



**ANÁLISE TAFONÔMICA INTEGRATIVA: NOVOS *INSIGHTS* A PARTIR DE
DEPÓSITOS CONCHÍFEROS HOLOCÊNICOS DO SUL DO BRASIL**

Porto Alegre, 2015

ELIS REGINA BELTRAM

**ANÁLISE TAFONÔMICA INTEGRATIVA: NOVOS *INSIGHTS* A PARTIR DE
DEPÓSITOS CONCHÍFEROS HOLOCÊNICOS DO SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Coimbra

Supervisor: M.Sc. Matias do Nascimento Ritter

Porto Alegre, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “ANÁLISE TAFONÔMICA INTEGRATIVA: NOVOS *INSIGHTS* A PARTIR DE DEPÓSITOS CONCHÍFEROS HOLOCÊNICOS DO SUL DO BRASIL”, elaborado por ELIS REGINA BELTRAM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão examinadora:

Dra. Ana Karina Scomazzon

Dr. Cesar Leandro Schultz

Dra. Maria Alejandra Gomez Pivel

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Beltram, Elis Regina

Análise tafonômica integrativa: novos insights a partir de depósitos
conchíferos holocênicos do sul do Brasil. / Elis Regina Beltram. -
Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.
[46 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): João Carlos Coimbra
Coorientador(es): Matias do Nascimento Ritter

1. Assinaturas tafonômicas 2. Tafonomia 3. Estratigrafia de
Sequências 4. Planície Costeira do Rio Grande do Sul I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo acesso ao ensino público de qualidade. Da mesma forma, agradeço ao Instituto de Geociências por priorizar o ensino de excelência, visando formar geólogos competentes a atender às demandas da sociedade e do mercado de trabalho com consciência moral, ética e de sustentabilidade.

Este trabalho está vinculado ao projeto “Aplicação paleoambiental de assinaturas tafonômicas em bivalves holocênicos do LNRS, Brasil” o qual é coordenado pelo professor Dr. João Carlos Coimbra e financiado parcialmente pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS, processo 1982-2551/13-7). Os custos relativos à etapa de campo foram financiados por este projeto e pelo Instituto de Geociências da UFRGS, ao qual agradeço também pela infraestrutura utilizada não somente neste trabalho, mas durante toda a graduação. Agradeço ao prof. Jair Weschenfelder por ceder parte do material utilizado neste trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica (processo 148106/2015-3) que permitiu dedicação integral a tais atividades.

Ao meu orientador Dr. João Carlos Coimbra por ter me dado a primeira oportunidade na área da pesquisa ao abrir as portas do Laboratório de Microfósseis Calcários, por ter me apresentado a mais de um campo de trabalho e ter me dado a opção de escolha de especialização. Agradeço ainda por estar sempre disponível para orientação, seja em uma reunião ou ao longo de uma xícara de café.

Ao meu supervisor, futuro doutor e amigo Matias do Nascimento Ritter pela constante dedicação, incentivo e infinita paciência, por acreditar na minha capacidade e por mostrar o quão longe a ciência pode nos levar; tenho certeza de que será um professor excelente. Ao meu segundo supervisor, aquele que não teve o nome impresso, mas que não orientou menos, Dr. Fernando Erthal, pelas inúmeras sessões tira-dúvidas e por ter aguentado muita conversa enquanto mantinha o foco em seu pós doc. Ainda, por ter me feito perceber que “sei mais do que penso que sei”, pois confiança é fundamental ao defender um projeto.

Aos meus colegas de laboratório, da sala das meninas e da sala dos meninos e à professora Dra. Maria Alejandra Pivel, pelas inúmeras conversas enriquecedoras e principalmente ao Sandro, que já tirou muita dúvida em época de provas.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, os motoristas Aauto, Armando, Claudinho e Jarson, por sempre nos esperarem com um sorriso no rosto ao fim de um longo dia de campo e por nos resgatar nos lugares mais inalcançáveis. A todos os professores do curso em especial às professoras Dra. Karin Goldberg, por ensinar que não devemos ter medo de desafiar a literatura com novas hipóteses, e Dra. Marina Bento Soares, por ter me apresentado à Paleontologia, e por serem exemplos de profissionais de excelência e referências em sua área de atuação.

À minha família, pai, mãe e avós, pelo incentivo constante, vocês são minha fundação, minha rocha e embasamento. Ainda, à minha mãe por ser exemplo de força mesmo diante das maiores adversidades e por nunca ter duvidado de que grandes conquistas estarão no meu caminho e à minha vó Armida por me apoiar quando eu quis ser diplomata, jornalista e, finalmente, geóloga.

Aos amigos geológicos que ingressaram nessa jornada duradoura junto comigo, que pelearam, tropeçaram e comemoraram junto a mim, Betina, Ronei, Jonatas, Gominho, Arvorezinha, Carina, Pâmela, Thamys, Karencita e todas as outras amizades que cruzaram meu caminho desde então. Vocês foram fundamentais para tornar essa trajetória tão especial quanto ela foi.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu desenvolvesse e mantivesse o interesse pelo vasto campo das Ciências da Terra.

“CabôôÔôÔ!” (Bueno, G. 1994)

RESUMO

Concentrações conchíferas são comuns em depósitos transicionais do sul do Brasil e apresentam elevado potencial para pesquisas tafonômicas. O presente trabalho toma três localidades do litoral sul e médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) onde afloram depósitos conchíferos holocênicos relacionados ao Sistema Depositional Lagunar IV, desenvolvido em consequência da última grande transgressão pós-glacial e propõe uma caracterização tafonômica detalhada atrelada ao contexto estratigráfico em que se inserem. Para tal, as amostras foram submetidas à análise tafonômica quantitativa e a datações ^{14}C -AMS para análise mínima dos efeitos do *time-averaging*. O material coletado foi analisado de acordo com protocolo pré-estabelecido e os dados foram quantificados e processados com o auxílio do *software* Past®. A análise das variáveis tafonômicas revelou que os três depósitos exibem um padrão semelhante, com grande índice de fragmentação e dissolução dos bioclastos. Tal resultado demonstra homogeneidade tafonômica em depósitos lagunares e estuarinos inseridos em contexto transgressivo em escala local e regional. Todas as localidades datadas se mostraram condensadas espacialmente e temporalmente, exibindo amplitudes temporais consideráveis para o Holoceno, porém bastante distintas entre si (200 anos e 1000 anos). Tais amplitudes corroboram que os depósitos lagunares e estuarinos que afloram na região de estudo estão associados à Transgressão Pós-glacial, porém revela que não estão associados ao máximo transgressivo. Dessa forma, foi possível averiguar que, embora o perfil de dano tafonômico em *shell beds* lagunares/estuarinas inseridas no Trato de Sistemas Transgressivo seja uniforme, estes depósitos diferem quanto aos efeitos do *time-averaging*.

Palavras-chave: Assinaturas tafonômicas, Estratigrafia de Sequências, depósitos conchíferos.

ABSTRACT

The occurrence of shell concentration in transitional deposits is common in southern Brazil. This study takes three locations in south and middle coast of Rio Grande do Sul Coastal Plain where Holocene shell beds associated to Depositional System Lagoon IV - developed in consequence of the last major post-glacial transgression - outcrop and proposes a detailed taphonomic characterization linked to the stratigraphic context in which they operate. To this end, the samples were subjected to quantitative taphonomic analysis and dating ^{14}C -AMS in order to estimate time-averaging. The samples were analyzed according to a pre-established protocol and data were quantified and processed with Past® software. Taphonomic signatures analysis revealed that all three locations show a similar pattern, with high fragmentation and dissolution of bioclasts. Such result demonstrates taphonomic homogeneity in estuarine and lagoon deposits inserted in transgressive context in local and regional scale. Both dated localities proved to be spatially and temporally condensed, displaying temporal ranges considerable for the Holocene, but very distinct to one another (200 years and 1000 years). Such ranges confirm that lagoon and estuarine deposits that outcrop in the study area are associated with the Post-glacial Transgression, but are not associated with the transgressive maximum. Thus, it is possible to ascertain that although the taphonomic damage profile in lagoon/estuarine shell beds inserted in the Transgressive Systems Tract is homogeneous, such deposits differ as to the effects of time-averaging.

Tags: Taphonomic signatures, Sequence Stratigraphy, shell beds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Concentrações conchíferas formadas sob controle das variações no regime de sedimentação e seus respectivos atributos tafonômicos. A altura do triângulo representa a espessura do depósito conchífero e a base maior onde há maior intensidade do índice apontado acima (adaptada de Kidwell, 1986)..... 19
- Figura 2. Sequência deposicional indicando os momentos de maior suscetibilidade à formação de *shell beds*, e os principais registros tafonômicos (modificado de Fürsich & Pandey, 2003). OBS: TST = Trato de Sistemas Transgressivo, TSNA = Trato de Sistemas de Nível Alto, ZIM = Zona de Inundação Máxima..... 20
- Figura 3. Localização da área de estudo: 1) afloramento localizado no Arroio Chuí, neste trabalho denominado S1; 2) na Praia das Maravilhas, S2; e 3) afloramentos na região de Bujuru, distantes aproximadamente 2 km entre si (S3-1 e S3-2). 22
- Figura 4. Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000). 23
- Figura 5. Curvas de variação do nível do mar para o Brasil e contextos de tratos de sistemas esperados (retirado de Rosa, 2012)..... 24
- Figura 6. A-B, associação conchífera S1, localizada no Arroio Chuí; C-D, associação conchífera S2, localizada na Praia das Maravilhas; E-F, associações conchíferas amostradas em S3, localizadas em Bujuru (imagens E-F cedidas por Jair Weschenfelder). 27
- Figura 7. Alguns atributos tafonômicos analisados neste trabalho. A, concha inteira; B, concha fragmentada com perda menor de 20%; C, concha fragmentada com perda maior a 20%; D, margem arredondada; E, preservação da margem alterada lascada; F, dissolução menor que 30%; G, dissolução maior que 30% e menor que 60%; H, dissolução maior que 60%; I) alteração de fina escala - furos; J) alteração de fina escala - pontuações; K, bioerosão por esponja e traços microendolíticos; L, bioerosão. Escalas: 0,5 cm. 30
- Figura 8. *Boxplot* em que é possível observar a variância entre as localidades de forma geral, bem como observar quais assinaturas foram mais intensas. A linha horizontal assinala a mediana, e todo o retângulo a variância (95 %). O valor de p no gráfico indica que os valores do dano tafonômico médio foram distintos entre as assinaturas. 34
- Figura 9. Gráfico de barras ilustrando a variação do dano tafonômico médio entre as localidades por assinatura. ** significa um valor de $p=0,01$. *** significa um valor de $p<0,001$. Valores obtidos com o teste Kruskal-Wallis. A barra de erros significa um intervalo de confiança de 95%. 36
- Figura 10. Análise de agrupamentos considerando duas subamostras na localidade S3 (Bujuru), ilustrando que não existe variação tafonômica lateral significativa nos afloramentos e que este viés pode ser desconsiderado. OBS: distância tafonômica. 37

