



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS E PALEOCEANOGRÁFICOS DO
QUATERNÁRIO SUPERIOR DA REGIÃO DO CONE DO AMAZONAS (BACIA DA
FOZ DO AMAZONAS) COM BASE EM FORAMINÍFEROS**

Pâmela de Lara Palhano

Trabalho de Conclusão do Curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado em forma de Artigo Científico, seguindo o modelo da revista *Pesquisa em Geociências*, como requisito parcial para obtenção do grau de Bióloga.

Orientadora: Maria Alejandra Gómez Pivel

Porto Alegre, 2019

I. Introdução geral

As variações climáticas no globo terrestre estão e estiveram continuamente presentes, desde a formação do planeta Terra há 4,5 bilhões de anos. O conhecimento sobre as mudanças climáticas pretéritas fornece informações necessárias para o refinamento dos modelos atuais de variações climáticas, além de facilitar as possíveis previsões de situações futuras (Bradley, 1985). Portanto, tais pesquisas são essenciais para as decisões que envolvem a preservação do meio ambiente, sustentabilidade e uso de recursos naturais.

Muitos sistemas naturais dependem do clima; a atmosfera governa, por exemplo, as grandes circulações oceânicas e influencia de maneira relevante as propriedades da água do mar. Devido à sua enorme capacidade de redistribuir o calor pelas correntes oceânicas, o oceano possui papel significativo tanto no tempo humano quanto geológico, além dos seus sedimentos constituírem fonte de importantes informações paleoclimáticas (Moore, 1975; Barron & Seidov, 2013). Informações essas, essenciais para a reconstrução da história climática, preservadas em sedimentos marinhos através das assembleias de microfósseis, matéria orgânica e composição isotópica e elementar das carapaças carbonáticas, além de outros componentes sedimentares. Grande parte dos sedimentos marinhos contém um elevado número de microfósseis, sendo o tipo de ambiente e o período no tempo no qual o material foi depositado, fatores determinantes para quais microfósseis serão encontrados. Os foraminíferos planctônicos estão entre os mais importantes microfósseis devido às informações paleoceanográficas essenciais que eles fornecem. A abundância taxonômica das populações vivas (e conseqüentemente da associação fóssil), por exemplo, é influenciada por fatores ecológicos, principalmente pela temperatura da superfície oceânica da região onde vivem (Armstrong & Brasier, 2005; Bé, 1977). Destacam-se também como ferramenta na estimativa de paleotemperaturas e paleoprodutividade oceânicas através do estudo de isótopos estáveis em suas testas, com base na variação da razão entre seus diferentes isótopos: ^{18}O , ^{16}O , ^{13}C e ^{12}C (Emiliani, 1955; Maslin & Swann 2005).

A Margem Equatorial Brasileira (MEB) está bem descrita quanto aos seus aspectos geológicos e geofísicos (Sztamari, 1987; Mohriak *et al*, 2003), porém o estágio atual dos conhecimentos paleoceanográficos e paleoclimáticos ainda é escasso. Apesar do grande interesse econômico e das diversas pesquisas científicas já efetuadas na região da bacia do Cone do Amazonas, o estágio atual dos conhecimentos paleoceanográficos e paleoclimáticos nessa região ainda é escasso. A parceria realizada pela prestadora de serviços para a indústria petrolífera e especializada em levantamentos de dados nas bacias brasileiras, a *SeaSeep*, e pela equipe de pesquisadores do Instituto do Petróleo e Recursos Naturais - IPR-PUCRS, resultou na Missão Tucuxi em junho de 2015. A viagem visava estudos geoquímicos e de hidratos de gás na região do Cone do Amazonas. Amostras dos testemunhos coletados foram cedidas ao Laboratório de Microfósseis Calcários-UFRGS pelo IPR-PUCRS. Neste trabalho, analisaremos o testemunho AMZ-405, para análise dos registros paleoclimáticos e paleoceanográficos do Quaternário do Cone do Amazonas, tendo como principal ferramenta os foraminíferos planctônicos.

REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS E PALEOCEANOGRÁFICOS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR DA REGIÃO DO CONE DO AMAZONAS (BACIA DA FOZ DO AMAZONAS) COM BASE EM FORAMINÍFEROS

Pâmela PALHANO¹

Resumo

Estudos paleoceanográficos auxiliam no entendimento de padrões de variações climáticas. A Margem Equatorial Brasileira (MEB) e suas bacias sedimentares são bem descritas em seus aspectos geológicos e geofísicos, porém trabalhos com aspectos paleoceanográficos ainda são escassos. O objetivo deste trabalho é reconhecer variações paleoclimáticas e paleoceanográficas, além de estabelecer o zoneamento bioestratigráfico da região do Cone do Amazonas, na Bacia da Foz do Amazonas, utilizando foraminíferos. Os foraminíferos planctônicos foram utilizados como principais indicadores, sendo suas abundâncias relativas analisadas e utilizadas para cálculos de paleotemperaturas pela Técnica do Análogo Moderno (TAM). Análises de isótopos estáveis de oxigênio e carbono foram realizadas na espécie planctônica *Globigerinoides ruber* e no gênero bentônico *Uvigerina sp.* Foi possível reconhecer duas biozonas paleoclimáticas: Biozona Y (subzona Y1) e Biozona Z, além de dois Estágios Isotópicos Marinhos (EIM): 1 e 2. A curva das paleotemperaturas médias estimadas (TSM) exhibe uma leve tendência de aumento em direção ao Recente. Os diferentes *proxies* de paleoprodutividade analisados apresentaram resultados divergentes.

