i> (1987)	16,5cm	Não justificado
KIDWELL & BAUMILLER (1990)	15cm	Não justificado
PEBLES & LEWIS (1991)	12mm, colocado dentro de outro com tamanho padrão	Não justificado
TAUTON & KAESLER (1991)	Forma de resumo (sem citações)	Não justificado
GREENSTEIN (1991)	Não especificado	Não justificado
BROADHEAD & DRIESE (1994)	Não especificado	Não justificado
CUTLER (1995)	36cm	Não justificado
SMITH <i>et al.</i> (1995)	Forma de resumo (sem citações)	Não justificado
HUBER & FERGUSON (1998)	10 e 28cm	Não justificado
Este estudo	15cm	De acordo com experimentos realizados em laboratório e análise estatística, o tambor com 15cm de diâmetro, apresenta rápida velocidade de decaimento e baixa porcentagem de material original final.

Os valores de β estimados por simulação, estão listados na tabela 1.

Os gráficos que ilustram o comportamento da velocidade de decaimento de acordo com o diâmetro do tambor e porcentagem de material original estão incluídos nas figuras 12 e 13, respectivamente.

TABELA 1- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO DIÂMETRO DO TAMBOR E REPETIÇÃO

Tambor (diâmetro em cm)	Repetição	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
7	1	-0,16164	0,32928	0,00002538	99,73%
7	2	-0,15546	0,32642	0,00006228	99,27%
15	1	-0,33541	0,29984	0,00048031	98,66%
15	2	-0,37832	0,27703	0,00080593	97,78%
22	1	-0,50232	0,24979	0,00016746	99,59%
22	2	-0,48654	0,26080	0,00028453	99,23%

De acordo com o tratamento estatístico eleito (veja item 3.3.2), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 2 abaixo.

TABELA 2- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DOS DIÂMETROS

	Tratamentos (diâmetros ϕ cm)		
	7	15	22
β	A ⁽¹⁾	B	C
γ	A	B	C

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

FIGURA 12- GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DA VELOCIDADE DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALVES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO, COM 3 DIÂMETROS DISTINTOS. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A VELOCIDADE DE DECAIMENTO É AQUELA CALCULADA DE ACORDO COM DETALHAMENTO NO ITEM "ANÁLISE ESTATÍSTICA"

FIGURA 13 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALVES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICOS COM DIÂMETROS DIFERENTES. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

Levando-se em conta a tabela 1, relacionada ao experimento de determinação do diâmetro do tambor tafonômico mais adequado, pode-se notar que: (a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 e (b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes pois temos Betas diferentes.

Considerando β e γ , nota-se que existe diferença entre todos os tratamentos, pois apresentam-se seguidos de letras diferentes e, conseqüentemente, diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ZAR, 1996).

Assim, é possível analisar a expressão da velocidade (item 3.3), onde esta é função de valores de β , γ e valores de x (tempo). Portanto, para valores de x (tempo) próximos a 0 ou para valores maiores que 20, apesar de existir diferença entre β e γ , esta diferença não é refletida na velocidade instantânea de decaimento (veja figura 12). No entanto, para intervalos entre 1 e 15 esta diferença é mais acentuada.

Desta maneira, analisando-se a velocidade de decaimento inicial (tempo 0) e por volta do tempo 20 é possível observar que a diferença na velocidade de decaimento para tambores com diâmetro 15 e 22 é semelhante, o que faz com que qualquer um destes dois tamanhos possa ser empregado.

Assim, pode-se eleger um destes dois tambores (15 ou 22cm de diâmetro), como os mais se adequados aos estudos tafonômicos propostos. Neste caso, o tambor de 15cm foi eleito, uma vez que resultados satisfatórios (rápida velocidade de decaimento e baixa porcentagem de material original final) foram obtidos, assim como para o tambor de 22cm. A escolha entre os dois tambores com melhores resultados foi estabelecida levando-se em consideração a facilidade de manuseio do tambor, assim como maior rapidez no processo de triagem devido a quantidade de material (sedimento) envolvido. De acordo com estes critérios, o tambor de 15cm foi escolhido para ser utilizado nos experimentos posteriores por apresentar melhor manuseio (pode ser operado apenas por uma pessoa), maior rapidez na seleção do material original de conchas, e resultados satisfatórios, relacionados à velocidade instantânea de decaimento e decaimento de material original de conchas.

3.4.3. Escolha do sedimento

CHAVE (1964), pioneiro na utilização do tambor tafonômico, simulou, em laboratório, o efeito de ondas e correntes na abrasão de partículas. Para isso, utilizou, em seus experimentos, dois diferentes tipos de partículas (seixo e areia) e ainda realizou experimentos onde os restos esqueléticos são levados ao tambor apenas com água, estando o sedimento ausente. O autor verificou que a ordem de destruição preferencial entre os vários restos esqueléticos utilizados (e.g., gastrópodes, bivalves, corais, equinóides, briozoários, algas calcárias), quando levados ao tambor apenas com água, foi diferente daquelas onde foram empregados areia ou seixos. Esta diferença está relacionada ao tamanho e peso das partes esqueléticas, que afetam a força de impacto dos bioclastos na parede do tambor e, conseqüentemente, interferem na durabilidade destes (CHAVE, 1964). O autor pôde notar ainda que, com a utilização de areia ou de seixos, o grau de destruição foi mais lento quando empregou-se areia e, mais rápido, quando foram adicionados seixos, sendo que a velocidade relativa parece ter sido igual. Contudo, de posse destes resultados importantes, CHAVE (1964) não avaliou estatisticamente estas diferenças, impedindo que estas informações pudessem ser empregadas, com segurança, em experimentos futuros, além de não detalhar a metodologia de cálculo da velocidade relativa por ele citada.

Desta maneira, desde o estudo pioneiro de CHAVE (1964) sabe-se que o sedimento empregado, ou a ausência deste no processo de tamboreamento, pode interferir nos resultados finais. Contudo, o sedimento utilizado em experimentos semelhantes, por autores subseqüentes foi, na maioria dos casos, empregado aleatoriamente sem qualquer justificativa de escolha. Por outro lado, raros autores justificaram o emprego do sedimento eleito ou ausência deste (ARGAST *et al.*, 1987; PEBLES & LEWIS, 1991; BROADHEAD & DRIESE, 1994) ou ainda comparam resultados frente a utilização de dois ou mais tipos de sedimentos (DRISCOLL & WELTIN, 1973; FORCE, 1969) (veja quadro 9).

QUADRO 9- ARTIGOS QUE UTILIZARAM O TAMBOR TAFONÔMICO COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESTRUIÇÃO DE RESTOS ESQUELÉTICOS E SUAS OBSERVAÇÕES QUANTO AO SEDIMENTO UTILIZADO

Autor	Ano	Táxon	Sedimento	Justificativa Quanto a escolha do sedimento	Observações relacionados ao sedimento
Chave	1964 1960	-gastrópodes, bivalves, corais, equinóides, briozoários e algas calcárias viventes.	-ausente; -seixos; -areia.	-seixos utilizados para testar durabilidade sob condições severas; - areia e ausência de sedimento: utilizado para comparação.	- ausência de sedimento <i>versus</i> areia <i>versus</i> seixo: ordem de destruição dos restos esqueléticos foi diferente, provavelmente devido ao tamanho e peso dos restos esqueléticos que afetam a força do impacto e conseqüentemente a durabilidade; - Areia + água: grau de destruição foi mais lento do que com seixos, mas com velocidade relativa igual.
Hallam	1967	-moluscos bivalves e gastrópodes.	-sem informação.	-não justificado	-não se aplica.
Force	1969	-bivalves.	-ausente; -seixos; -areia.	-areia semelhante a aquela onde são encontradas as conchas de bivalves submetidas ao processo de tamboreamento.	- ocorre quebra mais intensa em 5 horas de tamboreamento com seixos do que em 100 horas somente com concha <i>versus</i> concha.
Driscoll & Weltin	1973	-gastrópodes e bivalves viventes.	-areia grossa; -areia média; -areia fina.	-análise da influência da granulometria na redução da massa original.	-redução de massa original está relacionada à granulometria da areia, sendo alta em areia muito grossa, intermediária em areia muito fina e baixa em areia média.
Hoskin <i>et al.</i>	1983	-corais.	-ausente.	-não justificado.	-não se aplica.
Allison	1986	-crustáceos viventes.	-areia fina.	-areia das proximidades do local onde os crustáceos foram coletados.	-não se aplica.
Argast <i>et al.</i>	1987	-dentes de répteis (dinossauros e crocodilos).	-areia grossa bem selecionada.	-assemelha-se às condições de sedimentação do depósito onde os dentes são encontrados.	-não se aplica.

continua

Conclusão

QUADRO 9- ARTIGOS QUE UTILIZARAM O TAMBOR TAFONÔMICO COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESTRUIÇÃO DE RESTOS ESQUELÉTICOS E SUAS OBSERVAÇÕES QUANTO AO SEDIMENTO UTILIZADO

Kidwell & Baumiller	1990	-equinóides.	-ausente.	-não justificado.	-não se aplica.
Pebles & Lewis	1991	-foraminíferos.	-ausente.	-identificação mais rápida dos foraminíferos em estudo.	-não se aplica.
Greenstein	1991	-equinóides.	-ausente.	-não justificado.	-não se aplica.
Tauton & Kaesler	1991	-ostracoda.	-ausente.	-não justificado.	-não se aplica.
Broadhead & Driese	1994	-conodontes devonianos.	-areia.	-areia semelhante a aquela onde são encontrados os conodontes para comparação.	-não se aplica.
Smith <i>et al.</i>	1995	-bivalves e braquiópodes articulados.	-seixos com ou sem água.	-sem justificativa	-não se aplica.
Cutler	1995	-bivalves vivos.	-areia; -ausente.	-sem justificativa	-em experimentos com areia <i>versus</i> areia e concha <i>versus</i> concha, o impacto produzido é similar. Marcas de impacto tendem a ser ligeiramente maiores com o impacto de concha <i>versus</i> concha.
Huber & Ferguson	1998	-diásporas (pinhas, frutas e sementes atuais).	-areia; -seixo.	-encontradas em local próximo ao local de coleta do material utilizado.	-apesar do resultado de desgaste ser aparentemente menor com sedimento fino, o padrão de desgaste (regiões do organismo que perderam massa durante o processo) é similar.
Este estudo		-conchas de braquiópodes articulados e bivalves.	-Areia; - Seixo; - Ausente.	-optou-se pela utilização de areia média, pela similaridade com o sedimento onde os organismos em estudo são encontrados na natureza.	-os comportamentos de decaimento de massa para cada tipo de sedimento utilizado foram estatisticamente diferentes.

Em nenhum dos casos, porém, o emprego de seixos, areia e a ausência de sedimento no processo de tamboreamento foram comparados entre si e analisados estatisticamente para que a influência do sedimento pudesse ser avaliada e a escolha do sedimento, adequado ao experimento proposto, realizada com segurança visando a aquisição de resultados comparáveis entre si.

Desta maneira foram realizados aqui 3 tratamentos, empregando seixos, areia média e somente água, descritos no item 3.1.4, contando com réplicas, e seus resultados, analisados estatisticamente, expostos abaixo.

O gráfico que ilustra o comportamento de decaimento de massa de acordo com o sedimento utilizado e porcentagem de material original está incluído na figura 14. Todos os valores de β e γ , estimados por simulação, estão listados na tabela 3.

TABELA 3- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO SEDIMENTO UTILIZADO

Sedimento	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
Areia	-0,2271	0,3766	0,00178	96,69
Seixo	-0,3569	0,2879	0,00106	98,31
Ausente	-0,4374	0,2454	0,00112	84,53

De acordo com o tratamento estatístico eleito (veja item 3.3.4), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 4, abaixo. Na tabela, quando os parâmetros (β e γ) são seguidos de mesma letra entre os tratamentos não há diferença significativa (veja nota de rodapé da tabela).

TABELA 4- COMPARAÇÃO ENTRE β E γ PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DO SEDIMENTO EMPREGADO

	Tratamentos (sedimentos)		
	Seixo	Areia	Ausente
β	A ⁽¹⁾	B	C
γ	A	B	C

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

FIGURA 14- GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICOS COM SEDIMENTOS DE CLASSES GRANULOMÉTRICAS DISTINTAS. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

Observando-se a tabela 3, que resume os dados estatísticos obtidos, é notável que: (a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 , e (b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes, pois temos valores de β diferentes. Com relação aos valores de β e γ , todos os tratamentos diferem entre si.

Desta maneira, de acordo com a análise estatística realizada, em todos os experimentos onde diferentes tipos de sedimentos são utilizados, os comportamentos de decaimento de massa das conchas de bivalves são estatisticamente diferentes, provando que a utilização de sedimentos distintos durante o processo de tamboreamento pode levar a diferentes comportamentos de decaimento de massa.

Estes resultados concordam com os dados apresentados por CHAVE (1964), FORCE (1969) e HUBER & FERGUSON (1998), que também registraram decaimento diferencial de massa dos restos esqueléticos frente a utilização de sedimentos distintos (e.g., seixos, areia e ausência de sedimento) (veja quadro 9). Porém, é importante ressaltar que os resultados obtidos pelos autores citados acima não foram analisados estatisticamente para que estas diferenças fossem confirmadas. Esta observação torna-se importante uma vez que, conforme já mencionado anteriormente, muitas vezes, os resultados obtidos, **aparentemente** apresentam-se semelhantes (ou diferentes) quando plotados em um gráfico, mas podem ser diferentes (ou iguais) quando analisados estatisticamente, trazendo interpretações errôneas se avaliados apenas visualmente. Ainda, de acordo com o gráfico apresentado na figura 14, é possível notar que no tempo igual a 26, para conchas submetidas ao processo de tamboreamento onde não foi adicionado sedimento (ausente), obteve-se resultado final de porcentagem de material original perdida maior do que quando foram empregados seixos ou areia média. Isto, provavelmente, se deve a força de impacto dos bioclastos na parede do tambor, referida por CHAVE (1964) e citada anteriormente. Já os valores finais de decaimento de material original, para a utilização de seixos, foram mais altos do que aqueles obtidos quando utilizou-se areia média. Este resultado parece estar associado ao grande impacto dos seixos com as conchas, o que acelera o decaimento de massa original. Por outro lado, quando emprega-se areia, o bioclasto

pode permanecer em meio ao sedimento sofrendo apenas a abrasão das partículas, que naturalmente é menor.

Os dados obtidos e expostos acima, são comprovados também pela análise complementar realizada, onde conchas de braquiópodes e bivalves foram submetidas ao processo de tamboreamento, utilizando-se tanto areia quanto seixos. Notou-se, a partir deste experimento, que realmente há um comportamento diferencial de conchas iguais frente ao processo de tamboreamento, utilizando-se sedimentos distintos, cujos resultados estão expostos abaixo.

Esta segunda etapa de experimentos apresenta como resultados os dados dispostos na tabela 5, sendo que o gráfico que ilustra o comportamento de decaimento, de acordo com o sedimento utilizado e porcentagem de material original está incluído na figura 15.

TABELA 5- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO SEDIMENTO UTILIZADO E FILO

Sedimento	Filo	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
Areia	Bivalve	-0,2384	0,3566	0,00196	96,38
Seixo	Bivalve	-0,3727	0,2666	0,00141	96,91
Areia	Braquiópode	-0,3866	0,2599	0,00514	91,68
Seixo	Braquiópode	-0,8243	0,2414	0,00390	95,18

FIGURA 15- GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALVES E BRAQUIÓPODES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO COM SEDIMENTOS GRANULOMETRICAMENTE DISTINTOS. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

De acordo com o tratamento estatístico eleito (veja item 3.3.4), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 6, a seguir. Na tabela, quando os parâmetros (β e γ) são seguidos de mesma letra entre os tratamentos não há diferença significativa (veja nota de rodapé da tabela).

TABELA 6- COMPARAÇÃO ENTRE β E γ PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO REFERENTE A ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SEDIMENTO NO PROCESSO DE TAMBOREAMENTO SEGUNDO FILOS DIFERENTES

	Tratamentos (sedimento/filo)			
	Bivalve/areia	Bivalve/seixo	Braquiópode/ areia	Braquiópode/ seixo
β	A ⁽¹⁾	B	C	D
γ	A	B	C	D

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

Observando-se a tabela 5, que resume os dados estatísticos obtidos, é notável que: (a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 , e (b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes, pois temos valores de β diferentes. Com relação aos valores de β E γ , todos diferem entre si.

De acordo com os dados obtidos, e expostos acima, é possível notar claramente que existe diferença estatística entre todos os tratamentos. Conseqüentemente, filos iguais submetidos ao processo de tamboreamento juntamente com diferentes sedimentos apresentarão comportamentos distintos, comprovando a importância da escolha adequada do sedimento anteriormente ao início do processo de tamboreamento.