Figura 11. Análise de agrupamentos a partir de uma matriz com a média ponderada para todas as assinaturas consideradas ilustrando que, realizando uma aleatorização, em 100% delas existe a separação das localidades em dois grupos (S1 e S2+S3). OBS: distância tafonômica.....	38
Figura 12. Histograma ilustrando as classes de tamanho (cm) encontradas neste estudo. Observa-se que 90% das conchas apresentam tamanho inferior a 1 cm.....	39
Figura 13. Escalonamento Multidimensional não-Métrico (nMDS) em que é apresentado a dispersão dos afloramentos (S1, S2 e S3), com base no dano tafonômico médio para três classes de tamanho. Uma análise PERMANOVA (análise multivariada não-paramétrica de variância) ilustra que os grupos não são distintos entre si ($p>0,05$).	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Protocolo indicando variáveis tafonômicas e categorias utilizadas.	29
Tabela 2. Idades ¹⁴ C obtidas.....	33
Tabela 3. Valores de <i>p</i> (teste estatístico Mann-Whitney) para as localidades comparadas aos pares. Abreviaturas: Frag., fragmentação; Grau de frag., Grau de fragmentação; FSA, alteração de fina escala; Diss., dissolução; Bio., bioerosão; Incr., incrustação.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.3 HIPÓTESE DE TRABALHO.....	15
1.4 OBJETIVOS E METAS	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 TAFONOMIA E ASSINATURAS TAFONÔMICAS.....	15
2.2 NATUREZA DAS <i>SHELL BEDS</i>	18
3. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 LOCAIS DE COLETA DOS BIOCLASTOS	26
4.2 ANÁLISE TAFONÔMICA	27
4.2.1 PROTOCOLO TAFONÔMICO.....	27
4.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
4.3 DATAÇÕES	32
5. RESULTADOS	32
6. DISCUSSÃO.....	40
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Por apresentarem expressivo registro fóssil, os moluscos, principalmente os bivalves, constituem o principal alvo de estudos tafonômicos, ocorrendo em ambientes marinhos, transicionais, fluviais e lacustres. Embora existam alguns estudos que relacionem Estratigrafia de Sequências à Tafonomia (e.g. Banerjee & Kidwell 1991; Fürsich & Oschmann, 1993; Brett, 1995), tais pesquisas se restringiram a depósitos plataformais marinhos. Logo, esta relação não apresenta refinamento para todos os ambientes passíveis de formação de depósitos conchíferos. Concentrações conchíferas são comuns em depósitos transicionais holocênicos do sul do Brasil e apresentam elevado potencial para pesquisas tafonômicas (Ritter & Erthal, 2013). Apesar disso, estes depósitos permanecem pouco explorados sob o ponto de vista tafonômico, tornando-se imprescindível uma caracterização desta natureza aliada ao contexto evolutivo do ambiente de formação destes depósitos.

O conhecimento sobre os fatores que permitiram o desenvolvimento dos sistemas lagunares holocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) e sobre a sua evolução permite posicionar depósitos conchíferos no contexto da Estratigrafia de Sequências. Aliando-o à caracterização tafonômica dos depósitos aflorantes na região, é possível identificar os principais danos e vieses presentes em uma *shell bed* lagunar/estuarina e extrapolar esse raciocínio para depósitos cujo posicionamento estratigráfico ainda é desconhecido.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A formação de depósitos conchíferos expressivos (*shell beds*; Kidwell, 1986) em sistemas marinhos de margem passiva e a sua relação com padrões tafonômicos são bem documentadas (Kidwell, 1986, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993). Contudo, dentre os sistemas sedimentares transicionais, a interação entre a formação de *shell beds* e a Tafonomia relativa aos sistemas lagunares e estuarinos permanece desconhecida.

Considerando que variações relativas do nível do mar também influenciam a formação de ambientes deposicionais transicionais, é – teoricamente – esperado que exista relação entre a deposição de *shell beds* transicionais e as sequências estratigráficas nas quais estão inseridas, sendo possível identificar esta relação através de uma caracterização tafonômica detalhada.

1.3 HIPÓTESE DE TRABALHO

Este trabalho toma três depósitos conchíferos aflorantes nas porções média e sul da PCRS, os quais permanecem pouco explorados quanto aos seus atributos tafonômicos, e propõe que: (i) *shell beds* de ambientes transicionais formadas em contexto transgressivo possuem caracterização tafonômica semelhante entre si e análoga àquela averiguada em *shell beds* marinhas; e (ii) é possível estabelecer a relação entre a caracterização tafonômica e o posicionamento estratigráfico de depósitos transicionais transgressivos.

1.4 OBJETIVOS E METAS

O presente trabalho visa relacionar o contexto deposicional com a caracterização tafonômica de três localidades associadas a sistemas lagunares/estuarinos holocênicos formados em contexto transgressivo.

Especificamente, pretende-se:

- caracterizar os principais danos tafonômicos (assinaturas tafonômicas);
- realizar datações ^{14}C AMS para estimar o grau de condensação temporal (*time-averaging*);
- correlacionar as assinaturas tafonômicas com o posicionamento estratigráfico dos depósitos a partir de trabalhos de geologia de subsuperfície já publicados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TAFONOMIA E ASSINATURAS TAFONÔMICAS

O registro fóssil é caracterizado por sua incompletude, ou seja, a informação biológica contida nele é alterada desde a associação viva até a associação fóssil (Behrensmeyer *et al.*, 2000). A Tafonomia visa compreender de forma quali-quantitativa como a informação biológica é alterada nesta rota e, assim, possibilitar uma melhor interpretação da informação preservada no registro fóssil (Behrensmeyer & Kidwell, 1985). Desta forma, esta ciência estuda o processo de preservação dos restos orgânicos no registro sedimentar e como esses processos interferem na qualidade do registro fóssil (Behrensmeyer *et al.*, 2000).

Quanto à qualidade do registro fóssil, esta é expressa pela completude relativa do registro, e pelas misturas temporal e espacial (Kidwell & Flessa, 1996; Kidwell & Holland, 2002) e pode sofrer enviesamento, o qual corresponde aos processos que levam a diferenças entre uma condição mensurada tanto na comunidade viva quanto na associação morta derivada dessa comunidade (Parsons & Brett, 1991). Neste sentido, a Tafonomia estuda os vieses (*bias*) do registro fóssil e é uma ferramenta que permite quantificar a informação biológica suprimida ou alterada, e assim construir mais fielmente atributos biológicos de comunidades pretéritas.

Um dos vieses abordados neste trabalho é o *time-averaging* o qual corresponde à mistura de partículas bioclásticas de diferentes gerações (e de diferentes ambientes, *spatial mixing*) em uma única acumulação (Behrensmeyer *et al.*, 2000). Este ocorre como consequência do acúmulo de material biogênico morto produzido em um intervalo temporal que ultrapassa o tempo de vida dos indivíduos. Sendo assim, espécimes fósseis associados podem representar uma mistura de organismos que podem nunca ter interagido uns com os outros (Kowalewski & Bambach, 2003). Trata-se de um fenômeno comum e inerente ao registro sedimentar e que não pode ser removido ou eliminado pelas estratégias de coleta e análise de dados paleontológicos (Kowalevski *et al.*, 1998).

A formação de uma associação morta é o primeiro passo para a criação de uma associação fóssil. Durante esta transição, muitos elementos biogênicos são perdidos e o componente esquelético restante é sujeito a uma variedade de processos destrutivos, bem como *time-averaging*, que podem resultar na supressão de informação da associação morta original (Erthal, 2012).

Os processos tafonômicos que modificam os bioclastos mortos são registrados na forma de assinaturas tafonômicas. Por serem facilmente reconhecíveis, as assinaturas tafonômicas podem ser mensuradas em restos de moluscos, os quais se preservam com relativa facilidade (Kowalevski & Hofmeister, 2003; Behrensmeyer *et al.*, 2005). Em todos ambientes deposicionais o material esquelético morto está sujeito ao ataque de alguma combinação dos seguintes fatores: (i) oxidação física; (ii) hidrólise; (iii) luz UV (ambientes continentais); (iv) microperfuração; (v) maceração microbiana (da matriz orgânica em condições aeróbicas e anaeróbicas); (vi) dissolução da fase mineral, incluindo precipitação e recristalização dos minerais (Behrensmeyer *et al.*, 2000).

Cada assinatura pode ter uma origem própria correlacionável com o ambiente deposicional (Parsons & Brett, 1991) e pode ser classificada conforme a natureza dos processos que a originaram (de acordo com Smith & Nelson, 2003): (i) processos de origem física – fragmentação e abrasão; (ii) processos de origem química – dissolução, precipitação e descoloração; e (iii) processos de origem biológica – bioerosão e incrustação. Entretanto, uma mesma assinatura tafonômica (e.g. fragmentação) pode ser produzida por processos distintos (transporte, predação ou mesmo dissolução).

Os processos tafonômicos ocorrem no intervalo físico que compreende a interface sedimento-água e o intervalo sedimentar logo abaixo, delimitado pela ocorrência de bioturbação. Este intervalo é denominado Zona Tafonomicamente Ativa (TAZ, do inglês *Taphonomically Active Zone*; Olszewski, 1999). De acordo com Smith & Nelson (2003), nos primeiros centímetros dominam os processos químicos, físicos e biológicos que alteram os bioclastos carbonáticos. Os remanescentes biológicos podem deixar a TAZ por destruição completa ou soterramento permanente (Olszewski, 1999).

Em geral, modificações *post mortem* ocorrem em função da suscetibilidade dos remanescentes biológicos a um conjunto de processos tafonômicos, bem como a janela de tempo do *time-averaging* na TAZ (Olszewski, 1999). Esta suscetibilidade, no caso dos moluscos, é inerente ao hábito de vida do organismo, forma da concha, tamanho, mineralogia, microarquitetura, rugosidade da superfície, revestimentos orgânicos e área de exposição das partes duras. Conseqüentemente, varia não somente entre os grandes grupos taxonômicos, mas também entre espécies de um

único grupo, entre diferentes elementos de um tipo esquelético e entre indivíduos de diferentes estágios ontogenéticos (Kidwell & Bosence, 1991).

2.2 NATUREZA DAS *SHELL BEDS*

Depósitos excepcionalmente ricos em conchas podem ter matriz terrígena ou carbonática e variar desde pavimentos estreitos plano-acamadados até fácies bioclásticas lateralmente extensas. Além disso, podem registrar uma variedade de processos de concentração de bioclastos que vão desde eventos instantâneos – como retrabalhamento por tempestade – até os mais prolongados, como baixa dissolução de associações mortas durante transgressão marinha (Kidwell, 1991).

Concentrações conchíferas podem ser generalizadas em quatro categorias de acordo com o contexto estratigráfico e histórico inferido de acumulação: (i) concentrações de evento único; (ii) concentrações de eventos múltiplos ou compostos; (iii) concentrações condensadas ou de hiato; e (iv) concentrações do tipo *lag* (Kidwell, 1991). Porém, estas categorias não devem ser usadas como discretas e sim de forma integrada, podendo gradar de uma para outra (Kidwell, 1991).

Depósitos conchíferos marinhos de margem passiva possuem origem relacionada principalmente a dois fatores: variações na taxa de sedimentação e/ou na taxa de aporte bioclástico (Kidwell, 1986; Tomašových *et al.*, 2006). Segundo Kidwell (1986), são as variações na taxa de sedimentação que exercem controle primário sobre a natureza do registro fóssil (modelo *R-sediment*, Fig. 1), porém, depósitos conchíferos também podem ser resultantes de variações na taxa de aporte bioclástico (modelo *R-hardpart*). Já no caso de ambientes estuarinos, a gênese dos depósitos pode ser primariamente controlada pelo alto aporte bioclástico de espécies dominantes, contrabalanceado pela dissolução (Ritter *et al.*, 2013).

