

## RESPOSTA DOS FORAMINIFEROS BENTÔNICOS ÀS VARIAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS NA TRANSIÇÃO PLEISTOCENO-Holoceno DA BACIA DE PELOTAS: ESTUDO BASEADO NA ESPÉCIE *Hoeglundina elegans*

Maria Rita Lua de Quadros<sup>1</sup>; Thaise Ricardo de Freitas<sup>2</sup>; Carla Bonetti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina

<sup>2</sup> Mestre em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

<sup>3</sup> Doutora em Oceanografia e Pós-Doutora junto ao IFREMER-França e Professora do Laboratório de Oceanografia Costeira, Universidade Federal de Santa Catarina

### Resumo

Os foraminíferos são protozoários sensíveis às variações ambientais, cosmopolitas e mantêm-se preservados no registro fóssil, possibilitando a reconstrução de cenários pretéritos. O objetivo deste estudo foi inferir variações nas condições oceanográficas do compartimento bentônico do talude do Arco de Torres a partir da biomassa de *Hoeglundina elegans* durante o Quaternário tardio. A metodologia consistiu na determinação da abundância relativa desta espécie e na aquisição de dados biométricos a partir de fotomicrografias reconstituídas em modelos tridimensionais de 335 testas distribuídas ao longo de um testemunho de 365 cm. Foi demonstrado que nesta espécie a área e o volume da testa estão fortemente correlacionados, propondo-se uma equação de conversão entre estas medidas. Os maiores valores de biomassa ocorreram na transição entre os estágios isotópicos marinhos 2 e 1, respondendo às variações no aporte de material terrígeno e na influência das massas d'água ACS e APAN.

**Palavras-chave:** Quaternário; Atlântico Sul; micropaleontologia marinha.

**Apoio financeiro:** Projeto apoiado pelo Programa IODP/CAPES (processo 88887.116800/2016-01)

**Trabalho selecionado para a JNIC:** UFSC

### Introdução

Os foraminíferos são protozoários, principalmente marinhos, amplamente distribuídos na coluna d'água e no compartimento bentônico, vivem dentro de câmaras envolvidas por uma concha calcificada (ZERFASS & ANDRADE, 2008). Existem em registros fosseis de rochas sedimentares que datam desde o Cambriano e são excelentes fosseis guias, pois têm alto potencial de preservação, rápida taxa de crescimento e ampla distribuição geográfica (MOLINA, 2004; MURRAY, 2006). Sua aplicação como paleoindicadores de mudanças climáticas é uma ferramenta importante para a sociedade moderna (SUGUIO, 2017). Períodos pretéritos com variações climáticas abruptas, como o final do Pleistoceno, podem ser usados como parâmetro de comparação nos modelos de previsão de mudanças climáticas e de suas consequências ambientais. Proxies oceanográficos, tais como os foraminíferos bentônicos, podem ser analisados por uma ampla gama de técnicas e processos de amostragem, tendo como objetivo extrair peças para recompor um “quebra-cabeça” voltado a reconstrução paleoambiental.

A presente pesquisa tem como foco a avaliação do comportamento da biomassa de *Hoeglundina elegans* e da resposta deste descritor às variações nas massas d'água em decorrência das mudanças climáticas ocorridas no Quaternário tardio. O estudo foi conduzido no talude continental próximo ao Arco de Torres, na Bacia de Pelotas, e a espécie selecionada aparece regularmente entre os taxa abundantes no Atlântico Sul.

### Metodologia

Foram analisadas 19 amostras extraídas com intervalos de aproximadamente 10 cm de um testemunho (SIS188) com 3,65 m de comprimento, coletado a profundidade de 1514 m e localizado na latitude 29°13'16" S e longitude 47°17'01"W.

A biometria obtida da espécie *Hoeglundina elegans* foi constituída por um N amostral de 317 carapaças fosseis para a fração retida na peneira de malha 500 µm e 18 carapaças para as que ficaram retidas na peneira de malha 125 µm. Não foram encontrados indivíduos na malha de 63 µm.