Desta maneira, após esta série de experimentos, foi possível eleger um tipo de sedimento que pudesse ser empregado nos experimentos posteriores. Observando-se que o decaimento de material original obteve comportamento diferenciado frente aos sedimentos testados, optou-se pelo emprego de partículas de tamanho areia

nos experimentos propostos, uma vez que a areia utilizada nos experimentos corresponde a areia onde as conchas de braquiópodes são encontradas na natureza (zona de estirâncio), coletada na Praia de Itamambuca (Estação III, Proj. Fapesp 00/12659-7), adjacente 7km à baía de Ubatuba (Lat. 23°53'02"S, Long. 45°29'02"L). Seguindo este procedimento, pretende-se aproximar, ao máximo, os resultados obtidos em laboratório, com os padrões de desgaste encontrados na natureza, uma vez que KUENEM (1956) demonstrou, em estudos sedimentológicos, que a abrasão produzida pela areia durante o processo de tamboreamento, reproduz o ambiente natural.

3.4.4. Tamanho amostral

O principal objetivo da variação amostral foi definir o número mínimo de conchas que podem ser utilizados nos ensaios sem que o resultado final seja afetado. É importante ressaltar que tanto com a utilização do tamanho amostral maior quanto o menor, o resultado final deverá ser o mesmo, alterando apenas o tempo em que estes espécimes alcançarão a mesma massa. No caso dos experimentos que serão conduzidos durante o desenvolvimento do presente projeto é extremamente importante estabelecer a maior eficiência relacionada ao tempo de experimentação visando diminuir o tempo necessário para cada ensaio e aumentar a credibilidade dos resultados.

Os valores dos parâmetros, variância residual e R^2 são apresentados na tabela 7.

TABELA 7- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO TAMANHO AMOSTRAL

Tamanho amostral (número de exemplares)	Repetição	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
3	1	-0,36393	0,28300	0,00050074	98,70%
10	1	-0,33541	0,29984	0,00048031	98,66%
15	1	-0,39371	0,24190	0,00043229	98,46%

A tabela 8, abaixo, resume os resultados estatísticos encontrados e os gráficos das figuras 16 e 17, ilustram os resultados obtidos neste experimento. Na tabela 8, quando os parâmetros β e γ são seguidos de mesma letra entre os tratamentos não há diferença significativa (veja nota de rodapé da tabela).

TABELA 8- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO (D), SEGUNDO OS TAMANHOS AMOSTRAIS

	Tamanho amostral (n)		
	3	10	15
β	A ⁽¹⁾	B	A
γ	A	A	B

⁽¹⁾ Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

FIGURA 16 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DAS CONCHAS DE BIVALVES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO E COM TAMANHOS AMOSTRAIS DIFERENTES. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

FIGURA 17 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DA VELOCIDADE DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALVES SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO DE ACORDO COM O TAMANHO AMOSTRAL. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A VELOCIDADE DE DECAIMENTO É AQUELA CALCULADA DE ACORDO COM DETALHAMENTO NO ITEM "ANÁLISE ESTATÍSTICA"

Observando-se a tabela 7, que resume os dados estatísticos obtidos, é notável que: a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 , e b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes, pois temos Betas diferentes. Com relação aos valores de β , 3 não difere de 15 e estes diferem do tratamento 10. Por outro lado, os valores de γ mostram que 3 e 10 não diferem e estes diferem de 15.

A fim de optar por um dos três tamanhos amostrais testados foi observado também o comportamento da velocidade instantânea que é expressa pela fórmula já especificada no item 3.3, onde esta é função de valores de β , γ e valores de x (tempo)(veja gráfico na figura 17). Portanto, para valores de x (tempo) próximos a 0 ou para valores maiores que 20, apesar de existir diferença entre os valores de β e γ , esta diferença não é refletida na velocidade instantânea de decaimento (veja figura 16). No entanto, para intervalos entre 1 e 15 esta diferença é mais acentuada.

Assim sendo, analisando-se a velocidade de decaimento inicial (tempo 0) e por volta do tempo 20 é possível observar que a diferença na velocidade de decaimento para tamanho amostral 3 e 10 é semelhante. Isso faz com que qualquer um destes dois tamanhos amostrais (3 e 10) possa ser empregado. Tanto utilizando-se o tamanho amostral de 10, quanto de 3 conchas, os resultados finais serão semelhantes. Assim, foi estabelecido, que será utilizado como tamanho amostral o total de 10 conchas e que no caso de material escasso (e.g. braquiópodes de determinada classe de tamanho ou de qualquer classe tafonômica) a quantidade de 3 espécimes será empregada.

4. EXPERIMENTOS PROPOSTOS

"A causa está oculta, mas o resultado é conhecido"

OVÍDIO

Todos os experimentos propostos estão incluídos no quadro 1, onde são expostos também os objetivos específicos. Os detalhes de cada experimento realizado, bem como os tratamentos para cada um deles fazem parte do quadro 10.

QUADRO 10- EXPERIMENTOS REALIZADOS E SEUS RESPECTIVOS TRATAMENTOS

Experimento	Tratamento	Táxon e Tamanho Amostral	Tambor (dimensões)	Sedimento	Água	Rotação	Número de horas no tambor	Repetições	OBS
1 (Braquiópode versus Bivalve)	1	Bivalve <i>Mytilus edulis</i> (3 conchas)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	Classificação segundo Kidwell & Brenchley (1996): composição orgânica alta (veja item 4.4.1)
	2	Bivalve <i>Anomalocardia brasiliiana</i> (3 conchas)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	Classificação segundo Kidwell & Brenchley (1996): composição orgânica baixa (veja item 4.4.1)
	3	Bivalve <i>Anadara brasiliiana</i> (3 conchas)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	Classificação segundo Kidwell & Brenchley (1996): composição orgânica baixa (veja item 4.4.1)
	4	Bivalve <i>Pinna</i> sp. (3 conchas)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	1	Classificação segundo Kidwell & Brenchley (1996): composição orgânica muito alta (veja item 4.4.1)
	5	Braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> (3 conchas)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	Classificação segundo Kidwell & Brenchley (1996): composição orgânica alta (veja item 4.4.1)

continua

continuação

QUADRO 10- EXPERIMENTOS REALIZADOS E SEUS RESPECTIVOS TRATAMENTOS

2 (Valva dorsal versus ventral)	1	Braquiópode <i>Bouchardia</i> <i>rosea</i> (valva dorsal)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	
	2	Braquiópode <i>Bouchardia</i> <i>rosea</i> (valva ventral)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	
3 Valva ventral (tamanhos diferentes)	1	Braquiópode <i>Bouchardia</i> <i>rosea</i> (valva ventral pequena até 1cm)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	
	2	Braquiópode <i>Bouchardia</i> <i>rosea</i> (valva ventral média entre 1 e 1,5cm)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	
	3	Braquiópode <i>Bouchardia</i> <i>rosea</i> (valva ventral grande ≥ 1,5cm)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	1	

continua

conclusão

QUADRO 10- EXPERIMENTOS REALIZADOS E SEUS RESPECTIVOS TRATAMENTOS

4 Valva incrustada	1	Braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> (valva ventral incrustada)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	1	
	2	Braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> (valva ventral sem sinais de incrustação)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	2	
5 Valva bioerodida	1	Braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> (valva ventral bioerodida)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	1	
	2	Braquiópode <i>Bouchardia rosea</i> (valva ventral sem sinais de bioerosão)	15cm de diâmetro e 27cm de comprimento	500g de areia média	250ml de água salinidade 1,023, pH 8	60rpm	100	1	

4.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO: APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA

4.1.1. Resistência comparativa de conchas de bivalves e braquiópodes

A resistência mecânica das conchas de bivalves e, algumas vezes, de braquiópodes são analisadas comumente a partir de experimentos que avaliam a força de compressão máxima necessária para quebrar uma concha (ROY *et al.*, 1994), ou seja, o poder de resistência física de uma concha à força ou peso (tensão) (ALEXANDER, 1989). Este tipo de experimento demonstra a habilidade das valvas de resistir à força, em um único ponto (COLLINS, 1986), simulando em laboratório situações em que as valvas sofrem fortes colisões com objetos rígidos resultantes da ação de ondas (*e.g.*, seixos) (RAFFAELLI, 1978), ação de predadores ou pressão do sedimento quando já soterradas, produzindo assim padrões de fratura, de acordo com algumas variáveis, que serão discutidas mais adiante.

De acordo com KAESLER *et al.* (1993), utilizar a medida de resistência das valvas através de emprego de força em um único ponto (compressão) não significa que este seja o único agente na natureza responsável pela perda tafonômica (tendenciamento) das valvas ou parte destas (veja SIMÕES & KOWALEWSKI, 2002) e carapaças no sedimento, muitos outros agentes, não especificados pelos autores, certamente tem seu papel. Porém, o cálculo da resistência através de compressão é utilizado por ser uma medida conveniente da resistência da valva e sua habilidade de resistir a estes agentes de destruição (KAESLER *et al.*, 1993). A grande vantagem da utilização deste procedimento refere-se à simplicidade do método (ZUSCHIN & STANTON, 2001) e à rapidez de aquisição dos dados e não necessariamente ao fato deste método refletir os processos da natureza que realmente levam ao tendenciamento na preservação de valvas no registro paleontológico (*e.g.*, abrasão). De acordo com autores que empregaram o método (TAYLOR & LAYMAN, 1972; CURREY & TAYLOR, 1974; WAINWRIGHT *et al.*, 1982; ALEXANDER, 1989, 1990a, 1990b; LABARBERA & MERZ, 1992; GLOVER & KIDWELL, 1993; KAESLER *et al.*, 1993; ROY *et al.*, 1994; MILLER & LABARBERA, 1995; CLARK II, 1999), a resistência da concha é função de variáveis morfológicas, como o tamanho e a ornamentação, a espessura, a forma, a massa, a microestrutura e a matriz orgânica, além de variáveis tafonômicas como, alteração da superfície da concha, presença de marcas de predação e degradação progressiva do esqueleto e da matriz orgânica.

Por outro lado, os experimentos que utilizam o tambor tafonômico reproduzem, em laboratório, ambientes de alta energia que, na natureza, são responsáveis pela perda gradual de massa dos organismos o que pode levar ao tendenciamento no registro paleontológico. De acordo com KUENEN (1956), os experimentos utilizando-se tambores em estudos sedimentológicos demonstraram que a abrasão sofrida pela areia durante o processo de tamboreamento realmente reproduz o ambiente natural.

Desta maneira, os resultados já existentes, extraídos de experimentos que empregam a metodologia de compressão da concha e medida da força de resistência são os únicos dados existentes para conchas de bivalves de diversas composições, sendo raros para braquiópodes. Assim, os experimentos que utilizam o tambor tafonômico podem trazer informações sobre o comportamento de conchas de bivalves de diversas composições e de braquiópodes articulados (*Rhynchonelliformea*) viventes frente a processos de alta energia que são simulados em laboratório. Os resultados obtidos com o tambor tafonômico podem ser comparados com aqueles já existentes para força de compressão, visando também verificar se os dois tipos de resistência medidas pelos métodos apresentam resultados qualitativamente semelhantes (e.g., padrão de fratura).

Para que pudessem ser realizados os experimentos que envolvessem as análises de desgaste diferencial em concha de bivalves e braquiópodes foram selecionadas quatro espécies de bivalves e uma de braquiópode (*Rhynchonelliformea*). A classificação dos restos esqueléticos empregada foi a proposta por KIDWELL & BRENCHLEY (1996), de acordo com sua composição orgânica, e que está representada no quadro 11.

A composição orgânica, principalmente em moluscos, refere-se a matriz orgânica que apresenta-se em camadas e que protegem a concha contra alterações externas (CLARK II, 1999). As conchas de bivalves são compostas por 2 fases, uma de material carbonático (calcita ou aragonita) e outra de matriz proteica e que ocorrem em camadas discretas e podem estar relacionadas ao modo de vida do organismo. Estas fases podem ser arranjadas em várias disposições.

O emprego da classificação de KIDWELL & BRENCHLEY (1996) justifica-se pelo caráter amplo, simplificado, levando em consideração também classificações anteriores (e.g., JOPE, 1965; KENNEDY *et al.*, 1970; TAYLOR & LAYMAN, 1972; TAYLOR *et al.*, 1969, 1973; CARTER, 1990a, 1990b; WILLIAMS & ROWELL, 1965; WILLIAMS, 1990; EMIG, 1990). Esta compilação torna-se importante uma vez que

as informações disponíveis na literatura apresentavam-se desencontradas, pois cada um dos autores citados anteriormente empregava uma classificação distinta, dificultando a escolha de apenas uma delas dentre todas aquelas existentes.

A classificação de KIDWELL & BRENCHLEY (1996) enfatiza a importância da quantidade de matéria orgânica, por acreditarem que a causa do desgaste diferencial entre organismos recai sobre a quantidade de matéria orgânica que o mesmo apresenta.

Esta ênfase deve-se, segundo os autores, ao fato de que estudos atualísticos demonstraram que conchas com microestrutura composta por grande quantidade de matéria orgânica se desintegram mais rapidamente. Por outro lado, conchas com microestruturas com baixa porcentagem de matéria orgânica se desintegram mais lentamente e fazem parte dos organismos que pertencem a fauna moderna (veja SEPKOSKI, 1981 para conceito de fauna moderna).

Observando-se a classificação de KIDWELL & BRENCHLEY (1996), de acordo com a porcentagem de matéria orgânica da carapaça e os argumentos expostos, optou-se pela utilização das seguintes espécies nos experimentos relacionados a comparação da resistência de conchas de bivalves e braquiópode articulado (Rhynchonelliformea):

- a) bivalve *Mytilus edulis*: composição orgânica alta;
- b) bivalve *Anadara brasiliiana*: composição orgânica baixa;
- c) bivalve *Anomalocardia brasiliiana*: composição orgânica baixa;
- d) bivalve *Atrina* sp.: composição orgânica muito alta;
- e) braquiópode articulado *Bouchardia rosea*: composição orgânica alta.

Todos os valores estimados obtidos estão listados na tabela 9.

O gráfico que ilustra o comportamento de decaimento, de acordo com os bivalves e braquiópodes utilizados e a porcentagem de material original está incluído na figura 18.

De acordo com o tratamento estatístico de regressão não-linear eleito (veja item 3.3.4), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 10. Nesta tabela, quando os parâmetros β e γ são seguidos de mesma letra entre os tratamentos, não há diferença significativa (veja nota de rodapé da tabela).

TABELA 9- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO TÁXON E ESPÉCIE UTILIZADA

Concha (bivalve ou braquiópode)	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
<i>Anadara brasiliiana</i>	-0,2631	0,2539	0,00217	94
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	-0,2333	0,3414	0,000588	99
<i>Mytilus edulis</i>	-0,2941	0,2740	0,00219	96
<i>Atrina</i> sp.	-0,3901	0,2420	0,00065	99
<i>Bouchardia rosea</i>	0,40056	0,2460	0,00512	96

TABELA 10- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO SEGUNDO FILO E ESPÉCIE UTILIZADA

Tratamentos (conchas bivalves e braquiópodes)					
	<i>Anadara brasiliiana</i>	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Atrina</i> sp.	<i>Bouchardia rosea</i>
β	A ⁽¹⁾	B	C	D	D
γ	A	B	C	D	D

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

QUADRO 11- COMPOSIÇÃO MICROESTRUTURAL DE RESTOS BIOCLÁSTICOS DE MACROINVERTEBRADOS, SEGUNDO KIDWELL & BRENCHLEY (1996), COMBINADA COM A PORCENTAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA INTERCRISTALINA E SEU ARRANJO ESTRUTURAL

Composição da concha	% orgânica	Grupos principais
<u>Orgânica muito alta</u> -Camadas orgânicas e minerais interlamina- Frequentemente as camadas minerais apresentam microestrutura calcítica prismática e a quantidade de matéria orgânica entre as camadas é alta.	40-50%	Braquiópodes lingulídeos, trilobitas e alguns bivalves pinídeos.
<u>Orgânica alta</u> -Nacarada (aragonítica): apresenta unidades poligonais ou arredondadas que estão dispostas paralelamente à superfície de deposição. - Prismática simples (aragonítica ou calcítica): unidades em forma de prisma divergem em direção a uma mesma superfície de deposição. -Segunda camada da concha em braquiópodes apresenta fibras calcíticas	0,7-5,3% 1,5-5%	Nuculídeos, mitilídeos, pteriáceos, modiomorfóides, unionídeos, trigoniídeos, foladomídeos, maioria dos pandoráceos e alguns bivalves poromídeos; alguns arqueogastrópodes; amonóides, nautilóides e cefalópodes belemnóides. Braquiópodes pontuados, impontuados e pseudopontuados com conchas apresentando duas camadas (craniáceos, ortídeos, estrofomenídeos, rhinconelídeos e alguns terebratulídeos).
<u>Orgânica baixa</u> -Homogênea (granular aragonítico): microestrutura homogênea com unidades geralmente maiores que 5 micrômetros em diâmetro -Prismática composta (Aragonítica): unidades em forma de prismas apresentam estrutura com subunidades partindo para 3 dimensões a partir do centro -Lamelar-cruzada (aragonítica): agregação adjacente de subunidades paralelas, alongadas, apresentando apenas duas direções preferenciais em relação à margem da concha. -Lamelar-cruzada complexa (aragonítica): variação da estrutura lamelar cruzada apresentando apenas algumas subunidades alongadas. -Foliada calcítica: as unidades consistem em lâminas alongadas paralelas mergulhando sobre grandes porções da superfície de deposição, apresentando apenas uma única direção preferencial.	0,0-0,6%	Bivalves arcóides, pectinídeos, anomídeos, limáceos, ostreáceos, alguns hipuritídeos, veneróides e mióides; gastrópodes patellídeos; todos cenogastrópodes.
-Prismática calcítica: camada terciária em braquiópodes	≤ 1%	Braquiópodes pentamerídeos, esperiferídeos, alguns terebratulídeos.
-MgC	≤ 1%	Equinodermas.
<u>Orgânica mista</u> -Camadas com composição orgânica baixa (aragonítica) e camadas altamente orgânicas (calcíticas) externas		Alguns bivalves hippuritídeos, alguns arqueogastrópodes.