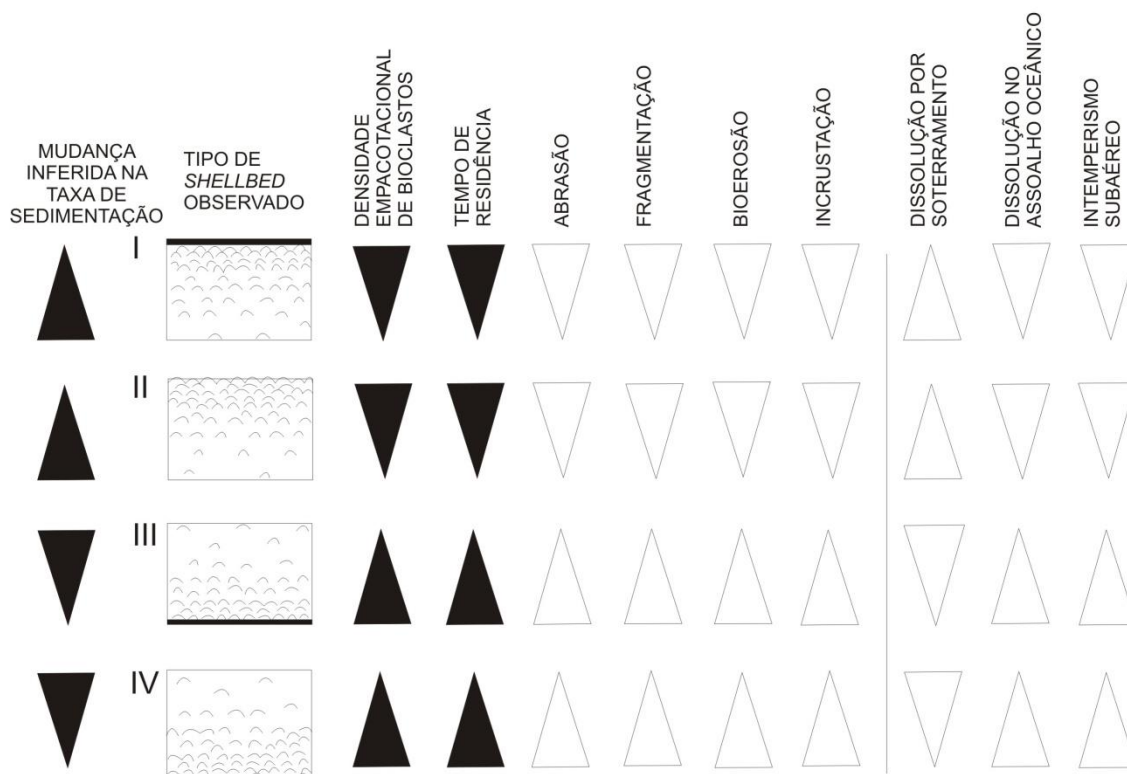


Figura 1. Concentrações conchíferas formadas sob controle das variações no regime de sedimentação e seus respectivos atributos tafonômicos. A altura do triângulo representa a espessura do depósito conchífero e a base maior onde há maior intensidade do índice apontado acima (adaptada de Kidwell, 1986).

De acordo com Tomašových *et al.* (2006), a alta abundância relativa de conchas (do inglês, *shelliness*) pode refletir tanto alta densidade populacional de produtores de conchas (como em ambientes estuarinos; Ritter *et al.*, 2013) quanto falta de sedimento. Quando as *shell beds* são geradas por reduções na taxa de sedimentação (modelo *R-sediment*), uma relação positiva entre degradação tafonômica e *shelliness* é esperada e haverá maiores danos tafonômicos. Por outro lado, se a formação de uma *shell bed* tiver sido controlada pelo aumento da produção de material fossilizável (modelo *R-hardpart*) e a taxa de sedimentação for constante, esta relação é negativa e os danos são menores (Tomašových *et al.*, 2006).

Reduções na taxa de sedimentação ocorrem em pontos característicos dentro de sequências deposicionais e parassequências (Kidwell, 1991) e, dependendo do contexto estratigráfico, diferentes caracterizações tafonômicas são esperadas, como já demonstrado por Fürsich & Pandey (2003) (Fig. 2). Áreas de contínuas baixas taxas de sedimentação, como zonas de *onlap*, *toplap*, *downlap* e *backstep*, são

zonas potenciais de elevada preservação de conchas e formação de *shell beds* (Patzkowsky & Holland, 2012).

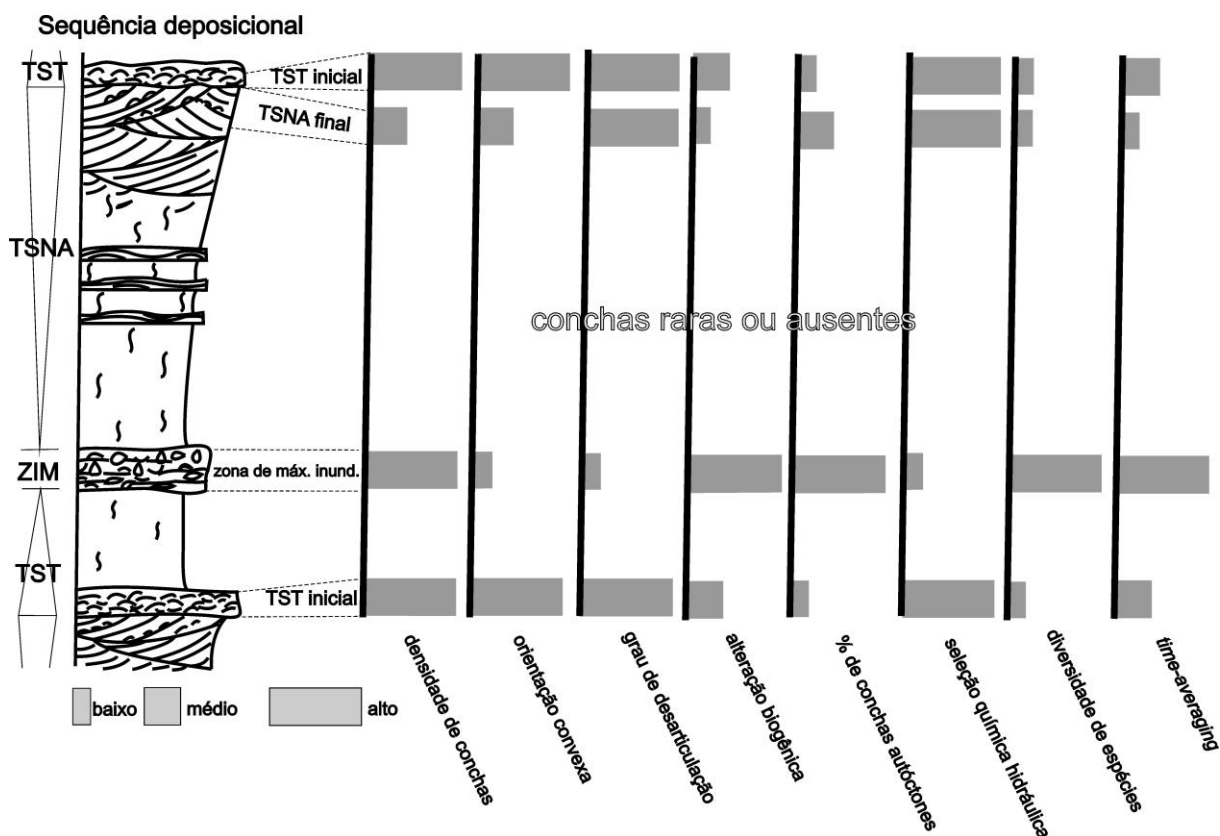


Figura 2. Sequência deposicional indicando os momentos de maior suscetibilidade à formação de *shell beds*, e os principais registros tafonômicos (modificado de Fürsich & Pandey, 2003). OBS: TST = Trato de Sistemas Transgressivo, TSNA = Trato de Sistemas de Nível Alto, ZIM = Zona de Inundação Máxima.

Ainda, Kidwell (1989) indicou que os grandes depósitos de conchas se acumularam durante períodos de retrogradação e são resultantes do balanço favorável entre a taxa de sedimentação e o aporte de bioclastos.

Dentro da Estratigrafia de Sequências, as reduções nas taxas de sedimentação acontecem em pontos específicos: no início do Trato de Sistemas Transgressivo (TST), na Zona de Inundação Máxima (ZIM) e no final do Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA) (Fürsich & Pandey, 2003). Ainda, estão inclusos os intervalos imediatamente acima e abaixo de superfícies de máxima inundação (e.g. Parras & Casadio, 2005) e as superfícies de afogamento que limitam as parassequências (Kidwell, 1991). Cada um destes cenários resulta em depósitos com uma caracterização tafonômica específica, como indicado pelo transporte de conchas, que é mínimo no início do TST, e pelo *time-averaging*, que aumenta dentro

do TST, resultando em depósitos com mistura temporal e espacial acentuada associados ao máximo transgressivo.

Scarponi *et al.* (2013) demonstraram que, em sucessões transgressivas-regressivas de sistemas deposicionais costeiros e plataformais, a resolução temporal do registro fóssil, a frequência dos eventos deposicionais e as taxas de acumulação decrescem dentro do TST e alcançam o mínimo na Seção Condensada (contida na ZIM). O contrário é observado no TSNA (Scarponi *et al.*, 2013).

As feições estratigráficas e demais atributos são essenciais na interpretação das concentrações conchíferas e, em termos de revelar o processo de concentração, são menos ambíguas que as feições tafonômicas. Por exemplo, concentrações de tempestade podem apresentar diversas assinaturas tafonômicas, mas partilham algumas feições estratigráficas, tais como contato erosional na base e geometria tabular (Kidwell, 1991). Esta variabilidade ocorre em todos os tipos de concentrações conchíferas e é a razão pela qual as classificações em que se inserem geralmente são baseadas em critérios sedimentológicos e estratigráficos preferencialmente aos tafonômicos (Kidwell, 1991).

3. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no contexto da PCRS (Fig. 3) e compreende três localidades nos setores sul e médio do litoral do Rio Grande do Sul (RS), associadas ao sistema Laguna-Barreira IV, de idade holocênica.

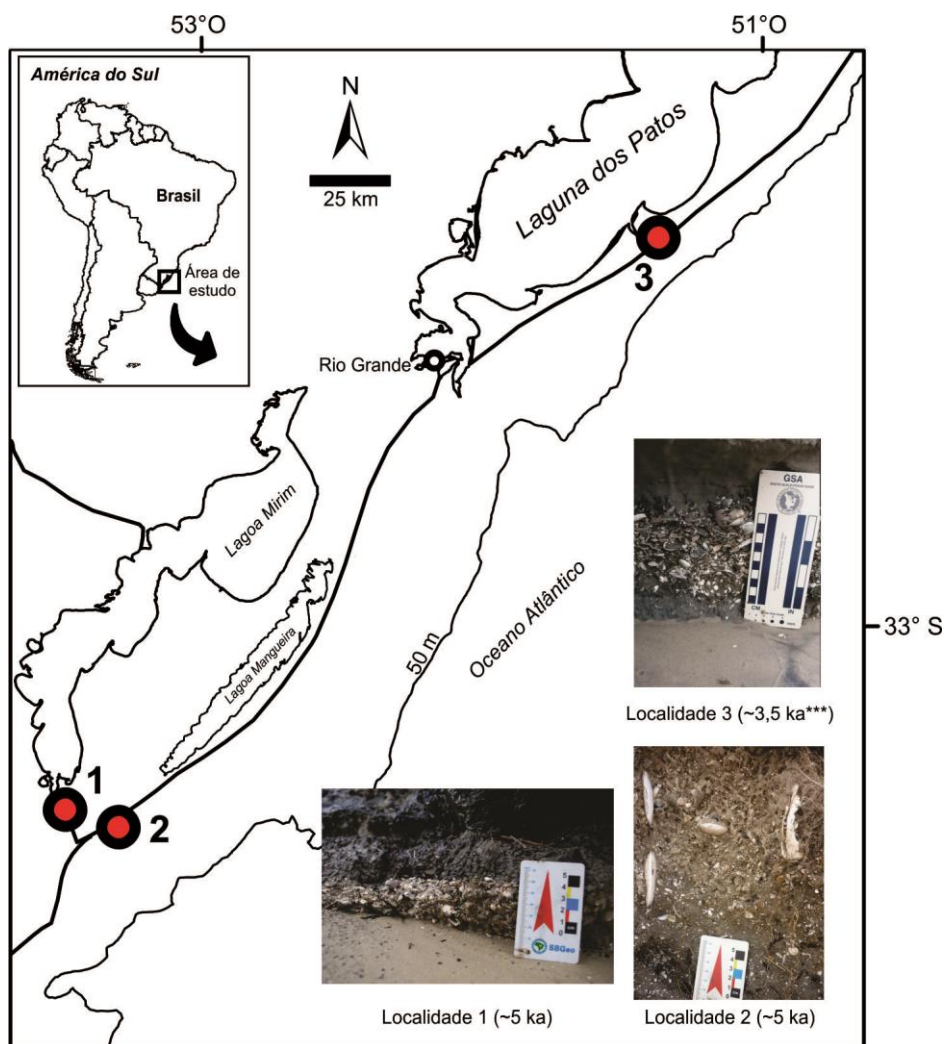


Figura 3. Localização da área de estudo: 1) afloramento localizado no Arroio Chuí, neste trabalho denominado S1; 2) na Praia das Maravilhas, S2; e 3) afloramentos na região de Bujuru, distantes aproximadamente 2 km entre si (S3-1 e S3-2).

