



TAFONOMIA DE LINGULÍDEOS DA FORMAÇÃO MANACAPURU, SILURO-DEVONIANO (BACIA DO AMAZONAS)

Palavras-Chave: BRAQUIÓPODES, FÓSSEIS, ASSINATURAS TAFONÔMICAS

Autores(as):

FRANCISCO DE OLIVEIRA AROUCA, IG – UNICAMP

Prof.^a. Dr.^a. CAROLINA ZABINI (orientadora), IG – UNICAMP

INTRODUÇÃO

O seguinte trabalho descreve os métodos e resultados acerca da tafonomia de fósseis de invertebrados da Formação Manacapuru, transição Siluriano-Devoniano da Bacia do Amazonas. O estudo foi realizado com fomento de pesquisa PIBIC/CNPq 118440/2022-5 e apoio FAPESP 2021/12304-0 pelo Instituto de Geociências (IG/UNICAMP).

O Programa de Salvamento do Patrimônio Paleontológico (PSPP) que recuperou os fósseis aqui estudados foi realizado entre os anos de 2011 e 2015 no município de Altamira, Pará, durante a construção da UHE Belo Monte (Tomassi *et al*, 2015). As amostras foram levadas para a instituição de salvaguarda Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), em Belém, Pará, parte encontra-se tombada e outra armazenada para estudo. O material coletado utilizado na pesquisa é constituído de pavimentos rochosos coletados com protocolo tafonômico, fotografados em 2018 na vigência do projeto FAPESP 2017/109519, em que estão presentes lingulídeos tridimensionais e icnofósseis tubulares.

A denominação Lingulídeos (Filo Brachiopoda Duméril, 1806) compreende organismos marinhos fósseis bivalves, lofoforados, infaunais e bentônicos, cujo registro é observado ao longo do Paleozoico (Curry *et al*, 2007; Zabini, 2007). Estes são compostos por conchas organofosfáticas, com simetria bilateral, de formato oval a subretangular, biconvexa e presentes linhas de crescimento concêntricas, com estrutura muscular que mantém as valvas unidas e de fixação no substrato pelo pedículo (Jain, 2017). As conchas diferenciam-se em dorsais (braquiaias) e ventrais (pediculares), apresentando nos corpos fósseis carena - ou septo - na valva dorsal e nervo pedicular nas valvas ventrais.

A tafonomia é o estudo, *stricto sensu*, das leis de sepultamento (*Taphos* = sepultamento; *Nomia* = leis), abrangendo a avaliação e quantificação dos processos que um corpo da biosfera transforma-se em um corpo da geosfera, a partir da compreensão das assinaturas tafonômicas (Holz & Simões, 2002). A partir dos processos tradicionais de fossilização, subdivide-se a tafonomia em bioestratinomia e fossildiagênese, respectivamente englobando os eventos que interferem na preservação desde a morte do organismo até seu soterramento final e as alterações diagenéticas a que o fóssil está submetido inserido no sedimento (Simões & Ghilardi, 2000; Horodyski *et al*, 2017). Inclui ao fim, vieses de coleta e armazenamento do material fóssil como características tafonômicas adicionalmente (Simões *et al*, 2010).