Observando-se a tabela 9, que resume os dados estatísticos obtidos, é notável que: a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 , e b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes, pois temos Betas diferentes. Com relação aos valores de Beta e Gama, todos os tratamentos diferem entre si.

Assim, de acordo com todos os resultados obtidos e expostos acima, é possível verificar que em todos os casos, o comportamento de decaimento de massa das valvas submetidas ao tambor tafonômico foi diferente, exceto quando compara-se o braquiópode *Bouchardia rosea* e o bivalve *Atrina* sp.

FIGURA 18 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DAS CONCHAS DE BIVALVES E BRAQUIÓPODES COM DIFERENTES QUANTIDADES DE MATÉRIA ORGÂNICA NA COMPOSIÇÃO DA CONCHA, SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

De acordo com o exposto anteriormente no item 3.3 (Metodologia Estatística), a Análise de Sobrevivência também foi aplicada e os resultados obtidos estão incluídos na tabela 11, abaixo. Vale lembrar aqui que os organismos utilizados neste experimento e sua composição microestrutural levam em conta principalmente a quantidade de matéria orgânica presente na carapaça, de acordo com KIDWELL & BRENCHLEY (1996):

- a) bivalve *Mytilus edulis*: composição orgânica alta;
- b) bivalve *Anadara brasiliiana*: composição orgânica baixa;
- c) bivalve *Anomalocardia brasiliiana*: composição orgânica baixa;
- d) bivalve *Atrina* sp: composição orgânica muito alta;
- e) braquiópode articulado *Bouchardia rosea*: composição orgânica alta.

TABELA 11- RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

Organismo	Tempo médio para alcançar 50% de perda de massa (em horas)	Erro Padrão
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	85	5
<i>Anadara brasiliiana</i>	100 (censura)	0
<i>Mytilus edulis</i>	100 (censura)	0
<i>Atrina</i> sp	60	0
<i>Bouchardia rosea</i>	45	5

De acordo com o quadro acima somente os organismos *Anomalocardia brasiliiana*, *Atrina* sp e *Bouchardia rosea*, atingiram 50% de perda de massa durante os experimentos. Por outro lado *Anadara brasiliiana* e *Mytilus edulis* não chegaram a perder 50% de massa antes de 100 horas de tamboreamento, tendo sido os dados considerados censurados.

O teste de Log-Rank, que detecta diferença entre curvas de desgaste de material apresenta $p=0,0415$, indicando diferença entre os tratamentos. A figura 19 apresenta os resultados observados.

Assim, este teste reafirma os resultados obtidos através da Análise de regressão não-linear e mais uma vez fica claro que o decaimento de massa de valvas de braquiópodes e bivalves não parece estar associado ao conteúdo de matéria orgânica.

FIGURA 19- ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA PARA OS GRUPOS ANALISADOS (CONCHAS DE BIVALVES E BRAQUIÓPODES)

Desta maneira, se a quantidade de matéria orgânica de uma concha fosse fator decisivo no comportamento de decaimento de massa teríamos as conchas pertencentes ao mesmo grupo, com comportamentos semelhantes e aquelas que fazem parte de grupos distintos, com comportamentos diferentes. Porém, isto não ocorre, uma vez que, conforme citado anteriormente, *Bouchardia rosea* e *Atrina sp.* pertencentes a grupos distintos, mas apresentam comportamento de decaimento semelhantes e *Mytilus edulis* e *Bouchardia rosea*, que estão incluídas no mesmo grupo, de acordo com a quantidade de matéria orgânica apresentam comportamento diferente.

Assim, de acordo com os resultados obtidos e as análises estatísticas empregadas, fica claro que a quantidade de matéria orgânica não parece estar exercendo influência sobre o decaimento de massa das conchas. A explicação para tal comportamento, independente da composição de matéria orgânica, deve recair sobre outros fatores intrínsecos (relacionados à concha), como espessura, composição, microestrutura e microarquitetura. É provável também, que fatores

extrínsecos, ou seja, aqueles dependentes do meio, como taxa de sedimentação, energia, oxigenação, presença de predadores, dentre outros, possam na natureza, também exercer influência na preservação de organismos com carapaça com quantidade maior ou menor de matéria orgânica. Vale lembrar, que neste experimento realizado em laboratório com o tambor tafonômico, os fatores extrínsecos não são avaliados, pois estes são resultado da influência do ambiente externo.

Assim, neste caso, a atenção para a explicação relacionada à relação decaimento de massa/quantidade de matéria orgânica do organismo, ficará restrita aos fatores intrínsecos da concha. Dentre estes (fatores intrínsecos) estão também a composição mineralógica da concha, espessura e forma das valvas.

As conchas de bivalves têm sua mineralogia basicamente constituída por carbonato de cálcio em duas formas mais comuns (aragonita e calcita), enquanto as conchas de braquiópodes articulados (*Rhynchonelliformea*) são compostas por calcita. Em bivalves, quando ocorre a presença de aragonita e calcita, estas se apresentam em camadas distintas.

No caso em estudo, as conchas de *Anadara brasiliiana*, *Anomalocardia brasiliiana*, *Atrina* sp. são compostas por aragonita, enquanto que *Mytilus edulis* e *Bouchardia rosea* apresentam em sua composição a calcita. Conhecendo-se estas informações e observando-se os resultados obtidos neste capítulo é possível também verificarmos que a composição mineralógica, isoladamente, não parece estar influenciando a perda de massa durante o processo de tamboreamento, uma vez que as conchas com composição mineralógica iguais não estão apresentando curva de decaimento de massa estatisticamente similares. Semelhantemente, *Bouchardia rosea* e *Atrina* sp, que apresentam composição mineralógica distintas (calcita e aragonita respectivamente) possuem comportamento semelhantes quando observa-se o decaimento de massa ao final do processo de tamboreamento.

É interessante também notar na figura 19, que através da Análise de Sobrevivência é possível identificar qual dos organismos possui maior sobrevivência do que outros, ou seja, mesmo após 100 horas não perderam 50% de sua massa original. Neste caso estão inseridos os bivalves *Anadara brasiliiana* e *Mytilus edulis*, que também não apresentam composição mineralógica semelhantes (aragonítica e calcítica, respectivamente). Desta maneira, é possível supor que tanto a quantidade de matéria orgânica quanto a composição mineralógica das conchas em estudo não

parecem estar controlando o comportamento de decaimento frente a abrasão produzida pelo tambor tafonômico.

A observação relacionada a mineralogia das conchas faz parte das conclusões de CHAVE (1964), que também através de experimentos utilizando o tambor verificou que a composição mineralógica dos organismos não exerce influência sobre a durabilidade física. Por outro lado, CHAVE (1964) admite que a composição orgânica possui papel importante na resistência das conchas, o que, de acordo com os resultados obtidos aqui, não parece ser verdadeiro.

A ausência de relação entre composição mineralógica e resistência das conchas principalmente de bivalves, observada através dos experimentos relatados no presente documento, estão em oposição às conclusões de KIDWELL & BRENCHLEY (1996), que admitem que as conchas calcíticas, como a dos bivalves da infauna (Veneroida), são mais resistentes à fragmentação e a abrasão do que as conchas aragoníticas, típicas do Cenozóico.

É oportuno observar que estes resultados obtidos aqui podem trazer informações importantes para o estudo de mistura temporal em acumulações tanto do Paleozóico quanto do Cenozóico, pois de acordo com KIDWELL & BRENCHLEY (1996), o grau de mistura temporal das concentrações fossilíferas do Paleozóico não é obrigatoriamente, o mesmo das concentrações do Mesozóico e Cenozóico, simplesmente porque as concentrações fossilíferas não são compostas pelos mesmos bioclastos, em termos de sua ecologia, mineralogia e microestrutura. E nos experimentos realizados aqui foi possível observar que a composição mineralógica e a quantidade de matéria orgânica associada à microestrutura parecem não exercem clara influência sobre a resistência à abrasão.

Esses dados indicam também que o modelo tafonômico recíproco de KOWALEWSKI (1997) precisa ser revisto, uma vez que parece não haver relação direta entre a mineralogia e microestrutura dos bioclastos e sua durabilidade.

Outro fator importante que pode ser, de alguma maneira responsável pela diferença no comportamento do decaimento de massa em conchas submetidas ao processo de abrasão é a forma da concha e sua espessura.

Na figura 20, abaixo, é possível observar a forma das conchas submetidas ao processo de tamboreamento. O objetivo desta observação está na análise da forma das conchas e não em seu tamanho, uma vez que a influência do tamanho no processo de abrasão será discutida mais adiante no capítulo 4.1.3.

FIGURA 20- CONCHAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS ONDE FOI UTILIZADO O TAMBOR TAFONÔMICO NO ESTUDO DA ABRASÃO. EM A *ANOMALOCARDIA BRASILIANA*, EM B *ANADARA BRASILIANA*, EM C *ATRINA* sp., EM D *MYTILUS EDULIS* E EM E *BOUCHARDIA ROSEA*

É interessante observar na figura 20, que tanto *Anadara brasiliiana* quanto *Anomalocardia brasiliiana*, apresentam formas externas semelhantes e possuem a mesma composição mineralógica, o que poderia indicar comportamentos de decaimento de massa ao longo do processo do tamboreamento estatisticamente semelhantes. Porém, isto não ocorre, o que pode ser um indício de que a forma dos organismos não aparenta exercer papel importante na perda de massa por abrasão.

Adicionalmente, futuramente, fatores como a densidade da concha também poderá ser testado, e podem também exercer papel importante no potencial de preservação (veja exemplo de possível influência da densidade no capítulo 4.1.3.).

Finalmente, é importante ressaltarmos que os fatores extrínsecos, ou seja, aqueles dependentes do meio, como taxa de sedimentação, energia, oxigenação, presença de predadores e dissolução da concha, tem também papel importante na destruição de restos esqueléticos de organismos. Porém estes fatores não podem ser testados através da técnica empregada aqui (tambor tafonômico), cabendo assim um outro tipo de estudo a fim de investigar estas variáveis relacionadas ao meio.

4.1.2. *Bouchardia rosea*: resistência de valvas dorsais e ventrais

No estudo de concentrações fossilíferas e acumulações recentes que incluem braquiópodes é comum observar que, em muitos casos, a proporção de valvas ventrais e dorsais é distinta (NOBLE & LOGAN, 1981; HOLLAND, 1988; ALEXANDER, 1989; 1990a, 1990b; VELBEL & BRANDT, 1989; BRETT & BORDEAUX, 1990; DALEY, 1993; SIMÕES & KOWALEWSKI, 2003). O entendimento adequado deste tendenciamento reveste-se de grande importância, uma vez que informações relevantes podem ser extraídas desta análise e estão associadas à reconstrução da história de transporte de elementos pertencentes a uma assembléia fóssil (BOUCOT *et al.*, 1958) e podem, ainda, levar à recuperação de informações paleoecológicas relacionadas aos táxons incluídos em uma dada concentração fossilífera (VELBEL & BRANDT, 1989). Vale lembrar que VELBEL & BRANDT (1989) ressaltam ainda que a distinção entre assembléias autóctones e alóctones, com base na proporção de valvas ventrais e dorsais pode levar a uma interpretação paleoecológica equivocada, pois valvas dorsais podem ser destruídas preferencialmente em relação às valvas ventrais, sem transporte significativo até o local de soterramento.

A explicação mais aceita para a preservação diferencial de valvas ventrais e dorsais está relacionada à resistência específica de cada uma das valvas à fragmentação (HOLLAND, 1988; VELBEL & BRANDT, 1989; ALEXANDER, 1989; ALEXANDER, 1990a, 1990b; BRETT & BOURDEAUX, 1990; DALEY, 1993). Em alguns casos, a diferença na espessura das valvas é utilizada para justificar a preservação diferencial devido a fragilidade das valvas menos espessas (HOLLAND, 1988; ALEXANDER, 1990b).

Em geral, admite-se que a valva ventral é mais resistente, sendo que as assembléias dominadas por valvas ventrais são mais comuns do que aquelas dominadas pelas valvas dorsais. Desta maneira, é aceitável supor que as valvas dorsais são preferencialmente vulneráveis a fragmentação por processos mecânicos (VELBEL & BRANDT, 1989). HOLLAND (1988) acrescenta ainda que, além da preservação diferencial estar, provavelmente, relacionada a espessura das valvas, ocorre também modo de fragmentação diferencial, uma vez que as valvas dorsais quando quebradas são transformadas em pequenos fragmentos irreconhecíveis, enquanto que os fragmentos de valvas ventrais podem ser mais susceptíveis a

identificação. Além disso, outros processos como bioerosão e dissolução podem também destruir preferencialmente as valvas mais finas (HOLLAND, 1988).

SIMÕES (inédito c) realizou observações em laboratório relacionadas à dissolução de valvas ventrais e dorsais de *Bouchardia rosea* e revelou que valvas ventrais resistiram menos ao processo de dissolução em ácido (4%) do que as valvas braquiais. O autor ressalta que esta pode ser a razão para a concentração de grande quantidade de valvas braquiais em substrato com teor de matéria orgânica em torno de 7%, onde estas valvas podem estar submetidas a condições de pH ácido.

Além disso, DALEY (1993) observa também que as valvas dorsais apresentam um comportamento de fragmentação na qual o produto refere-se a um número significativamente maior de fragmentos. Desta maneira, as valvas ventrais são geralmente encontradas intactas, enquanto que as valvas dorsais fragmentam-se em cinco ou mais pedaços. De acordo com o autor, esta diferença leva a redução do potencial de preservação de valvas dorsais.

Por outro lado, apesar de bastante aceita a hipótese de que a preservação diferencial está associada à resistência de cada uma das valvas à abrasão (ventrais e dorsais), é importante também levar em conta que BOUCOT (1981) supõe que a razão desproporcional de valvas ventrais e dorsais é produto do transporte diferencial de uma das valvas. Essa suposição encontra suporte nas observações de SIMÕES & KOWALEWSKI (2003), para conchas de braquiópodes articulados (Rhynchonelliformea) *Bouchardia rosea*. ALEXANDER (1990a, 1990b) ressalta ainda que a resistência comparativa de valvas ventrais e dorsais frente a impactos ou compactação de sedimentos vem recebendo pouca atenção no estudo de braquiópodes Paleozóicos, talvez devido aos processos diagenéticos que atuaram na concha e impedem a verificação da resistência através da tafonomia experimental.

Assim, compreendendo as dificuldades existentes, para que o tendenciamento na preservação diferencial de valvas ventrais e dorsais possa ser compreendido é necessário que, na medida do possível, os processos bioestratinômicos que atuam na seleção destes organismos possam ser avaliados através de simulações em laboratório utilizando-se braquiópodes vivos.

Os tratamentos descritos no quadro 12 foram utilizados para verificar a possibilidade de preservação diferencial de valvas ventrais e dorsais do braquiópode

Bouchardia rosea e, de posse dos resultados, estes foram analisados estatisticamente, de acordo com o item 3.3.4.

A primeira análise estatística, conforme especificado anteriormente, envolveu a regressão não-linear, onde os valores de β e γ , estimados por simulação, estão listados na tabela 12.

O gráfico que ilustra o comportamento de decaimento de acordo com o tipo de valva (ventral ou dorsal) utilizada está ilustrado na figura 21.