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A PCRS corresponde à porção superior emersa da Bacia de Pelotas e é composta por um sistema de leques aluviais e pelos depósitos justapostos de quatro sistemas deposicionais laguna-barreira: os três mais antigos (I, II e III) formados durante o Pleistoceno e o quarto e mais recente (IV) durante o Holoceno (Villwock *et al.*, 1986) (Fig. 4). Estes sistemas estão relacionados aos ciclos transgressivos-regressivos resultantes das variações do nível do mar ocorridas durante o Quaternário (Tomazelli & Villwock, 2000).

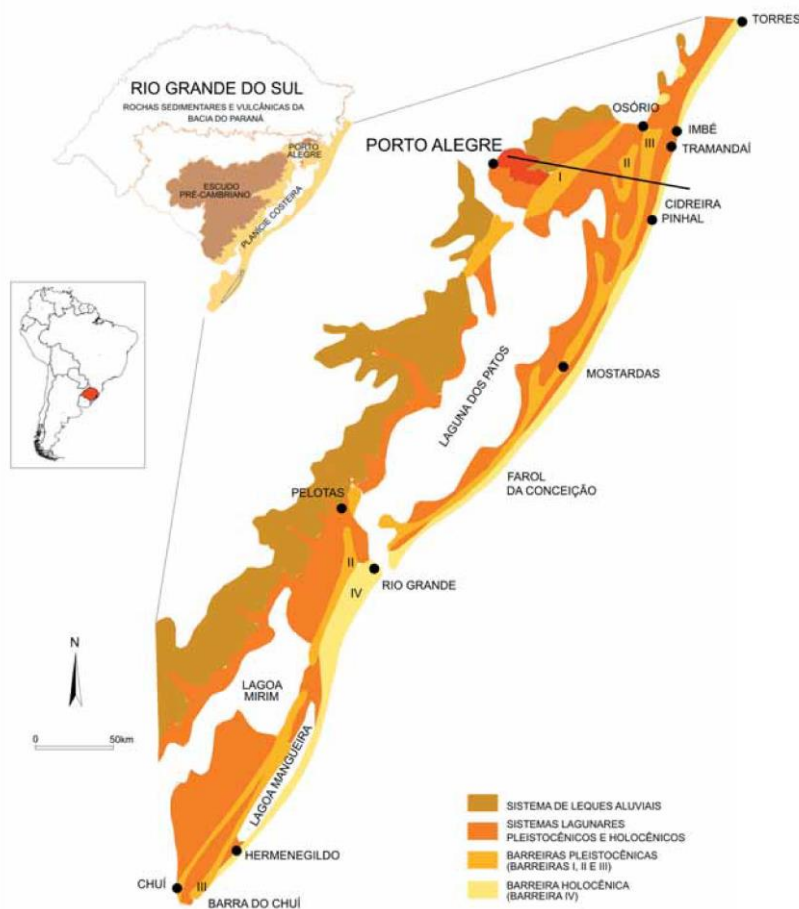


Figura 4. Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000).

O presente trabalho concentra-se em depósitos lagunares/estuarinos holocênicos relacionados ao Sistema Depositional Laguna-Barreira IV, desenvolvido em consequência da última grande transgressão pós-glacial (Tomazelli & Villwock, 2000). Este sistema desenvolveu-se em resposta às variações do nível do mar ocorridas no último ciclo da curva isotópica de oxigênio (Rosa, 2012). Segundo Tomazelli & Dillenburg (2007), há cerca de 125 ka, o nível do mar teria alcançado até 7 m acima do atual e sofrido posterior rebaixamento. Este rebaixamento originou uma discordância na base do Sistema IV, como identificada por Rosa (2012).

A partir do último máximo glacial (~20 ka), quando este rebaixamento atingiu seu ápice, o nível do mar iniciou uma nova elevação, durante a qual a barreira costeira começou a retrogradar em contexto transgressivo (Rosa, 2012). Entre 7,7 e

6,9 ka, o nível do mar ultrapassou a cota atual, atingindo seu máximo há aproximadamente 6 ka (Angulo & Lessa, 1997). Antes mesmo deste máximo, os sistemas costeiros teriam começado a progradar em contexto de TSNA (Dillenburg *et al.*, 2009).

Posteriormente, houve queda do nível do mar até a posição atual (Angulo & Lessa, 1997), a partir da qual seria esperada a regressão forçada da linha de costa (Trato de Sistemas de Nível em Queda) (Fig. 5). No entanto, mesmo após 6 ka, a barreira costeira apresenta comportamento distinto (Dillenburg *et al.*, 2000, 2009). Segundo Dillenburg *et al.* (2009), a barreira IV apresenta cinco setores com diferentes comportamentos – progradacionais (reentrâncias costeiras) e retrogradacionais (projeções). Este comportamento não uniforme está associado ao balanço sedimentar (Dillenburg *et al.*, 2009) e ao aporte sedimentar e elevação eustática (Tomazelli & Villwock, 1989).

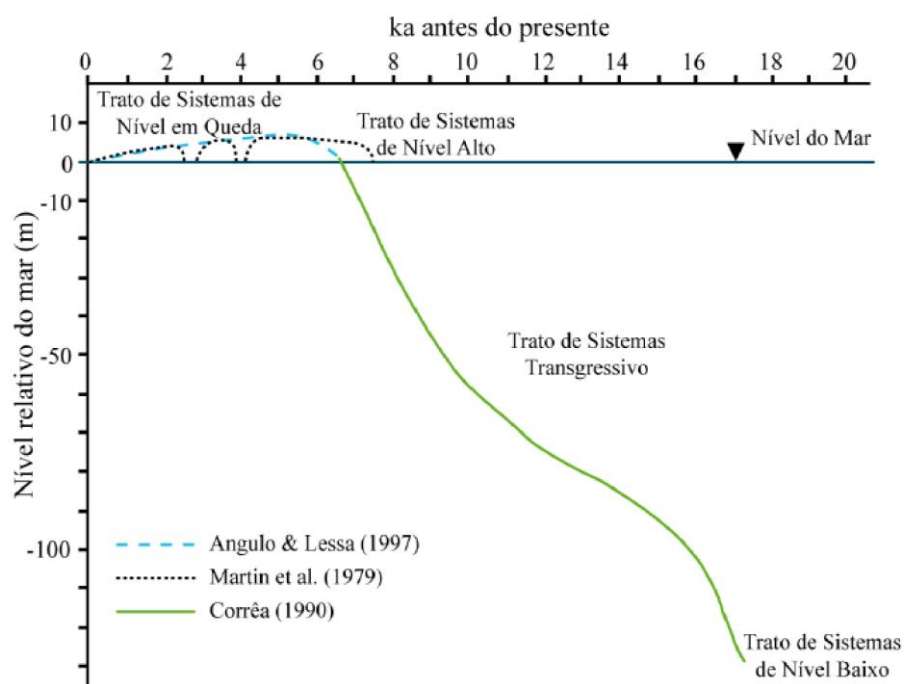


Figura 5. Curvas de variação do nível do mar para o Brasil e contextos de tratos de sistemas esperados (retirado de Rosa, 2012).

Em algumas localidades do litoral do RS, afloram depósitos lagunares de turfas e lamas na face praial atual, evidenciando que a barreira que os protegia foi erodida (setores retrogradacionais, Tomazelli *et al.*, 1998). Na região do Hermenegildo, a continuidade lateral dos depósitos de turfas e lamas orgânicas sugere uma formação associada a corpos lagunares e paludiais de significativas dimensões (Tomazelli *et al.*, 1995). Entre a Praia do Hermenegildo e a barra do

Arroio Chuí, afloram sedimentos basais na forma de lamas transgressivas sobrepostas por *shell beds* compostas por organismos marinhos e estuarinos e recobertas por lentes de areia e turfa. Datações realizadas na região da Praia das Maravilhas indicam que as *shell beds* registram uma discordância (possuem idade entre 4,9 e 4,3 mil anos AP) e as lentes de turfa sobre as conchas, uma idade de 2,5 mil anos AP (Buchmann, 1997).

Na região do distrito de Bujuru, em discordância com depósitos eólicos/praias, aflora uma unidade lagunar/estuarina holocênica, composta por areia fina, altamente bioturbada com quantidades variáveis de lama e bioclastos (Dillenburg *et al.*, 2009). As conchas são bem preservadas em camadas de até 15 cm de espessura contendo espécies marinhas e lagunares datadas em 3,2-3,4 ka (Dillenburg *et al.*, 2009). Limitadas por uma discordância no topo, ocorrem depósitos de dunas transgressivas que teriam ocasionado o assoreamento da laguna, com fase final de assoreamento marcada pelo nível de turfa ao topo (aproximadamente 405 a 970 anos AP).

Segundo Caron (2007), durante a Transgressão Pós-glacial, na área correspondente ao afloramento S1, o nível do mar subiu além do atual e penetrou na paleoembocadura do Arroio Chuí, afogando parte dos terrenos de retro-barreira e estabelecendo um ambiente estuarino, associado ao máximo transgressivo. Espécies marinhas (ditas alóctones) na base da seção marcam o início da fase de afogamento e no topo, espécies lagunares em “posição de vida” (ditas autóctones) marcam a estabilização do sistema de estuário.

Lima (2008), relaciona o início do desenvolvimento dos sistemas lagunares e estuarinos, na região do Hermegildo, à progressiva subida do nível do mar durante a Transgressão Pós-glacial e relaciona o apogeu do ambiente estuarino ao último máximo transgressivo. Posteriormente, a barreira IV teria migrado em contexto de retrogradação, devido ao balanço negativo de sedimentos e assoreado a retrobarreira, ocasionando o progressivo isolamento do corpo lagunar/estuarino e condicionando o estabelecimento de um sistema paludial, marcado pelo nível de turfa, de forma semelhante ao descrito por Dillenburg *et al.* (2009) para a região de Bujuru.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAIS DE COLETA DOS BIOCLASTOS

Quatro afloramentos associados a três depósitos lagunares-estuarinos foram amostrados e denominados S1, S2, S3-1 e S3-2 (Fig. 6). Os depósitos S2 (Praia das Maravilhas), S3-1 e 2 (em Bujuru) estão em setores de projeção costeira, enquanto S1 está inserido em área de atual domínio fluvial, onde o canal do Arroio Chuí corta depósitos pleistocênicos e holocênicos.

O afloramento S1 localiza-se na margem interna de um meandro do Arroio Chuí, no setor em que o curso d'água tem sentido NW-SE e o canal corta terrenos holocênicos sobrepostos à Barreira III (Fig. 6 A-B). Este afloramento é caracterizado por uma camada de areia média a fina com bioclastos dispersos a uma proporção de 90% matriz/10% bioclastos, sobreposto por um nível de 20 cm de espessura bioclasto-suportado. Estas duas unidades poderiam ser descritas como um único pacote com aumento ascendente na densidade de empacotamento dos bioclastos.

