



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**  
**GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

**TESE DE DOUTORADO**

**CONTRIBUIÇÃO AOS REGISTROS DO NÍVEL DO MAR  
E AMBIENTAIS DO HOLOCENO NO LITORAL NORTE  
DA BAHIA- BRASIL**

**PRISCILA MARTINS GONÇALVES**

SALVADOR

2016

**CONTRIBUIÇÃO AOS REGISTROS DO NÍVEL DO MAR  
E AMBIENTAIS DO HOLOCENO NO LITORAL NORTE  
DA BAHIA- BRASIL**

**Priscila Martins Gonçalves**

*Orientador: Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi*

Tese de Doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal da Bahia  
como requisito parcial à obtenção do  
Título de Doutor em Geologia, Área  
de Concentração em Geologia  
Marinha, Costeira e Sedimentar

SALVADOR

2016

G635

Gonçalves, Priscila Martins

Contribuição aos registros do nível do mar e ambientais do Holoceno no Litoral Norte da Bahia-Brasil/Priscila Martins Gonçalves. \_ Salvador, 2016.

142p. : il; 30cm

Orientador: Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

Tese (Doutorado) em Geologia - Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

1 Paleoindicador 2 Holoceno Tardio 3 Paleonível do Mar  
4 Corais I Título II Kikuchi, Ruy Kenji Papa de III Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências.

CDU 551.351.5

**PRISCILA MARTINS GONÇALVES**

**CONTRIBUIÇÃO AOS REGISTROS DO NÍVEL DO MAR  
E AMBIENTAIS DO HOLOCENO NO LITORAL NORTE  
DA BAHIA- BRASIL**

Tese de Doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal da Bahia  
como requisito parcial à obtenção do  
Título de Doutor em Geologia, Área  
de Concentração em Geologia  
Marinha, Costeira e Sedimentar

**TESE APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:**

---

**Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi**  
**Orientador –UFBA**

---

**Dr. Rodolfo José Angulo**  
**Examinador Externo – UFPR**

---

**Dr. Cristiano Mazur Chiessi**  
**Examinador Externo – USP**

---

**Dr. Guilherme Camargo Lessa**  
**Examinador Externo –UFBA**

---

**Dra. Zelinda Margarida Andrade Nery Leão**  
**Examinador Interno –UFBA**

Salvador – BA  
2016

## RESUMO

As mais recentes mudanças que o planeta Terra vêm sofrendo são os preocupantes eventos climatológicos globais das últimas décadas e estes têm gerado um grande esforço de pesquisadores no sentido de entender a dinâmica geológica de tais fenômenos. Na zona costeira e nas plataformas continentais os efeitos mais sensíveis são as alterações na temperatura da superfície do mar e no nível relativo do mar. Os prognósticos sobre o comportamento dos parâmetros ambientais são feitos com base em modelos que se baseiam nas condições atuais e passadas do clima do planeta. Os corais constituem um rico arquivo da variabilidade oceanográfica da região tropical e as variações do nível do mar é resposta a estas mudanças, neste contexto, as espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea* spp. utilizadas neste estudo, reunidos com dados obtidos de outros autores, representaram o espaço de tempo desde aproximadamente 8000 anos A.P. até o Recente. Neste trabalho, a curva que representa as flutuações do nível médio do mar mostra uma tendência de suavização da primeira oscilação de alta frequência, a não ocorrência da segunda. Contudo a curva mostra que o nível médio do mar sempre esteve acima do nível atual nestes últimos milênios. Em relação a utilização dos corais como indicadores paleoambientais foram apresentados registros de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  utilizando resoluções temporais que representam o período recente e diferentes períodos no Holoceno tardio. No presente trabalho a relação dos isótopos do coral Recente e os parâmetros ambientais característicos da área onde viveu, através de estudos climatológicos, foi satisfatória. Nesta investigação foi visto um comportamento inverso entre TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ , demonstrando que a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  é altamente dependente da TSM, embora não feita de maneira imediata. A importância da pluviosidade foi avaliada, verificou-se que o aumento do  $^{18}\text{O}$  causado pela diminuição das chuvas e o conseqüente aumento da disponibilidade deste isótopo pode interferir nessa relação inversa. Esta relação inversa entre a pluviosidade e  $\delta^{18}\text{O}$  é melhor identificada levando-se em consideração uma defasagem para a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$ . Este estudo sugere que a TSM é o principal fator ambiental que controla a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral. Além disso, foi verificado que outros fatores podem afetar o  $\delta^{18}\text{O}$  do coral, como efeitos metabólicos relacionados aos corais investigados através da extensão anual média. No Holoceno tardio, as variações de  $\delta^{13}\text{C}$  acompanharam períodos históricos relatados por outros autores, logo a tendência do  $\delta^{13}\text{C}$  nos corais aqui registrados está em conformidade com a tendência global de  $\delta^{13}\text{C}$  em outras partes do mundo. Os resultados mostraram que a temperatura no Holoceno tardio pode ter sido cerca de 0,2°C maior, não tão diferente dos dias atuais, além disso, verificou-se que a temperatura nesta época variou de forma diferente, ou seja, a mudança entre semestres quentes e frios, variava com menor amplitude e frequência que os dias atuais.

Palavras-chave: Corais. Paleoindicadores. Holoceno tardio. Paleonível do mar.

## ABSTRACT

The most recent changes that the planet Earth is suffering are the global climate events of the past decades and these have generated a great deal of effort of researchers to understand the geological dynamics of such phenomena. In the coastal zone and on the continental shelf the most sensitive effects are changes in sea surface temperature and in relative sea level. The predictions about the behavior of environmental parameters are made based on models that consider current and past conditions of the planet climate. Corals constitute a rich archive of oceanographic variability of the tropical region, including the changes in sea level. In this context, the species *Mussismilia braziliensis* and *Siderastrea* spp. were used in this study, along with data from other authors, to describe environmental change since about 8000 cal. years A.P. up to the present.

In this work, the curve representing the fluctuations of the mean sea level shows a tendency to reducing the amplitude of fluctuations known as high-frequency oscillations and indicates that the mean sea level has always been above the current level in the last 8 millennia. Regarding the use of coral as paleoenvironmental indicators,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  records were presented using temporal resolutions of subannual scale in different periods in the late Holocene. In this work we obtained a satisfactory relationship of recent coral isotopes with environmental parameters of the area where they lived, such as temperature and rainfall. In this research an inverse relationship between TSM and the  $\delta^{18}\text{O}$  was seen, as expected, demonstrating that the incorporation of the  $\delta^{18}\text{O}$  is highly dependent on the TSM, with a lag of circa one month on the response of the isotope incorporation. Rainfall, though, interfere in this relationship since  $\delta^{18}\text{O}$  is reduced when rainfall increases. This inverse relationship between rainfall and  $\delta^{18}\text{O}$  is best identified taking into account a lag for the incorporation of the  $\delta^{18}\text{O}$ . This study confirms that SST is the main environmental factor that controls the incorporation of  $\delta^{18}\text{O}$  in the coral. Furthermore, it was found that other factors can affect the coral  $\delta^{18}\text{O}$ , such as metabolic effects related to the coral through the calcification rate and average annual extension. In the late Holocene the variations of  $\delta^{13}\text{C}$  accompanied historical periods reported by other authors, so the trend of the  $\delta^{13}\text{C}$  in the corals registered here is in accordance with the global trend of  $\delta^{13}\text{C}$  in other parts of the world. The results showed that the temperature in the late Holocene may have been about 0.2°C higher, not so different from the present days. Moreover, it was found that the temperature at this time ranged in a different way, namely, the amplitude of seasonal variation between warm and cold semesters was lower less frequent than in the present time.

Keywords: Corals. Paleoindicadores. Late Holocene. Paleo sea levels.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I–INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO II - ARTIGO 1: CONTRIBUIÇÃO AOS REGISTROS HOLOCÊNICOS DO NÍVEL DO MAR DA REGIÃO EM TORNO DE SALVADOR- BA- BRASIL.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III - ARTIGO 2: REGISTROS ISOTÓPICOS EM CORAIS COMO PROXIES AMBIENTAIS NO LITORAL NORTE DA BAHIA-BRASIL DURANTE O HOLOCENO TARDIO.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>APENDICE A –JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DE CO-AUTOR.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO A- REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA: MARINE GEOLOGY.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO B -REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA: PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY,PALAEOECOLOGY....</b>	<b>125</b>

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO GERAL

---

As mais recentes mudanças que o planeta Terra vêm sofrendo são os preocupantes eventos climatológicos globais das últimas décadas e estes têm gerado um grande esforço de pesquisadores em todo o mundo no sentido de entender a dinâmica geológica de tais fenômenos.

No centro do debate mundial sobre as mudanças climáticas aparece o relatório do IPCC (*International Panel for Climate Change*) 2007, que descreve os avanços feitos na compreensão dos fatores humanos e naturais que causam a mudança do clima, as observações da mudança do clima e estimativas dessas mudanças projetadas para o futuro. Neste mesmo relatório, foram feitos avanços na compreensão de como o clima está mudando em termos espaciais e temporais, por meio da melhoria e da ampliação dos numerosos conjuntos de dados e das análises dos dados, de uma cobertura geográfica mais ampla, de uma melhor compreensão das incertezas e de uma maior variedade de medições.

No século XVIII, James Hutton apresentou uma teoria que até os tempos atuais, pode ser utilizada nas interpretações de períodos passados na Terra: “O presente é a chave do passado”. Inversamente, poderíamos considerar que, o conhecimento do clima do passado pode ser útil no aprimoramento dos estudos do clima atual, e assim, favorecer um melhor entendimento do que possa vir a ocorrer no futuro. Este conhecimento passa pela compreensão do



sistema Terra constando da litosfera, criosfera, atmosfera e oceanos, que interagem entre si e dão origem ao clima atual do planeta.