TABELA 12- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO TÁXON E ESPÉCIE UTILIZADA

Concha de braquiópode	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
Valva ventral	-0,4056	0,2460	0,00512	96,30
Valva dorsal	-0,3404	0,2934	0,00174	98,91

Observando-se a tabela 12, que resume os dados estatísticos obtidos, é notável que: (a) ocorre boa qualidade de ajuste dos modelos para os dois tratamentos, como pode ser observado pela baixa variância residual e elevado R^2 , e (b) para um mesmo tempo, as velocidades instantâneas de decréscimo do material original são diferentes, pois temos valores de β diferentes. Com relação aos valores de β e γ , todos os tratamentos diferem entre si (veja tabela 13 abaixo).

TABELA 13- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO SEGUNDO TIPO DE VALVA (DORSAL OU VENTRAL)

	Tratamentos (tipo de valva)	
	Valva dorsal	Valva ventral
	A ⁽¹⁾	B
β		
γ	A	B

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

FIGURA 21 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DE VALVAS VENTRAIS E DORSAIS DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA*, SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

Apesar dos resultados expostos acima demonstrarem que o comportamento de decaimento de massa das valvas ventrais e dorsais é estatisticamente diferente, é notável que a porcentagem de redução final de massa (no tempo 100) é bastante similar para os dois tratamentos. Ou seja, para valvas ventrais a redução foi de 36% enquanto que para as valvas dorsais foi de 34%. Desta maneira, mesmo levando-se em conta que ocorre um comportamento distinto de decaimento de massa em cada caso, pode-se concluir que o produto final de cada um dos tratamentos é bastante semelhante. Além da semelhança na perda de massa, em nenhum dos casos, nem em valvas dorsais, nem ventrais (veja figura 22) ocorre fragmentação, apenas o arredondamento das valvas e, no caso das valvas ventrais, inicia-se a abertura de um pequeno orifício na região mais fina da valva, devido a abrasão, conforme também relatado por SIMÕES & KOWALEWSKI (2003) em valvas de *Bouchardia rosea* atuais coletadas na baía de Ubatuba (compare na figura 23). É interessante notar também que fica claro, na figura 23, que o tambor tafonômico simula as alterações das valvas por abrasão na natureza, por apresentarem o mesmo tipo de alteração após exposição e retrabalhamento ou no caso do tambor, após algumas horas de tamboreamento.

Desta forma, levando-se em consideração a similaridade do produto final das valvas, tanto ventrais quanto dorsais, após 100 horas de tamboreamento, é possível observar que apesar de haver diferença estatística no padrão de decaimento de massa entre as valvas, o produto final, representado em porcentagem de material original, apresenta-se similar, sugerindo que estas valvas não serão preservadas de maneira diferencial no registro paleontológico.

FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DAS VALVAS VENTRAIS E DORSAIS DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA* APÓS COLETA E SELEÇÃO, ALÉM DE ESTADO DE PRESERVAÇÃO DEPOIS DE 100 HORAS DE PROCESSO DE TAMBOREAMENTO

FIGURA 23- ABRASÃO DE VALVAS VENTRAIS DE *BOUCHARDIA ROSEA*. EM A VALVAS RESULTANTES DO PROCESSO DE ABRASÃO ATRAVÉS DO TAMBOR TAFONÔMICO, APÓS 100 HORAS DE TAMBOREAMENTO. EM B VALVAS PROVENIENTES DA PRAIA DE ITAMAMBUCA, UBATUBA (SIMÕES & KOWALEWSKI, 2003). NOTE AS SETAS EM COR LARANJA QUE INDICAM A PRESENÇA DE PEQUENAS ABERTURAS NA REGIÃO CENTRAL DA VALVA, DEMOSTRANDO A SIMILARIDADE ENTRE O PROCESSO DE ABRASÃO QUE OCORRE DURANTE O PROCESSO DE TAMBOREAMENTO E O PROCESSO DE ABRASÃO QUE OCORRE NA NATUREZA

A partir do segundo tipo de análise estatística empregada, a Análise de Sobrevivência, detalhada no item 3.3.5, obteve-se os seguintes resultados, a seguir demonstrados e incluídos na tabela 14.

As valvas utilizadas foram: valvas ventrais e dorsais do braquiópode *Bouchardia rosea*.

TABELA 14- RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

Organismo	Tempo médio para alcançar 50% de perda de massa (em horas)	ERRO PADRÃO
Valva ventral de Bouchardia rosea	45	5
Valva dorsal de Bouchardia rosea	50	0

De acordo com o quadro acima os dois tipos de valvas (ventral e dorsal), atingiram 50% de perda de massa original, variando apenas o tempo necessário para alcançar este percentual.

O teste de Log-Rank, que detecta se há diferença entre curvas de desgaste de material apresenta $p=0,3173$, demonstrando que não há diferença entre os tratamentos (utilização de valvas ventrais e dorsais). Os resultados podem ser observados na figura 24.

FIGURA 24- ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA PARA OS DOIS GRUPOS ANALISADOS (VALVAS DORSAIS E VENTRAIS)

As análises expostas acima demonstram que a abrasão diferencial nas valvas ventrais e dorsais de *Bouchardia rosea* não parece ser a causa principal de tendenciamento no registro paleontológico, discordando de praticamente todas as análises de preservação diferencial para valvas de braquiópodes, recaindo, assim, a explicação para tal tendenciamento possivelmente sobre o transporte diferencial de valvas conforme já tratado por SIMÕES & KOWALEWSKI (2003).

De acordo com SIMÕES & KOWALEWSKI (2003), que utilizaram o braquiópode *Bouchardia rosea* em suas análises, fica evidente a diferença entre a quantidade de valvas pediculares e braquiaais encontradas em coleta na baía de Ubatuba, em favor de valvas ventrais (pediculares). Conforme comentado anteriormente, é comum observarmos o tendenciamento em favor de valvas pediculares, onde a explicação recai preferencialmente sobre a resistência diferencial das valvas, devido principalmente, à diferença na espessura.

No entanto, conforme relatado por SIMÕES & KOWALEWSKI (2003), a grande frequência de valvas ventrais ocorre apenas quando há a possibilidade e condições apropriadas ao transporte, que neste caso, seria diferencial (veja explicação mais

adiante). Os autores relatam ainda que em águas protegidas, a proporção de valvas ventrais/dorsais não é pronunciada, evidenciando novamente a possibilidade de transporte diferencial como causa do tendenciamento em relação a uma das valvas.

Recentemente, BISSARO JÚNIOR *et al.* (2003) demonstraram através de experiência em laboratório, que há uma diferença hidrodinâmica no comportamento de valvas ventrais e dorsais de *Bouchardia rosea*, reforçando ainda a idéia de transporte diferencial entre as valvas deste braquiópode. Os autores demonstraram, através de experimento, que a velocidade de decantação de valvas ventrais (pediculares) é menor do que de valvas dorsais, o que provavelmente indica que estas (ventrais) podem ser transportadas por distâncias maiores. Notaram ainda que acumulações modernas de conchas de *Bouchardia rosea* geradas em condições de águas rasas (depósitos de praia) exibem forte tendenciamento em favor de valvas ventrais (convexas). Para detalhes de experimento semelhante veja McKITTRICK (1987).

Assim, de acordo com observações de SIMÕES & KOWALEWSKI (2003), e apoiado pelos resultados aqui obtidos, nem todo tendenciamento a favor de uma das valvas (dorsal ou ventral) em braquiópodes deve ser atribuído somente à fragmentação diferencial, podendo estar associada ao transporte.

Por fim, ainda segundo SIMÕES & KOWALEWSKI (2003) a abrasão das valvas de braquiópodes, associada a razão entre valvas dorsais e ventrais pode ser útil na identificação do grau de tendenciamento através do transporte.

4.1.3. *Bouchardia rosea*: resistência de valvas de acordo com o tamanho

As valvas de braquiópodes presentes em uma acumulação, apresentam distribuição diferencial com relação ao tamanho, podendo estar presentes preferencialmente, elementos de uma determinada classe de tamanho (HALLAM, 1961; LOGAN & NOBLE, 1971; NOBLE *et al.*, 1976; WALKER & PARKER, 1976; LEE, 1978; NOBLE & LOGAN, 1981; CURRY, 1982; COLLINS, 1991; BITNER, 2002; KOWALEWSKI *et al.*, 2002; SIMÕES, inédito a; SIMÕES, inédito b).

As possíveis causas para o tendenciamento na distribuição das valvas de acordo com o tamanho são: a) dinâmica populacional (recrutamento, crescimento e grau de mortalidade), b) modo de vida, c) predação diferencial de acordo com o tamanho, d) destruição mecânica, e) seleção, f) dissolução química e g) aspectos diagenéticos. Além destes fatores, é importante lembrar que podem haver problemas relacionados à coleta e análise das informações, causando assim um tendenciamento artificial. THAYER (1975), por exemplo, alerta para o fato de que em acumulações recentes de braquiópodes, imprecisões no método de coleta, análise de dados e técnicas de estudo podem omitir a abundância de indivíduos pequenos (jovens), falseando o resultado final. Ainda, segundo o autor, as amostragens realizadas com o emprego de draga ou apresentando tamanho amostral pequeno (inadequado e insuficiente), podem levar a resultados imprecisos, alterando a interpretação final da acumulação.

A destruição mecânica é outra possível causa e pode ser analisada através da utilização do tambor tafonômico. Desta maneira, visando verificar a possível destruição mecânica diferencial entre valvas de braquiópodes de diferentes tamanhos, foram testados três grupos de valvas ventrais de *Bouchardia rosea*, determinados de acordo com o tamanho (quadro 10).

Estas classes de tamanho foram estabelecidas aleatoriamente, porém levando-se em consideração a disponibilidade de valvas de mesmo tamanho e a incidência destes tamanhos no conjunto de valvas coletadas. Desta maneira, admitindo-se que as valvas ventrais do braquiópode *Bouchardia rosea* apresentam-se em maior quantidade dentro do intervalo de 1 a 1,8cm, a primeira classe de tamanho escolhida para análise apresentava valva em média com 1,4cm de altura. A partir disto, duas outras classes de tamanho foram estabelecidas, uma englobando conchas de tamanho menor (aproximadamente 1cm de altura) e outra de tamanho maior

(aproximadamente 1,8cm de altura) do que aquela inicial, também presentes no conjunto de valvas coletadas.

Seguindo-se os procedimentos já descritos anteriormente, um grupo de indivíduos de cada classe de tamanho, foi levado ao tambor tafonômico separadamente e os resultados analisados estatisticamente ao final dos experimentos.

A primeira análise estatística está relacionada a Análise de Regressão não-linear, onde a tabela 15 resume os resultados estatísticos obtidos e o gráfico da figura 25 apresenta o comportamento de decaimento de cada uma das classes de tamanho, durante o processo de tamboreamento, de acordo com o tempo de duração do processo, medido em horas.

TABELA 15- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO O TAMANHO DA VALVA DE *BOUCHARDIA ROSEA*

Valva ventral de <i>Bouchardia rosea</i> (Classe de tamanho/altura)	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
Pequena (~ 1cm)	-0,3627	0,1846	0,00256	95
Média (~ 1,4cm)	-0,4056	0,2460	0,00512	96
Grande (~ 1,8cm)	-0,4252	0,2311	0,00600	95

De acordo com o tratamento estatístico eleito (veja item 3.3.4), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 16, abaixo.

TABELA 16- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO SEGUNDO CLASSE DE TAMANHO DA VALVA DE *BOUCHARDIA ROSEA*

Classe de tamanho/altura (valva de <i>Bouchardia rosea</i>)			
	Pequena (~ 1cm) A ⁽¹⁾	Média (~ 1,4cm) B	Grande (~ 1,8cm) B
β			
γ	A	B	B

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

Observando-se as tabelas apresentadas anteriormente, é notável que o ajuste dos modelos propostos é adequado, pois está associado a baixa variância residual e ao R^2 elevado. Desta maneira, tem-se que as classes de tamanho pequena e média apresentam comportamento de decaimento de massa semelhantes, pois os valores de beta e gama não diferem entre si. Nota-se também que o comportamento das valvas pertencentes a classe pequena difere de todas as outras demonstrando um comportamento distinto de todos os outros tratamentos.

FIGURA 25 - GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DE VALVAS VENTRAIS DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA* PERTENCENTES A TRÊS CLASSES DE TAMANHO (PEQUENA: ~1CM, MÉDIA: ~1,4CM E GRANDE: ~1,8CM), SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

O segundo tipo de análise estatística, que constitui da Análise de Sobrevivência (veja item 3.3.5), apresentou os seguintes resultados, abaixo expostos na tabela 17.

TABELA 17- RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

Organismo	Tempo médio para alcançar 50% de perda de massa (em horas)	Erro Padrão
<i>Valva ventral pequena de Bouchardia rosea (~ 1cm)</i>	100 (censura)	0
<i>Valva ventral média de Bouchardia rosea (~ 1,4cm)</i>	45	5
<i>Valva ventral grande de Bouchardia rosea (~ 1,8cm)</i>	40	0

De acordo com o quadro, dentre os tamanhos de valvas ventrais testadas, apenas a valva pequena apresenta maior grau de sobrevivência, sendo que apenas as valvas grandes e médias atingiram 50% de perda de massa antes de 100 horas de tamboreamento.

O teste de Log-Rank, que detecta há diferença entre curvas de desgaste de material apresenta $p=0,3173$, demonstrando que há diferença entre os tratamentos (utilização de valvas de tamanhos diferentes). A figura 26 ilustra os resultados encontrados.

FIGURA 26- ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA PARA OS GRUPOS ANALISADOS (VALVAS PEQUENAS, MÉDIAS E GRANDES)

Os dois tipos e testes estatísticos demonstraram o mesmo resultado, que as valvas pequenas perdem menos massa por abrasão, durante o processo de tamboreamento do que as médias e grandes

Este comportamento distinto, de decaimento de massa de partículas pequenas, em relação as maiores, é reconhecido também, através de experimentos relacionados a sedimentologia, onde a observação é relatada para partículas testadas, durante processos de tamboreamento (e.g., DAUBRÉE, 1879; KRUMBEIN, 1941). Para restos esqueléticos, o estudo do comportamento de decaimento de massa diferencial, de acordo com o tamanho ainda é raro. A maioria das observações relacionadas ao tendenciamento na acumulação de valvas de acordo com o tamanho estão associadas às análises de concentrações, tafocenoses e tanatocenoses, onde é observada, relatada e analisada a distribuição, de acordo com as classes de tamanho (e.g., NOBLE & LOGAN, 1981; WALKER & GOLDSTEIN, 1999; ZUSCHIN & STANTON, 2001).

Além disso, estudos experimentais prévios onde a redução da concha em macroinvertebrados (não necessariamente braquiópodes) é analisada (e.g., CHAVE, 1964; DRISCOLL, 1967, 1970; DRISCOLL & WELTIN, 1973; CUTLER, 1995;

DAVIES *et al.*, 1989), demonstraram que o potencial de preservação das valvas, de maneira geral, está associado além do tamanho à forma da concha, espessura, microestrutura e arquitetura.

Por outro lado, experimentos realizados em campo e em laboratório, em que foram utilizados bivalves e braquiópodes, também podem trazer informações importantes para o entendimento da preservação diferencial de valvas de acordo com o tamanho. Em laboratório, ALEXANDER (1990a, 199b) observou que a força necessária para fraturar as valvas de braquiópodes está mais relacionada a espessura da concha e provavelmente não ao seu tamanho. Do mesmo modo ZUSCHIN & STANTON (2001) observaram que para conchas de bivalves, o tamanho das valvas é comparativamente menos importante do que a espessura.

Ainda, as observações de campo de DRISCOLL (1970) revelaram que conchas de bivalves com superfície pequena, de acordo com a unidade de peso, são mais resistentes a abrasão do que aquelas com grande superfície por unidade de peso.

Considerando as observações expostas acima, nota-se que na presente análise, os resultados obtidos vão de encontro às conclusões de DRISCOLL (1970), que indicam como mais resistentes à abrasão, as conchas menores em relação as de maior tamanho.

Por outro lado, o motivo para o tendenciamento em favor de valvas pequenas pode estar relacionado à dissolução diferencial de acordo com o tamanho das valvas. FLESSA & BROWN (1983) descreveram, a partir de experimentos de dissolução de restos esqueléticos de invertebrados marinhos em laboratório, que restos esqueléticos com grande área em relação ao peso sofrem dissolução mais rapidamente do que aquelas com área pequena.

Assim, a alta frequência de indivíduos jovens em dadas acumulações, pode estar associada ao potencial de preservação diferencial de bioclastos de tamanho pequeno. Tal conclusão é compatível com o experimento realizado e descrito anteriormente, onde após 100 horas de tamboreamento, as conchas pequenas (~1cm) do braquiópode *Bouchardia rosea* reduziram-se a aproximadamente 67% do material original enquanto que as conchas incluídas nas classes de tamanho média (~ 1,4cm) e grande (~ 1,8cm) alcançaram perto de 40% da quantidade de material original pesada antes do início dos experimentos.