O afloramento S2 está localizado na Praia das Maravilhas (Fig. 6 C-D) em área de exposição variável durante o ano, podendo a sequência em que se insere aflorar em escala métrica ou centimétrica. Na época da coleta encontrava-se muito pouco exposto (e por esta razão não foi levantando perfil) porém com extensa continuidade lateral, aflorando, na base, um nível centimétrico de lama sobreposto por um nível de conchas com espessura entre 5 cm e 10 cm, bioclasto-suportado, densamente empacotado e sobreposto por um nível pouco espesso de turfa.

No litoral médio, próximo ao distrito de Bujuru, foram amostradas duas localidades distantes entre si aproximadamente 2 km e associadas a um único depósito denominado S3 (Fig. 6 E-F). Em S3-1, as conchas ocorrem em discordância com um pacote arenoso de origem eólica (correlato ao depósito praiado, datado por Buchmann & Tomazelli, 2003; em Dillenburg *et al.*, 2009), com espessura de cerca de 10 cm, correspondendo a um nível de conchas bioclasto-suportado, sobreposto por um pacote arenoso de 60 a 70 cm de espessura recoberto por um nível de turfa. Em S3-2, aflora uma sequência semelhante, porém, o pacote turfáceo ocorre imediatamente sobre o nível de conchas.

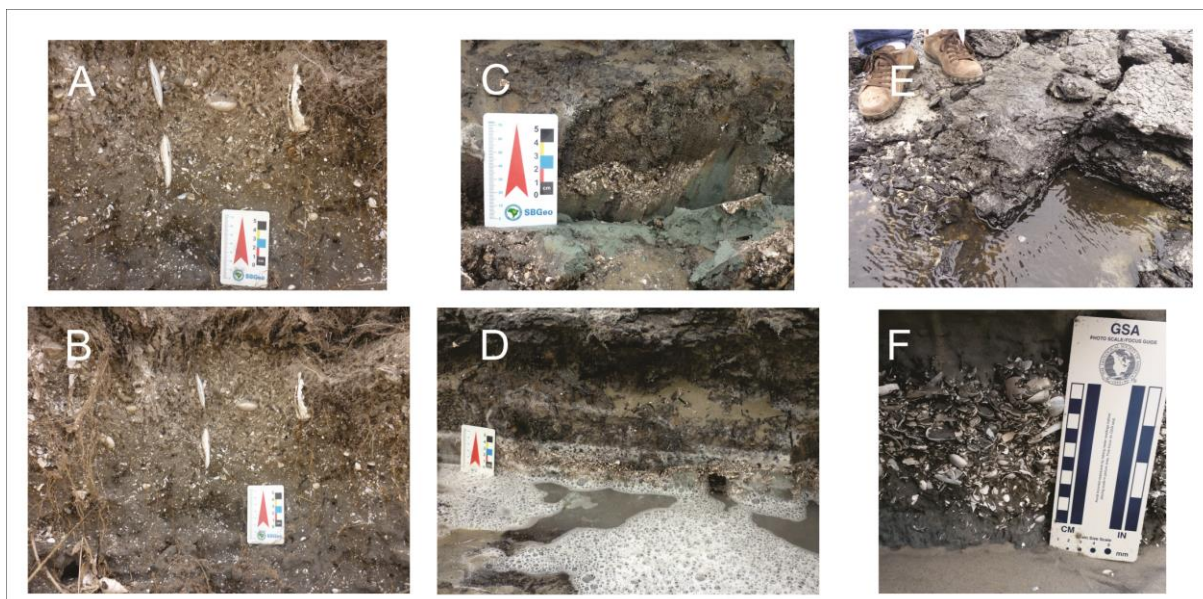


Figura 6. A-B, associação conchífera S1, localizada no Arroio Chuí; C-D, associação conchífera S2, localizada na Praia das Maravilhas; E-F, associações conchíferas amostradas em S3, localizadas em Bujuru (imagens E-F cedidas por Jair Weschenfelder).

4.2 ANÁLISE TAFONÔMICA

4.2.1 PROTOCOLO TAFONÔMICO

As amostras foram coletadas de acordo com Ritter *et al.* (2013), no qual um bloco tridimensional (20 cm x 20 cm x 20 cm; 8 L) de sedimento é coletado em cada localidade, com exceção das amostras provenientes de S3, que foram doadas ao Laboratório de Microfósseis Calcários pelo Prof. Dr. Jair Weschenfelder (CECO/IGeo/UFRGS). Nesta, um total de aproximadamente 1 L de amostra foi utilizado. A partir destes respectivos sedimentos as conchas de moluscos foram posteriormente extraídas em laboratório, com auxílio de um meio aquoso, utilizando-se uma peneira com malha de 1 mm. O conjunto extraído foi posteriormente seco e quarteado. Todas as conchas analisadas são oriundas de um quarto da fração total, desta, todas as conchas foram analisadas. No total, 354 conchas foram analisadas no afloramento S1 (Chuí), 258 conchas em S2 (Praia das Maravilhas) e 413 conchas nos afloramentos S3 (Bujuru).

Aqui foram atribuídos estados de dano tafonômico usando um sistema de pontuação categórica desenvolvida e adaptada a partir de trabalhos anteriores. Cada assinatura tem um significado exclusivo, contudo sua origem pode ser múltipla.

Por exemplo, corrosão pode estar relacionada tanto a processos químicos como físicos, bem como biológicos, os quais não podem ser distinguíveis sem uma análise em microscopia eletrônica de varredura (Best & Kidwell, 2000; Ritter *et al.*, 2013). A corrosão também pode ser denominada alteração de fina escala (e.g. Best, 2008).

Alguns tipos de dano tafonômico podem ser de natureza binomial (presença/ausência), como a assinatura fragmentação; nesse caso, à condição de dano atribui-se o valor 0 (zero) quando ausente e 1 (um) quando presente. No caso de assinaturas com diferentes estados de dano, foi atribuído um valor inteiro crescente para cada estado. Por exemplo, 0 representará a condição natural (i.e. sem dano), 1 a condição de menor dano, 2 a condição de dano maior que 1 (não necessariamente o dobro), e assim por diante. Por segurança, já que pode ser difícil atribuir valores numéricos hierarquicamente, todas as assinaturas tafonômicas foram contadas como zero quando ausentes.

As principais assinaturas tafonômicas utilizadas e averiguadas neste estudo estão resumidas na Tabela 1 e na Figura 7.

Tabela 1. Protocolo indicando variáveis tafonômicas e categorias utilizadas.

ASSINATURA TAFONÔMICA	DEFINIÇÃO	CONDIÇÃO TAFONÔMICA	ILUSTRAÇÕES
Tamanho	Mensurado no eixo maior, tamanho da valva ou fragmento que irá se comportar igual a uma partícula sedimentar	Mensurado em milímetros	
Desarticulação	Conchas desarticuladas	Articulada = 0 Desarticulada = 1	
Fragmentação	Concha inteira ou fragmentada	Inteira = 0 Fragmentada = 1	Fig. 7A Fig. 7B, C e E
Grau de fragmentação	Percentagem de concha perdida devido à fragmentação	Perda < 20% da valva = 2 Perda >20% da valva = 3	Fig. 7B Fig. 7B e E
Preservação da margem	Condição da margem	Natural = 0 Lascada = 1 Arredondada = 2	Fig. 7K Fig.7D
Preservação da margem alterada	Condição da borda (margem alterada)	Lascada = 1 Arredondada = 2 Afinada = 3 Desgastada = 4	Fig.7E
Alteração de fina escala	Registro de processos corrosivos e abrasivos	Pontuações pequenas, grandes e furos	Fig.7I e J
Dissolução	Porcentagem da superfície externa com aspecto gredoso, considera também perda de ornamentação	<30% da valva dissolvida 30-60% da valva dissolvida >60% da valva dissolvida	Fig.7F Fig.7G Fig.7H
Bioerosão	É o resultado de processos corrosivos por organismos epibiontes, principalmente microperfurações e raspagem	Presente = 0 Ausente = 1	Fig.7K e L
Incrustação	Presença de organismos que deixam restos esqueletizados na superfície da concha	Ausente = 0 Presente = 1	

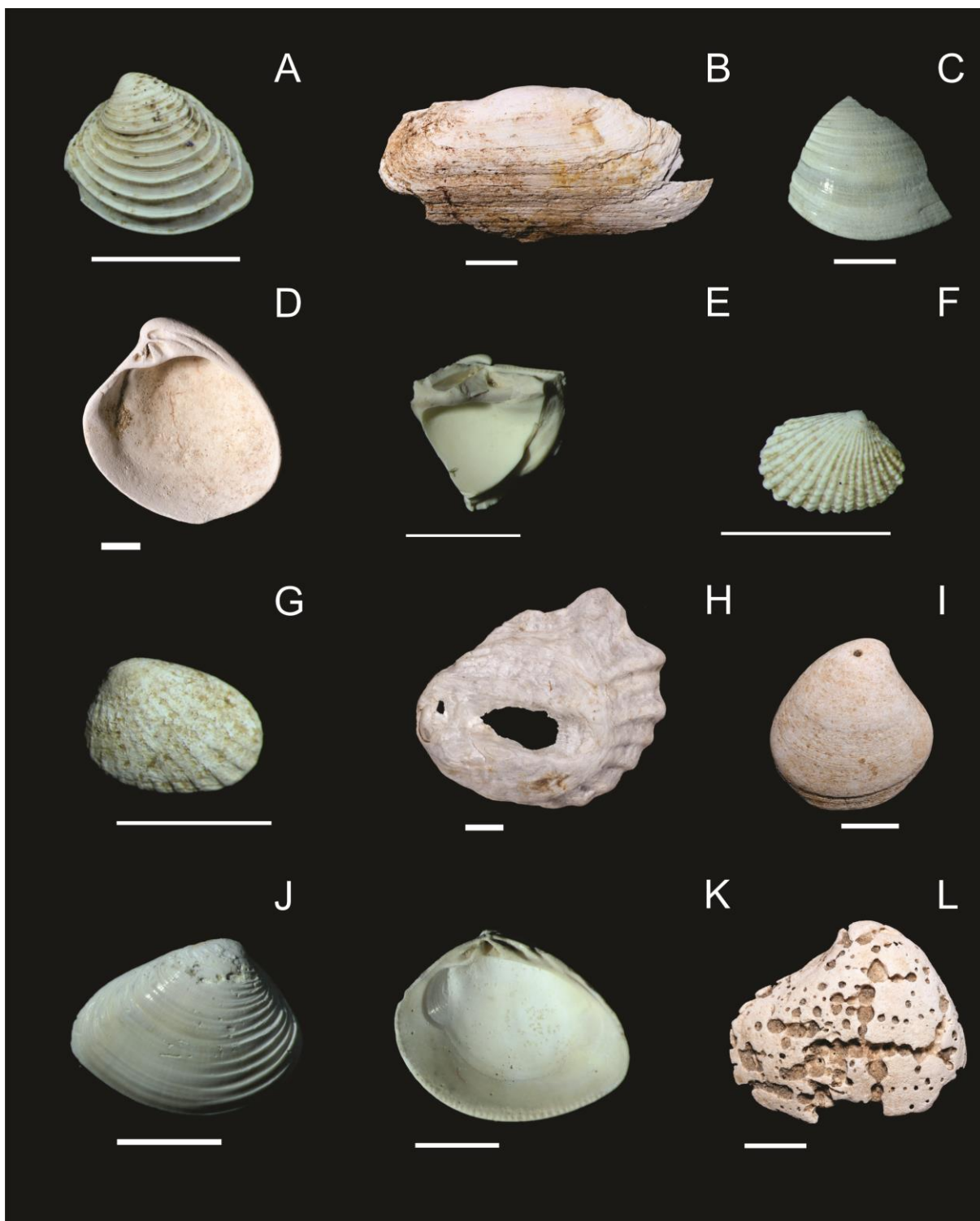


Figura 7. Alguns atributos tafonômicos analisados neste trabalho. A, concha inteira; B, concha fragmentada com perda menor de 20%; C, concha fragmentada com perda maior a 20%; D, margem arredondada; E, preservação da margem alterada lascada; F, dissolução menor que 30%; G, dissolução maior que 30% e menor que 60%; H, dissolução maior que 60%; I) alteração de fina escala - furos; J) alteração de fina escala - pontuações; K, bioerosão por esponja e traços microendolíticos; L, bioerosão. Escalas: 0,5 cm.