Numa perspectiva paleoclimática, os estudos dos registros estratigráficos do Holoceno comprovam, entre outros aspectos, mudanças no clima e do nível do mar, processos geomorfológicos e hidrológicos, desenvolvimentos de vegetação e as migrações da fauna. Além disso, os registros contêm uma gama única e riqueza de dados arqueológicos que atestam o desenvolvimento da sociedade e as relações evolutivas entre as pessoas e o ambiente (Walker, et al., 2012). Além disso, arquivos desta época são muitas vezes bem preservados, contínuos e capazes de serem examinados em alta resolução temporal. Esses estudos usam as mudanças em indicadores sensíveis ao clima para inferir mudanças passadas no clima global em escalas de tempo que vão de meses a milhares de anos. Esses indicadores podem ser influenciados tanto pela temperatura local quanto por outros fatores, como a precipitação, e com frequência são representativos de estações específicas em vez de anos completos (Walker, et al., 2012). Mesmo assim, as incertezas aumentam em relação ao tempo no passado, por causa da cobertura espacial que ainda é limitada. Estas informações originárias das regiões tropicais ainda são escassas.

O aumento de informações sobre o clima passado é possível através da utilização de ferramentas em arquivos naturais, como indicadores isotópicos, obtidos em corais, moluscos, testemunhos de sedimento, foraminíferos, entre outros.

Assim, os corais que calcificam seus esqueletos em taxas que variam de aproximadamente 3 a 15 mm anuais, podem ser utilizados para esse fim. A

precipitação do esqueleto de carbonato se dá também com alterações sazonais da densidade desse esqueleto, o que possibilita o estabelecimento de uma cronologia bastante precisa do seu crescimento e da variação do conteúdo isotópico.

A temperatura e a luz são fatores primordiais que determinam a reação de precipitação de carbonato de cálcio na água do mar para formar os esqueletos de corais, através da fotossíntese (Goreau, 1961). Assim, os corais constituem um rico arquivo de indicadores geoquímicos de variação da temperatura e da disponibilidade de luz do ambiente marinho, pois tem crescimento mensurável em seu esqueleto, bandas de densidade, (Knutson, et al., 1972) e incorporam isótopos de C e O de forma cíclica e periódica em escalas de tempo que variam de sazonais, anuais, de décadas a séculos proporcional à temperatura (O) e atividade fotossintética (C) das zooxantelas simbiotes dos corais (Gagan et al., 2000; Felis e Pätzold, 2004).

A composição isotópica do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em esqueletos de corais reflete as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) e o  $\delta^{18}\text{O}$  da água do mar (Felis et al., 2000; Giry et al., 2010; Deng et al., 2014). No entanto, a composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) é mais complexa e difícil de interpretar porque é fortemente influenciada pelos processos metabólicos, ou seja, fotossíntese e heterotrofia ( Felis et al., 1998; Grottoli, 1999; Al-Rousan e Felis, 2013). Contudo, essas razões isotópicas tornam-se indicadoras *proxies* desses parâmetros antigos da superfície oceânica. Nesta situação é importante o desenvolvimento de procedimentos para recuperação de registros ambientais *proxies* confiáveis a partir dos corais construtores dos recifes da costa brasileira. A seleção das espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea* spp.

para o presente estudo no âmbito brasileiro, deveu-se à sua importância como duas das principais espécies construtoras dos recifes da costa brasileira, no caso da *M. braziliensis* por ser uma espécie endêmica da costa da Bahia e *Siderastrea* por ocorrer ao longo de toda a costa e plataforma continental tropical brasileira onde ocorrem recifes (Leão et al. 2003).

Como o clima é dinâmico, torna-se necessária a observação, por um longo período de tempo, de seus principais elementos, para verificar se as variações de seu comportamento são permanentes e, portanto, fatores de mudanças climáticas, ou se são ciclos periódicos que tendem a se repetir de tempos em tempos, tratando-se apenas de oscilações do clima. Neste contexto este trabalho vem contribuir para os estudos dos elementos que constituem o clima durante o Holoceno médio e tardio, na perspectiva de colaborar com a compreensão do ritmo climático de longa duração.

No contexto da importância da luz na realização da fotossíntese e assim na precipitação do carbonato de cálcio para formar os esqueletos dos corais, a profundidade da lamina d'água é crucial para o desenvolvimento dos corais, a exemplo das espécies *M. braziliensis* e *Siderastrea* spp. utilizadas neste estudo. *M. braziliensis* é uma espécie que não é encontrada na região intermarés ou em locais que possam ficar emersos, por outro lado, *Siderastrea* spp. quando pequenas (poucos centímetros), podem ser expostas por curtos períodos de tempo, as colônias maiores se comportam como *M. braziliensis*. Portanto a presença de grandes colônias dessas espécies fósseis indicam um nível mínimo de lamina d'água. Sendo assim, além de serem arquivos climáticos, estes organismos podem contribuir como evidências de posições do

nível do mar pretérito, com já utilizado por diversos autores, por exemplo, Bittencourt et al. (1978).

As flutuações da curva do nível relativo do mar para o Holoceno foram construídas por Suguio et al., 1976 e posteriormente diversas outras foram publicadas (Martin et al., 1979, Suguio et al., 1985, Dominguez et al., 1990, Angulo 1992, Angulo e Lessa 1997). Estas curvas, que têm sido delineadas para vários setores da costa brasileira, apresentam diferenças significativas e contradições.

A costa brasileira é uma região de ajuste isostático (*far-field*), distante dos grandes lençóis de gelo, onde o componente isostático dominante foi apenas a carga de água na plataforma. Estas regiões são responsáveis pelas melhores curvas do nível do mar (Domingues et al., 2011).

Para a costa brasileira os indicadores do nível do mar mostram um nível mais elevado há cerca de 5100 anos AP e um abaixamento desde então, até atingir o nível atual. Essa queda foi pontuada, na interpretação de alguns autores, por duas oscilações de alta frequência, mas de magnitude incerta (até 3 metros). Angulo e Lessa (1997) questionaram a existência dessas oscilações.

É de fundamental importância estudar as oscilações do nível relativo do mar e as mudanças climáticas durante o Quaternário para compreender os processos morfogenéticos, definir as sequências de depósitos sedimentares e, assim contribuir com a elaboração de modelos que explicam a origem e evolução da região costeira. Com a finalidade de oferecer informações atualizadas para propósitos como estes, o presente trabalho tem como objetivos reconstruir o comportamento do nível médio do mar e a climatologia da temperatura da água do mar no Holoceno para região em torno de Salvador, Brasil, entre latitudes

12° 33'22" S e 12° 44'36" S e as longitudes 37° 55'31" W e 38° 05'48" W. Para estes propósitos será necessário;

- a) Datar os testemunhos de corais obtidos em superfícies erodidas de recifes costeiros;
- b) Certificar-se de que o bandamento e o comportamento das razões  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  dos corais antigos é similar ao encontrado nos corais atuais, com respeito à suas dimensões e ciclicidade, permitindo que se possa assumir sua periodicidade anual;
- c) Avaliar se a variabilidade anual das razões  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  nos corais antigos é similar à descrita nos esqueletos de corais atuais;
- d) Verificar a influencia da taxa de extensão na incorporação do C e O pelos corais.

Portanto o presente trabalho vem testar as hipóteses, aqui levantadas: 1) As variações de alta frequência propostas por Martin e colaboradores foram de magnitude menor que a proposta, ou mesmo inexistentes; 2) A sazonalidade da temperatura foi semelhante à atual, mas a temperatura média durante o Holoceno tardio foi diferente da atual (século XX).

#### **Referencias:**

Al-Rousan, S. Felis, T. 2013. Long-term variability in the stable carbon isotopic composition of *Porites* coral at the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*.381-382, p. 1-14.

Angulo, R.J., Lessa, G. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia region. *Marine Geology*, 140, 141-166.

Angulo, R.J. Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. 1992. 334p. Tese de Doutorado. São Paulo. Tese de Doutorado-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

Bittencourt, A.C.S.P.; Vilas-Boas, G.S.; Flexor, J.M.; Martin, L. 1978. Excursão sobre as Formações Quaternárias do Litoral da região de Salvador, Bahia- Livro Guia. Simpósio Internacional sobre a Evolução Costeira no Quaternário. 1978 - São Paulo, Brasil, 115p.

Deng, W., Wei, G., McCulloch. 2014. Evaluation of annual resolution coral geochemical records as climate proxies in the Great Barrier Reef of Australia. *Coral Reefs*.3, 965-977.

Dominguez, J.M.L., Ramos, J.M.F.R., Rebouças, R.C., Nunes, A.S., Melo, L.C.F. A plataforma continental do município de Salvador: geologia, usos múltiplos e recursos minerais. Salvador, CBPM, Série Arquivos Abertos, 37. 2011. 72 p.

Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S., Leão, Z.M.A.N., Azevedo, A.E.G. 1990. Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geologia*, 20, n.1-4, 208-215.

Felis, T., Pätzold, J. 2004. Climate records from corals. In: Wefer G., Lamy F., Mantoura F. (Eds.), *Marine Science Frontiers for Europe*. Springer-Verlag, New York. p. 11-27.

Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y., Fine, M., Nawar, A.H., Wefer, G. 2000. A coral oxygen isotope record from the northern Red Sea documenting NAO, ENSO, and North Pacific teleconnections on Middle East climate variability since the year 1750. *Paleoceanography*.15, 679-694.

Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y., Wefer, G. 1998. Vertical water mass mixing and plankton blooms recorded in skeletal stable carbon isotopes of a Red Sea coral. *J. Geophys. Res.*103, 731-739.