Palavras-chave: paleoceanografia, foraminíferos, isótopos estáveis, paleoprodutividade, paleotemperaturas.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Instituto de Geociências. Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

1. Introdução

O conhecimento sobre as mudanças climáticas pretéritas fornece informações necessárias para o refinamento dos modelos atuais de variações climáticas, além de facilitar as possíveis previsões de situações futuras (Bradley, 1985).

Os foraminíferos planctônicos do Quaternário estão entre os mais importantes microfósseis utilizados como ferramenta paleoceanográfica devido às informações que

eles fornecem. A abundância taxonômica das populações vivas (e conseqüentemente da associação fóssil) é influenciada por fatores ecológicos, principalmente pela temperatura da superfície oceânica da região onde vivem (Armstrong & Brasier, 2005; Bé, 1977). Destacam-se também como ferramenta na estimativa de paleotemperaturas e paleoprodutividade oceânicas através do estudo de isótopos estáveis em suas testas, com base na variação da razão entre seus

diferentes isótopos: ^{18}O , ^{16}O , ^{13}C e ^{12}C (Emiliani, 1955; Maslin & Swann, 2005).

A Margem Equatorial Brasileira (MEB) está bem descrita quanto aos seus aspectos geológicos e geofísicos (Szatmari, 1987; Mohriak *et al.*, 2003). As cinco bacias sedimentares pertencentes a essa região são: Bacia da Foz do Amazonas, Bacia Pará–Maranhão, Bacia de Barreirinhas, Bacia do Ceará e Bacia Potiguar, sendo o estágio atual dos conhecimentos paleoceanográficos e paleoclimáticos dessas bacias ainda escasso. Em superfície, essa região é contornada pelas águas quentes da Corrente Norte do Brasil (CNB), a qual é uma das principais responsáveis pelo transporte de águas quentes e salinas do Hemisfério Sul em direção ao Hemisfério Norte, sendo, portanto, sua dinâmica importante em períodos glaciais - interglaciais (Metcalf & Stalcup, 1967; Silveira *et al.* 1994). O objetivo deste trabalho é reconhecer variações paleoclimáticas e paleoceanográficas, além de estabelecer o zoneamento bioestratigráfico da região do Cone do Amazonas, na Bacia da Foz do Amazonas, utilizando foraminíferos planctônicos e bentônicos. Desta forma, busca-se contribuir para o conhecimento do paleoclima do Cone do Amazonas no Quaternário Superior.

2. Área de Estudo

A Bacia da Foz do Amazonas está localizada na Margem Equatorial Brasileira, em frente a

todo o litoral do Estado do Amapá e parte do litoral noroeste do Estado do Pará (Brandão & Feijó, 1994; Ferreira, 2008). A área total da Bacia é de aproximadamente 350.000 km², e fisiograficamente está dividida em Plataforma Continental e no Cone do Amazonas, o qual corresponde a cerca de 45% da área. O Cone do Amazonas, um grande leque sedimentar submarino, está dividido em três regiões com declividades decrescentes: porção superior, inferior e um leque basal até 4000 m de profundidade (Damuth & Kumar, 1975; Aguiar, 2017; Carvalho *et al.*, 2011). A área em estudo é contornada pela Corrente Norte do Brasil (originada da Corrente Sul Equatorial), e de acordo com Mémery *et al.* 2000, a distribuição vertical das massas d'água encontradas nessa região a partir da superfície é a seguinte:

1. Água Tropical Superficial (ATS): forma a camada de mistura do Atlântico Tropical, com temperaturas próximas dos 27°C;
2. Água Central do Atlântico Sul (ACAS): encontrada próximo dos 500m de profundidade;
3. Água Intermediária Antártica (AIA): próximo ao Equador apresenta pequena extensão vertical;
4. Água Circumpolar Profunda Superior (ACPS);
5. Água Profunda do Atlântico Norte (APAN);
6. Água de Fundo Antártica (AFA)

Além das massas d'água, a descarga do Rio Amazonas também exerce um papel importante na região, com uma média de $1,8 \times 10^5 \text{m}^3/\text{s}$ de água doce se misturando com as águas do Oceano Atlântico Equatorial (Oltman, 1968).

3. Material e métodos

As amostras estudadas no presente trabalho foram coletadas em 2013, durante uma expedição realizada pela empresa Seaseep em parceria com o Instituto do Petróleo e Recursos Naturais (IPR) - vinculado à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). As amostras do testemunho AMZ-405 foram cedidas ao Laboratório de Microfósseis Calcários (LMC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para fins de estudos paleoceanográficos da Margem Equatorial Brasileira. Coletado na porção superior do Cone do Amazonas ($4^{\circ}57'25''\text{N}$ $50^{\circ}07'31''\text{O}$), sob lâmina d'água de 1.664 m, o testemunho alcançou 4,7 m de comprimento, sendo analisado em intervalos de 10 cm, totalizando 42 amostras (Figura 1).

3.1 Censo de fauna

Em laboratório, as amostras passaram pelas etapas iniciais de preparação: pesagem, lavagem em peneira com malha de $62 \mu\text{m}$ e escagem em estufa em torno de 60°C .