O trabalho tem como objetivo principal compreender os processos relacionados à formação da assembleia de lingúlídeos dos pavimentos analisados. Para isso, três objetivos específicos foram desenvolvidos: 1) criar um banco de dados com as assinaturas tafonômicas; 2) descrever a tafonomia dos lingúlídeos; 3) interpretar a gênese e o paleoambiente deste material.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Amazonas é uma sinéclise intracratônica de eixo principal do depocentro alinhado WSW-ENE de caráter sedimentar-ígneo, englobando os estados do Amazonas, Pará e Amapá (Cunha *et al*, 2007). A partir do encerramento da Orogenia Brasileira, a dispersão de esforços gera um *rifteamento* precursor no Neordoviciano (460 Ma) sob o Cráton Amazônico, criando espaço de acomodação para deposição de duas megasequências (Paleozoica e Mesozoica-Cenozoica) de variados litotipos com intrusões básicas Mesozoicas. A megasequência Paleozoica subdivide-se em quatro supersequências, Ordoviciano-Devoniana, Devono-Tournaisiana, Neoviseana e Pensilvaniano-Permiana (Cunha *et al*, 2007). A primeira, Ordoviciano-Devoniana (460-410 Ma), caracteriza-se por sedimentos glacio-marinhos plataformais do Grupo Trombetas, que subdivide-se entre as formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga, Manacapuru e Jatapu, limitadas ao topo pela discordância Eodevoniana. A Formação Manacapuru (Ludlow-Lochkoviano) registra a transição Neossiluriana-Eodevoniana, sendo reconhecidos arenitos, pelitos e diamictitos aflorantes em faixas estreitas nos flancos norte e sul da bacia, reportados assembleia fóssilífera de vertebrados e invertebrados marinhos, assim como icnofósseis (Cunha *et al*, 2007; Tomassi *et al*, 2015; Corrêa, 2020).

METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida em três momentos: 1) elaboração e aplicação do protocolo Tafonomia à Distância; 2) Tafonomia tradicional por visita técnica ao MPEG; 3) Tafonomia integrada e comparação dos métodos, assim como elaboração do banco de dados e assinaturas tafonômicas.

A Tafonomia à Distância é um protocolo para obter as assinaturas tafonômicas a partir de imagens de forma fidedigna, estruturada por três etapas: 1) *Imageamento*, com uma série de recomendações para obter imagens de pavimentos fóssilíferos, especialmente para fotogrametria, 2) *Mapeamento*, que consiste em utilizar o software de plataforma aberta FIJI com o plugin *AnnotatorJ* para gerar uma sequência de imagens que contém a distribuição das valvas fósseis, segundo critério de inteiras e fragmentadas maiores que 20mm²; 3) *Operações Objeto-Fóssil*, utiliza-se o plugin *ObjectJ* alinhadas aos resultados da etapa anterior para quantificação de biometria, orientação e posição das valvas a partir de uma escala *px/mm*.

Com acesso ao material descreveu-se a tafonomia tradicional, as limitações e potenciais de ambos métodos, principalmente quando utiliza-se imagens, que não alcançam o nível de detalhamento para a descrição tafonômica. Integrou-se os resultados e atribuiu-se às correções pertinentes para elaboração do banco de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram levantadas 12 assinaturas tafonômicas para cada valva maior que 20mm², estas: Biometria (comprimento e largura em cm), Classes de Tamanho (classificadas em Pequena, Média e Grande), Articulação (valvas unidas ou soltas), Orientação ao acamamento (posição perpendicular, oblíqua ou paralela), Orientação ao norte (medida em graus), Posição (coordenadas numéricas da valva e se posicionada em calha ou não), Convexidade (concavidade da valva para cima ou para baixo), Fragmentação (se fragmentada ou inteira e em qual grau), Fossilização (característica diferencial de

fossilização), Coloração (cor da valva), Estrutura morfológica (se apresenta septo ou nervo pedicular), Observações (descrições adicionais) (Simões & Ghilardi, 2000; Zabini, 2007; Simões *et al*, 2010; Horodyski *et al*, 2017)

O material consiste em 8 amostras de pavimentos coletados com protocolo tafonômico sob código de coleta 'c6p2-6.', correspondentes à campanha 6, ponto 2, nível 6, aos 3,2 metros da seção (Tomassi *et al*, 2015). O litotipo é caracterizado como arenito siltoso fino, intercalado em finas camadas, bem selecionado e arredondado, de coloração amarelo-esbranquiçada e com porções oxidadas. Os pavimentos apresentam estrutura de *wave-ripples* com calhas alinhadas em ESE-WNW e SE-NW a partir da orientação ao norte, onde estão distribuídos lingulídeos tridimensionais e icnofósseis tubulares alinhados às calhas. O paleofluxo principal tem orientação NNE-SSW e NE-SW e a matriz apresenta esparsos fragmentos de concha (< 20 mm²), por vezes concentrados.