4.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma série de análises estatísticas foi utilizada no presente estudo. Devido à natureza dos dados (categóricos, com diversos descritores e com variados objetos), optou-se basicamente por análises estatísticas não-paramétricas. Para testar as diferenças entre as localidades por assinatura foi utilizado o teste Kruskal-Wallis (equivalente não paramétrico do teste ANOVA; Legendre & Legendre, 2012). As análises pareadas entre cada localidade por assinatura foram realizadas com o teste Mann-Whitney.

Para acessar a similaridade entre as localidades foi realizado um Escalonamento Multidimensional Não-métrico (nMDS, da sigla em inglês) utilizando uma matriz com a média ponderada de cada assinatura por localidade, com base em uma matriz com distância Manhattan. O nMDS redimensiona as variáveis em pelo menos dois eixos ortogonais, objetivando na prática ordenar espacialmente os objetos, colocando similares próximos um do outro, preservando as distâncias originais entre os objetos, porém em rankings (Gotelli & Ellison, 2012). O valor do STRESS (da sigla em inglês **ST**andard **RE**siduals **S**um of **S**quares) (Kruskal, 1964) representa o quanto de informação foi perdida ao redimensionar as variáveis nestas duas dimensões. Convencionalmente, um valor de STRESS inferior a 0,20 é recomendado (Kruskal, 1964). Alternativamente, para visualizar como as localidades estão relacionadas entre si, foi utilizada uma análise de agrupamento baseada em uma matriz de distância Manhattan com 9999 permutações sobre o conjunto de dados tafonômicos médio, em modo Q, isto é, objetivando agrupar as localidades. As diferenças nos grupos do nMDS e na análise de agrupamento foram calculadas através do teste PERMANOVA (análise multivariada não paramétrica de variância) utilizando Manhattan como índice de distância, com 9999 permutações.

Tanto nas análises por nMDS quanto por agrupamento (*cluster*) foram considerados três níveis de análise, de acordo com o tamanho do bioclasto: >4 mm, <4 mm e todas as classes de tamanhos. Segundo Kidwell *et al.* (2001), existem diferenças tafonômicas de interpretação que podem estar relacionadas somente ao tamanho dos bioclastos (viés analítico), como averiguado por Erthal (2012) que verificou que microclastos (<4 mm) podem ser mais indicativos de energia do meio do que macroclastos (>4 mm).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software livre PAST v. 3.08 (Hammer *et al.*, 2001).

4.3 DATAÇÕES

Como explicado anteriormente, um depósito conchífero pode ser formado por diversas gerações de espécies oriundas de ambientes distintos e que podem não ter interagido em vida. Neste contexto, submeter um bioclasto a uma única datação resulta em pouca representatividade quanto à idade real do depósito. A realização de datações é necessária, portanto, não para datar os depósitos conchíferos puramente (pois já é de conhecimento prévio que possuem idade holocênica), mas porque permite estimar o intervalo de idade abrangente pelo depósito, leia-se, a mistura temporal (*time-averaging*) e avaliar minimamente as implicações paleoambientais que este viés ocasiona.

Quatro conchas foram submetidas para datação pelo método ^{14}C AMS nos laboratórios da Beta Analytic (Miami, Florida, EUA). Duas conchas do afloramento S1 (espécies *Tagelus plebeius* e *Pitar* sp.) e duas conchas do afloramento S2 (espécies *Heleobia* sp. e *Anomalocardia brasiliana*).

5. RESULTADOS

Com base nas idades obtidas por ^{14}C -AMS, os afloramentos S1 e S2 mostraram-se condensados espacialmente e temporalmente, exibindo amplitudes temporais consideráveis para o Holoceno, porém bastante distintas entre si. Em S1, o depósito exibiu condensação temporal de apenas 200 anos, enquanto em S2, o valor foi de 1000 anos (Tabela 2).

Tabela 2. Idades ^{14}C obtidas.

Afloramento	Espécie	Hábitat	Idade convencional (^{14}C anos AP)	Idade calibrada (cal anos AP)
S1	<i>Tagelus plebeius</i>	estuarino	5750 \pm 30	4220 – 3960
S1	<i>Pitar</i> sp.	marinho	5970 \pm 30	4430 - 4240
S2	<i>Heleobia</i> sp.	estuarino	4440 \pm 40	2680 - 2380
S2	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	marinho	5440 \pm 30	3890 – 3630

As assinaturas não apresentaram variância significativa entre as localidades, mostrando que de forma geral existe certa homogeneidade tafonômica em afloramentos lagunares. Não obstante, é possível verificar que a assinatura com maior intensidade foi o grau de fragmentação, seguida pela margem alterada, margem e dissolução. Alteração de fina escala (“corrasão” de Ritter *et al.*, 2013), bem como assinaturas de origem biológicas foram praticamente ausentes (Fig. 8).

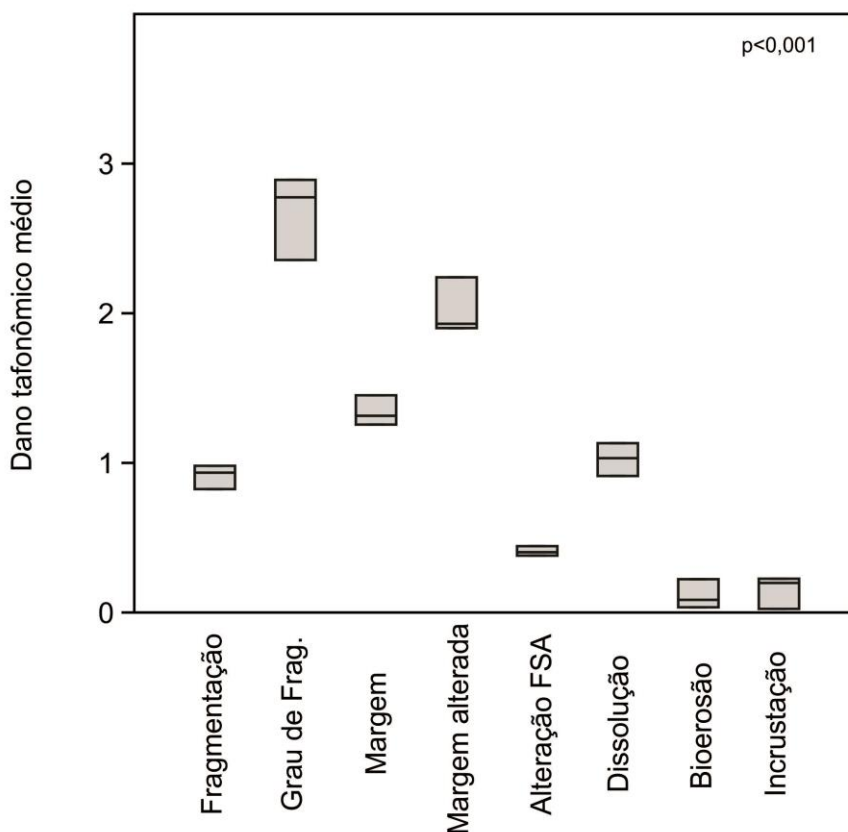


Figura 8. *Boxplot* em que é possível observar a variância entre as localidades de forma geral, bem como observar quais assinaturas foram mais intensas. A linha horizontal assinala a mediana, e todo o retângulo a variância (95 %). O valor de p no gráfico indica que os valores do dano tafonômico médio foram distintos entre as assinaturas.

Embora a variância entre as localidades por assinatura não tenha sido relativamente expressiva, diversas assinaturas foram diferentes quando as localidades foram analisadas aos pares (Tab. 3). A comparação S2 vs. S3 apresentou o menor número de assinaturas distintas entre si, enquanto que S1 vs. S2 apresentaram o maior número. Com exceção de alteração de fina escala e incrustação, todas as demais assinaturas foram diferentes entre as três localidades (Fig. 9).

Tabela 3. Valores de p (teste estatístico Mann-Whitney) para as localidades comparadas aos pares. Abreviaturas: Frag., fragmentação; Grau de frag., Grau de fragmentação; FSA, alteração de fina escala; Diss., dissolução; Bio., bioerosão; Incr., incrustação.

Comparação	Assinaturas							
	Frag.	Grau de frag.	Margem	Margem alt.	FSA	Diss.	Bio.	Incr.
S1 x S2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,994	<0,001	0,013	0,899
S1 x S3	<0,001	<0,001	0,057	0,865	0,287	0,038	<0,001	0,449
S2 x S3	<0,001	0,054	0,149	<0,001	0,348	0,136	<0,001	0,591

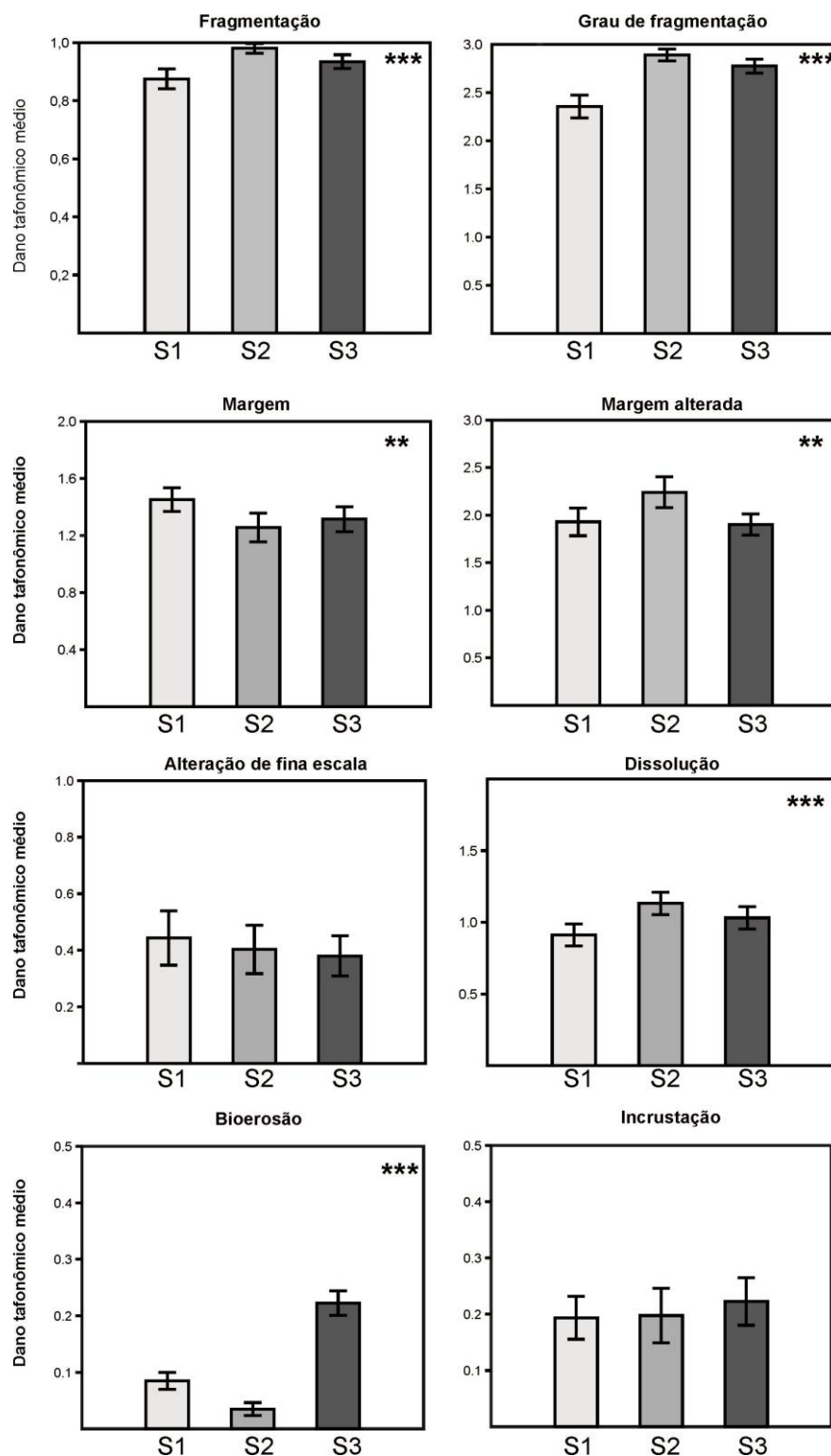


Figura 9. Gráfico de barras ilustrando a variação do dano tafonômico médio entre as localidades por assinatura. ** significa um valor de $p=0,01$. *** significa um valor de $p<0,001$. Valores obtidos com o teste Kruskal-Wallis. A barra de erros significa um intervalo de confiança de 95%.