Fig. 1. Localização do testemunho AMZ-405, no Cone do Amazonas, Bacia da Foz do Amazonas (modificada a partir do *Google Earth*)

A fração grossa ($> 62 \mu\text{m}$) foi novamente peneirada, dessa vez a seco, sendo utilizada malha de $150 \mu\text{m}$. A porção $> 150 \mu\text{m}$ foi quarteada (quando necessário) e utilizada para triagem e contagem de cerca de, no mínimo, 300 espécimes de foraminíferos planctônicos (CLIMAP, 1976). A identificação e classificação foi realizada em lupa binocular com base nos trabalhos de Bé (1977) e Hemleben *et al.* (1989). Espécimes $< 150 \mu\text{m}$ foram excluídos das análises de censo por não ser possível a correta identificação em nível de espécie. Os valores absolutos de cada táxon foram convertidos em abundâncias relativas em relação ao total de foraminíferos planctônicos contabilizados na amostra.

3.2 Zoneamento paleoclimático

A abundância relativa e presença/ausência de foraminíferos planctônicos possibilitam a identificação de períodos glaciais e interglaciais. O Plexo Menardiforme (*Globorotalia menardii menardii*, G.

menardii fimbriata, *G. flexuosa* e *G. tumida tumida*) possui uma alta sensibilidade à temperatura, sendo indicadores de águas quentes. O estudo realizado por Ericson e Wollin (1968) correlacionou as variações climáticas com a presença/ausência desse Plexo, dividindo o Holoceno e Pleistoceno em dez biozonas paleoclimáticas (presença = intervalos interglaciais; ausência = intervalos glaciais). Vicalvi (1999) refinou este zoneamento com base na frequência do Plexo Pulleniatina (*Pulleniatina primalis*, *P. obliquiloculata* e *P. finalis*), o qual também está relacionado a águas quentes, desaparecendo em períodos glaciais (Prell & Damuth 1978). As abundâncias relativas das espécies identificadas foram analisadas para a realização do zoneamento paleoclimático da região.

3.3 Estimativas de paleotemperatura

As estimativas de paleotemperatura basearam-se na composição das associações de foraminíferos planctônicos. Para isso, a Técnica do Análogo Moderno foi aplicada nos dados de censo de fauna, utilizando o software *Past* (Versão 3.25) e o banco de dados de amostras atuais de foraminíferos planctônicos ForCenS (Siccha & Kucera, 2017). Nesse método, a assembleia encontrada em cada amostra ao longo do testemunho é comparada com as amostras modernas do banco de dados escolhido, encontrando assim o melhor análogo entre

elas (Hutson, 1980). Os pressupostos desse método são:

- 1) há correlação entre a distribuição das faunas modernas e as propriedades físico-químicas e biológicas do meio onde estão; e
- 2) as espécies analisadas respondem às variações ecológicas da mesma maneira que o presente. O coeficiente de dissimilaridade utilizado para as comparações entre as composições faunísticas das amostras fósseis e atuais foi o *Square Chord*, por ser o mais efetivo ao encontrar os melhores análogos no banco de dados (Prell, 1985; Kucera *et al.* 2005) e por ser o coeficiente que apresentou os melhores resíduos na validação cruzada.

3.4 Isótopos estáveis de oxigênio e carbono

As análises dos isótopos estáveis de oxigênio e carbono foram realizadas em carapaças (>150 μm) do foraminífero planctônico *Globigerinoides ruber* (12 - 20 espécimes) do morfotipo branco e no gênero de foraminífero bentônico *Uvigerina sp.* (2-6 espécimes) das 42 amostras. As análises foram conduzidas utilizando o espectrômetro de massa *Thermo Scientific MAT253* com *Kiel IV Carbonate Device* no Laboratório de Isótopos Estáveis, na Universidade da Califórnia, Santa Cruz, EUA (*UCSC Stable Isotope Laboratory*). Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ foram calibrados com o padrão internacional NBS-18 e são reportados em relação ao padrão *Vienna-Pee Dee Belemnite (V-PDB)*.

4. Resultados

4.1 Associações fósseis de foraminíferos planctônicos

Ao longo do testemunho AMZ-405 foram identificadas 27 variáveis taxonômicas (entre espécies e morfotipos) pertencentes a 12 gêneros. Entre eles, *Globigerinoides ruber* (branca) apresentou a maior média das abundâncias relativas: 28,04%, seguida de *Trilobatus sacculifer* (19,14%), *Neogloboquadrina dutertrei* (9,27%), *Pulleniatina obliquiloculata* (8,79%) e *Globorotalia truncatulinoides* (7,97%). Outras espécies que apresentam baixas ocorrências também foram encontradas, como por exemplo, a *Sphaeroidinella dehiscens*, *Globorotalia crassaformis*, *Globoturborotalita tenella*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinella calida* e

Globoturborotalita rubescens (todas com <1% de média na abundância relativa).