Gagan, M.K., Ayliffe E, L. K., Beck, J. W., Cole, J. E., Druffel, E. R. M., Dumbbar, R. B., Schrag, D. P. 2000. New view of tropical paleoclimates from corals. *Quaternary Science Reviews*. 19, 45-64.

Goreau, T.J. 1961. On relations of growth and calcium production in reef building organisms. *Biological Bulletin*. 116, 59-75.

Grottoli, A.G. 1999. Variability of stable isotopes and maximum linear extension in reef-corals skeletons at Kaneohe Bay, Hawaii. *Marine Biology*.135, 437-449.

Knutson, D.W., Buddemeier, R.W., Smith, S.V. 1972. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science*.177, 270-272.

Leão Z. M. A., Kikuchi, R.K.P., Testa, V. Corals and Coral Reefs of Brazil. In *Latin America Coral Reefs*, p.9-52, 2003.

Martin, L., Flexor, J.M., Vilas-Boas, G.S., Bittencourt, A.C.S.P., Guimarães, M.M.M. 1979. Courb de variations du niveaurelative de la meru ours de 7000 dernières années surun secteur homogène du littoral Brésilien (Nord de Salvador-Bahia). *Proceeding of the Suguio K., Fairchild L., Flexor J.M. (ed.) 1978 International Symposium on coastal evolution in the Quaternary. São Paulo*, p.264-274.

Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M., Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15, 273- 286.

Suguio, K., Martin, L., Flexor, J.M. 1976. Les variations relatives du niveau moyen de la mer au quaternaire récent dans la région de Cananéia-Iguape, São Paulo. *Boletim Instituto Geológico*, 7, 113–129.

Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H. 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a



Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Sub commission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*. 27(7), 649-659.

**Revistas para Submissão dos Artigos:**

**ARTIGO 1: Marine Geology**

International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics

**ARTIGO 2: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**

An International Journal for the Geo-Sciences

## CAPÍTULO II

# ARTIGO 1 – CONTRIBUIÇÃO AOS REGISTROS HOLOCÊNICOS DO NÍVEL DO MAR DA REGIÃO EM TORNO DE SALVADOR-BA-BRASIL

---

Priscila Martins Gonçalves <sup>a</sup>, Ruy Kenji Papa de Kikuchi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, Campus Universitário de Ondina, Salvador, Bahia, Brasil. prigeologia@gmail.com

<sup>b</sup>Departamento de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, Campus Universitário de Ondina, Salvador, Bahia, Brasil. kikuchi@ufba.br

### RESUMO

Investigações sistemáticas do nível do mar no Quaternário na costa brasileira têm sido feitas nos últimos 150 anos, iniciadas com os trabalhos de Hartt (1870). Inúmeros tipos de arquivos foram utilizados para este fim, tais como; estruturas sedimentares, conchas de moluscos cimentadas em arenitos de praia, sambaquis, vermetídeos, corais, dentre outros. As curvas do nível do mar nos últimos 7000 anos têm uma tendência em comum de um máximo do nível do mar no Holoceno médio e uma posterior queda até o presente momento. Discrepâncias são observadas ao longo do tempo, incluindo a ocorrência de oscilações de alta frequência. Dentre os testemunhos utilizados neste trabalho, amostras de corais e de outros indicadores de presença de lâmina d'água após calibração, apresentaram idades no intervalo de tempo que

se delimitaram as oscilações de alta frequência proposta inicialmente por Martin e colaboradores e posteriormente contestadas por Angulo e colaboradores na década de 1990. Portanto, durante este período de tempo a lâmina d'água nesta região foi sempre superior ao nível médio do mar atual. Desse modo, o presente estudo permite afirmar que as oscilações de alta frequência indicadas, no final da década de 1970 não ocorreram ou foram de magnitude muito inferior à indicada por esses autores.

## **1.INTRODUÇÃO**

Durante as últimas décadas, pesquisas desenvolvidas ao longo de 3000 km da costa brasileira, através da datação de indicadores geológicos, biológicos e arqueológicos, permitiram a determinação de paleoníveis marinhos (PNM) e construções de curvas do nível do mar. Os corais têm sido utilizados para este fim, como por exemplo, o trabalho de Bard et al., (1996) que mostrou que a curva do nível do mar construída para o Tahiti, é caracterizada por um intervalo de profundidade determinada por uma combinação da utilização de três espécies de corais (*Acropora robusta*, *Acropora danai* e *Pocillopora verrucosa*) e de outros organismos (algas incrustantes, foraminíferos e gastrópodes vermetídeos). Além deste, Sugihara et al., (2003) relataram uma curva do nível do mar, para o Holoceno, detalhada com base em uma única espécie (*P. verrucosa*) como um indicador de profundidade confiável. Embora *P. verrucosa* varie sobre o topo e borda do recife entre 0,5 e 5,0 m de profundidade de água, a mesma possui uma abundância a uma profundidade de 1,5m. Portanto, a utilização de mais de uma espécie de coral associadas com outros arquivos é

fundamental para a obtenção de reconstruções precisas de mudança do nível do mar.

No litoral da Bahia ocorrem recifes de corais formados no Holoceno Médio/Tardio (segundo subdivisão proposta por Walker et al. 2012). Os corais, organismos construtores primários da trama dos recifes, são organismos sésseis que têm sua distribuição vertical intimamente controlada pelo nível médio do mar (NMM) e, como tal, podem ser utilizados como indicadores de níveis marinhos da época em que estavam vivos (Laborel, 1986).

A história do paleonível do mar (PNM) no Brasil tem sido debatida nos últimos 20 anos, notadamente se os últimos 7000 anos testemunharam uma posição de nível máximo do mar à altitude preconizada por Suguio et al. (1985) e se de fato ocorreram oscilações de alta frequência do NMM (Angulo et al., 2006). Em especial, a existência dessas oscilações, propostas e explicadas por Suguio et al. (1985) como geradas por alterações no geóide terrestre, tem sido foco de debate mais intenso (Angulo e Lessa, 1997; Martin et al., 1998; Lessa e Angulo 1998; Martin, 2003 e Angulo et al., 2006).

As evidências para as oscilações foram apresentadas na primeira curva do nível do mar para a região de Cananéia e Paranaguá por Martin e Suguio (1975) e Suguio et al., (1976) e depois reiteradas por Martin (2003) em uma nova curva do nível relativo do mar para Salvador; neste último trabalho, com as idades já calibradas. A eficácia dos indicadores utilizados para apoiar tais oscilações foi discutida e posta em dúvida por Angulo et al. (2006). Além disso, Bezerra et al., (2003) contribuem com novos dados baseados em 48 datações radiocarbono, e mostraram que a tectônica regional é em grande parte o

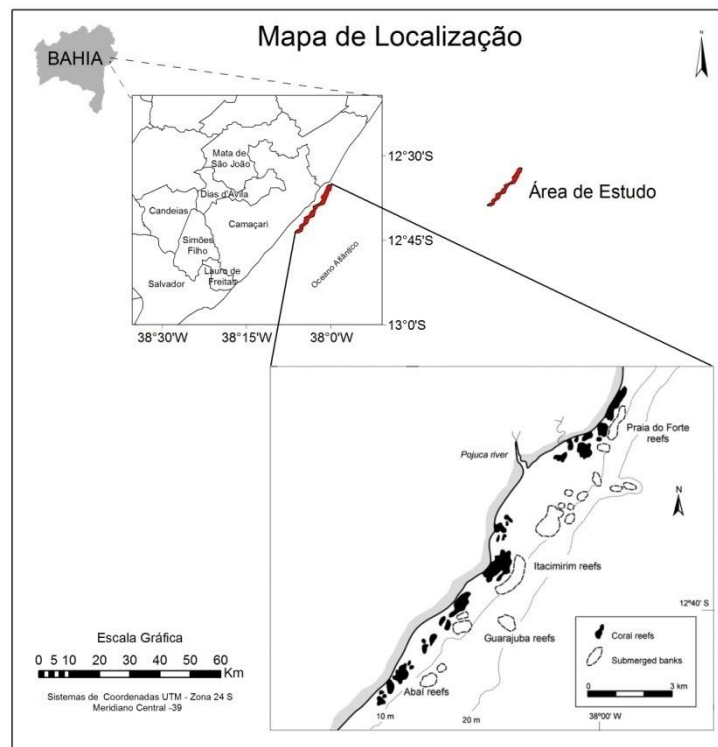
controle das variações do nível relativo do mar no Estado do Rio Grande do Norte, excluindo a possibilidade de explicação pelo comportamento do geóide. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de reavaliar o comportamento do nível médio do mar nos últimos 8000 anos na região em torno de Salvador verificando se as oscilações de alta frequência realmente ocorreram da forma como estão descritas.

## **2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA**

Os recifes de coral no litoral norte do estado da Bahia ocorrem entre as localidades de Abaí (município de Camaçari) e Praia do Forte (município de Mata de São João). Nesse trecho estão incluídas as localidades de Guarajuba, Itacimirim que junto com Praia do Forte são pontos de coleta deste estudo.

A área de estudo está compreendida entre as latitudes  $12^{\circ}33'22''$  S e  $12^{\circ}44'36''$  S e as longitudes  $37^{\circ}55'31''$  W e  $38^{\circ}05'48''$  W (Figura 1), constituindo cerca de 17,5 km ao longo da costa.

**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo**



Adaptado de Leão et al., 2008

A parte continental da área de ocorrência dos recifes de coral no litoral norte do estado da Bahia está inserida no que Bittencourt et al. (1979) denominaram como Setor I da região costeira do estado da Bahia. Esta parte da costa é caracterizada pela presença, próxima ao litoral, dos depósitos da Formação Barreiras, sobrepostos ao embasamento cristalino Proterozóico. A planície costeira quaternária e os sedimentos da Formação Barreiras são descontínuos, e podem variar, na sua largura, de algumas centenas de metros a cerca de 2 km. Neste setor existem campos de dunas ativas e inativas. Esta área, é também caracterizada pela existência de uma linha praticamente contínua de arenitos de praia que, ciclicamente, são exumados durante os eventos das marés de sizígia e soterrados durante as marés de quadratura (Nolasco, 1987).