Foram descritas 480 valvas, predominantemente articuladas e inteiras, preenchidas pela matriz. Estão em quase totalidade em posição paralela ao acamamento e não são observadas valvas em posição de vida (perpendicular ao acamamento). A morfometria (comprimento e largura das valvas) foi realizada nas valvas inteiras (n=295), e a dispersão das medidas de biometria (**Gráfico 1**) foi utilizada para gerar as classes de tamanho, assim como o histograma (**Gráfico 2**). A associação de valvas articuladas e inteiras perfazem 51% (n=245) da assembleia. As valvas somente articuladas são 80% (n=387) e somente inteiras são 61% (n=295). Das que apresentam fragmentação (n=185), 45% (n=85) são classificadas como fragmentação reta. Das valvas desarticuladas (n=73), 83% (n=61) são convexas para baixo.

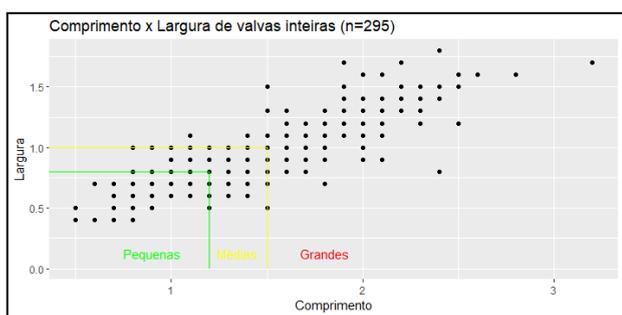


Gráfico 1 - Comprimento x Largura de valvas inteiras (n=295)

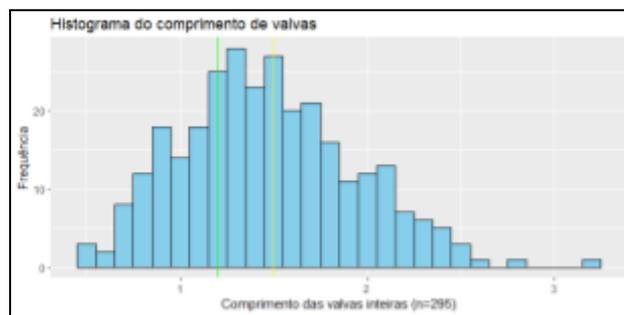


Gráfico 2 - Histograma de comprimento e largura de valvas inteiras

As valvas apresentam coloração acinzentada, preta ou avermelhada, respectivamente distribuídas em 75% (n=363), 22% (n=101) e 2% (n=9), sendo 1% (n=6) cobertas por sedimento. Ocasionalmente observa-se a presença de septo, ocorrendo em 20% (n=97) das amostras totais, assim como nervo pedicular, em que apenas 1% (n=6) apresentam a estrutura. Associa-se a presença de septo à valvas dorsais e nervo pedicular a valvas ventrais.

A orientação das valvas teve como direção preferencial 170° (n=480) e respectivamente para as classes de tamanho pequenas, médias e grandes, 202° (n=148), 178° (n=223) e 167° (n=109). Para valvas inteiras se obteve, segundo orientação geral e para as classes de tamanho, respectivamente, 175° (n=295), 197° (n=100), 184° (n=78) e 157° (n=217). (**Gráfico 3**). Para todos os pavimentos gerou-se a distribuição, densidade e orientação das valvas a partir das classes de tamanho, o que possibilitou a percepção da associação dos fósseis orientados nas calhas das *ripples*. (**Gráfico 4**).