4.2 Zoneamento paleoclimático

Com base nas biozonas realizadas por Ericson & Wollin (1968) e Vicalvi (1999), foi possível reconhecer no testemunho do presente trabalho (Figura 2):

Biozona Y: correspondente ao último episódio glacial do Pleistoceno. A ausência do Plexo Menardiforme caracteriza a biozona da base até 250 cm. Os periódicos desaparecimentos e reaparecimentos do Plexo *Pulleniatina* dentro desta zona são utilizados para a suasubdivisão (Y1-Y5). A última subzona (Y1) pode ser reconhecida no presente estudo:

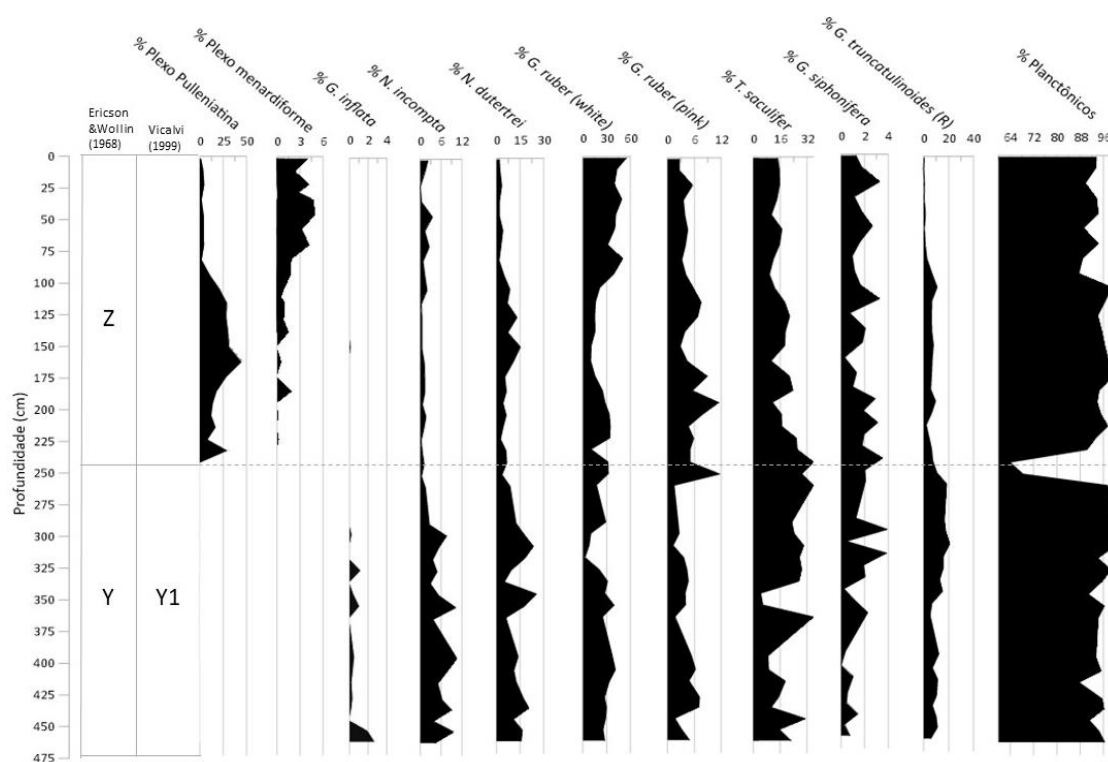


Figura 2. Abundâncias relativas dos táxons analisados. Biozonas Y e Z reconhecidas de acordo com os trabalhos de Ericson & Wollin (1968) e Vicalvi (1999).

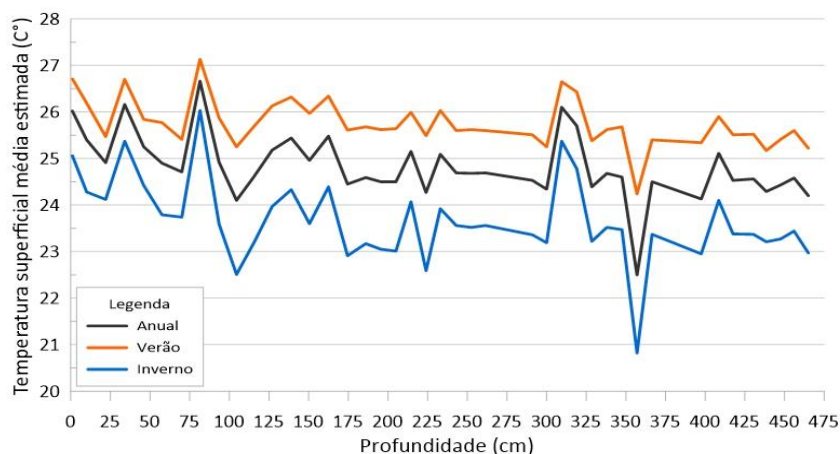


Figura 3. Temperaturas superficiais médias (TSM) estimadas com base no censo de foraminíferos planctônicos utilizando a Técnica do Análogo Moderno (TAM).

- Subzona Y1: ausência dos Plexos Menardiforme e *Pulleniatina*. Além disso, há a ocorrência de *G. inflata*, assim como das altas frequências de *G. truncatulinoides*, espécies características de períodos frios.

Biozona Z: correspondente ao período Pós-glacial (Holoceno). Houve o retorno dos Plexos Menardiforme e *Pulleniatina* a partir do intervalo de 225 - 250 cm. Há a ocorrência de *G. fimbriata*, espécie presente apenas no Holoceno. O desaparecimento local de *G. inflata*, também é característico da biozona. Há um aumento da frequência do Plexo Menardiforme no topo do presente testemunho (0-75 cm).

4.3 Estimativas de paleotemperatura

As temperaturas superficiais médias (TSM) estimadas para a Bacia da Foz do Amazonas com a Técnica do Análogo Moderno (TAM) para verão, anual e inverno foram de 25,7°C, 24,8°C e 23,6°C, respectivamente (Figura 3).