De acordo com estes resultados, as conchas pertencentes a classe de tamanho pequena seriam mais resistentes a abrasão, em ambiente de alta energia do que as médias e grandes.

Cabe ressaltar ainda que, conforme demonstrado por SIMÕES & KOWALEWSKI (2003) a presença não similar na razão de valvas pediculares e braquiais na acumulação estudada pode estar relacionada ao transporte diferencial. Tal discussão também pode ser interessante tratando-se da preservação diferencial em favor de valvas de tamanhos diferentes, onde apesar de sofrerem abrasão diferencial podem ser transportadas de maneira diferenciada devido ao tamanho e densidade, a partir do local de origem, originando concentrações apresentando distribuição unimodal de acordo com o tamanho. Cabe aqui uma investigação posterior a partir de concentrações de braquiópodes vivos, assim como vem sendo conduzida por SIMÕES (inédito c).

Desta maneira, apesar de aqui demonstrado, a partir dos experimentos concluídos, que as conchas de tamanho pequeno perdem menos massa do que as médias e grandes, durante o mesmo tempo de tamboreamento, esta não pode ser observada como a única explicação para a preservação diferencial em acumulações de braquiópodes de acordo com o tamanho. Outros fatores como transporte ou dissolução diferencial podem estar associados. Assim, vale ressaltar, que os experimentos aqui concluídos investigaram uma das possíveis variáveis associadas a preservação diferencial de valvas de tamanhos diferentes, a abrasão. Outras variáveis como dissolução, transporte, dinâmica populacional, além de aspectos diagenéticos também podem estar associadas a este tendenciamento, devendo ser investigadas quando uma acumulação de braquiópodes estiver sendo estudada.

4.1.4. *Bouchardia rosea*: resistência de valvas incrustadas e bioerosidas

De acordo com FLESSA & BROWN (1983), a simples presença de partes duras em um organismo não garante, necessariamente, sua preservação no registro fossilífero. A preservação dos restos esqueléticos está diretamente relacionada a: a) fatores ligados ao meio: energia, composição química da água, profundidade da lâmina de água; b) atividades biológicas: presença de organismos bioturbadores, incrustantes e produtores de bioerosão; c) fatores relacionados ao resto esquelético: composição, microestrutura e microarquitetura, além de aspectos ligados a ecologia do organismos vivo. Dentre todos os fatores mencionados acima, a incrustação e bioerosão são de grande importância, pois podem, provavelmente, aumentar (incrustação) ou reduzir (bioerosão) o potencial de preservação de um dado resto esquelético.

Alguns autores (e.g., CHAVE, 1964; BRETT & BOURDEUX, 1990) sugerem que os processos de incrustação e bioerosão são tafonomicamente importantes, mas estes nunca foram adequadamente testados. CHAVE (1964), afirma, por exemplo, que os bioclastos aragoníticos incrustados por algas calcárias possuem a mesma durabilidade daqueles que não apresentam elementos incrustantes. Desta maneira, o processo de incrustação poderia aumentar ou diminuir o potencial de fossilização de bioclastos previamente recobertos por organismos. Até mesmo aqueles com alto índice de incrustação (cobrindo mais de 80% da área externa da concha) poderiam ter seu potencial de fossilização elevado, por estarem apresentando proteção adicional (organismos incrustantes).

A bioerosão, ou seja, atividade de remoção de material das rochas e das conchas por organismos, por exemplo, é um processo de degradação que ocorre principalmente em ambientes marinhos, sendo atribuída, à atividade de algas, bactérias e fungos, além de invertebrados (e.g., esponjas, gastrópodes, bivalves, anelídeos, equinóides), e de vertebrados aquáticos (e.g., peixes) (e.g., TUDHOPE & RISK, 1985; STEARLEY & EKDALE, 1989; PEBLES & LEWIS, 1991; WALKER *et al.*, 1998; RODLAND *et al.*, 2002).

De acordo com BRETT & BOURDEAUX (1990), a bioerosão é entendida como um fator importante na diminuição da resistência de conchas de braquiópodes articulados (BRETT & BOURDEAUX, 1990). Porém, estas suposições estão

fundamentadas apenas em observações do registro fóssil, não tendo sido testadas através de experimentos, em laboratório ou campo.

As conchas de *Bouchardia rosea* encontradas na costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro apresentam sinais de bioerosão e incrustação (RODLAND *et al.*, 2002), produto, principalmente, da atividade de briozoários e vermes. Estas valvas fornecem, portanto, material necessário para as análises descritas a seguir.

Assim, para que a hipótese de resistência diferencial para conchas com sinais de bioerosão e incrustação, pudesse ser testada, foram realizados 2 experimentos (detalhes na tabela 10) em laboratório, empregando o tambor tafonômico, de acordo com a metodologia detalhadamente descrita anteriormente.

Foram utilizadas valvas ventrais de braquiópode *Bouchardia rosea*, classificadas em 3 categorias: a) valvas frescas, livres de sinais de bioerosão, incrustação; b) valvas incrustadas, apresentando mais de 20% da área externa com sinais de incrustação; c) valvas bioerodidas, apresentando mais de 20% da área externa com sinais de bioerosão.

Os resultados obtidos foram analisados conjuntamente e estão apresentados na tabela 18, e os gráficos demonstrando o decaimento de massa resultante do processo de tamboreamento na figura 27.

TABELA 18- ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE FORMA (β E γ), VARIÂNCIA RESIDUAL E R^2 , SEGUNDO INTENSIDADE DE BIOEROSÃO E INCRUSTAÇÃO EM VALVAS DE *BOUCHARDIA ROSEA*

Valva ventral de <i>Bouchardia rosea</i>	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	Variância Residual	R^2 (%)
Valva fresca	-0,4056	0,2460	0,00512	96
Valva bioerodida	-0,5073	0,1773	0,00352	96
Valva incrustada	-0,5446	0,1592	0,00382	95

De acordo com o tratamento estatístico eleito (veja item 3.3.4), os resultados encontrados estão resumidos na tabela 19, abaixo.

TABELA 19- COMPARAÇÃO ENTRE OS BETAS E GAMAS PELO TESTE DE STUDENT-NEWMAN-KILLS (SNK) OU DUNN, NO EXPERIMENTO SEGUNDO BIOEROSÃO E INCUSTAÇÃO EM *BOUCHARDIA ROSEA*

Valva de <i>Bouchardia rosea</i>			
	Incrustada (>20%)	Bioerodida (>20%)	Fresca (livre de bioerosão e/ou incrustação) 1,5cm)
β	A ⁽¹⁾	B	C
γ	A	B	C

⁽¹⁾Para cada parâmetro, tratamentos representados pela mediana, seguidos de mesma letra, não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Student-Newman-Kills (ou Dunn)

No gráfico representado na figura 27, é possível notar a seqüência de decaimento de massa nas primeiras 20 horas, onde as valvas frescas notavelmente perdem menos massa do que aquelas incrustadas ou bioerodidas. Este comportamento é facilmente explicado pela perda inicial dos elementos incrustantes na primeira hora de tamboreamento (veja figura 27), que fazem com que a porcentagem de material original diminua rapidamente. Esta perda de elementos incrustantes, pode conferir a estas valvas aparência de valvas frescas. Por outro lado, a aparente semelhança entre valvas bioerodidas, incrustadas e, de certa forma, as frescas, após 1 hora de tamboreamento, não indica que estas apresentarão comportamento de decaimento de massa semelhantes. O decaimento de massa ao longo das 100 horas totais de tamboreamento é claramente diferente entre as valvas frescas e aquelas que apresentam incrustação e bioerosão.

Desta maneira, todos os comportamentos de decaimento de massa diferem entre si, conforme relatado na tabela 19. Em outras palavras, apesar de bastante semelhantes visualmente, quando dispostas no gráfico, as curvas correspondentes a bioerosão e incrustação são estatisticamente diferentes (veja tabela 19).

FIGURA 27- GRÁFICO APRESENTANDO O COMPORTAMENTO DE DECAIMENTO DE MASSA DE VALVAS VENTRAIS DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA* DE ACORDO COM A INCRUSTAÇÃO E BIOEROSÃO, SUBMETIDAS AO TAMBOR TAFONÔMICO. NO EIXO X O TEMPO É REPRESENTADO EM HORAS E NO EIXO Y A PORCENTAGEM DE MATERIAL ORIGINAL TRANSFORMADA POR ARCSSEN (VEJA METODOLOGIA ESTATÍSTICA)

No segundo tipo de análise estatística empregada, a Análise de sobrevivência, os resultados obtidos foram aqueles apresentados abaixo (Tabela 20).

TABELA 20- RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

Organismo	Tempo médio para alcançar 50% de perda de massa (em horas)	Erro Padrão
<i>Valva fresca de Bouchardia rosea</i>	45	5
<i>Valva incrustada de Bouchardia rosea</i>	80	0
<i>Valva bioerodida de Bouchardia rosea</i>	70	0

De acordo com o quadro apresentado todos os tipos de valvas estudadas atingiram 50% do material original perdido, porém em tempos diferentes, sendo que o tempo para desgaste das valvas frescas foi menor.

O teste de Log-Rank, que detecta se há diferença entre curvas de desgaste de material apresenta $p=0,0294$, demonstrando que há diferença entre o comportamento de valvas frescas, bioerodidas e incrustadas. O gráfico da figura 28 apresenta os resultados obtidos. Nota-se novamente que os novos testes apresentados aqui concordam com aqueles obtidos através da utilização de modelo de regressão não-linear.

Observando-se atentamente os resultados obtidos através do teste de sobrevivência, é interessante notar que as valvas frescas perderam relativamente mais massa do que as valvas que apresentavam bioerosão ou incrustação em menos tempo. Este comportamento parece não estar associado nem aos elementos incrustantes nem a condição de bioerosão das valvas, uma vez que acreditava-se que as valvas bioerodidas pudessem perder mais massa, durante o processo de tamboreamento, e as valvas incrustadas poderiam permanecer por mais tempo com a massa inicial e apresentar um comportamento de decaimento mais lento, o que não ocorreu. Provavelmente, a grande perda inicial de massa em conchas frescas esteja associada a densidade das valvas com incrustação ou bioerosão, que podem permanecer em suspensão durante o processo de tamboreamento, contrariamente ao que possivelmente ocorre com as valvas frescas, que permanecem em contato com o sedimento durante este processo.

FIGURA 28: ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA PARA OS GRUPOS ANALISADOS (VALVAS INCRUSTADAS, BIOERODIDAS E FRESCAS)

Dentre os fatores responsáveis pela diferenciação durante o processo de perda de massa, pode estar a diferença na densidade das válvulas (frescas, incrustadas e bioerodidas), uma vez que aquelas com densidade menor (bioerodidas) podem permanecer em suspensão durante o processo de tamboreamento alterando o resultado final. Além disso, dados tafonômicos disponíveis (SIMÕES, inédito a, inédito b) indicam que, invariavelmente, conchas incrustadas estão também bioerodidas, o que pode contribuir para o padrão encontrado.

Observando-se a figura 29, é possível notar também a semelhança no formato final após 60 horas de tamboreamento, de válvulas frescas e incrustadas, uma vez que aparentemente a grande perda inicial de massa de válvulas incrustadas se dá pela retirada dos elementos incrustantes apenas 1 hora após o início do processo de tamboreamento. Após este período, o padrão de abrasão das válvulas incrustadas e frescas parece ser semelhante, tendo alterado porém o tempo de perda de massa, que em válvulas frescas é maior.

FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DAS VALVAS INCRUSTADAS E BIOERODIDAS DO BRAQUIÓPODE *BOUCHARDIA ROSEA* APÓS COLETA E SELEÇÃO, ALÉM DE ESTADO DE PRESERVAÇÃO APÓS 60 HORAS DE PROCESSO DE TAMBOREAMENTO

A explicação para este fato recai novamente sobre a densidade menor das valvas incrustadas/bioerodidas, que conforme anteriormente citado, já poderiam apresentar bioerosão (SIMÕES & KOWALEWSKI, 2002), o que faria com que a valva densa permanecesse em suspensão durante o processo de tamboreamento.

Ainda observando-se a figura 29, é possível notar que as valvas bioerodidas envolvidas nos experimentos, após 60 horas apresentaram fragmentação além do arredondamento, possivelmente devido a maior fragilidade das valvas provenientes da bioerosão. Esta bioerosão, que provavelmente fez com que a densidade da valva estivesse diminuída e em alguns momentos permanecesse em suspensão, levou a menor perda de massa, assim como ocorreu com as valvas incrustadas. É importante notar que apesar da fragmentação das valvas, a perda de massa foi semelhante aquela observada em valvas incrustadas. Desta maneira, concordando com CHAVE (1964), a incrustação e bioerosão não aumentam nem diminuem (respectivamente) a durabilidade das valvas.

O fato, que provavelmente ocorre é que o aumento no tempo de sobrevivência das valvas incrustadas e bioerodidas está ligado a diminuição da densidade. Tal observação pode ser constatada na figura 29, onde é possível notar que a perda rápida dos organismos incrustantes é um indício de que os incrustadores não aumentam a durabilidade da valva, pois são eliminados rapidamente.

5. OUTRAS APLICAÇÕES EM PALEONTOLOGIA

A tafonomia experimental, conforme já demonstrado anteriormente, pode trazer informações importantes para as interpretações da história de acumulação de concentrações fossilíferas. No caso dos experimentos aqui realizados com o braquiópode *Bouchardia rosea*, os resultados poderão fornecer dados tafonômicos fundamentais para o entendimento dos processos bioestratinômicos (e.g., fragmentação e abrasão) e da mistura temporal ("time-averaging", *sensu* KOWALEWSKI, 1996) de concentrações fossilíferas dominadas por bioclastos de braquiópodes articulados, especialmente do Cenozóico, como, por exemplo, das chamadas "Camadas de *Bouchardia*", uma feição conspícua do registro geológico do Terciário (Mioceno) do Uruguai (MARTINEZ, 1994), cuja gênese é ainda pouco estudada.

Tais acumulações do Terciário, descritas por MARTINEZ (1994) e relatadas também por MARTINEZ & VERDE (1992) são constituídas por conchas de *Bouchardia transplatina* coletadas em afloramentos da Formação Camacho, no Departamento de Colonia (Figura 30), Uruguai. A similaridade entre *Bouchardia rosea* e *Bouchardia transplatina* é ressaltada por MARTINEZ & VERDE (1992), que comparam as acumulações fósseis de *Bouchardia transplatina* com as acumulações Recentes de *Bouchardia rosea*.

Estas acumulações de *Bouchardia transplatina* são encontradas em camadas de areia fina, formadas a partir de evento de sedimentação episódica, não especificado pelo autor (Figura 30). De acordo com MARTINEZ (1994), as areias finas apresentam clastos arredondados e com alta esfericidade, e que representam depósitos de plataforma, muito próximos à costa.

As condições de deposição dos sedimentos em que estão acumuladas as concentrações de *Bouchardia transplatina*, apesar de não representarem ambientes praias, podem fazer com que possa se iniciar uma comparação das condições de preservação destes braquiópodes com os resultados obtidos durante os experimentos realizados aqui.

Observações de MARTINEZ & VERDE (1992), voltadas ao estado de preservação das valvas de *Bouchardia transplatina*, além de quantidade de valvas articuladas e desarticuladas, observando-se também o tamanho de tais valvas pode

favorecer a comparação destes com os resultados obtidos através dos experimentos realizados.

FIGURA 30- EM A MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO AFLORAMENTO CITADO POR MARTINEZ & VERDE (1992) NO DEPARTAMENTO DE COLONIA (URUGUAI), EM B SEÇÃO COLUNAR DO AFLORAMENTO ONDE FORAM ENCONTRADAS AS CAMADAS DE ACUMULAÇÃO DE *BOUCHARDIA TRANSPLATINA*

Os autores observaram que, com relação ao número de valvas ventrais e dorsais, a proporção é a mesma, e que as valvas possuem distribuição similar nas primeiras classes de tamanho com aumento no número de indivíduos grandes. A partir destes dados, MARTINEZ & VERDE (1992) concluíram que a população fóssil não é resultado de uma morte catastrófica, e sim natural. Porém, os autores ressaltam que houve uma mortalidade em massa que deixou no registro fóssil os organismos vivos e esqueletos de outros indivíduos que já se encontravam mortos em uma mesma associação fossilífera. Através destas observações, os autores interpretaram a grande quantidade de valvas de maior tamanho como sendo produto da preservação preferencial de valvas grandes em relação às pequenas.