A obtenção de dados biométricos das testas de *Hoeglundina elegans* ocorreu a partir do processamento digital de fotomicrografias obtidas em microscópio com foco automatizado Zeiss AXIO Zoom V16 com a opção de duas lentes: PlanNeoFluar Z 1x/0.25 FWD 56 mm (para fotos da fração maior que 500 µm) e PlanNeoFluar Z 2.3x/0.57 FWD 10.6 mm (para fotos da fração intermediária ( 500 - 125 µm). O tratamento das imagens e a obtenção das métricas foram feitos com o apoio do software Axio Vision (SE 64 Rel 4.9.1). As medidas estimadas foram: altura da carapaça, extraída pela função “z-stack” que possibilita obtenção de uma série de imagens com diferentes profundidades de foco; diâmetro; área superficial, obtida pela aproximação do contorno da testa a um círculo; volume, por aproximação da forma da carapaça a uma figura geométrica tipo domo (FREITAS, 2016). Para este último cálculo foi aplicada a seguinte fórmula:  $(\pi/24 * h * (4h^2 + 3d^2))$  onde “h” é a altura da testa (eixo Z) e “d” o diâmetro. Foi testada a correlação entre os resultados de área e volume da carapaça, propondo-se um modelo de conversão entre estas medidas a partir de uma equação de regressão.

O biovolume foi obtido considerando uma ocupação de citoplasma de 76%, conforme proposto por Freitas (2018). Para a estimativa da biomassa, deduzida a partir da fórmula “massa = densidade ( $\rho$ ) x volume”, foi considerado a densidade de  $\rho=1.13\text{gC/cm}^3$  sugerida por Gerlach et al (1985) para seres unicelulares e o volume convertido para  $\text{cm}^3$ . A representação do comportamento da biomassa ao longo do testemunho foi feita com um gráfico de dispersão, plotando a profundidade das amostras ao longo do eixo Y e correlacionando-as com os estágios isotópicos marinhos registrados no testemunho.

O tratamento e validação estatística dos dados foram realizados com o uso do software Statistica 13.3, sendo aplicadas as seguintes técnicas: correlação de Pearson, regressão linear e ANOVA one way. A significância dos resultados foi testada para um alfa de 0,05.

## Resultados e Discussão

As fotomicrografias 3D geradas neste estudo se demonstraram eficientes para a obtenção de medidas biométricas, permitindo a estimativas de volume, biovolume e biomassa das carapaças. Para um n amostral de 335 carapaças distribuídas ao longo de todo o testemunho, observou-se que as métricas concentraram-se dentro dos seguintes intervalos: 350 µm a 450 µm de altura; 600 µm a 900 µm de diâmetro;  $4,0 \cdot 10^5$  a  $5,5 \cdot 10^5$  µm<sup>2</sup> de área superficial;  $0,9 \cdot 10^8$  a  $1,6 \cdot 10^8$  µm<sup>3</sup> de volume;  $0,8 \cdot 10^8$  a  $1,2 \cdot 10^8$  µm<sup>3</sup> de biovolume e 8,6 a 13,4 µgC<sub>org</sub><sup>-1</sup> de biomassa.

As variáveis área superficial e volume da carapaça mostraram-se correlacionadas positivamente para um nível de significância de 0,05 ( $r = 0,92$ ;  $R^2 = 0,85$ ), sendo possível usar a seguinte equação de conversão “Volume (µm<sup>3</sup>) = [3,9193 + (1.1312 \* Área (µm<sup>2</sup>)]”. Este modelo está bem ajustado para uma faixa de área superficial entre 12,5 µm<sup>2</sup> e 14 µm<sup>2</sup>. A aplicação desta equação permite maior agilidade na estimativa da biomassa, uma vez que dispensa o cálculo da altura da testa e permite o uso de estereomicroscópios simples (sem a função z-stack).

A biomassa total de *H. elegans* em cada profundidade (somatória da biomassa de todos os indivíduos presentes na amostra) variou entre 1,3 e 1382,4 µgC<sub>org</sub><sup>-1</sup>, com média de 228,4 µgC<sub>org</sub><sup>-1</sup>. O comportamento deste descritor ecológico ao longo do testemunho foi semelhante aos da densidade total de foraminíferos e da abundância relativa desta espécie, refletindo um comportamento k estrategista. Ocorreu um pico mais expressivo na biomassa de *H. elegans* no Estágio Isotópico Marinho 2 (EIM 2), próximo aos 100 cm de profundidade. Este comportamento se repetiu no EIM 3, a 175 cm, indicando períodos em que o ambiente esteve mais favorável para o desenvolvimento da espécie. Esta condição está possivelmente relacionada a influência de massas d’água mais ricas em oxigênio. Os resultados de Petró (2018) mostram estes mesmos picos na porcentagem de areia, classe granulométrica que minimiza as condições redutoras dos sedimentos subsuperficiais.