É possível identificar nas curvas de paleotemperatura uma suave tendência de aumento das médias em direção ao Recente. As temperaturas mais elevadas foram observadas na profundidade de 80-90 cm. Esse é o intervalo que apresentou a menor diferença entre as estimativas de TSM de verão e inverno (Δ TSM): 1,1°C. Já as médias mais baixas ficaram registradas no intervalo de 350-360 cm. A maior Δ TSM foi observada na profundidade de 104,5 cm: 2,7°C.

4.4 Isótopos de oxigênio.

A Figura 4 apresenta os resultados das análises de isótopos de oxigênio em *G. ruber*, sendo possível observar uma tendência a diminuição dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ da base em direção ao topo do testemunho. Os maiores sinais registrados compreendem da base até a profundidade de aproximadamente 250 cm, chegando ao máximo (-0,83‰) no intervalo de 320 cm. Ao longo do registro, os valores

passam a diminuir, chegando próximo a -1,98‰ nos intervalos de topo. Nos valores registrados nas carapaças de *Uvigerina sp.* também foi possível reconhecer dois padrões: da base do testemunho até o intervalo de 260,5 - 262,5 cm, os registros isotópicos são altos, chegando próximos à 5,2 ‰ (Figura 5A). Após esse intervalo até o topo do testemunho, os valores diminuem até próximo a 2,8‰. Lisiecki & Stern (2016), utilizaram sinais isotópicos de foraminíferos bentônicos para reconhecer Estágios Isotópicos Marinheiros (EIM). Por se tratar da Margem Equatorial Brasileira, a curva de referência

para a região é a *Intermediate North Atlantic – INA* (Figura 5b). É possível visualizar padrões correspondentes entre a curva de referência e a obtida, sendo no mínimo dois estágios reconhecidos:

- EIM 2: da base do testemunho até o intervalo de 260,5 - 262,5 cm. Esse estágio corresponde ao último período glacial do Pleistoceno, o qual apresenta valores isotópicos mais positivos.

- EIM 1: do intervalo de 260,5 - 262,5 cm até o topo do testemunho. Corresponde ao período Pós-glacial (Holoceno), onde os valores isotópicos são mais negativos.

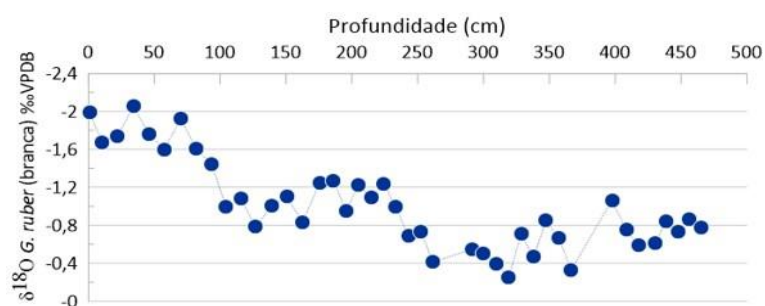


Figura 4. Variação dos sinais isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ na espécie de foraminífero planctônico *G. ruber* (branca).

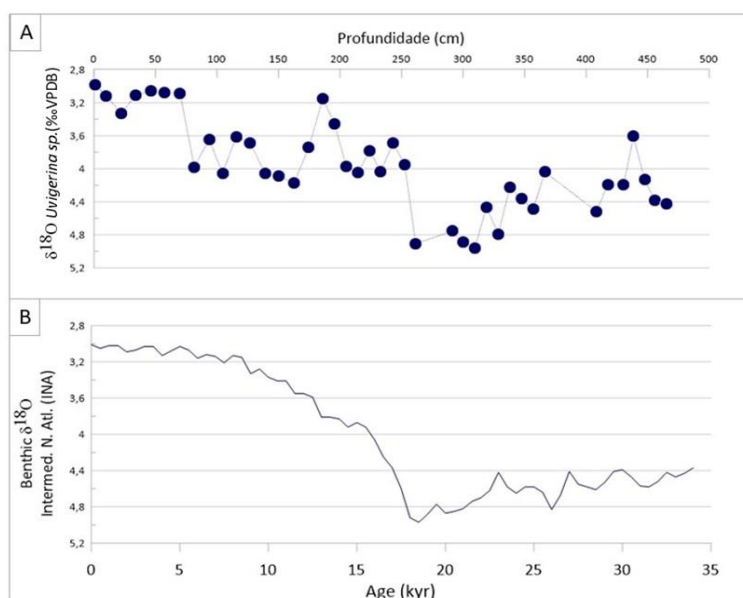


Figura 5.

(A) Variação dos sinais isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ no gênero de foraminífero bentônico *Uvigerina sp.* (B) Curva referência *Intermediate North Atlantic – INA* da variação dos sinais isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ em foraminíferos bentônicos. Dados de Lisiecki & Stern (2016).