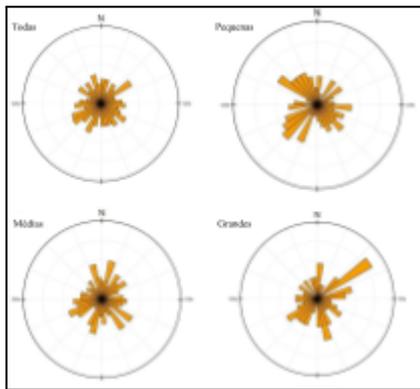


Gráfico 3 - Diagrama em roseta da orientação de valvas

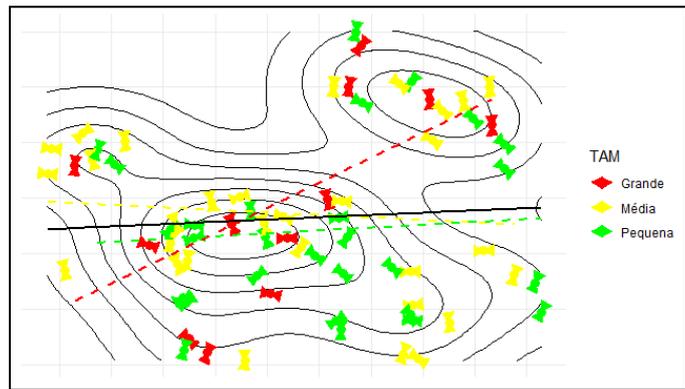


Gráfico 4 - Distribuição, densidade e orientação das valvas do pavimento cfp2-6.114

A assembleia de lingulídeos apresenta predominância de conchas articuladas paralelas ao acamamento, associa-se a pouco ou ausente transporte, uma vez que a articulação das valvas se dá por tecido orgânico (Zabini *et al*, 2010). Adicionalmente, mais da metade dos organismos mantém sua concha com ausência de fragmentação, relacionado a condições de pouco transporte e/ou baixa energia, dado a composição organofosfática da concha, não resistente à impactos quando na interface água-substrato (Zabini *et al*, 2007). Em torno de metade de todas as valvas fragmentadas quebram em um padrão semelhante, sinalizando um plano de fraqueza comum (morfológico). O histograma de comprimento de valvas indica a morte não-seletiva de uma assembleia, englobando organismos juvenis, adultos e maduros (Holz & Simões, 2002; Corrêa, 2020). A presença de preenchimento semelhante à matriz pode indicar morte e soterramento na mesma região deposicional.

A deposição dos organismos sem preferência por classes de tamanho pode ser associada a ausência de seleção energética (Horodyski *et al*, 2017). A energia do fluxo foi suficiente para deposição e rapidamente diminuída para não haver retrabalhamento. A presença de *ripples* indica deposição por escorregamento ou fluxo no leito por tração agindo sob o bioclasto, uma vez que é ausente a seleção. Na fase da bioestratigrafia, descreve-se a maneira que o fluxo age nos bioclastos (Holz & Simões, 2002, com alinhamento preferencial SSE-NNW, indicando reorientação das valvas depositadas entre os *ripples* segundo as direções do fluxo.

A comunidade vivente de organismos habitava a região costeira rasa, variando desde o *shoreface* inferior ao superior (Zabini *et al*, 2010; Corrêa, 2020). A tafonomia desses fósseis indica proximidade com a zona de vida da comunidade, porém, ausentes indivíduos em posição de vida. O evento deposicional foi rápido e com alta sedimentação (depósito abrupto, Zabini *et al*, 2010), suficiente para soterrar os organismos e preencher o interior das valvas (Zabini *et al*, 2017). A influência distal de uma tempestade gera condições suficientes para esse soterramento (Horodyski *et al*, 2017). Adicionalmente, a tafonomia a partir da distribuição indica um evento curto e energético de deposição das valvas e reorientação destas às calhas do fluxo. A ausência de seleção hidráulica indica pouco transporte e consequentemente nenhum retrabalhamento, dado por permanência dos bioclastos na área fonte. Essas assinaturas tafonômicas indicam evento deposicional por influência breve de tempestades na transição da zona de tempestade e tempo bom para geração de *ripples*.