É importante notar que as observações realizadas por MARTINEZ & VERDE (1992) não incluem estado de preservação das conchas, o que poderia auxiliar na comparação com os resultados obtidos nos experimentos realizados. A falta de dados mais específicos sobre os espécimes impede uma comparação mais acurada. Por outro lado, o objetivo de MARTINEZ & VERDE (1992) era o de realizar um estudo sobre os padrões de mortalidade e sua influência no registro fossilífero.

Porém, as informações expostas acima, já permitem, principalmente, avaliarmos a importância e aplicabilidade dos dados obtidos através da tafonomia experimental e utilização do tambor tafonômico.

Comparando-se os dados provenientes dos experimentos realizados e descritos neste documento e as observações de MARTINEZ & VERDE (1992) para *Bouchardia transplatina* alguns pontos devem ser destacados:

- a) proporção de valvas ventrais/dorsais: pôde-se constatar através dos experimentos realizados, que as valvas pediculares e braquiais não apresentam diferença quanto ao desgaste preferencial através do processo de abrasão. O mesmo é relatado pelos autores, que através de análise estatística concluíram que a proporção de valvas dorsais e ventrais é semelhante;
- b) distribuição das valvas de acordo com o tamanho: os autores notaram uma distribuição similar das valvas nas primeiras classes de tamanho, havendo um aumento do número de indivíduos grandes. Esta predominância de indivíduos grandes é interpretada pelos autores como produto do maior potencial de preservação de valvas grandes em relação as valvas pequenas. Tal interpretação, porém, não vai de encontro aos resultados obtidos através dos experimentos realizados com o tambor tafonômico, uma vez que as valvas pequenas se

mostraram mais resistentes a abrasão do que as mesmas valvas de *Bouchardia rosea* de maior tamanho, podendo este resultado também estar associado a menor densidade de valvas pequenas e sim resultado de transporte diferencial. Desta maneira, o resultado observado em espécimes fósseis de *Bouchardia transplatina*, talvez possa ser interpretado como padrão de recrutamento e indicar baixo transporte, o que também é evidenciado pela presença de valvas articuladas, valvas bem preservadas e ausência de epibiontes no interior das valvas.

Apesar de poucas informações sobre a camada de *Bouchardia* do Uruguai, principalmente sobre o estado de preservação das valvas coletadas e a ausência de descrição de metodologia de coleta, não é possível, de momento, interpretar a gênese desta concentração. Coletas futuras na área e utilização dos resultados obtidos através dos experimentos expostos aqui podem fornecer informações importantes para esta interpretação.

Por outro lado, as informações obtidas aqui podem também oferecer subsídios para interpretação de concentrações de braquiópodes articulados, principalmente da subfamília Bouchardiinae, sempre levando em consideração o local de vida e deposição destes organismos (e.g., RICHARDSON, 1981; MacKINNON *et al.*, 1993; CRAIG, 1999).

Por fim, é importante ressaltar aqui que as informações obtidas e apresentadas no presente documento podem auxiliar na interpretação da gênese de acumulações de braquiópodes, porém não são suficientes para uma interpretação completa. Deve-se levar em consideração também, conforme já exposto anteriormente, que os fatores extrínsecos (relacionados ao ambiente) podem exercer papel importante na história de acumulação, não bastando apenas os conhecimentos relacionados aos restos esqueléticos. Além disso, de acordo com KIDWELL & BRENCHLEY (1996) a desintegração de restos esqueléticos no fundo oceânico não é contínua no tempo, podendo haver períodos de soterramento protegendo as valvas dos agentes tafonômicos durante um certo período, da mesma maneira como DRISCOLL (1970) observou em experimentos de campo, ocorrendo assim mistura temporal acentuada.

6. CONCLUSÕES

Observando-se os dados obtidos, até o momento, é possível concluir que:

- 1) Não há consenso na literatura paleontológica, quanto aos parâmetros adequados ao funcionamento de tambores utilizados em estudos tafonômicos experimentais (e.g., diâmetro, velocidade de rotação, tamanho amostral);
- 2) Para a análise dos resultados obtidos através dos experimentos empregando-se o tambor tafonômico, pode-se utilizar modelos de regressão não-linear. Além disso, é possível utilizar Análise de Sobrevivência, diminuindo o tempo envolvido no processo de tamboreamento em um experimento;
- 3) A velocidade de rotação ideal do tambor tafonômico pode variar entre 50 e 65 % da velocidade crítica, calculada através de fórmulas dependentes do diâmetro. Deste modo, para tambores com diâmetros de 7, 15 e 22cm as velocidades ideais de rotação devem ser de 50, 60 e 90rpm, respectivamente;
- 4) Apesar da semelhança de resultados obtidos empregando-se tambores com diâmetro de 15 e 22cm, o de 15cm foi eleito para ser utilizado nos experimentos aqui realizados, pois de acordo com a análise estatística, apresenta rápida velocidade de decaimento e baixa porcentagem de material original final, além de facilidades no manuseio e rapidez na triagem do produto do processo de tamboreamento (separação dos restos esqueléticos);
- 5) O tamanho amostral ideal para tambores com 15cm de diâmetro é de 3 ou 10 espécimes que, não produzem resultados significativamente diferentes em termos estatísticos. Portanto, foram utilizadas, como padrão, 10 conchas de bivalves ou braquiópodes, sendo válida a possibilidade da utilização de 3 conchas em casos de escassez de material;
- 6) Os experimentos empregando-se três tratamentos distintos (com areia média, com seixos e em ausência de sedimento) mostraram que os comportamentos de decaimento de massa são estatisticamente diferentes entre si. Em outras palavras, o resultado final de cada experimento, está diretamente relacionado ao tipo de sedimento utilizado ou à ausência de sedimento;
- 7) As conchas de bivalves e de braquiópodes apresentam decaimentos de massa diferenciados frente aos processos de abrasão física, produzidos pelo tambor tafonômico, com diferentes tipos de sedimentos (seixos e areia), reforçando novamente a conclusão anterior;

- 8) O emprego de areia no tambor tafonômico parece reproduzir a abrasão mais semelhante à produzida no ambiente natural de alta energia, onde as conchas de braquiópodes são encontradas e observa-se padrões de desgaste das conchas semelhantes. Este sedimento foi eleito para utilização nos experimentos realizados;
- 9) As diferenças de quantidade de matéria orgânica presentes nas valvas de bivalves (*Mytilus edulis*, *Anadara brasiliiana*, *Anomalocardia brasiliiana* e *Atrina* sp.) e braquiópode (*Bouchardia rosea*), submetidos ao processo de tamboreamento não parece exercer influência sobre o decaimento de massa. Da mesma maneira a composição mineralógica e a forma também demonstram não serem componentes importantes e determinantes no comportamento de decaimento de massa por abrasão;
- 10) As valvas dorsais e ventrais do braquiópode *Bouchardia rosea* apresentam comportamento de decaimento de massa, após 100 horas de tamboreamento, estatisticamente diferentes. Porém, a percentagem final de material original, após este período, é bastante semelhante, indicando que provavelmente a resistência à abrasão não é o principal fator que controla as frequências entre valvas dorsais e ventrais em acumulações, tanto fósseis quanto Recentes;
- 11) Valvas de tamanhos diferentes (< 1cm; 1 a 1,5cm e >1,5cm), quando submetidas ao tambor tafonômico, apresentam comportamento de decaimento de massa semelhantes nas duas últimas classes e diferentes na primeira classe. Desta maneira, o tamanho das valvas parece influenciar na perda de massa e, conseqüentemente, no tendenciamento com relação a maior preservação de valvas pequenas;
- 12) A bioerosão e incrustação parecem influenciar na perda de massa durante processo de tamboreamento, pois tanto valvas frescas quanto bioerodidas e incrustadas apresentam comportamentos distintos quando analisados estatisticamente. Este comportamento parece estar associado a densidade das valvas;
- 13) As informações obtidas através dos experimentos aqui realizados utilizando-se o tambor tafonômico serão importantes para interpretação da gênese de acumulações de braquiópodes, tanto viventes quanto fósseis.

7. ANEXOS (RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS)

EXPERIMENTO 1: Resistência comparativa de conchas de bivalves e braquiópode

Organismo	Tempo de tamboreamento (em horas)	Repetição	Percentual de material original do organismo de acordo com a perda de massa durante o tamboreamento
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	0	1	100
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	1	1	97
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	2	1	95,46
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	3	1	94,3
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	4	1	93,55
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	5	1	92,55
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	10	1	88,36
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	20	1	82,1
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	30	1	75,94
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	40	1	70,57
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	50	1	65,77
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	60	1	60,96
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	70	1	56,26
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	80	1	51,78
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	90	1	47,46
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	100	1	43,6
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	0	2	100
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	1	2	96,37

<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	2	2	94,51
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	3	2	93,25
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	4	2	92,45
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	5	2	91,56
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	10	2	86,84
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	20	2	79,41
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	30	2	73,33
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	40	2	67,4
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	50	2	62,48
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	60	2	57,44
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	70	2	52,5
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	80	2	48,25
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	90	2	43,68
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	100	2	39,61
<i>Anadara brasiliiana</i>	0	1	100
<i>Anadara brasiliiana</i>	1	1	97,34
<i>Anadara brasiliiana</i>	2	1	95,89
<i>Anadara brasiliiana</i>	3	1	95,89
<i>Anadara brasiliiana</i>	4	1	94,44
<i>Anadara brasiliiana</i>	5	1	93,72
<i>Anadara brasiliiana</i>	8	1	92,03
<i>Anadara brasiliiana</i>	11	1	90,58
<i>Anadara brasiliiana</i>	14	1	88,41
<i>Anadara brasiliiana</i>	17	1	86,23
<i>Anadara brasiliiana</i>	20	1	84,54
<i>Anadara brasiliiana</i>	23	1	82,85
<i>Anadara brasiliiana</i>	26	1	80,68
<i>Anadara brasiliiana</i>	34	1	75,84
<i>Anadara brasiliiana</i>	100	1	75,84

<i>Anadara brasiliiana</i>	0	2	100
<i>Anadara brasiliiana</i>	1	2	96,46
<i>Anadara brasiliiana</i>	2	2	94,58
<i>Anadara brasiliiana</i>	3	2	93,75
<i>Anadara brasiliiana</i>	4	2	92,92
<i>Anadara brasiliiana</i>	5	2	91,67
<i>Anadara brasiliiana</i>	8	2	89,17
<i>Anadara brasiliiana</i>	11	2	87,08
<i>Anadara brasiliiana</i>	14	2	84,79
<i>Anadara brasiliiana</i>	17	2	83,33
<i>Anadara brasiliiana</i>	20	2	81,67
<i>Anadara brasiliiana</i>	23	2	80,41
<i>Anadara brasiliiana</i>	26	2	79,16
<i>Mytilus edulis</i>	0	1	100
<i>Mytilus edulis</i>	1	1	95,92
<i>Mytilus edulis</i>	2	1	94,64
<i>Mytilus edulis</i>	3	1	93,24
<i>Mytilus edulis</i>	4	1	92,22
<i>Mytilus edulis</i>	5	1	91,2
<i>Mytilus edulis</i>	8	1	88,65
<i>Mytilus edulis</i>	11	1	86,1
<i>Mytilus edulis</i>	14	1	83,42
<i>Mytilus edulis</i>	17	1	81,89
<i>Mytilus edulis</i>	20	1	79,72
<i>Mytilus edulis</i>	23	1	77,42
<i>Mytilus edulis</i>	26	1	75,38
<i>Mytilus edulis</i>	100	1	59,95
<i>Mytilus edulis</i>	0	2	100
<i>Mytilus edulis</i>	1	2	95,99
<i>Mytilus edulis</i>	2	2	93,86

<i>Mytilus edulis</i>	3	2	92,33
<i>Mytilus edulis</i>	4	2	91,03
<i>Mytilus edulis</i>	5	2	89,73
<i>Mytilus edulis</i>	8	2	86,42
<i>Mytilus edulis</i>	11	2	83,12
<i>Mytilus edulis</i>	14	2	79,34
<i>Mytilus edulis</i>	17	2	76,39
<i>Mytilus edulis</i>	23	2	73,79
<i>Mytilus edulis</i>	23	2	70,84
<i>Mytilus edulis</i>	26	2	68,24
<i>Bouchardia rosea</i>	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i>	1	1	94,62
<i>Bouchardia rosea</i>	2	1	92,47
<i>Bouchardia rosea</i>	3	1	89,25
<i>Bouchardia rosea</i>	4	1	86,02
<i>Bouchardia rosea</i>	5	1	83,87
<i>Bouchardia rosea</i>	8	1	77,41
<i>Bouchardia rosea</i>	11	1	70,97
<i>Bouchardia rosea</i>	14	1	67,74
<i>Bouchardia rosea</i>	17	1	64,52
<i>Bouchardia rosea</i>	20	1	62,37
<i>Bouchardia rosea</i>	23	1	59,14
<i>Bouchardia rosea</i>	26	1	56,99
<i>Bouchardia rosea</i>	52	1	53,76
<i>Bouchardia rosea</i>	100	1	37,63
<i>Bouchardia rosea</i>	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i>	1	2	94,85
<i>Bouchardia rosea</i>	2	2	93,81
<i>Bouchardia rosea</i>	3	2	90,72
<i>Bouchardia rosea</i>	4	2	86,59

<i>Bouchardia rosea</i>	5	2	85,57
<i>Bouchardia rosea</i>	8	2	78,35
<i>Bouchardia rosea</i>	11	2	75,26
<i>Bouchardia rosea</i>	14	2	69,07
<i>Bouchardia rosea</i>	17	2	65,98
<i>Bouchardia rosea</i>	20	2	61,86
<i>Bouchardia rosea</i>	23	2	56,7
<i>Bouchardia rosea</i>	26	2	54,64
<i>Bouchardia rosea</i>	52	2	54,64
<i>Bouchardia rosea</i>	77	2	46,39
<i>Bouchardia rosea</i>	100	2	44,33
<i>Atrina</i> sp.	0	1	100
<i>Atrina</i> sp.	1	1	92,86
<i>Atrina</i> sp.	2	1	89,16
<i>Atrina</i> sp.	3	1	88,18
<i>Atrina</i> sp.	4	1	85,96
<i>Atrina</i> sp.	5	1	83,25
<i>Atrina</i> sp.	10	1	77,09
<i>Atrina</i> sp.	20	1	67,48
<i>Atrina</i> sp.	30	1	61,33
<i>Atrina</i> sp.	40	1	56,65
<i>Atrina</i> sp.	50	1	52,46
<i>Atrina</i> sp.	60	1	49,26
<i>Atrina</i> sp.	70	1	46,3
<i>Atrina</i> sp.	80	1	43,35
<i>Atrina</i> sp.	90	1	41,63
<i>Atrina</i> sp.	100	1	40,39

EXPERIMENTO 2: *Bouchardia rosea*: resistência de valvas dorsais e ventrais

Organismo	Tempo de tamboreamento (em horas)	Repetição	Percentual de material original do organismo de acordo com a perda de massa durante o tamboreamento
<i>Bouchardia rosea</i> (valva pedicular)	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	1	1	95,14
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	2	1	90,27
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	3	1	86,49
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	4	1	83,24
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	5	1	81,08
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	10	1	69,73
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	20	1	58,38
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	30	1	50,27
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	40	1	49,19
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	50	1	43,24
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	60	1	41,62
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	70	1	40
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	80	1	37,84
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	90	1	37,3
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	100	1	36,22
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	1	2	96,11
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	2	2	91,67
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	3	2	90
<i>Bouchardia rosea</i> (pedicular)	4	2	86,11

Bouchardia rosea (pedicular)	5	2	82,78
Bouchardia rosea (pedicular)	10	2	71,11
Bouchardia rosea (pedicular)	20	2	57,22
Bouchardia rosea (pedicular)	30	2	51,67
Bouchardia rosea (pedicular)	40	2	47,22
Bouchardia rosea (pedicular)	50	2	46,11
Bouchardia rosea (pedicular)	60	2	45,56
Bouchardia rosea (pedicular)	70	2	43,89
Bouchardia rosea (pedicular)	80	2	43,33
Bouchardia rosea (pedicular)	90	2	42,78
Bouchardia rosea (pedicular)	100	2	41,67
Bouchardia rosea (valva braquial)	0	1	100
Bouchardia rosea (valva braquial)	1	1	96,51
Bouchardia rosea (valva braquial)	2	1	93,89
Bouchardia rosea (valva braquial)	3	1	91,27
Bouchardia rosea (valva braquial)	4	1	88,65
Bouchardia rosea (valva braquial)	5	1	86,46
Bouchardia rosea (valva braquial)	10	1	76,86
Bouchardia rosea (valva braquial)	20	1	63,32
Bouchardia rosea (valva braquial)	30	1	55,02
Bouchardia rosea (valva braquial)	40	1	50,22
Bouchardia rosea (valva braquial)	50	1	43,67
Bouchardia rosea (valva braquial)	60	1	39,74
Bouchardia rosea (valva braquial)	70	1	37,12
Bouchardia rosea (valva braquial)	80	1	34,06
Bouchardia rosea (valva braquial)	90	1	31,44
Bouchardia rosea (valva braquial)	100		26,2