Nesta área os recifes estão parcialmente cobertos pelas areias do cordão praial. O topo recifal permanece total ou parcialmente emerso durante os períodos de baixa-mar. A superfície é quase horizontal, apresentando irregularidades, devido à presença de canais e poças de formas e tamanhos variados. A zona de frente recifal caracteriza-se pela presença de um paredão mais ou menos abrupto, onde pode se observar o crescimento de corais (Kikuchi, 2000).

A área de estudo do presente trabalho está situada a NE da sub-bacia do Recôncavo, bacia do tipo rifte, onde a tectônica é a principal variável controladora, subordinadamente, o aporte sedimentar e o clima influenciam nos padrões deposicionais (Kuchle et al., 2007).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a obtenção dos testemunhos foi utilizado um equipamento que foi desenvolvido para esse fim, composto de um sistema com uma perfuratriz pneumática e barrilete movimentado por meio de cilindros de ar comprimido. Os testemunhos foram identificados com letras que correspondem às iniciais do nome da localidade onde foram coletados: GUA: Guarajuba; PF: Praia do Forte e ITA: Itacimirim e uma numeração sequencial. Ao todo foram 14 testemunhos, 7 em Guarajuba, 4 na Praia do Forte e 3 em Itacimirim (Tabela 1). Foram obtidas também as alturas ortométricas de cada recife utilizando um GPS de precisão para se ter o posicionamento exato dos recifes em relação ao nível médio do mar atual (Tabela 1).

Na chegada ao laboratório os testemunhos foram lavados, secos ao ar e posteriormente foram feitos cortes transversais no topo de cada colônia

utilizando uma serra para mármore, constituindo, assim, 14 amostras que foram enviadas para o laboratório comercial para datação, Beta Analytic. Estas datações foram utilizadas para determinar o espaço de tempo em que foram feitas as interpretações que podem contribuir para o aprimoramento da curva do nível médio do mar construída para a região de Salvador. Isto foi possível, pois os testemunhos que hoje se encontram emersos, configuram indicadores no espaço e no tempo de paleoníveis do mar. Sua ocorrência nos remete à possibilidade de uma lâmina d'água mínima de pelo menos 3m para a espécie *Mussismilia braziliensis* e mínimo de 1 m para *Siderastrea* spp. durante o período em que os corais estavam crescendo. Vale ressaltar que este mínimo de 1 metro para sobrevivência de *Siderastrea* spp. foi levada em consideração neste estudo com muita cautela, pois as colônias de onde foram retirados os testemunhos chegavam a atingir cerca de 70-90 cm de diâmetro, necessitando assim, de uma profundidade maior que 1m para seu pleno desenvolvimento.

No presente estudo foram utilizados também dados compilados de bibliografias existentes publicadas até o momento (Apêndice). É importante informar que apenas foram utilizados dados de arquivos naturais da mesma região de estudo ou de regiões próximas, com idades que estão inseridas no intervalo de tempo investigado no presente estudo. Neste trabalho foram utilizados 86 dados, incluindo os 14 testemunhos de corais coletados para este estudo. Dentre os 86 dados, 44 coincidentes com dados revisados e publicados por Angulo et al., (2006) os quais pertenciam a área de interesse. Vale ressaltar, também, que as idades que se sobrepuseram, ou seja, se mais de um arquivo representasse o mesmo intervalo de tempo, optou-se por representar apenas um para não sobrecarregar o gráfico e prejudicar a sua legibilidade.



Foram feitas calibrações das datações radiocarbono, aplicando-se, também, correções para fracionamento isotópico e do efeito reservatório. Tanto a correção do efeito reservatório quanto a calibração das idades foram feitas através da utilização do programa CALIB na versão 2013. Não se deve esquecer que existem incertezas na definição do espaço e do tempo e que os IPNM constituem componentes espaciais e temporais que podem indicar intervalos definidos de idade e/ou altura ou apenas idades e/ou alturas máximas ou mínimas. No presente estudo cada indicador ou apresenta uma margem de erro definida ou indicam alturas máximas ou mínimas do nível médio do mar compiladas dos trabalhos anteriores. No presente estudo foi atribuída uma margem de erro (horizontal) correspondente aos erros das idades.

Com os dados diagramados em um gráfico foi possível determinar o intervalo de tempo de estudo proposto neste trabalho que ficou entre aproximadamente 8000 anos A.P. até o presente e com isso foi traçada a nova proposta de curva de flutuações do nível médio do mar nos últimos 8000 anos, passando aproximadamente pelo ponto médio nos dados que apresentam barras de erro vertical e passando acima dos arquivos que representam indicadores de mínima lâmina d'água (Figura 2). Assim os resultados do presente estudo foram comparados com a curva construída e publicada para os últimos 7000 na região em torno de Salvador inicialmente por Martin et al., (1979) e reapresentada por Suguio et al., (1985) e posteriormente reiterada por Martin (2003).

#### 4. RESULTADOS

As idades obtidas nas amostras dos corais do presente estudo agrupam-se em um intervalo de tempo entre 4380 e 910 anos A.P (Tabela 1), praticamente todas incluídas no intervalo do Holoceno Tardio (Late Holocene, como proposto por Walker et al. 2012). Estas idades, diagramadas juntamente com as demais idades disponíveis para a região, permitem um aprimoramento do comportamento do nível do mar nesse intervalo de tempo.

**Tabela 1: Nomes dados aos testemunhos, espécie, idade e alturas ortométricas referente ao posicionamento dos recifes em relação ao nível do mar atual, obtidas com GPS de precisão**

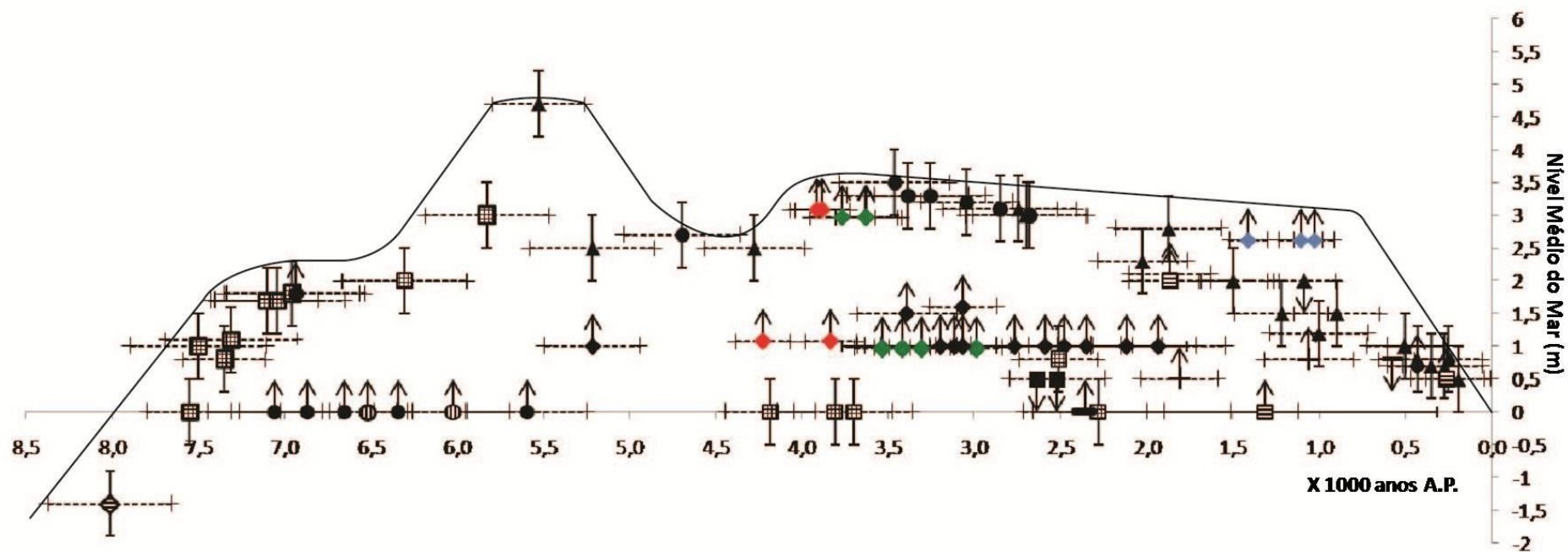
Testemunho	Espécie	Idades (anos A.P.)	Alturas Ortométricas (m)
PF1	<i>Mussismilia braziliensis</i>	3759-4069	0,078
PF2	<i>Siderastrea spp</i>	3682-3978	0,078
PF3	<i>Siderastrea spp</i>	4066-4380	0,078
PF4	<i>Mussismilia braziliensis</i>	3719-4039	0,078
ITA1	<i>Mussismilia braziliensis</i>	1298-1520	-0,379
ITA2	<i>Mussismilia braziliensis</i>	910-1141	-0,379
ITA3	<i>Mussismilia braziliensis</i>	979-1231	-0,379
GUA1	<i>Mussismilia braziliensis</i>	3421-3805	-0,029
GUA2	<i>Siderastrea spp</i>	2838-3136	-0,029
GUA3	<i>Siderastrea spp</i>	3252-3576	-0,029
GUA4	<i>Mussismilia braziliensis</i>	3445-3797	-0,029
GUA5	<i>Mussismilia braziliensis</i>	3570-3954	-0,029
GUA6	<i>Siderastrea spp</i>	3372-3692	-0,029
GUA7	<i>Siderastrea spp</i>	3120-3493	-0,029

Com os dados adquiridos para este estudo juntamente com os dados compilados e calibrados de publicações anteriores foi construído um gráfico que apresenta toda a distribuição das idades no intervalo de tempo proposto (Figura 2). No presente trabalho está sendo sugerida uma proposta do comportamento das flutuações do NMM na área estudada, que será apresentada a seguir e discutida adiante.