Quando analisada a variação tafonômica lateral em Bujuru (S3), em relação aos demais afloramentos (S1 e S2), as subamostras da localidade S3 são mais semelhantes entre si em relação às outras localidades (Fig. 10).

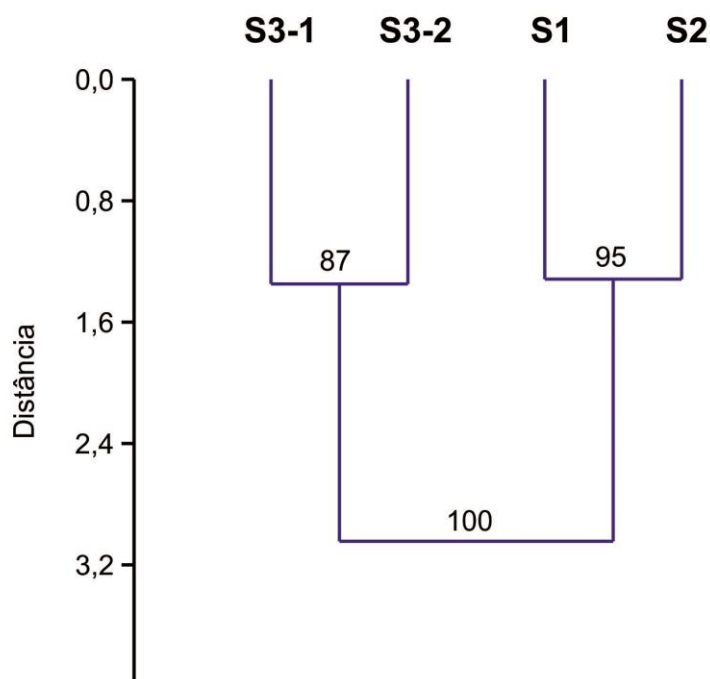


Figura 10. Análise de agrupamentos considerando duas subamostras na localidade S3 (Bujuru), ilustrando que não existe variação tafonômica lateral significativa nos afloramentos e que este viés pode ser desconsiderado. OBS: distância tafonômica.

Quando as três localidades são ordenadas segundo a variação tafonômica (Fig. 11), o afloramento S1 (Chuí) é o mais distante, enquanto que S2 e S3 estão mais próximos entre si, embora não exista diferença estatística significativa entre estes dois grupos (S1 vs. S2 + S3) (PERMANOVA, $F = 1,22$, $p = 0,6605$).

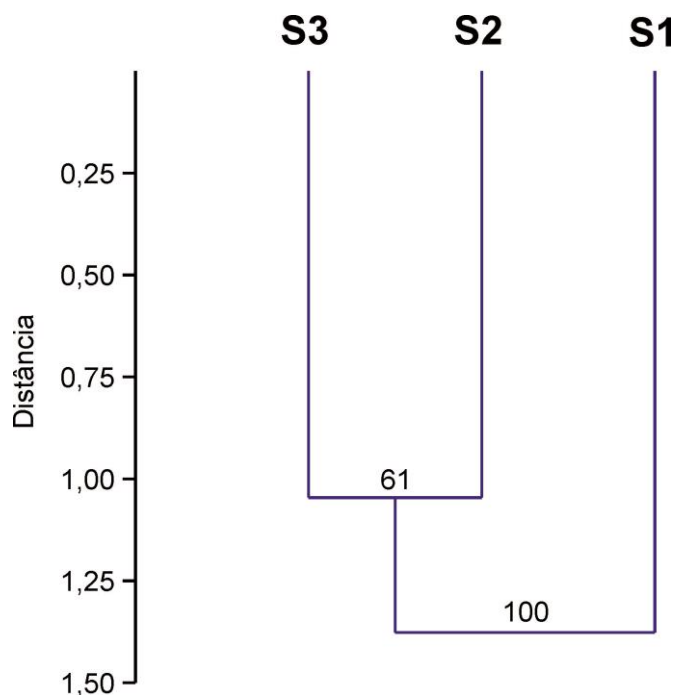


Figura 11. Análise de agrupamentos a partir de uma matriz com a média ponderada para todas as assinaturas consideradas ilustrando que, realizando uma aleatorização, em 100% delas existe a separação das localidades em dois grupos (S1 e S2+S3). OBS: distância tafonômica.

As conchas apresentaram um tamanho variado, sendo que 90% delas apresentaram um tamanho inferior a 1 cm (Fig. 12). As maiores conchas não apresentaram valores maiores do que 7 cm e foram raras. De modo geral, quando levado o tamanho das conchas em consideração, como um possível viés analítico sobre o resultado tafonômico, este foi semelhante tanto para conchas <4 mm, quanto >4 mm (Fig. 13). Em todas estas três frações, os afloramentos S2 e S3 estão mais próximos entre si em relação ao afloramento S1.

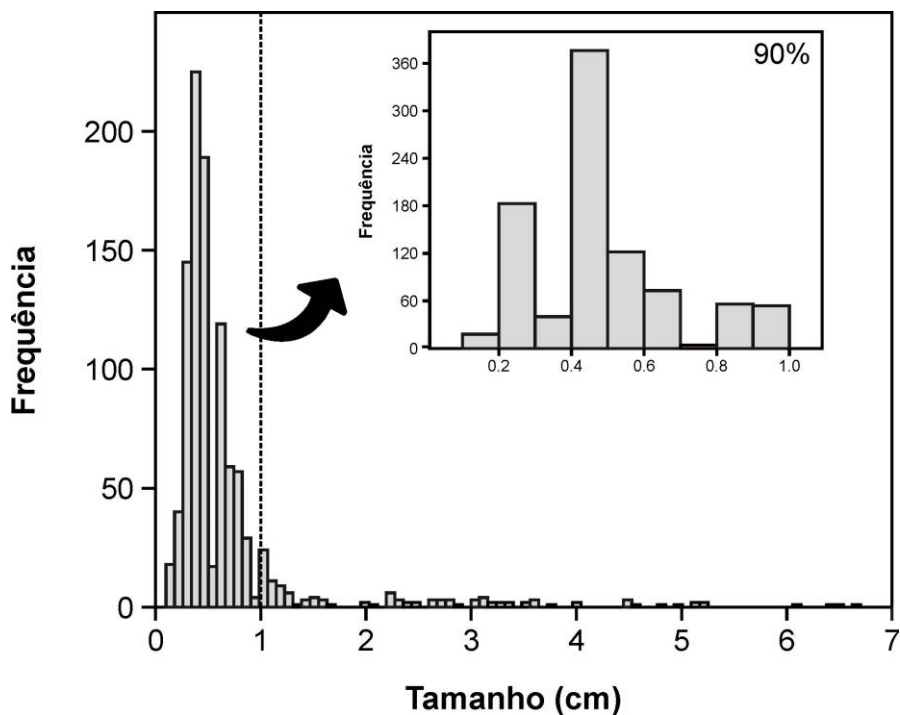


Figura 12. Histograma ilustrando as classes de tamanho (cm) encontradas neste estudo. Observa-se que 90% das conchas apresentam tamanho inferior a 1 cm.

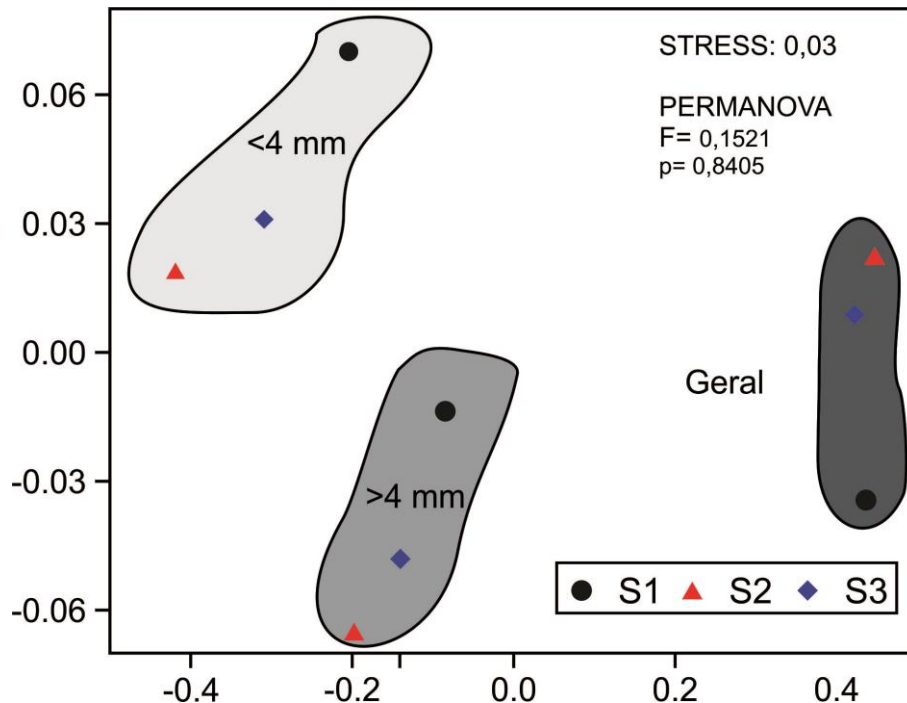


Figura 13. Escalonamento Multidimensional não-Métrico (nMDS) em que é apresentado a dispersão dos afloramentos (S1, S2 e S3), com base no dano tafonômico médio para três classes de tamanho. Uma análise PERMANOVA (análise multivariada não-paramétrica de variância) ilustra que os grupos não são distintos entre si ($p > 0,05$).

6. DISCUSSÃO

Os depósitos sedimentares que compõem a PCRS são resultantes das variações do nível do mar ocorridas durante o Quaternário, e as *shell beds* avaliadas por este trabalho correspondem ao registro de corpos lagunares e estuarinos resultantes da subida do nível do mar durante a Transgressão Pós-glacial. Neste contexto, com base nos estudos em *shell beds* marinhas, esperaríamos que depósitos transicionais lagunares/estuarinos apresentassem uma caracterização variável, conforme a evolução do processo transgressivo, bem com um perfil de dano tafonômico semelhante, quando inseridos em contexto similar e ainda, que o perfil e as variações fossem análogos àqueles observados em *shell beds* marinhas.

A análise das assinaturas tafonômicas revelou que S2 e S3 são mais semelhantes entre si e distantes de S1, mesmo considerando as frações maiores e menores em separado (Fig. 13). Isso reforça que S1 e S2+S3 correspondem a corpos lagunares/estuarinos distintos e que S2 e S3 estariam associados a um contexto transgressivo mais próximo do que aquele registrado em S1.