<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	1	2	94,85
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	2	2	91,75
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	3	2	89,17
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	4	2	87,11
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	5	2	84,54
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	10	2	76,28
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	20	2	65,46
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	30	2	56,18
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	40	2	53,61
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	50	2	46,39
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	60	2	41,75
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	70	2	37,11
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	80	2	36,59
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	90	2	34,54
<i>Bouchardia rosea</i> (valva braquial)	100	2	34,54

EXPERIMENTO 3: *Bouchardia rosea*: resistência de valvas de acordo com o tamanho

Organismo	Tempo de tamboreamento (em horas)	Repetição	Percentual de material original do organismo de acordo com a perda de massa durante o tamboreamento
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	1	1	95,14
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	2	1	90,27
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	3	1	86,49
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	4	1	83,24
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	5	1	81,08
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	10	1	69,73
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	20	1	58,38
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	30	1	50,27
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	40	1	49,19
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	50	1	43,24
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	60	1	41,62
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	70	1	40
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	80	1	37,84
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	90	1	37,30
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	100	1	36,22

<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	1	2	96,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	2	2	91,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	3	2	90,00
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	4	2	86,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	5	2	82,78
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	10	2	71,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	20	2	57,22
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	30	2	51,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	40	2	47,22
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	50	2	46,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	60	2	45,56
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	70	2	43,89
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	80	2	43,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	90	2	42,78
<i>Bouchardia rosea</i> Valva média	100	2	41,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	1	1	93,02
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	2	1	93,02
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	3	1	90,69
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	4	1	86,05

<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	5	1	86,05
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	10	1	83,72
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	20	1	81,39
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	30	1	76,74
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	40	1	76,74
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	50	1	74,42
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	60	1	74,42
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	70	1	72,09
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	80	1	72,09
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	90	1	72,09
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	100	1	67,44
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	1	2	94,12
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	2	2	94,12
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	3	2	88,23
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	4	2	88,23
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	5	2	82,35
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	10	2	82,35
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	20	2	82,35
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	30	2	79,41
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	40	2	79,41
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	50	2	73,53
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	60	2	67,65
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	70	2	67,65
<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	80	2	64,71

<i>Bouchardia rosea</i> Valva pequena	90	2	64,71
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	100	2	64,71
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	1	1	95,1
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	2	1	91,18
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	3	1	86,27
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	4	1	83,82
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	5	1	81,37
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	10	1	69,61
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	20	1	54,9
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	30	1	50,98
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	40	1	48,53
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	50	1	47,06
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	60	1	44,61
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	70	1	44,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	80	1	43,14
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	90	1	42,16
<i>Bouchardia rosea</i> Valva grande	100		42,16

EXPERIMENTO 4: *Bouchardia rosea*: resistência de valvas incrustadas e bioerodidas

Organismo	Tempo de tamboreamento (em horas)	Repetição	Percentual de material original do organismo de acordo com a perda de massa durante o tamboreamento
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	1	1	95,14
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	2	1	90,27
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	3	1	86,49
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	4	1	83,24
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	5	1	81,08
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	10	1	69,73
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	20	1	58,38
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	30	1	50,27
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	40	1	49,19
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	50	1	43,24
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	60	1	41,62
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	70	1	40,00
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	80	1	37,84
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	90	1	37,30
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	100	1	36,22

<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	0	2	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	1	2	96,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	2	2	91,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	3	2	90,00
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	4	2	86,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	5	2	82,78
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	10	2	71,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	20	2	57,22
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	30	2	51,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	40	2	47,22
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	50	2	46,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	60	2	45,56
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	70	2	43,89
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	80	2	43,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	90	2	42,78
<i>Bouchardia rosea</i> Valva fresca	100	2	41,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	1	1	90
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	2	1	86
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	3	1	80
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	4	1	77,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	5	1	75,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	10	1	67,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	20	1	59,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	30	1	55,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	40	1	55,33

<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	50	1	54,00
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	60	1	52,00
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	70	1	50,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	80	1	46,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	90	1	46,67
<i>Bouchardia rosea</i> Valva bioerodida	100	1	43,33
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	0	1	100
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	1	1	86,79
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	2	1	82,07
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	3	1	78,3
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	4	1	74,53
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	5	1	74,53
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	10	1	64,15
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	20	1	62,26
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	30	1	55,66
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	40	1	54,72
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	50	1	52,83
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	60	1	52,83
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	70	1	48,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	80	1	48,11
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	90	1	47,17
<i>Bouchardia rosea</i> Valva incrustada	100	1	47,17

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, R.R. (1989) Influence of valve geometry, ornamentation, and microstructure on fractures in Late Ordovician brachiopods. *Lethaia*, v. 22, p. 133-148.
- ALEXANDER, R.R. (1990a) Disarticulated shells of Late Ordovician brachiopods: inferences on strenght of hinge and valve architetur. *Journal of Paleontology*, v. 64, p. 524-532.
- ALEXANDER, R.R. (1990b) Mechanical strength of shells of selected extant articulate brachiopods: implications for Paleozoic morphologic trends. *Historical Biology*, v. 3, p. 169-188.
- ALEXANDERSSON, E.T. (1979) Marine maceration of skeletal carbonates in the Skagerrak, North Sea. *Sedimentology*, v. 26, p. 845-852.
- ALLISON, P.A. (1986) Soft-bodied animals in the fossil record: the role of decay in fragmentation during transport. *Geology*, v. 14, p. 979-981.
- ALLISON, P.A.; BRIGGS, D.E.G. (1991) *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press. 560p.
- ARGAST, S.; FARLOW, J.O.; GABET, R.M.; BRINKMAN, D.L. (1987) Transport-induced abrasion of fossil reptilian teeth: implications for the existance of Tertiary dinosaurs in the Hell Creek Formation, Montana. *Geology*, v. 15, p. 927-930.
- BEST, M.M.R.; KIDWELL, S.M. (2000a) Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings: I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology*, v. 26, n. 1, p. 80-102.
- BEST, M.M.R.; KIDWELL, S.M. (2000b) Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings: II. Effect of bivalve life-habits and shell types. *Paleobiology*, v. 26, n. 1, 103-115.
- BITNER, M.A. (2002) Size-frequency distributions of Miocene micromorphic brachiopods: interpretation tool for population dynamics. *Marine Ecology*, v. 23, n. 1, p. 19-30.
- BISSARO Jr., M.C.; SIMÕES, M.G.; RODRIGUES, S.C. (2003) Experimental taphonomy: the settling of brachiopod shells and their biostratinomic implications. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, PALEO2003, Ribeirão Preto, 2003. *Boletim de Resumos*. Ribeirão Preto, p. 1.

- BOUCOT, A.J. (1981) *Principles of benthic marine paleoecology*. New York, Academic Press. 463p.
- BOUCOT, A.J.; BRACE, W.; DeMAR, R. (1958) Distribution of brachiopod and pelecypod shells by currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 28, n. 3, p. 321-332.
- BRETT, C.E.; BOURDEAUX, Y.L. (1990) Taphonomy of brachiopods from a Middle Devonian shell bed: implications for the genesis of skeletal accumulations. In: MACKINNON, D.I.; LEE, D.E.; CAMPBELL, J.D. (eds.) *Brachiopods through time*. Balkema Publishers. p.219-226.
- BRETT, C.E.; BAIRD, G.C. (1997) *Paleontological events: stratigraphic, ecological and evolutionary implications*. New York, Columbia University. 603p.
- BRIGGS, D.E. (1995) Experimental Taphonomy. *Palaios*, v. 10, p. 539-550.
- BROADHEAD, T.W.; DRIESE, S.G. (1994) Experimental and natural abrasion of conodonts in marine and eolian environments. *Palaios*, v. 9, p. 546-560.
- CARLEY-MACAULY, K.W.; DONALD, M.B. (1962) The mixing solid in tumbling mixers-I. *Chemical Engineering Science*, v. 17, p. 493-506.
- CARLEY-MACAULY, K.W.; DONALD, M.B. (1964) The mixing solid in tumbling mixers-II. *Chemical Engineering Science*, v. 19, p. 191-199.
- CARROLL, M.; KOWALEWSKI, M.; SIMÕES, M.G.; RODLAND, R.D. (2003) Quantitative estimates of time-averaging in brachiopod shell accumulations. *Paleobiology*, v. 29, n. 3, p. 382-403.
- CARTER, J.G. (1980) Environmental and biological controls of bivalve shell mineralogy and microstructure. In: RHOADS, D.C.; LUTZ, R.A. (eds.) *Skeletal growth of aquatic organisms*. New York, Plenum Press. p.69-113.
- CARTER, J.G. (1990a) Evolutionary significance of shell microstructure in the Palaeotaxodonta, Pteriomorpha, and Isofilibranchia (Bivalvia: Mollusca). In: CARTER, J.G. (ed.) *Skeletal biomineralization: Patterns, process and evolutionary trends*. New York, Van Nostrand Reinhold. p. 136-296.
- CARTER, J.G. (1990b) Shell microstructural data for the Bivalvia. In: CARTER, J.G. (ed.) *Skeletal biomineralization: Patterns, process and evolutionary trends*. New York, Van Nostrand Reinhold. p.297-411.
- CAULET, J.P. (1972) Les sédiments organogènes du précontinent algérien. *Memoir du Museum National d'Histoire Naturelle*, v. 25 (C), p. 1-295.

- CHAVE, K.E. (1960) Carbonate skeletons to limestones: problems. *Transactions of the New York Academy of Sciences, Ser. II*, v. 23, n. 1, p. 14-24.
- CHAVE, K.E. (1964) Skeletal durability and preservation. In: IMBRIE, J.L.; NEWELL, D. (eds.) *Approaches to Paleoecology*. New York, Wiley. p.377-387.
- CLARK, G.R., II (1999) Organic matrix taphonomy in some molluscan shell microstructures. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 149, p. 305-312.
- COLLINS, M.J. (1986) Post mortality strength loss in shells of the Recent articulate brachiopod *Terebratulina retusa* (L.) from the west coast of Scotland. *Biostratigraphie du Paléozoïque*, v. 4, p. 209-218.
- COLLINS, M.J. (1991) Growth rate and substrate-related mortality of a benthic brachiopod population. *Lethaia*, v. 24, p. 1-11.
- COTTEY, T.L.; HALLOCK, P. (1988) Test surface degradation in *Archaias angulatus*. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 18, p. 187-202.
- CRAIG, R.S. (1999) The brachiopod fauna of the Plio-Pleistocene Ascot Formation, Perth Basin, Western Australia. *Records of the Western Australian Museum*, v. 19, p. 451-464.
- CURREY, J.D. (1979) The effect of drying on the strength of mollusc shells. *Journal of Zoology*, v. 188, p. 301-308.
- CURREY, J.D.; TAYLOR, J.D. (1974) The mechanical behaviour of some molluscan hard tissue. *Journal of Zoology*, v. 173, p. 395-406.
- CURRY, G.B. (1982) Ecology and population structure of the Recent brachiopod *Terebratulina* from Scotland. *Palaeontology*, v. 25, p. 227-246.
- CUTLER, A.H. (1995) Taphonomic implications of shell surface textures in Bahia la Choya, northern Gulf of California. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 114, p. 219-240.
- DALEY, G.M. (1993) Passive deterioration of shelly material: a study of the recent eastern Pacific articulate brachiopod *Terebratalia transversa* Sowerby. *Palaios*, v. 8, p. 226-232.
- DAUBRÉE, A. (1879) *Études synthétiques de géologie expérimentale*. Paris, Dunod. 2 volumes.
- DAVIES, D.J.; POWELL, E.N.; STANTON, Jr, R.J. (1989) Taphonomic signature as a function of environmental process: shells and shell bed in a hurricane-influenced

- inlet on the Texas coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 72, p. 317-352.
- DONOVAN, S.K. (1991) *The process of fossilization*. New York, Columbia Univ. Press. 303p.
- DRISCOLL, E.G. (1967) Experimental field study of shell abrasion. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 37, p. 1117-1123.
- DRISCOLL, E.G. (1970) Selective bivalve shell destruction in marine environments, a field study. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 40, n. 3, p. 898-905.
- DRISCOLL, E.G.; WELTIN, T.P. (1973) Sedimentary parameters as factors in abrasive shell reduction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 13, p. 275-288.
- EFRON, B. (1979) Bootstrap methods: another look at jackknife. *Annals of Statistics*, v. 7, p. 1-26.
- EMIG, C.C. (1990) Examples of post-mortality alteration in Recent brachiopod shells and (paleo) ecological consequences. *Marine Biology*, v. 104, p. 233-238.
- FLESSA, K.W.; BROWN, T.J. (1983) Selective solution of macroinvertebrate calcareous hard parts: a laboratory study. *Lethaia*, v. 16, p. 193-205.
- FORCE, L.M. (1969) Calcium carbonate size distribution on the West Florida shelf and experimental studies on the microarchitectural control of skeletal breakdown. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39, n. 3, p. 902-934.
- GLOVER, C.P.; KIDWELL, S.M. (1993) Influence of organic matrix on the post-mortem destruction of molluscan shells. *Journal of Geology*, v. 101, p. 729-747.
- GREENSTEIN, B.J. (1991) An integrated study of echinoid taphonomy: predictions for the fossil record of four Echinoid families. *Palaios*, v. 6, p. 519-540.
- HALLAM, A. (1961) Brachiopod life assemblages from the Marlstone Rock-bed of Leicestershire. *Palaeontology*, v. 4, p. 653-659.
- HALLAM, A. (1967) The interpretation of size-frequency distributions in molluscan death assemblages. *Palaeontology*, v. 10, n. 1, p. 25-42.
- HOLLAND, R. (1988) Taphonomic effects of sea-floor exposure on an Ordovician brachiopod assemblage. *Palaios*, v. 3, p. 588-597.
- HOLZ, M.; SIMÕES, M.G. (2002) *Elementos fundamentais de Tafonomia*. Porto Alegre, Editora da UFRGS. 153p.

- HOSKIN, C.M.; GEIER, J.C.; REED, J.K. (1983) Sediment produced from abrasion of the branching stony coral *Oculina Varicosa*. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 53, n. 3, p. 779-786.
- HUBER, W.; FERGUSON, D.K. (1998) On the abrasion of diaspores during fluvial transport: an experimental approach. *Review of Paleobotany and Palynology*, v. 102, p. 305-311.
- JAMES, M.A.; ANSELL, A.D.; COLLINS, M.J.; CURRY, G.B.; PECK, L.S.; RHODES, M.C. (1992) Biology of living brachiopods. *Advances Marine Biology*, v. 28, p. 175-387.
- JOPE, M. (1965) Composition of the brachiopod shell. In: Moore, R.C. (ed.) *Treatise on invertebrate paleontology, part H, Brachiopoda*. Lawrence, Geological Society of America and University of Kansas Press. p. 156-164.
- KAESLER, R.; KONTROVITZ, M.; TAUTON, S. (1993) Crushing strength of *Purina pacifica* (Ostracoda), an experimental approach to taphonomy. *Journal of Paleontology*, v. 67, p. 1005-1010.
- KENNEDY, W.J.; MORRIS, N.J.; TAYLOR, J.D. (1970) The shell structure, mineralogy, and relationships of the Chamacea (Bivalvia). *Palaeontology*, v. 13, p. 379-413.
- KIDWELL, S.M. (1990) Phanerozoic evolution of macroinvertebrate shell accumulations: preliminary data from the Jurassic of Britain. In: MILLER, W. (ed.) *Paleocommunity temporal dynamics: the long-term development of multispecies assembles*. Knoxville, The Paleontological Society Special Publication, n.5. p.309-327.
- KIDWELL, S.M. (1998) Time-averaging in the marine fossil record: overview of strategies and uncertainties. *Geobios*, v. 30, n. 7, p. 977-995.
- KIDWELL, S.M.; BAUMILLER, T. (1990) Experimental disintegration of regular echinoids: roles of temperature, oxygen, and decay thresholds. *Paleobiology*, v. 16, n. 3, p. 247-271.
- KIDWELL, S.M.; HOLLAND, S.M. (1991) Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaaios*, v. 6, p. 426-434.
- KIDWELL, S.M.; BEHRENSMEYER, A.K. (1993) *Taphonomic approaches to time resolution in fossil assemblages*. Short Course in Paleontology, n.6. 302p.