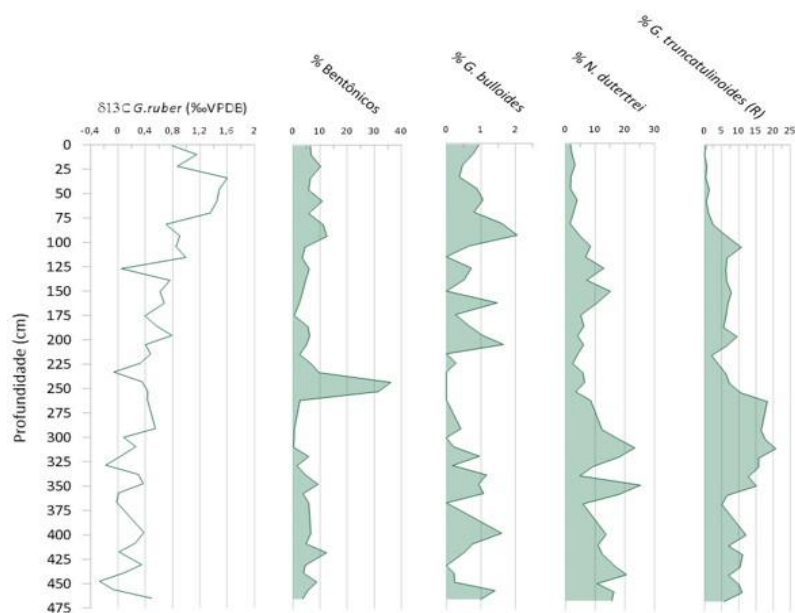


Figura 6. *Proxies* de paleoprodutividade analisados. Os sinais isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ foram extraídos das carapaças da espécie planctônica *G. ruber* (branca).

4.5 Indicadores de Paleoprodutividade

Diferentes *proxies* relacionados à produtividade foram testados (Figura 6). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos nas carapaças de *G. ruber* (branca) apresentam uma tendência de aumento dos seus valores de aproximadamente 1,87‰: valores da seção mais antiga do testemunho registraram valores de -0,27‰, enquanto próximo ao topo registrou-se o valor de 1,60‰. É possível observar que no intervalo próximo à profundidade de transição das Biozonas Y/Z e dos EIM 1 e 2 ocorre:

1. Um pico na porcentagem de foraminíferos bentônicos;
2. A curva de *G. bulloides*, *G. truncatulinoides* e *N. dutertrei* apresentam baixas frequências.

5. Discussão

5.1 Variações paleoclimáticas e paleoceanográficas

Os táxons identificados nesse estudo e suas variações de frequência são característicos das zonas tropicais e subtropicais classificadas por Kucera *et al.* (2005). Não há um zoneamento paleoclimático específico para a região da Bacia da Foz do Amazonas. Portanto, o biozoneamento aplicado aqui (Ericson & Wollin, 1968; Vicalvi, 1999) foi realizado em estudos da Bacia de Campos. As Biozonas Y (e Subzona Y1) e Z, foram identificadas conforme esses trabalhos. Segundo o estudo de Vicalvi (1999), as Subzonas Z1 e Z2 podem ser reconhecidas pela diminuição da frequência do Plexo Menardiforme (Z2: 3-7%; Z1: 1-3%). No entanto, tal diminuição não ocorre nos registros do Cone do Amazonas, sendo possível observar um aumento da frequência desse Plexo no topo do testemunho.

Testemunhos coletados no talude e sopé continental entre a Foz do Rio Gurupi (MA) e Fortaleza (CE), portanto na Margem Equatorial Brasileira, foram estudados para construção de curvas paleoclimáticas com base na mudança de frequência de *G. menardii*, onde também foi possível visualizar um aumento da proporção desse táxon a partir do seu surgimento local (Vicalvi e Palma, 1980). Isso sugere que as subzonas da Biozona Z realizadas para a Margem Sudeste Brasileira podem não ser aplicáveis para a Margem Equatorial Brasileira.

O padrão de variação das TSM estimadas para o verão, inverno e anual foram semelhantes, sendo as médias para o período interglacial (Biozona Z e EIM 1) maiores (aproximadamente 1,5° C) que as do período glacial (Biozona Y e EIM2). Resultados similares para a Margem Equatorial em estudos anteriores foram obtidos (Wilson *et al.*, 2011; Wolff *et al.*, 1998). Há autores que questionam o uso do censo faunístico para estimar paleotemperaturas em regiões de baixa latitude (Ravelo *et al.*, 1990; Ravelo & Andreasen, 1999). Eles sugerem que a composição faunística pode ter uma maior influência de outros fatores ambientais e, portanto, suas variações respondendo primariamente a elas. No entanto, os resultados obtidos nas estimativas de TSM condizem com as outras análises realizadas nesse trabalho. O $\delta^{18}\text{O}$ de foraminíferos reflete, em primeiro lugar, o $\delta^{18}\text{O}$ da água do

mar onde eles calcificam, sendo que a variabilidade do $\delta^{18}\text{O}$ depende principalmente do volume de gelo acumulado nos pólos e, portanto, reflete períodos glaciais e interglaciais (Ravelo & Hillaire-Marcel, 2007). Secundariamente, o sinal isotópico de oxigênio depende da temperatura no momento da calcificação. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ de foraminíferos planctônicos no intervalo da base até a profundidade de aproximadamente 250 cm sugerem um maior acúmulo de gelo global, uma vez que os sinais isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ são os mais altos do testemunho. A partir de tal intervalo, os valores passam a diminuir em direção ao Recente, indicando um período mais quente. Esse intervalo de mudança de valores é o mesmo onde foi reconhecida a transição das Biozonas Y/Z e dos EIM 1 e 2. No estudo realizado por Maslin *et al.*, 1997, também na Bacia da Foz do Amazonas, foi observado uma diminuição dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ em *G. ruber* próximo de 9 Ka (transição Pleistoceno/Holoceno). É importante ressaltar que os limites das Biozonas Y/Z e dos EIM 1 e 2 não coincidem com o limite Pleistoceno/Holoceno (Pivel *et al.*, 2013; Railsback, 2016), portanto, para a identificação exata do limite dos dois períodos cronológicos desse trabalho seria preciso um modelo de idade utilizando dados de ^{14}C (aguardando resultados).