Na representação da figura 2, o nível médio do mar (NMM) alcançou pela primeira vez o nível atual a aproximadamente 8000 anos A.P. e a partir daí subiu progressivamente a uma taxa de aproximadamente 1,7 m/mil anos até

atingir cerca de 7000 anos A.P. A partir daí até aproximadamente 6600 anos A.P. o NMM permaneceu estabilizado e depois deste mesmo tempo o nível do mar começou a subir a uma taxa de 0,28 m/mil anos até atingir seu máximo de aproximadamente 4,7 metros acima do nível atual em 5520 anos A.P. Em aproximadamente 5260 anos A.P. o NMM voltou a descer até atingir cerca de 2,7 metros acima do nível atual onde permaneceu por 300 anos entre 4600-4300 anos A.P. Este momento de descida e certa estabilidade pode representar a primeira oscilação de alta frequência, apontada por Martin, 2003. Após este momento de pequena estabilidade o NMM voltou a subir até atingir no mínimo 3 metros acima do nível atual. Este momento está marcado pela presença de cinco testemunhos de corais adquiridos para este estudo: PF1, PF4, GUA 5, GUA 1 e GUA 4, estes dois últimos apresentando-se sobrepostos no gráfico. Em aproximadamente 3920 anos A.P. o NMM experimentou uma certa estabilidade com uma descida muito suave até aproximadamente 800 anos atrás onde atingiu cerca de um nível superior a 2,6 metros acima do atual. Este nível está determinado pela presença de três testemunhos de corais deste estudo: ITA 1, ITA 2, ITA 3. A partir desse momento, 800 anos A.P., o NMM experimentou uma descida brusca até o nível médio atual.

Figura 2: Proposta de curva que representa as flutuações do nível médio do mar para a região em torno de Salvador nos últimos 8000 anos A.P.



**Legenda:** ◆ Coral (Vermelho Praia do Forte, Verde: Guarajuba, Azul: Itacimirim), + Alga calcária, ▲ Vermetideo, ● Conchas, ■ Sambaqui,  
 — Turfa, ▨ Algas, ◇ Madeira, ▩ Concha em arenito de praia, ⊕ Coquina

## 5. DISCUSSÃO

Cada indicador de PNM fornece informações parciais, e todos os indicadores utilizados, demonstraram uma tendência do comportamento do nível do mar (subida e descida) e não uma reconstrução precisa. Por outro lado, muitas podem ser as fontes de incertezas e erros na reconstrução espacial e temporal de PNM. As incertezas decorrem das características intrínsecas dos indicadores e dos métodos utilizados nas medições e datações e os erros decorrem principalmente dos modelos conceituais utilizados na sua interpretação e do significado espacial ou temporal dos indicadores (Angulo e Souza, 2014).

Além da utilização de indicadores do nível do mar já empregados anteriormente, foram acrescentadas 14 idades de esqueletos de corais que são excelentes indicadores biológicos de posição mínima do nível do mar.

Uma das mais recentes curvas publicadas para a região de Salvador (Martin 2003) apresenta dados calibrados e demonstra que a linha de costa desta área foi sujeita a submersão até cerca de 5600 anos A.P. e a emergência desde então. No entanto, esta curva apresenta duas oscilações de alta frequência, como apontado anteriormente por Martin et al.(1979), com amplitudes entre 3,5-2,5 metros aproximadamente e duração de cerca de 500 anos no intervalo entre 4200 – 3700 anos A.P e cerca de 300 anos no intervalo entre 2600 – 2300 anos A.P.

No presente trabalho então avalia-se a amplitude e ocorrência dessas oscilações, os níveis de mar alto para a época, bem como, o destaque a importância dos corais para contribuir com essas interpretações e não uma discussão sobre a validade de outros indicadores que têm sido utilizados ao longo das décadas para este fim.

Partindo-se das características da figura 2, pode-se verificar que o nível médio do mar (NMM) atingiu o nível atual em aproximadamente 8000 anos A.P., cerca de 200 anos antes do proposto por Martin (2003) e a partir daí um aumento progressivo com um momento de estabilidade entre 7000-6600 anos A.P., coincidindo parcialmente com um período de estabilidade também apontado por Martin (2003). Após este momento de estabilidade, no presente estudo o NMM subiu até atingir o seu máximo a cerca de 5520 anos A.P, muito próximo ao nível máximo apontado por Martin (2003) em 5600 anos A.P. Este máximo para os dois estudos chega a  $4,7 \pm 0,5$  m acima do nível atual. Este comportamento está marcado pela presença principalmente de vermetídeo, e a importância deste indicador foi apontada por Angulo e Lessa (1997) e Angulo et al. (2006).

Na proposta do presente estudo (Figura 2) existe um abaixamento do nível médio do mar, que está representado entre 4600-4300 anos A.P. Este momento pode representar a uma oscilação onde o mar atingiu níveis mais baixos ao longo dos últimos 8000 anos A.P. e que pode corresponder à primeira oscilação de alta frequência definida inicialmente por Martin et al. (1979) e reiterada por Martin (2003), após idades calibradas. Depois deste abaixamento o NMM ficou estabilizado em  $2,7 \pm 0,5$  m acima do nível atual. Para Martin (2003) este primeiro momento de mar baixo ocorreu entre 4200-3700 anos A.P e com uma variação muito maior, atingindo o nível médio atual.

A oscilação negativa que foi obtida nesta proposta mantém uma defasagem de tempo em relação à curva de Martin (2003), de cerca de 400 anos antes. Desse modo, observando a distribuição dos dados na presente proposta, fica claro que a presença de

corais utilizados neste trabalho (losangos vermelhos e verdes) indicam que a variação negativa vertical proposta em Martin (2003) deve ser redimensionada, pois a ocorrência desses diversos indicadores indica que seria improvável uma variação negativa que atingisse o nível atual naquele intervalo de tempo. O mesmo pode ser observado para a segunda oscilação proposta originalmente por Martin et al. (1979), reafirmada por Martin (2003) entre 2600-2300 anos A.P. Neste intervalo de tempo na atual proposta, principalmente a presença de corais, indica a presença de mínima lâmina d'água, não admitindo a ocorrência desta segunda oscilação. Assim como, a presença de corais provenientes do presente estudo (losangos azuis), também não corrobora com a interpretação de Martin (2003) em respeito última descida do NMM a partir de 2100 anos, pois a espécie *M. braziliensis*, apresentada nesta situação, com idade entre 1520-910 anos A.P., comprova a necessidade de pelo menos 3 metros de lâmina d'água para seu desenvolvimento.

Apesar da curva para região de Salvador ser referência para costa brasileira (Martin, 2003) é importante ressaltar as possíveis influências regionais e locais que a história da geologia quaternária pode conferir sobre o comportamento das flutuações no nível do mar recentes. Desde a década de 1980, fenômenos demonstrados pelas curvas de flutuações do nível relativo do mar têm sido estudados, tais como, evidências de deslocamentos horizontais de paleolinhas holocênicas na costa do litoral brasileiro como consequência de movimentos verticais tectônicos (Martin et al. 1984). Estudos recentes como feitos por Lima (2010) apresentaram juntas tectônicas aparecendo na Formação Barreiras em áreas do extremo norte da Bahia (trecho incluindo Subaúma até

a Cidade do Conde), localizadas mais a norte da área de estudo. Vale ressaltar que essas juntas observadas possuem caráter pós-deposicional e direção preferencial do esforço principal máximo ( $\sigma_1$ ) NE-SW paralela a falha de Salvador, que limita a leste a sub-bacia do Recôncavo, e numa não comprovada mas possível situação, movimentos nesta bacia podem determinar então, diferenças entre tendências de paleoníveis marinhos regionais e promoverem alterações na posição do nível marinho. Assim, trabalhos como os de Bezerra e Vita-Finzi (2000), Bezerra et al. (2001) e Lima (2002) abrem a possibilidade de utilizarmos a questão da neotectônica como um dos fatores responsáveis pela origem e modelamento de paisagens desenvolvidas do Pleistoceno ao recente (Lima, 2010), inclusive no comportamento do nível relativo do mar.

## **6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A releitura das datações de marcadores de PNM juntamente com 14 datações adicionais de corais indica alguns ajustes na compreensão que temos do comportamento do nível relativo do mar em torno das latitudes  $12^{\circ}33'22''$  S e  $12^{\circ}44'36''$  S e as longitudes  $37^{\circ}55'31''$  W e  $38^{\circ}05'48''$  W na plataforma continental brasileira. A despeito da cautela que se precisa ter levando em conta as fontes de incertezas e erros na reconstrução espacial e temporal com os indicadores, fica claro que oscilações de alta frequência não ocorreram com a magnitude indicada anteriormente por Martin (2003).

A proposta de curva mostra uma tendência de suavização do primeiro momento de mar baixo e a não existência da segunda oscilação, mostrando que o NMM sempre esteve



acima do nível atual nestes últimos milênios. Esta afirmação é conclusiva devido a distribuição espacial dos IPNM, incluindo amostra de corais deste estudo que determinam a presença de uma mínima lâmina d'água nos momentos das descritas oscilações, lâmina d'água essa responsável pela formação e sobrevivência desses indicadores (corais). Contudo esta proposta apresenta uma oscilação suave do NMM após o máximo, uma posterior estabilização no NMM que perdurou por cerca de 3120 anos e logo em seguida uma descida brusca até o nível atual.