O testemunho SIS 188 abrangeu três estágios isotópicos marinhos (EIM 3 – tardio, EIM 2 – último máximo glacial e o EIM 1 – atual período interglacial). Segundo Berger (1968) e Petró (2018) as oscilações climáticas ocorridas durante estes períodos modificaram a geometria das massas de água e foram responsáveis também por mudanças na fauna marinha da região. Durante o último máximo glacial, as Água Antártica de Fundo (AAF) e Água Circumpolar Superior (ASC) atuavam sobre o talude da Bacia de Pelotas, contemplando a região com maior aporte de nutrientes, juntamente com menos oxigênio dissolvido. O inverso ocorre em períodos interglaciais, quando as massas de águas frias se retraem para latitudes maiores, possibilitando maior penetração da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Esta última se caracteriza por possuir maiores teores de oxigênio e características oligotróficas.

A abundância e biomassa reduziram drasticamente em direção a base do testemunho, indicando um período desfavorável a sobrevivência de *H. elegans* ou condições do meio inapropriadas para sua preservação no registro fóssil. A carapaça desta espécie é constituída por aragonita e é susceptível as águas corrosivas, enriquecidas em dióxido de carbono, provenientes de maiores latitudes e mais atuantes na região durante os períodos glaciais (Gonzales *et al*, 2017).

### Conclusões

O presente estudo apresentou uma proposta metodológica ainda pouco explorada nos estudos paleoceanográficos e que se revelou importante para o maior conhecimento da ecologia de *Hoeglundina elegans* e de sua aplicação como proxy paleoceanográfico no Atlântico Sul. O comportamento da sua biomassa na região do talude da Bacia de Pelotas durante o Quaternário tardio permitiu inferir sobre variações nas condições ecológicas do compartimento bentônico como resultado de mudanças na dinâmica de massas d'água ocorridas em consequência das variações climáticas que caracterizam o final do Pleistoceno e início do Holoceno.

Os maiores valores de biomassa de *H. elegans* ocorreram na forma de dois picos durante a transição do EIM 2 (estágio isotópico marinho) para o EIM 1, período que representa o final da última glaciação e o início do atual interglacial. Nesta época ocorreram importantes mudanças na circulação oceânica e no padrão de distribuição das massas d'água. Após o Último Máximo Glacial iniciou-se um processo de aprofundamento e retração da Água Circumpolar Superior e o avanço da Água Profunda do Atlântico Norte para maiores latitudes. A região de estudo passou, assim, a sofrer maior influência desta última massa d'água, caracterizada por possuir maior teor de oxigênio dissolvido e menor concentração de CO<sub>2</sub> (menos corrosiva), o que provavelmente favoreceu o desenvolvimento e preservação das testas de foraminíferos carbonáticos. No entanto, para se refinar as conclusões paleoecológicas, se faz necessário ampliar o número de testemunhos analisados, assim como o conhecimento sobre o comportamento desta espécie nas condições atuais.

Em relação a metodologia proposta, o bom desempenho do modelo de regressão obtido para a conversão entre área superficial e volume da testa nesta espécie sugere que o uso de fotomicrografias convencionais (2D) é suficiente para a estimativa da biomassa, o que permitirá que os estudos futuros sejam desenvolvidos de modo mais rápido e sem a dependência de equipamentos óticos de uso mais restrito.

### Referências bibliográficas

ANDRADE, Poliana Carvalho de. **Variações de paleoprodutividade na plataforma continental interna ao largo de Itajaí-SC (26°59'16.8"S - 048°04'33.6"W) durante o Holoceno: uma abordagem de multi - indicadores.** 2011. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Instituto Oceanografico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BERGER, Wolfgang.H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation. **In: Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**, n. 15, p. 31-43, 1968.

FREITAS, Thaise Ricardo de. **Avaliação do biovolume como método de estimativa de biomassa de foraminíferos bentônicos.** 2016. Monografia (graduação em Oceanografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

\_\_\_\_\_. **Método automatizado para estimativa da biomassa de foraminíferos bentônicos.** 2018. Dissertação (Mestrado em oceanografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GERLACH, Sebastian A.; HAHN, Almut E.; SCHRAGE, Marion. Size spectra of benthic biomass and metabolism. **In: Marine Ecology: Progress Series**, V. 26, p. 161-173, 1985.

GONZALES, M.V., [et al]. Help index: *Hoeglundina elegans* preservation index for marine sediments in the western South Atlantic. **In: Journal of Foraminiferal Research**, V 47, n 1, p. 56-69, 2017.

MOLINA, Eustoqui. Micropaleontologia. 2 ed., **In: Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza**, 2004. 704p. Textos Docentes; 93.

MURRAY, John W.. **Ecology and Applications of Benthic Foraminifera**. New York: Cambridge University Press, 2006.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ZERFASS G.S.A.; ANDRADE E.J. 2008. **Foraminíferos e Bioestratigrafia: uma abordagem didática**. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraeducativa/>. Acesso em: 08 mar. 2018.