5.2 Paleoprodutividade

Os diferentes *proxies* de paleoprodutividade analisados apresentaram resultados divergentes. Enquanto a curva de $\delta^{13}\text{C}$ sugere um aumento na produtividade oceânica para o Cone do Amazonas, as frequências dos planctônicos (*G. truncatulinoides* e *N. dutertrei*) indicam o contrário. Sabe-se que os sinais isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ são influenciados por diversos fatores e podem ser principalmente, um indicador de fertilidade, ou seja, da disponibilidade de nutrientes (Wefer *et al.*, 1999). Já a razão de foraminíferos planctônicos/bentônicos depende da quantidade de matéria orgânica no assoalho marinho (Berger & Diester-Hass, 1988). O pico observado próximo da transição dos períodos glacial-interglacial, indica um brusco aumento da produtividade em águas profundas nesse período na Bacia da Foz do Amazonas. Já os registros das atividades de superfície, indicam outro cenário: as baixas frequências de *G. bulloides*, *G. truncatulinoides* e *N. dutertrei* - espécies conhecidas como indicadoras de paleoprodutividade (Hillbrecht, 1997), podem ser relacionadas com uma menor produtividade oceânica em superfície. Santos *et al.* (2014) em seu trabalho realizado na Margem Equatorial Brasileira, também observara baixas frequências de espécies indicativas de paleoprodutividade (entre elas *G. truncatulinoides*) durante o início e todo o período pós-glacial.

6. Conclusões

As variações climáticas reconhecidas com base no zoneamento paleoclimático e isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ auxiliaram na identificação de dois períodos paleoclimáticos distintos:

1. Período Glacial: da base do testemunho até aproximadamente 242-250 cm. Correspondente à Biozona Y, Subzona Y1. Comparando com a curva de referência, foi possível observar o mesmo comportamento que o EIM 2;
2. Período Interglacial/Pós-Glacial: de aproximadamente 242-250 cm até o topo do testemunho. Correspondente a Biozona Z, não sendo identificada uma subdivisão. Esse intervalo apresentou a curva de $\delta^{18}\text{O}$ (bentônicos) semelhante ao EIM 1. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ (*G. ruber*) indicaram uma diminuição no volume de gelo global, característico desse período.

As variações das estimativas de TSM utilizando a TAM também indicam um aumento das temperaturas ao longo do registro.

Os indicadores de paleoprodutividade analisados divergiram, porém, comparado com trabalhos anteriores, a produtividade aparentemente diminuiu a partir do início do período pós-glacial.

Referências Bibliográficas

- Aguiar, L. F. 2017. *Análise de atributos na identificação de feições sísmicas associadas à presença de hidratos de gás na Bacia da Foz do Amazonas*. 61 p. TCC (Graduação) - Curso de Geofísica, UFF, Niterói.
- Armstrong, H.; A. Brasier, M. 2005. *Microfossils*. Oxford, Inglaterra. 296p.
- Barron, E. J.; Seidov, D. 2013. Ocean Currents of Change: Introduction. *In: Seidov, D; Haupt, B. J.; Maslin, M. The Oceans and Rapid Climate Change: Past, Present, and Future*. Washington, Dc: American Geophysical Union, p. 1-5.
- Bé, A.W.H., 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. *In: Ramsay, A.T.S. (Ed.), Oceanic Micropaleontology*. Academic Press, London, p. 1–100.
- Berger, W.H.; Diester-Hass, L., 1988. Paleoproductivity: the benthic/planktonic ratio in foraminifera as a productivity index. *Marine Geology*.81: 15-25.
- Brandão, J. A. S. L.; Feijó, F. J. 1994. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro,8(1): 91-99.
- Bradley, R.S. 1985. *Quaternary Paleoclimatology: Methods of Paleoclimatic Reconstruction*. Winchester, USA. 472 p.
- Carvalho, G.C. R; Gomes, C.J.S; Martins,N. 2011.O Cone do Amazonas, bacia da Foz do Amazonas: uma nova discussão.*Rem:Revista Escola de Minas*, 64 (4) p.429-437.
- CLIMAP. 1976.The Surface of the Ice-Age Earth. *Science*, 191 (4232): 1131-1137
- Damuth, J. E., &Kumar, N. 1975. Amazon cone: morphology, sediments, age, and growth pattern.*Bulletin Geological Society of America*, 86: 695–710.
- Emiliani C. 1955. Pleistocene temperatures. *Journal of Geology*, 63:538-578.
- Ericson, D.B.;Wollin, G. 1968.Pleistocene climates and chronology in deep-sea sediments.*Science*,162:1227-1243.
- Ferreira, D. A. P. 2008. *Caracterização geoquímica da sequência cretáceo-terciária da bacia sedimentar da Foz do Amazonas*. 74 p. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Hemleben, C.; Spindler, M.; Anderson, O.R. 1989. *Modern planktonic foraminifera*. Berlin, Springer-Verlag, 363 p.