Algumas divergências vistas neste trabalho quando comparadas com os autores significativamente citados como Martin (2003), podem ter ocorrido devido às calibrações dos dados, pois desde então foram colocados à disposição programas com versões mais recentes.

Esses novos dados mostram a importância que datações de IPNM como corais, podem ter no aprimoramento das curvas relativas do nível do mar. Assim, compreendemos que a identificação de recifes que contenham corais que marquem níveis mínimos do mar e que possam ser utilizados para balizar novas interpretações é uma implicação importante deste trabalho. Além disso, é imprescindível que os estudos das oscilações do nível do mar sejam complementados pela abordagem de indícios de neotectônica próxima à área de estudo, como também a investigação de antigos padrões de vento e ondas na área.

## 7. REFERENCIAS

Angulo, R.J., Souza, M.C. 2014. Conceptual review of Quaternary coastal paleo-sea indicators from Brazilian coast. *Quaternary and Environmental Geosciences*,05(2), 01-32.

Angulo, R.J., Lessa, G.C., Souza, M.C. 2006. A critical review of mid - to late -Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coast line. *Quaternary Science Reviews*, 25, 486–506.

Angulo, R.J., Giannini, P.C.F., Suguio, K., Pessenda, L.C.R. 1999. The relative sea-level changes in the last 5500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid<sup>14</sup>C ages. *Marine Geology*,159, 327–339.

Angulo, R.J., Lessa, G. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia region. *Marine Geology*, 140, 141-166.

Angulo, R.J. 1994. Indicadores morfológicos e sedimentológicos de paleoníveis marinhos quaternários na costa paranaense. *Boletim Paranaense de Geociências*,42, 185–202.

Angulo, R.J. Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. 1992. 334p. Tese de Doutorado. São Paulo. Tese de Doutorado-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

Angulo, R J. 1989. International Symposium on Global Changes in South América During the Quaternary, São Paulo. Fossil Vermetidae between latitudes 25°34'S and 27°09'S, State of Paraná and Santa Catarina –Brasil, São Paulo. Special Publication, 1, 263- 268.

Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F. 1996. Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global melt water discharge. *Nature*, 382, 241–244.

Bezerra, F.H.R., Barreto, A.M.F., Suguio, K., 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. *Marine Geology*, 196, 73–89.

Bezerra, F.H.R., Amaro, V.E., Vita-Finzi, C., SAADI, A. 2001. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 14, 61- 75.

Bezerra, F.H.R., Vita-Finzi, C. 2000. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, 7, 591-594.

Bittencourt, A.C.S.P., Martin, L., Vilas-Boas, G.S., Flexor, J.M., 1978. Excursão sobre as formações quaternárias do litoral da região de Salvador, Bahia. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo, Brazil, Livro-Guia (115p).

Bittencourt, A.C.S.P.; Martin, L.; Vilas-Boas, G.S.; Flexor, J.M. 1979. The marine formations of the coast of the State of Bahia. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo. Proceeding. São Paulo: IGCP, Project 61, 232-253.

Delibrias, C., Laborel, J. 1969. Recent variations of the sea level along the Brazilian coast. *Quaternaria*, 14, 45–49.

Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S., Leão, Z.M.A.N., Azevedo, A.E.G. 1990. Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geologia*, 20, n.1-4, 208-215.

Flexor, J.M., Martin, L., 1979. Sur l'utilisation des grès coquilliers de la région de Salvador (Bresil) dans la reconstruction des lingnes de rivages Holocènes. In: Suguio, K., Fairchild, T.R., Martin, L., Flexor, J.M. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, 343–355.

Hartt, C.F. 1870. Geology and physical geography of Brazil. Boston, Fields, Os good e Co., 620 p.

Kikuchi, R.K.P. 2000. Evolução dos recifes e das comunidades de corais hermatípicos da plataforma continental norte da Bahia durante o Holoceno. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Tese de Doutorado, 148p.

Kuchle, J., Holz M., Scherer, F.F., Bedegal, R.P. 2007. Mapeamento estratigráfico de bacias rifte a partir de padrões de empilhamento e seus significados genéticos. 4º PDPETRO, Campinas, SP,1-8.

Laborel, J. 1986. Vermetid gastropods as sea-level indicators. In: Van de Plassche, O. (Ed.), Sea-Level Research: a Manual for the Collection and Evaluation of Data. Geo Books, Norwich, p.281–310.

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M. 2008. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. Biota Neotropica,8, 69-82.

Lessa, G.C., Angulo, R.J. 1998. Oscillations or not oscillations, that is the question-reply. Marine Geology, 150, 189-196.

Lima, C.C.U. 2010. Evidências da ação tectônica nos sedimentos da Formação Barreiras presentes do litoral de Sergipe e ao norte da Bahia. *Revista de Geografia*. Recife:UFPE-DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO,1, 140-151.

Lima, C.C.U. 2002. Caracterização sedimentológica e aspectos neotectônicos do Grupo Barreiras no Litoral Sul do estado da Bahia. Tese de Doutorado, UFBA. 141p.

Martin, L. 2003. Holocene Sea-Level History Along Eastern-Southeastern Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 26, 13-24.

Martin, L., Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., 2003. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research* 19, 101–124.

Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M., Suguio, K. Oscillations or not oscillations, that is the question. 1998. Comment on Angulo R.J. and Lessa G.C. “The Brazilian sea-level curves: a critical review emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions”. *Marine Geology*, 140,141–166. *Marine Geology*, 150, 179–187.

Martin, L., Suguio, K. 1989. International Symposium on Global Changes in South America During the Quaternary. Excursion route along the Brazilian coast between

Santos (SP) and Campos (RJ) (North of State of Rio de Janeiro).2v. Special Publication,1–136.

Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M. 1986. Relative sea-level reconstruction during the last 7000 years along the States of Paraná and Santa Catarina coastal plains: additional information derived from shell-middens. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4, 219–236.

Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Flexor, J.M., Vilas-Boas, G.S. 1984. Evidencia de um tectonismo quaternário nas costas do Estado da Bahia. 33<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, SBG,1, 19-35.

Martin, L., Flexor, J.M., Vilas-Boas, G.S., Bittencourt, A.C.S.P., Guimarães, M.M.M. 1979. Courb de Variations Du niveaurelative de La Mer au Cours de 7000 Dernières Anné es surun secteur Homogéne du littoral Brésilien (Nord de Salvador-Bahia). *Proceeding of the Suguio K., Fairchild L., Flexor J.M. (ed.) 1978. International Symposium on coastal evolution in the Quaternary. São Paulo, p.264-274.*

Martin, L., Suguio, K. 1975. The state of São Paulo coastal marine Quaternary Geology – the ancient strand lines. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47, 249–263.

Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M., Bittencourt, A.C.S.P., Vilas-Boas, G.S., 1979/1980. Le quaternaire marin brésilien (littoral pauliste, sud fluminense et bahianais). Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Géologie 11, p.95–124.

Martin, L., Flexor, J.M., Vilas-Boas, G.S., Bittencourt, A.C.S.P., Guimarães, M.M.M., 1979a. Courbe de variation du niveau relatif de la mer au cours des 7000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien (nord de Salvador—Bahia). In: Suguio, K., Fairchild, T.R., Martin, L., Flexor, J.M. (Eds.), Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, p. 264–295.

Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M., Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., 1996. Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central Brazil Coast: consequences on coastal plain construction. Anais da Academia Brasileira de Ciências 68, p.303–354.

Nolasco, M.C. 1987. Construções carbonáticas da costa norte do Estado da Bahia (Salvador a Subaúma). 1987. 141p. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Silva, O. B.; Caixeta, J. M.; Milhomem, P. S.; Kosin, M. D. 2007. Bacia do Recôncavo. Boletim de Geociências da Petrobras, 15, 423-431.



Stuiver, M., Reimer, P.J. 1993. Extended  $^{14}\text{C}$  database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215–230.

Sugihara, G., Bersier, L.F., Southwood, T.R.E., Pimm, S.L., May, R.M. 2003. Predicted correspondence between species abundances and dendrograms of niche similarities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 5246–5251.

Suguiu, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M., Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15, 273-286.

Suguió, K., Martin, L., Flexor, J.M. 1976. Les variations relatives du niveau moyen de La mer au quaternaire récent dans la région de Cananéia-Iguape, São Paulo. *Boletim Instituto Geológico*, 7, 113–129.

Van Andel, T.H., Laborel, J. 1964. Recent high sea-level stand near Recife, Brazil. *Science*, 145, 580–581.

Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H. 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE

(Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*. 27(7), 649-659.