No entanto, as interpretações não são baseadas como um único evento, separando-as por um hiato temporal. A comunidade autóctone vivente de lingulídeos é soterrada parcialmente de forma abrupta por alta taxa de sedimentação, de forma que, é submetida a condições de pré-diagênese no substrato. A partir da solidificação da assembleia pelo preenchimento do interior do organismo, ocorre a exumação desse material, seguida pela reorientação e deposição dos lingulídeos em calhas, marcando o soterramento final.

CONCLUSÕES

As assinaturas tafonômicas indicam predomínio de organismos articulados e inteiros que representam uma comunidade submetida a morte não-seletiva. Adicionalmente, a distribuição da assembleia marca ausência de seleção hidráulica e conseqüentemente não caracteriza transporte ou retrabalhamento do bioclasto. O alinhamento e concentração dos organismos em relação as calhas, assim como o alinhamento segundo os fluxos corrobora com a deposição e reorientação entre os *ripples*. A hipótese tafonômica parte da interpretação do soterramento parcial da comunidade vivente de forma abrupta, de forma que em condições de pré-diagênese ocorre a solidificação do material fossilífero em um curto hiato temporal, seguido da exumação e reorientação dos fósseis em calhas e soterramento final.

BIBLIOGRAFIA

- BUATOIS, L. A.; MÁNGANO, M. G. **Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time**. Cambridge University Press, 2011.
- CORRÊA, L. F. A. **Taxonomia de brachiopoda (família discinidae, Gray, 1840) da Formação Manacapuru (siluro-devoniano), Bacia do Amazonas, sudoeste do Pará**. Orientador: Maria Inês Feijó Ramos. 2020. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Geociências: Análise de Bacia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2020.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. **Bacia do Amazonas**. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15 (2), p. 227-251. 2007.
- CURRY, G. B.; BRUNTON, H. C. Stratigraphic Distribution of Brachiopods, in: SELDEN, P. A. **Treatise on Invertebrate Paleontology: part H, Brachiopoda**. *Geological Society of America & Paleontological Institute* v. 6, 1+ 906, p. 461. 2007.
- HOLZ, M.; SIMÕES, M. G. **Elementos fundamentais de tafonomia**. Porto Alegre, RS; UFRGS. ed. 1, p 17-25, 2002.
- HORODYSKI, R.; *et al.* Tafofácies e a tafonomia estratigráfica em ambientes marinhos rasos. *in: Tafonomia: métodos, processos e aplicações*. p.143-174, 2017.
- JAIN, S. **Fundamentals of invertebrate paleontology**. *Springer Geology*, 2017. p. 229-277.
- SIMÕES, M.; GHILARDI, R. **Protocolo Tafonômico/Paleoautoecológico como ferramenta nas análises paleossinecológicas de invertebrados: exemplos de aplicação em concentrações fossilíferas do Paleozoico da Bacia do Paraná, Brasil**. *Pesquisas em Geociências*, Vol. 27, n. 2. p. 3-13, 2000.
- SIMÕES, M.; HOLZ, M.; MACHADO, C. B. Procedimentos Metodológicos em Tafonomia. *in: Paleontologia*. CARVALHO, I. S. 3 ed., 2010.
- TOMASSI, H. Z.; *et al.* **Programa de Salvamento do Patrimônio Paleontológico: UHE Belo Monte**. *Terragraph Paleontologia & Norte Energia S.A.* Relatório Técnico Final, 50 p. 2015.
- ZABINI, C. **Lingulídeos da sucessão devoniana da Bacia do Paraná, região dos Campos Gerais, Brasil: Revisão de conceitos biológicos-ecológicos e análise tafonômica básica**. Orientador: Michel Holz. 2007. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. vol. 1. 2007.
- ZABINI, C.; BOSETTI, E. P.; HOLZ, M. **Taphonomy and taphofacies analysis of lingulid brachiopods from Devonian sequences of the Paraná Basin, Brazil**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 292 (1-2), p. 44-56, 2010.
- ZABINI, C.; *et al.* Fossildiagênese. *in: Tafonomia: métodos, processos e aplicações*. p.343-368, 2017.