- KIDWELL, S.M.; BRENCHLEY, P.J. (1994) Patterns of bioclastic accumulation through the Phanerozoic: Changes in input or in destruction? *Geology*, v. 22, p. 1139-1143.
- KIDWELL, S.M.; BRENCHLEY, P.J. (1996) Evolution of the fossil record: thickness trends in marine skeletal accumulations and their implications. In: JABLONSKI, D.; ERWIN, D.H.; LIPPS, J.H. (eds.) *Evolutionary Paleobiology*. Chicago, University of Chicago Press. p.290-336.
- KLEINBAUM, D.G. (1996) *Survival Analysis: a self-learning text*. New York, Springer-Verlag, 324p.
- KOWALEWSKI, M. (1996) Time-averaging, overcompleteness, and the geological record. *Journal of Geology*, v. 104, p. 317-326.
- KOWALEWSKI, M. (1997) The reciprocal taphonomic model. *Lethaia*, v. 30, p. 86-88.
- KOWALEWSKI, M.; GOODFRIEND, G.A.; FLESSA, K.W. (1998) High resolution estimates of temporal mixing within shell beds: the evils and virtues of time-averaging. *Paleobiology*, v. 24, p. 287-304.
- KOWALEWSKI, M.; SIMÕES, M.G.; CARROLL, M.; RODLAND, D.L. (2002) Abundant brachiopods on a tropical, upwelling-influence shelf (Southeast Brazilian Bight, South Atlantic). *Palaios*, v. 17, p. 277-286.
- KRUMBEIN, W.C. (1941) The effects of abrasion on the size, shape, and roundness of rock fragments. *Journal of Geology*, v. 49, p. 482-520.
- KUENEN, P.H. (1956) Experimental abrasion of pebbles I. Wet sandblasting. *Leidse Geol. Mededel*, v. 20, p. 131-137.
- LABARBERA, M.; MERZ, R.A. (1992) Postmortem change in strength of gastropod shells: evolutionary implications for hermit crabs, snails, and their mutual predators. *Paleobiology*, v. 18, p. 367-377.
- LEE, D.E. (1978) Aspects of the ecology and paleoecology of the brachiopod *Notosaria nigricans* (Sowerby). *Journal of the Royal Society of New Zealand*, v. 8, p. 395-417.
- LESCINSKY, H.L. (1997) Epibiont communities: recruitment and competition on North American Carboniferous brachiopods. *Journal of Paleontology*, v. 71, n. 1, p. 34-53.
- LI, X.; DROSER, M.L. (1997) Nature and distribution of Cambrian shell concentrations: evidence from the Basin and Range province of western United States (California, Nevada and Utah). *Palaios*, v. 12, p. 111-126.

- LOGAN, A.; NOBLE, J.P.A. (1971) A recent shallow-water brachiopod community from the Bay of Fundy. *Maritime Sediments*, v. 7, n. 2, p. 85-91.
- MANTEL, N. (1966) Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration. *Cancer Chemotherapy Reports*, v. 50, p. 163-170.
- MARSHALL, P. (1927) The wearing of beach gravels. *New Zealand Institute Transactions*, v. 58, p. 507-532.
- MARTIN, R.M. (1999) *Taphonomy: a process approach*. Cambridge, Cambridge University Press. 508p.
- MARTINEZ, S. (1994) *Bioestratigrafia (Invertebrados) de la Formación Camacho (Mioceno, Uruguay)*. Buenos Aires, 346p. Tese (Doutorado)- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- MARTINEZ, S.; VERDE, M. (1992) Comparacion del registro de mortalidade masiva em uma espécie recente (*Bouchardia rosea*) y una fosil (*B. Transplatina*) (Brachiopoda: Terebratulida). *Boletim de la Sociedad Zoologica del Uruguay*, v. 7, p. 45-46.
- MCKINNON, D.I.; BEUS, S.S.; LEE, D.E. (1993) Brachiopos fauna of the Kokoamu Greensand (Oligocene), New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 36, p. 327-347.
- McKITTRICK, M.A. (1987) Experiments on the settling of gastropod and bivalve shells, biostratigraphic implications. In: FLESSA, K.W. (ed.) *Paleontological Society, Special publication*, 2, p. 150-163.
- MELDAHL, K.H.K.; FLESSA, K.W.; CUTLER, A. H. (1997) Time-averaging and postmortem skeletal survival in benthic fossil assemblages: quantitative comparisons among Holocene environments. *Paleobiology*, v. 23, p. 207-229.
- MIKOS, M.; JAEGGI, M.N.R. (1995) Experiments on motion of sediment mixtures in a tumbling mill to study fluvial abrasion. *Journal of Hydraulic Research*, v. 33, n. 6, p. 751-772.
- MILLER, D.J.; LABARBERA, M. (1995) Effects of foliaceous varices on the mechanical properties of *Chicoreus dilectus* (Gastropoda: Muricidae). *Journal of Zoology*, v. 236, p. 151-160.
- MUNDLOS, R. (1978) Terebratulid shell beds. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, v. 157, p. 45-47.

- NOBLE, J.P.A.; LOGAN, A. (1981) Size-frequency distributions and taphonomy of brachiopods: a recent model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 36, p. 87-105.
- NOBLE, J.P.A.; LOGAN, A.; WEBB, G.R. (1976) The Recent *Terebratulina* community in the rocky subtidal zone of the Bay of Fundy, Canada. *Lethaia*, v. 9, p. 1-17.
- OJI, T.; OGAYA, C.; SATO, T. (2003) Increase of shell-crushing predation recorded in fossil shell fragmentation. *Paleobiology*, v. 29, n. 4, p. 520-526.
- OLSZEWSKI, T. (1999) Taking advantage of time-averaging. *Paleobiology*, v. 25, p. 226-238.
- PARSONS-HUBBARD, K.M.; CALLENDER, W.R.; POWELL, E.N.; BRETT, C.E.; WALKER, S.E.; RAYMOND, A.L.; STAFF, G. (1999) Rates of burial and disturbance of experimentally-deployed mollusc: implications for preservation potential. *Palaios*, v. 14, p. 337-351.
- PASSOS, J.R. (2004) *Guia para aulas práticas (Curso de Ciências Biológicas)*. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. 125p.
- PEBLES, M.W.; LEWIS, R.D. (1991) Surface textures of benthic foraminifera from San Salvador, Bahamas. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 21, n. 4, p. 285-292.
- POTTER, P.E. (1955) The petrology and origin of the Lafayette gravel. *Journal of Geology*, v. 63, p. 1-38.
- RAFFAELLI, D.G. (1978) The relationship between shell injuries, shell thickness and habitat characteristics of the intertidal snail *Littorina rudis* Maton. *Journal of Molluscan Studies*, v. 44, p. 166-170.
- RAJAMANI, R.K.; MISHRA, B.K.; SONGFACK, P.; VENUGOPAL, R. (1999) Millsoft—simulation software for tumbling-mill design and trouble shooting. *Mining Engineering*, 41-47.
- RATKOSWKY, D.A. (1989) *Handbook of nonlinear regression models*. New York, Marcel Dekker.
- RAYLEIGH, LORD (1944) Pebbles, natural and artificial. Their shape under various conditions of abrasion. *Proceedings of the Royal Society of London A*, v. 182, p. 321-355.
- RAYLEIGH, LORD (1943) The ultimate shape of pebbles, natural and artificial. *Proceedings of the Royal Society of London A*, v. 181, p. 107-118.

- RAZUK, P.C. (1992) *Um estudo sobre as operações unitárias de agitação, troca de calor em tanques e mistura de pós*. Bauru, 119p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru, Universidade Estadual Paulista.
- RICHARDSON, J.R. (1981) Distribution and orientation of six articulate brachiopod species from New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, v. 8, p. 189-196.
- RICKWOOD, A.E. (1968) A contribution to the life history and biology of the brachiopod *Pumilus antiquatus* Atkins. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, v. 10, p. 163-182.
- RODLAND, D.L.; KOWALEWSKI, M.; CARROLL, M.; SIMÕES, M.G. (2002) Colonists of a "lost world"; quantitative analysis of brachiopod encrustation on the subtropical shelf of the Southeast Brazilian Bight. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, 34., Denver, 2002. *Abstracts with Programs*, p. 34.
- ROY, K.; MILLER, D.J.; LABARBERA, M. (1994) Taphonomic bias in analyses of drilling predation: effects of gastropod drill holes on bivalve shell strength. *Palaios*, v. 9, p. 413-421.
- SAS (1996) *Statistical Analysis System for Windows Release 6*. System Help. Cary, North Carolina, USA.
- SEPKOSKI Jr., J.J. (1981) A factor analytic description of the Phanerozoic marine fossil record. *Paleobiology*, v. 7, n. 1, p. 36-53.
- SIMÕES, M.G. (inédito a) *Brachiopod and bivalve taphonomy in subtropical siliciclastic settings of northern coast of São Paulo State: environmental variation in taphonomic signatures, biostratinomic style and time-averaging among death assemblages*. São Paulo, 50p. (Relatório 1, Fapesp, 00/012659-7).
- SIMÕES, M.G. (inédito b) *Brachiopod and bivalve taphonomy in subtropical siliciclastic settings of northern coast of São Paulo State: environmental variation in taphonomic signatures, biostratinomic style and time-averaging among death assemblages*. São Paulo, 220p. (Relatório 2, Fapesp, 00/012659-7).
- SIMÕES, M.G. (inédito c) *Brachiopod and bivalve taphonomy in subtropical siliciclastic settings of northern coast of São Paulo State: environmental variation in taphonomic signatures, biostratinomic style and time-averaging among death assemblages*. São Paulo, 102p. (Relatório final, Fapesp, 00/012659-7).
- SIMÕES, M.G.; KOWALEWSKI, M. (2003) Modern accumulations of brachiopod shells in unconsolidated surficial beach deposits, northern coast of São Paulo

- state, Brazil: taphonomic implications for the genesis of skeletal concentrations. In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., Belém, 2003. *Abstracts*. Belém, p. 220-221.
- SIMÕES, M.G.; KOWALEWSKI, M. (2002) Taphonomy of recent articulate brachiopods from subtropical, siliciclastic-carbonate environments of southern Brazil. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, 34., Denver, 2002. *Abstracts with Programs*, p.357.
- SIMOES, M. G., KOWALEWSKI, M., MELLO, L. H. C., RODLAND, D., CARROLL, M. (2004) Recent brachiopods from the Southern Brazilian shelf: palaeontological and biogeographical implications. *Palaeontology*, v.47, n.3, p.1 - 19.
- SIMÕES, M.G.; KOWALEWSKI, M.; TORELLO, F.F.; GHILARDI, R.P.; MELLO, L.H.C. (2000a) Early onset of modern-style shell beds in the Permian sequences of the Paraná Basin: implications for the Phanerozoic trend in bioclastic accumulations. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 3, p. 499-503.
- SIMÕES, M.G.; MARQUES, A.C.; MELLO, L.H.C.; GHILARDI, R.P. (2000b) The role of taphonomy in cladistic analysis: a case study in Permian bivalves. *Revista Española de Paleontología*, v. 15, n. 2, p. 153-164.
- SMITH, O.A.; HALLMAN, D.P.; BATTEN, J. (1995) Comparative taphonomy of recent lingulid brachiopod and bivalve shells: an experimental study. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, New Orleans, 1995. *Abstracts with Programs*. New Orleans, v. 27, p.A-135.
- STEARLEY, R.F.; EKDALE, A.A. (1989) Modern marine bioerosion by macroinvertebrates, northern gulf of California. *Palaios*, v. 4, p. 453-467.
- STEINER, H.J. (1996) Characterization of laboratory-scale tumbling mills. *International Journal of Mineral Processing*, v. 44-45, p. 375-382.
- STERBACEK, Z.; TAUSK, P. (1965) Mixing in the Chemical Industry. In: Danckwerts, P.V. (ed.) *International Series of Monographs in Chemical Engineering*, v. 5. Oxford, Pergamon Press. 389p.
- TAUTON, S.; KAESLER, R.L. (1991) Experimental taphonomy of ostracoda: tumbling and transportation of *Cyprideis beaconnensis*. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, San Diego, 1991. *Abstracts with Programs*. v.23, p. A344.
- TAYLOR, J.D.; LAYMAN, M. (1972) The mechanical properties of bivalve (Mollusca) shell structures. *Paleontology*, v. 15, p. 73-87.

- TAYLOR, J.D.; KENNEDY, W.J.; HALL, A. (1973) The shell structure and mineralogy of the Bivalvia II. Lucinacea-Clavagellacea, Conclusions. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Supplement*, v. 22, n. 9, p. 253-294.
- TAYLOR, J.D.; KENNEDY, W.J.; HALL, A. (1969) The shell structure and mineralogy of the Bivalvia. Introduction. Nuculacea-Trigoniacea. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Supplement*, v. 3, p. 1-25.
- THAYER, C.W. (1975) Size-frequency and population structure of brachiopods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 17, p. 139-148.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G. (2003) Tafonomia experimental do fóssil-vivo *Bouchardia rosea* (Brachiopoda, Terebratulidae) e suas implicações paleontológicas. In: WORKSHOP CIENTÍFICO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IGc-USP, 3., São Paulo, 2003. *Boletim de Resumos*. São Paulo, p. 15.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2003a) Dorsal and ventral brachiopod shell resistance to abrasion tested under laboratory conditions: what is causing their bias in the fossil record? In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., Belém, 2003. *Abstracts*. Belém, p. 222-223.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2003b) Comparative bivalve and brachiopod shell resistance to abrasion tested in a taphonomic tumbling barrel. In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., Belém, 2003. *Abstracts*. Belém, p. 223-224.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2002a) The taphonomic tumbling barrel- a methodological review to understand preservational biases in the fossil record. In: FIRST INTERNATIONAL PALEONTOLOGICAL CONGRESS, Sydney, 1., 2002. *Abstracts*. Sydney, p.285-286.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2002b) Bivalve shell resistance to abrasion tested in a taphonomic tumbling barrel. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, PALEO2002, São Paulo, 2002. *Boletim de Resumos*. São Paulo, p.21.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2001) The taphonomic tumbling barrel: design, construction and applications. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17., Rio Branco, 2001. *Boletim de Resumos*. Rio Branco, p. 32.
- TORELLO, F.F.; SIMÕES, M.G.; PASSOS, J.R.S. (2000) Taphonomic tumbling: destroying shells to understand the nature of fossil record. In: REUNIÃO ANUAL

- DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, PALEO2000, Botucatu, 2000. *Boletim de Resumos*. Botucatu, p.23.
- TUDHOPE, A.W.; RISK, M.J. (1985) Rate of dissolution of carbonate sediments by microboring organisms, Davies Reef, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 55, n. 3, p. 440-447.
- VELBEL, M.; BRANDT, D.S. (1989) Differential preservation of brachipod valves: taphonomic bias in *Platystrophia ponderosa*. *Palaios*, v. 4, p. 193-195.
- WAINWRIGHT, S.A.; BIGGS, W.D.; CURREY, J.D.; GOSELINE, J.M. (1982) *Mechanical design in organisms*. Princeton, Princeton University Press. 423p.
- WALKER, S.E.; GOLDSTEIN, S.T. (1999) Experimental field taphonomy: Taphonomic tiering of molluscs and foraminifera above and below the sediment water interface. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 149, p. 227-244.
- WALKER, S.E.; PARSONS-HUBBARD, K.; POWELL, E.N.; BRETT, C.E. (1998) Bioerosion or bioaccumulation? Shelf-slope trends for epi- and endobionts on experimentally deployed gastropod shells. *Historical Biology*, v. 13, p. 61-72.
- WALKER, S.E.; PARKER, W.C. (1976) Population structure of a pioneer and a later stage species in an Ordovician ecological succession. *Paleobiology*, v. 2, p. 191-201.
- WENTWORTH, C.K. (1936) The shapes of glacial and ice jam cobbles. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 6, p. 97-108.
- WENTWORTH, C.K. (1922a) A method of measuring and plotting the shapes of pebbles. *U.S. Geological Survey Bulletin*, v. 730, p. 91-102.
- WENTWORTH, C.K. (1922b) A field study of the shapes of river pebbles. *U.S. Geological Survey Bulletin*, v. 730, p. 103-114.
- WENTWORTH, C.K. (1919) A laboratory and field study of cobble abrasion. *Journal of Geology*, v. 27, p. 507-522.
- WILLIAMS, A. (1990) Biomineralization in the Lophophorates. In: CARTER, J.G. (ed.) *Skeletal biomineralization: Patterns, process and evolutionary trends*. New York, Van Nostrand Reinhold. p 62-82.
- WILLIAMS, A.; ROWELL, A.J. (1965) Morphology. In: MOORE, R.C. (ed.) *Treatise on invertebrate paleontology, part H, Brachiopoda*. Lawrence, Geological Society of America and University of Kansas Press. p. 57-165.

- ZAR, J.H. (1996) *Bioestatistical analysis*. Upper Saddle River, Ed. Prentice Hall. 662p.
- ZUSCHIN, M.; STANTON, R.J. (2001) Experimental measurement of shell strength and its taphonomic interpretation. *Palaios*, v. 16, p. 161-170.