## 8. APENDICE

Tabela apresentando os dados referentes aos testemunhos utilizados neste estudo e os dados adquiridos em outras publicações

<b>Tipo de Amostra</b>	<b>Referência de Laboratório</b>	<b>Posição em relação ao nível do mar (m)</b>	<b>Idade Radiocarbono (anos A.P.)</b>	<b>Idade Calendário (anos A.P.)</b>	<b>Referência</b>
coral do topo recifal	N1	>1 ± 0,5	2900 ± 170	2151 : 3021	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N2	>1 ± 0,5	2350 ± 160	1543 : 2320	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N3	>1 ± 0,5	2810 ± 160	2080 : 2875	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N4	>1 ± 0,5	2500 ± 180	1711 : 2515	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N5	>1 ± 0,5	3030 ± 180	2310 : 3223	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N6	>1 ± 0,5	3290 ± 180	2685 : 3542	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N7	>1 ± 0,5	3400 ± 180	2757 : 3631	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	N8	>1 ± 0,5	2710 ± 180	1912 : 2789	Nolasco, 1987
coral do topo recifal	PF 4	> 3 ± 0,5	3940 ± 30	3719 : 4039	Dados deste estudo
coral do topo recifal	PF 2	>1 ± 0,5	3910 ± 30	3682 : 3978	Dados deste estudo
coral do topo recifal	PF 1	> 3 ± 0,5	3960 ± 30	3759 : 4069	Dados deste estudo
coral do topo recifal	ITA 3	> 3 ± 0,5	1590 ± 30	979 : 1231	Dados deste estudo
coral do topo recifal	ITA 2	> 3 ± 0,5	1500 ± 30	910 : 1141	Dados deste estudo
coral do topo recifal	ITA 1	> 3 ± 0,5	1900 ± 30	1298 : 1520	Dados deste estudo
coral do topo recifal	PF 3	>1 ± 0,5	4180 ± 30	4066 : 4380	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 7	>1 ± 0,5	3480 ± 60	3120 : 3493	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 6	>1 ± 0,5	3670 ± 50	3372 : 3692	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 5	> 3 ± 0,5	3850 ± 60	3570 : 3954	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 4	> 3 ± 0,5	3730 ± 50	3445 : 3797	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 3	>1 ± 0,5	3570 ± 50	3252 : 3576	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 2	>1 ± 0,5	3220 ± 30	2838 : 3136	Dados deste estudo
coral do topo recifal	GUA 1	> 3 ± 0,5	3720 ± 60	3421 : 3805	Dados deste estudo
coral	Bah.776	>1 ± 0,5	4960 ± 90	4938 : 5488	Martin et al., 1979/80
coral	Bah.621	>1 ± 0,5	3545 ± 105	3102 : 3675	Martin et al., 1979/80
coral	Bah.512	>1 ± 0,5	3290 ± 55	2867 : 3260	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979/80
coral	Bah.577	>1 ± 0,5	830 ± 90	253 : 602	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979/80 ; Martin et al., 1996
madeira	Bah.164	-1,4 ± 0,5	7205 ± 200	7652 : 8371	Apêndice de Martin et al., 1993

concha em arenito de praia	Bah.571	0,0 ± 0,5	7095 ± 125	7303 : 7797	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha em arenito de praia	Bah.619	+1,0 ± 0,5	7025 ± 195	7106 : 7892	Martin et al., 1979/80
concha em arenito de praia	Bah.578	+1,1 ± 0,5	6880 ± 185	6927 : 7690	Bittencourt et al., 1978 ; Martin et al., 1979a ; Flexor et al., 1979
concha em arenito de praia	Bah.586	+0,8 ± 0,5	6880 ± 120	7107 : 7586	Bittencourt et al., 1978 ; Flexor e Martin 1979
concha em arenito de praia	Bah.235	+1,7 ± 0,5	6645 ± 130	6804 : 7401	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha	Bah.558	> 0,0	6630 ± 175	6679 : 7439	Bittencourt et al., 1978
concha em arenito de praia	Bah.510	+1,7 ± 0,5	6610 ± 180	6651 : 7431	Bittencourt et al., 1978
concha em arenito de praia	Bah.601	+2,2 ± 0,5	6515 ± 170	6564 : 7346	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha	Bah.687	> 0,0	6500 ± 175	6532 : 7337	Martin et al., 1979/80
concha	Bah.557	> 0,0	6440 ± 170	6475 : 7263	Bittencourt et al., 1978
concha	Bah.576	> 0,0	6300 ± 170	6383 : 7164	Bittencourt et al., 1978
concha	Bah.505	> 0,0	6240 ± 155	6285 : 7021	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha	Bah.553	> 0,0	5970 ± 170	5948 : 6733	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha em arenito de praia	Bah.543	+2,0 ± 0,5	5940 ± 155	5940 : 6668	Bittencourt et al., 1978 ; Flexor e Martin 1979
concha	Bah.504	> 0,0	5675 ± 145	5690 : 6346	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha em arenito de praia	Bah.524	+2,0 ± 0,5	5470 ± 160	5465 : 6184	Martin et al., 1979/80
concha	Bah.675	> 0,0	5265 ± 150	5248 : 5937	
vermetídeo	Bah.567	+4,7 ± 0,5	5195 ± 110	5258 : 5790	Bittencourt et al., 1978
vermetídeo	Bah.579	+2,7 ± 0,5	4970 ± 150	4850 : 5576	Bittencourt et al., 1978 ; Martin et al., 1979a
concha	Bah.523	+2,7 ± 0,5	4545 ± 120	4357 : 5030	Martin et. al., 2003
vermetídeo	Bah.519	+2,5 ± 0,5	4245 ± 95	3983 : 4567	Martin et. al., 2003
concha em arenito de praia	Bah.589	0,0 ± 0,5	4175 ± 85	3920 : 4443	Martin et al., 1979/80
concha em arenito de praia	Bah.497	0,0 ± 0,5	3880 ± 120	3471 : 4139	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a

concha em arenito de praia	Gif.2150	0,0 ± 0,5	3780 ± 130	3354 : 4041	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
concha	Bah.104	+3,5 ± 0,5	3595 ± 120	3140 : 3780	Martin et al., 2003
concha	Bah.269	+3,3 ± 0,5	3550 ± 130	3035 : 3735	Martin et al., 2003
concha	Bay.270	+3,3 ± 0,5	3450 ± 120	2935 : 3576	Martin et al., 2003
coral	Bah.512	> +1,6	3290 ± 55	2867 : 3260	Martin et al., 2003
concha	Bah.539	+3,2 ± 0,5	3260 ± 100	2777 : 3310	Martin et al., 2003
concha	Bah.540	+3,1 ± 0,5	3100 ± 120	2517 : 3181	Martin et al., 2003
vermetídeo	Bah.542	+3,1 ± 0,5	3030 ± 120	2407 : 3080	Martin et al., 2003
concha	Bah.541	+3,0 ± 0,5	2990 ± 120	2352 : 3007	Martin et al., 2003
sambaqui	Si.470	< + 0,5	2830 ± 110	2243 : 2792	Martin et al., 2003
concha em arenito de praia	Bah.525	+0,8 ± 0,5	2805 ± 90	2284 : 2736	Martin et al., 1979/80
sambaqui	Gif.870	<+0,5	2630 ± 110	2626 : 2643	Martin et. al., 2003
concha em arenito de praia	Bah.496	0,0 ± 0,5	2605 ± 140	1899 : 2657	Bittencourt et al., 1978
vermetídeo	Gif.878	+2,3 ± 0,5	2405 ± 95	1764 : 2284	Martin et. al., 2003
vermetídeo	Bah.508	+2,8 ± 0,5	2310 ± 115	1565 : 2180	Bittencourt et al., 1978
alga calcária	Bah.494	>+2,1	2295 ± 85	1626 : 2101	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
alga calcária	Bah.575	>+0,5	2250 ± 80	1583 : 2030	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah.777	+1,5 ± 0,5	1705 ± 120	950 : 1485	Martin et al., 1979/80
alga calcária	Bah.626	>+0,8	1565 ± 120	803 : 1313	Martin et. al., 2003
vermetídeo	Bah.573	<+2,0	1560 ± 80	906 : 1260	Martin et. al., 2003
vermetídeo	Bah.597	+1,3 ± 0,5	1495 ± 140	715 : 1283	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah.588	+1,3 ± 0,5	1360 ± 120	646 : 1143	Martin et al., 1996 ; Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah.569	+1,0 ± 0,5	950 ± 125	278 : 723	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah.622	+0,7 ± 0,5	760 ± 80	185 : 512	Martin et al., 1979/80
vermetídeo	Bah.509	+0,7 ± 0,5	700 ± 110	51 : 494	Bittencourt et al., 1978
alga calcária	Bah.596	>+0,5	675 ± 125	40 : 471	Martin et al., 1979/80
vermetídeo	Bah.595	+0,7 ± 0,5	660 ± 80	51 : 444	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah.624	+0,5 ± 0,5	610 ± 80	1 : 379	Martin et al., 1979/80
coquina	Bah. 553	>0	6110 ± 115	6255 : 6780	Martin et al., 1979
vermetídeo	Bah. 568	3,0 ± 0,5	2990 ± 135	2340 : 3050	Martin et al., 1979
turfa	Bah. 560	> 0	2305 ± 140	1995 : 2716	Bittencourt et al., 1978

vermetídeo	Bah. 506	$2,0 \pm 0,5$	$1975 \pm 80$	1297 : 1694	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
algas	Bah. 495	> 0	$1785 \pm 80$	1120 : 1510	Bittencourt et al., 1978; Martin et al., 1979a
vermetídeo	Bah. 574	$0,8 \pm 0,5$	$830 \pm 90$	253 : 602	Martin et al., 1979
algas	Bah. 526	> 0	$675 \pm 125$	40 : 471	Bittencourt et al., 1978
turfa	Bah. 554	< 0,8	$585 \pm 65$	496 : 652	Bittencourt et al., 1978

**CAPÍTULO III**

**ARTIGO 2 – REGISTROS ISOTÓPICOS EM CORAIS COMO  
PROXIES AMBIENTAIS NO LITORAL NORTE DA BAHIA-  
BRASIL DURANTE O HOLOCENO TARDIO**

---

Priscila Martins Gonçalves <sup>a</sup> , Ruy Kenji Papa de Kikuchi<sup>b</sup> , Tércio Henrique Ribeiro dos Santos<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, Campus Universitário de Ondina, Salvador, Bahia, Brasil. prigeologia@gmail.com

<sup>b</sup>Departamento de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, Campus Universitário de Ondina, Salvador, Bahia, Brasil. kikuchi@ufba.br

<sup>c</sup> Curso de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Laboratório de Física Nuclear Aplicada. Rua Barão de Jeremoabo, Campus Universitário de Ondina, Salvador, Bahia, Brasil. tarciohenrique@gmail.com