Ainda que superficialmente analisado, a amplitude de *time-averaging* em S1 sugere que este depósito se originou do estuário que se estabeleceu sobre a desembocadura do Arroio Chuí no Holoceno por um breve período e cuja formação não necessariamente estaria associada ao máximo transgressivo da Transgressão Pós-glacial, apenas ao máximo afogamento da desembocadura do Arroio Chuí.

A amplitude temporal em S2 se revelou concordante com o observado em *shell beds* lagunares inseridas em contexto transgressivo (como identificado por Scarponi *et al.*, 2013) e discordante daquele esperado para a Seção Condensada, o que poderia indicar que a formação deste depósito não está associada ao último máximo transgressivo e ainda, sugerir que este máximo ainda não havia sido atingido quando da formação desta laguna.

Quanto às assinaturas tafonômicas, embora tenham sido registradas diferenças quanto à fragmentação, grau de fragmentação, preservação da margem e da borda, dissolução e bioerosão, de forma geral, a tendência destes depósitos revelou padrões semelhantes, sugerindo que existe homogeneidade tafonômica em depósitos lagunares e estuarinos inseridos em contexto transgressivo. Dentre estas assinaturas, somente a ocorrência de bioerosão foi realmente mais acentuada em

S3, porém, esta é uma assinatura que pode estar condicionada tanto à taxa de sedimentação, quanto a produtividade biológica e à profundidade da coluna d'água (Erthal, 2012). Em todas as localidades foi verificada fragmentação acentuada originada pela alta dissolução, processo dominante em ambientes estuarinos.

Quando avaliada a ocorrência de variação lateral local em um único depósito, S3-1 e S3-2 exibiram caracterização semelhante, sem diferenças significativas entre si, mostrando que a homogeneidade verificada no aspecto geral das localidades também ocorre em escala local e corresponde ao perfil tafonômico esperado para um depósito lagunar/estuarino.

Dessa forma, foi possível averiguar, mesmo que superficialmente, que, embora o perfil de dano tafonômico seja homogêneo no TST, os depósitos conchíferos lagunares/estuarinos diferem na caracterização tafonômica quanto aos efeitos do *time-averaging*. Quanto às assinaturas tafonômicas, estas exibiram um perfil comum a todas as três localidades, com grande índice de fragmentação e dissolução dos bioclastos. Sendo assim, a Tafonomia mostra que as *shell beds* aflorantes hoje nas regiões da Praia das Maravilhas e de Bujuru registram lagunas/estuários que estariam associados a Transgressão Pós-glacial, mas que não estariam associadas ao último máximo transgressivo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A variação tafonômica em ambientes lagunares é discreta, ilustrando que o ambiente deposicional de forma geral caracteriza o perfil de dano tafonômico. Contudo, ainda é possível perceber que o perfil de dano tafonômico ordena os depósitos de acordo com o contexto evolutivo-estratigráfico. Em outras palavras, uma assinatura específica não é indicada para distinguir concentrações conchíferas, mas sim o perfil de dano tafonômico de modo geral. Outro aspecto interessante, desconsiderado até o momento na área de estudo, é que o grau de *time-averaging* também é indicador de tipos de concentrações conchíferas, pois este viés é assimétrico em relação ao registro stratigráfico e independente do perfil de dano tafonômico.

Este trabalho corrobora, portanto, que é possível estabelecer uma relação entre a caracterização tafonômica e o posicionamento stratigráfico de depósitos

transicionais inseridos em contexto transgressivo no que se refere ao *time-averaging*. Contudo, os resultados e interpretações reportados aqui ainda carecem de aprimoramento. Como o setor sul da PCRS é o menos estudado, espera-se que com o desenvolvimento e refinamento dos trabalhos na região, as interpretações tafonômicas em depósitos lagunares/estuarinos possam ser aprofundadas.

Este é o primeiro trabalho que realiza uma análise tafonômica *stricto sensu* nesta região da PCRS. Anteriormente, embora outros trabalhos tenham tratado de algumas características tafonômicas, estas foram apresentadas apenas de modo qualitativo, considerando o aspecto geral do material coletado, excluindo qualquer possibilidade de comparação quantitativa. Dessa forma, sugere-se que futuros trabalhos utilizem uma abordagem tafonômica quantitativa, procurando avaliar os efeitos do *time-averaging* sobre as idades obtidas e inserindo este resultado num contexto evolutivo estratigráfico.

REFERÊNCIAS

- Angulo, R.J. & Lessa, G.C. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, **140**:141-166.
- Banerjee, I. & Kidwell, S.M. 1991. Significance of molluscan shell beds in sequence stratigraphy: an example from the Lower Cretaceous Mannville Group of Canada. *Sedimentology*, **38**: 913-934.
- Behrensmeyer, A.K.; Kidwell, S.M. & Gastaldo, R.A. 2000. Taphonomy and paleobiology. *Paleobiology*, **26**:103-147
- Behrensmeyer, A.K. & Kidwell, S.M. 1985. Taphonomy's contributions to paleobiology. *Paleobiology*, **11**:105-119.
- Behrensmeyer, A.K., Fürsich, F.T., Gastaldo, R.A., Kidwell, S.M., Kosnik, M.A., Kowalewski, M., Plotnick, R.E., Rogers, R.R., Alroy, J. 2005. Are the most durable shelly taxa also the most common in the marine fossil record? *Paleobiology*, **31**:607-623.
- Best, M.M.R. & Kidwell, S.M. 2000. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic carbonate settings: I. Environmental variation in shell concentration. *Paleobiology*, **26**:80-102.
- Best, M.M.R. 2008. Contrast in preservation of bivalve death assemblages in siliciclastic and carbonate tropical shelf settings. *Palaaios*, **23**:796-809.
- Brett, C.E. 1995. Sequence stratigraphy, biostratigraphy, and taphonomy in shallow marine environments. *Palaaios*, **10**:597-616.
- Buchmann, F.S.C. 1997. *Banhado do Taim e Lagoa Mangueira: evolução holocênica da paleoembocadura da Lagoa Mirim, RS, Brasil*. Porto Alegre. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 160 p.
- Caron, F. 2007. *Depósitos sedimentares associados à desembocadura do Arroio Chuí (Planície Costeira do Rio Grande do Sul) e suas relações com as variações do nível do mar durante o Holoceno*. Porto Alegre. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 81 p.
- Dillenburg, S.R.; Roy, P.S.; Cowell, P.J. & Tomazelli, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal Coastal Research*, **16**:71-81.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A.; Clerot, L.C.P & Ayup-Zouain, R.N. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Ed.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin, Springer, p. 53-91.

Erthal, F. 2012. *Assinaturas tafonômicas em bivalves marinhos recentes na costa do Brasil e seu significado paleoambiental*. Porto Alegre. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 212 p.

Fürsich, F.W. & Oschmann, T. 1993. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, Western India. *Journal of the Geological Society*, **150**:159-185.

Fürsich, F.T. & Pandey, D.K. 2003. Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous of Kachchh, Western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **193**:285-309.

Gotelli, N. & Ellison, A.M. 2012. *A primer of ecological statistics*. 2nd ed. Sunderland, Sinauer, 614 p.

Hammer, Ø.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, **4**.

Kidwell, S.M. 1986. Models for fossil concentrations: paleobiologic implications. *Paleobiology*, **12**:16-24.

Kidwell, S.M. 1989. Stratigraphic condensation of marine transgressive records: origin of major shell deposits in the Miocene of Maryland. *The Journal of Geology*, **97**:1-24.

Kidwell, S.M. 1991. Condensed deposits in siliciclastic sequences: expected and observed features. *In*: G. Einsele, W. Ricken & A. Seilacher (Ed.). *Cycles and Events in Stratigraphy*. Berlin, Springer-Verlag, p. 211-290.

Kidwell, S.M. 1991. The stratigraphy of shell concentrations. *In*: P.A. Allison & D.E.G. Briggs. (Ed.). *Taphonomy, releasing the data locked in the fossil record*. New York, Plenum Press, p. 211-290.

Kidwell, S.M. & D.W.J. Bosence, 1991. Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. *In*: Allison P.A. & D.E.G. Briggs (Ed.) *Taphonomy, Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. New York: Plenum Press, p. 115-209.

Kidwell, S.M. & Flessa, K.W. 1996. The quality of fossil record: populations, species and communities. *Annual Reviews on Earth Planetary Sciences*, **24**:433-64.

Kidwell, S.M & Holland, S.M. 2002. Quality of the fossil record: implications for evolutionary biology. *Annual Review of Ecology & Systematics*, **33**:561-588.

Kidwell, S.M., Rothfus, T.A. & Best, M.M.R. 2001. Sensitivity of taphonomic signatures to sample size, sieve size, damage scoring system, and target taxa. *Palaos*, **16**:26-52.

Kowalewski, M. & Bambach, R.K. 2003. The limits of paleontological resolution. *In: Harries, P.J. (Ed.). Approaches in High-Resolution Stratigraphic Paleontology.* London, Springer, p. 1-48.

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*, **24**:287-304.

Kowalewski, M., & Hoffmeister, A.P. 2003. Sieves and fossils: effects of mesh size on paleontological patterns. *Palaios*, **18**:459-468.

Kruskal, J.B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, **29**:1-27.

Legendre, P. & Legendre, L. 2012. *Numerical Ecology.* Amsterdam, Elsevier Science BV, 1006 p.

Lima, L.G. *Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS).* Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 78 p..

Olszewski, T. 1999. Taking advantage of time-averaging. *Paleobiology*, **25**:226-238.

Parras, A. & Casadio, S. 2005. Taphonomy and sequence stratigraphic significance of oyster-dominated concentrations from the San Julián formation, Oligocene of Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **212**:47-66.

Parsons, K.M. & Brett, C.E. 1991. Taphonomic processes and biases in modern marine environments: an actualistic perspective on fossil assemblage preservation. *In: Donovan, S.K. (Ed.). The Processes of Fossilization.* London, Belhaven Press, p. 22-65.

Patzkowsky M.E. & Holland, S.M. 2012. Stratigraphic controls of fossil occurrences. *In: Patzkowsky M.E. & Holland, S.M. Stratigraphic Paleobiology: understanding the distribution of fossil taxa in time and space.* Chicago, The University of Chicago Press, 259 p.

Ritter, M.N. & Erthal, F. 2013. Fidelity bias in mollusk assemblages from coastal lagoons of Southern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **16**:225-236.

Ritter, M.N., Erthal, F. & Coimbra, J.C. 2013. Taphonomic signatures in molluscan fossil assemblages from the Holocene lagoon system in the northern part of the coastal plain, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Quaternary International*, **305**:5-14.

Rosa, M.L.C.C. 2012. *Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 233 p.

Scarponi, D., Kaufman, D., Amorosi, A. & Kowalewski, M. 2013. Sequence stratigraphy and the resolution of fossil record. *Geology*, **41**:239-242.

Smith, A.M., & Nelson, C. 2003. Effects of early sea-floor processes on the Taphonomy of temperate shelf skeletal carbonate deposits. *Earth-Science Reviews*, **63**:1-31.

Tomasovych, A., Fürsich, F.T. & Olszewski T.D. 2006. Modeling shelliness and alteration in shell beds: variation in hardpart input and burial rates leads to opposing predictions. *Paleobiology*, **32**:278-298.

Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 1989. Processos erosivos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível relativo do mar. *In*: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2., 1989, Rio de Janeiro, ABEQUA, p.16.

Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A.; Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1995. A tendência atual do nível relativo do mar na costa do Rio Grande do Sul: uma análise das evidências. *In*: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 6. 1995. Boletim de Resumos Expandidos, Porto Alegre, 281-283.

Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A.; Dillenburg, S.R. & Dehnhardt, B.A. 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **70**:221-229.

Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In*: Holz, M., De Ros, L.F. (Ed.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Edições CIGO/UFRGS, p. 375-406.

Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, **244**:33-45.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, **4**:79-97.