- Hillbrecht, H. 1997. Morphologic gradation and ecology in *Neogloboquadrina pachyderma* and *N. dutertrei* (planktic foraminifera) from core top sediments. *Marine Micropaleontology*, 31: 31 -43.
- Hutson, W.H. 1980. The Agulhas Current During the Late Pleistocene: Analysis of Modern Faunal Analogs. *Science*, 207: 64-66.
- Kucera, M.; Weinelt, M.; Kiefer, T.; Pflaumann, U.; Hayes, A.; Weinelt, M.; Chen, M.-T.; Mix, A.C.; Barrows, T.T.; Cortijo, E.; Duprat, J.; Juggins, S.; Waelbroeck, C. 2005. Reconstruction of sea-surface temperatures from assemblages of planktonic foraminifera: multi-technique approach based on geographically constrained calibration data sets and its application to glacial Atlantic and Pacific Oceans. *Quaternary Science Reviews*, 24: 951-998
- Lisiecki, L. E.; J. V. Stern. 2016. Regional and global benthic $\delta^{18}\text{O}$ stacks for the last glacial cycle. *Paleoceanography*, 31: 1368–1394.
- Maslin, M.A., Burns, S.J., Erlenkeuser, H., Hohnemann, C.1997. Stable isotope records from sites 932 and 933. *In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., Peterson, L.C. (Eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. Ocean Drilling Program, College Station, Texas, U.S.A, 155: 305–318*
- Maslin, M.A., Swann, G.E.A., 2005. Isotopes in marine sediments. *In: Leng, M.J. (Ed.), Isotopes in Paleoenvironmental Research. Springer, Dordrecht, Netherlands, p. 227-290.*
- Mémery, L., Arhan, M., Alvarez-Salgado, X., Messias, M.-J., Mercier, H., Castro, C., Rios, A. 2000. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. *Progress Oceanography*, 47: 69–98.
- Metcalf, W.G., Stalcup, M.C., 1967. Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Journal of Geophysical Research*, 72:4959–4975.
- Mohriak, W. U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. *In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C. Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Brasília, 87– 165*
- Moore, J.R. 1975. *Oceanografía*. Blume, Madrid, p. 475
- Oltman, R. E., 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River. *Atas do Simpósio Sobre Biota Amazônica*. 3: 163-185

- Pivel, M.A.G., Santarosa, A.C.A., Toledo, F.A.L., Costa, K.B.C., 2013. The Holocene onset in the southwestern South Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374: 164–172
- Prell, W.L., Damuth, J.E., 1978. The climate-related diachronous disappearance of *Pulleniatina obliquiloculata* in late Quaternary sediments of the Atlantic and Caribbean. *Marine Micropaleontology*. 3: 267–277.
- Prell, W. L. 1985. The stability of low latitude sea surface temperatures: An evaluation of the CLIMAP reconstruction with emphasis on the positive SST anomalies. Technical Report 25, USA Dep. of Energy, Washington, D.C. p. 1-60.
- Railsback, L. B., 2016: Fundamentals of Quaternary science. Disponível em <http://www.gly.uga.edu/railsback/FQS/FQS.html>. Acesso em 03 jun. 2019.
- Ravelo, A.C.; Fairbanks, R.G.; Philander, S.G.H. 1990. Reconstructing Tropical Atlantic Hydrography Using Planktonic Foraminifera and an Ocean Model. *Paleoceanography*, 5(3): 409-431.
- Ravelo, A. C.; Andreasen, D.H. 1999. Using planktonic foraminifera as monitors of the tropical surface ocean. In: Abrantes, F. e Mix, A. (Eds.) *Reconstructing Ocean History - A window into the future*. New York, p. 217-244.
- Ravelo, A. C.; Hillaire-Marcel, C. 2007. The use of oxygen and carbon isotopes of foraminifera in paleoceanography. In: Hillaire-Marcel.; Vernal, A. D. (Eds.). *Proxies in Late Cenozoic paleoceanography*. Tokyo, 1: 735-761
- Santos, T.P.; Belém, A.L.; Barbosa, C.F.; Dokken, T.; Albuquerque, A.L. 2014. Paleoceanographic reconstruction of the western equatorial Atlantic during the last 40 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415:14–20.
- Siccha, M., Kucera, M., 2017. ForCenS, a curated database of planktonic foraminifera census counts in marine surface sediment samples. *Scientific Data*, 4: 1-12
- Silveira, I. C. A., L. B. de Miranda; W. S. Brown, 1994: On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*, 99: 1-12.
- Szatmari, P., Françolin, J.B.L., Zazotto, O.A., Wolff, S. 1987. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*. 17, 180-188.
- Vicalvi, M.A. 1999. Zoneamento bioestratigráfico e paleoclimático do Quaternário Superior do talude da Bacia de

Campos e Platô de São Paulo adjacente, com base em foraminíferos planctônicos. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 183 p.

Vicalvi, M.A.; Palma, J.J.C. 1980. Bioestratigrafia e taxas de acumulação dos sedimentos quaternários do talude do sopé continental entre a Foz do Rio Gurupi (MA) e Fortaleza (CE). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 23:3-11.

Wefer, G.; Berger, W.H.; Bijma, J.; Fischer, G. 1999. Clues to ocean history: A brief overview of proxies. In: Fischer, G.; Wefer, G., (Eds.) *Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 1-68.

Wilson, K. E., Maslin, M. A., Burns, S. J.: Evidence for a prolonged retroflexion of the North Brazil Current during glacial stages, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 301: 86–96,

Wolff, T., Mulitza, S., Arz, H.W., Wefer, G., 1998. Oxygen isotopes versus CLIMAP (18 ka) temperatures: a comparison from the tropical Atlantic. *Geology* 26: 675–678