## **RESUMO**

As mais recentes mudanças que o planeta Terra vêm sofrendo são os preocupantes eventos climatológicos globais das últimas décadas e estes têm gerado um grande

esforço de pesquisadores no sentido de entender a dinâmica geológica de tais fenômenos. Um dos efeitos mais sensíveis desses eventos são as alterações na temperatura da superfície do mar (TSM). Os prognósticos sobre o comportamento dos parâmetros ambientais, como a temperatura, são feitos com base em modelos que aprimoram as condições atuais e passadas do clima do planeta. Os corais constituem um rico arquivo da variabilidade oceanográfica da região tropical, no contexto deste estudo as espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea* spp. são utilizadas como indicadores paleoambientais através dos registros de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  utilizando resoluções temporais que representaram o período recente e diferentes períodos no Holoceno tardio. Este estudo mostrou a eficácia da espécie recente *Mussismilia braziliensis* como arquivo de condições ambientais atuais da área onde cresceu e sugere que a temperatura da superfície do mar é o principal fator ambiental que controla a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral. Além disso, foi verificado que outros fatores podem afetar o  $\delta^{18}\text{O}$  do coral, como efeitos metabólicos relacionados ao coral investigado através da extensão anual média. No Holoceno tardio, as variações de  $\delta^{13}\text{C}$  acompanharam períodos históricos relatados por outros autores, logo a tendência do  $\delta^{13}\text{C}$  nos corais aqui registrados está em conformidade com a tendência global de  $\delta^{13}\text{C}$  em outras partes do mundo. Os resultados mostraram que a temperatura no Holoceno tardio pode ter sido cerca de  $0,2^\circ\text{C}$  maior, não tão diferente dos dias atuais, além disso, verificou-se que a temperatura nesta época variou de forma diferente, ou seja, a mudança entre semestres quentes e frios, oscilava com menor amplitude e frequência que os dias atuais.



## 1.INTRODUÇÃO

O quinto relatório do IPCC divulgou que os efeitos das mudanças climáticas já estão ocorrendo em todos os continentes e oceanos. Este mesmo relatório aborda o potencial de *proxies* como uma ferramenta para gerar registros de alta resolução para estudos paleoclimáticos. Estes estudos paleoclimáticos dependem fortemente de informação geoquímica e há uma prevalência primordial na utilização de isótopos estáveis devido ao seu caráter altamente informativo e sua versatilidade, já que eles podem ser analisados em um amplo conjunto de materiais de diversas idades (Domingo et al., 2015). Esses estudos usam as mudanças em indicadores sensíveis ao clima para inferir mudanças passadas no clima global em escalas de tempo que vão de décadas a milhares de anos. Esses indicadores podem ser influenciados tanto pela temperatura local quanto por outros fatores, como a precipitação, e com frequência também são representativos de estações específicas em vez de anos completos (Walker, et al., 2012). Mesmo assim, as incertezas existem em relação ao tempo no passado, por causa da cobertura espacial que ainda é limitada, a exemplo das regiões tropicais.

A composição isotópica do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) nos esqueletos dos corais reflete as variações na temperatura da superfície do mar (TSM) e o  $\delta^{18}\text{O}$  da água do mar (Felis et al., 2000; Giry et al., 2010; Deng et al., 2014). No entanto, a composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) é mais complexa e difícil de interpretar porque é fortemente influenciada pelos processos metabólicos, ou seja, fotossíntese e heterotrofia (Felis et al., 1998; Grottoli, 1999; Al-Rousan e Felis, 2013). Sendo assim, tornam-se indicadores *proxies* desses parâmetros antigos da superfície oceânica.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a eficácia da espécie de coral recente, *Mussismilia braziliensis*, como arquivo de condições ambientais do local onde cresceu e assim, utilizá-la como referencia para reconstruir a climatologia da temperatura da água do mar no Holoceno tardio para a região no entorno de Salvador, Brasil, entre as latitudes 12°33'22" - 12°44'36"S e longitudes 37°55'31"- 38°05'48" W.

Para este propósito, além da datação dos testemunhos sub-fósseis, será necessário: 1) Certificar-se de que o bandamento e o comportamento das razões  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  dos corais antigos é similar ao encontrado nos corais atuais, com respeito à suas dimensões e ciclicidade, permitindo que se possa assumir sua periodicidade anual; 2) Avaliar se a variabilidade anual das razões  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  nos corais antigos são similares à descrita nos esqueletos dos corais atuais; além de 3) Verificar a influencia da taxa de extensão linear na incorporação do C e O pelos corais.

## **2.MATERIAIS E METODOS**

Todos os dados de *proxy* de clima são medidas indiretas de mudanças. Para uma reconstrução de mudanças climáticas passadas ser confiável a partir de dados de *proxy* é essencial que essas reconstruções sejam calibradas e independentemente validadas contra registros instrumentais comuns durante os intervalos de sobreposição (Jones e Mann, 2004). Utilizando este principio como base, no presente trabalho, a observação do comportamento das razões isotópicas em testemunhos sub-fósseis, ao longo do período determinado pela extensão do testemunho, foi comparada com o comportamento destas mesmas razões em espécie recente. A espécie recente nos

permite comparações com dados instrumentais coletados *in situ*, além também de permitir a identificação do ano em que cada par de bandas se formou, pois sabendo-se a data de coleta, a extensão anual das bandas e tendo em vista a visualização das diferenças de densidades entre as bandas, onde um par de bandas de alta e baixa densidade determinam um ano de crescimento, é possível retroagir no tempo e comparar gráficos contendo dados isotópicos com dados instrumentais também diagramados em gráficos.

Para as séries temporais, os espaços determinados pela extensão anual das bandas foram transformados em espaços de tempo mensais seguindo a seguinte metodologia: Foi feita uma reformulação para espaços de tempo mensais, para isso considerou-se os pontos mais elevados (picos) e os pontos mais baixos (vales) dos gráficos a representação do mês mais frio e o mês mais quente respectivamente dentro do período de um ano. Antes de cada ponto deste (picos e vales), foram selecionados cinco pontos que junto com o ponto de mês mais quente (vale) representa o semestre mais quente e cinco pontos junto com o pico que representa o semestre mais frio. Contudo cada período de tempo anual foi subdividido em 12 meses que foram subdivididos em dois semestres, determinando assim, flutuações sazonais.

Os espécimens sub-fósseis, por sua vez, não têm uma datação precisa como os atuais. A datação radiométrica obtida contém uma incerteza implícita que impede a determinação inequívoca do ano de formação da banda datada. Assim, a comparação entre os espécimens atuais e os sub-fósseis será feita em termos de ordem de grandeza da largura das bandas, da relação entre as bandas de densidade, da

ciclicidade das razões isotópicas e da magnitude das variações das razões dos isótopos estáveis, estabelecendo assim, confiabilidade do método. Desse modo, avaliaremos os parâmetros oceanográficos antigos e através deles, parâmetros climáticos vigentes para o período determinado pelas datações radiométricas, ou seja, interpretar condições oceanográficas e ambientais da época em que essas espécies sub-fósseis viveram.

## **2.1 Coleta e corte dos testemunhos de corais**

A coleta dos 4 testemunhos das colônias de corais das espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea* spp. sub-fósseis foram realizadas nos bancos de recifes de corais nas Praias do Forte, Guarajuda e Itacimirim, no Litoral Norte situado do estado da Bahia entre as latitudes 12°33'22" - 12°44'36"S e longitudes 37°55'31" - 38°05'48" W.

Todos os testemunhos sub-fósseis foram retirados em recifes emersos adjacentes à costa.

O testemunho recente de *Mussismilia braziliensis*, foi coletado no Parcel dos Abrolhos - BA, entre as latitudes de 17°20' - 18°10'S e longitudes 38°35' - 39°20' W, localizado a 80 km da costa numa profundidade de aproximadamente 7 m.

Para a obtenção dos testemunhos utilizou-se um equipamento que foi desenvolvido para esse fim, composto de uma perfuratriz pneumática e barriletes de 1 m de comprimento e diâmetro interno de 5 cm. Esse sistema é movimentado por meio de cilindros de ar comprimido. A coleta foi feita com o intuito de cada testemunho corresponder a uma coluna do eixo máximo de crescimento da colônia. Ao final da

operação, os testemunhos foram acondicionados em sacos plásticos, etiquetados e transportados para o Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (IGEO-UFBA). Os testemunhos foram identificados com letras que corresponde às iniciais do nome da localidade onde foram coletados: GUA6: Guarajuba; PF1 e PF2: Praia do Forte, ITA1: Itacimirim. O testemunho recente foi chamado de CAB 2. No laboratório, cada testemunho foi lavado com água deionizada e seco em temperatura ambiente.

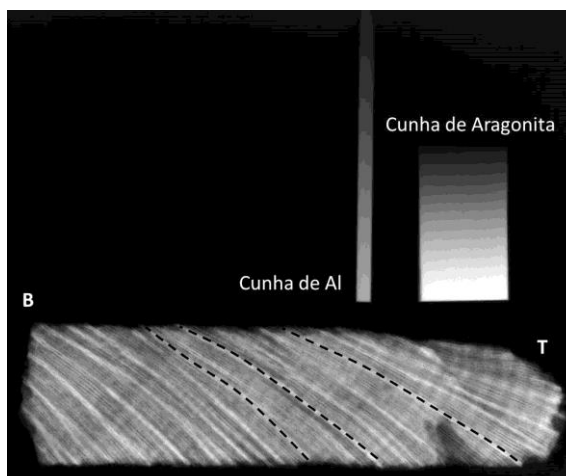
Em cada testemunho foram feitos dois cortes longitudinais paralelos ao eixo máximo de crescimento da colônia, dividindo o testemunho em três fragmentos, uma placa central e duas outras partes que correspondem a parte externa do testemunho. As placas centrais do testemunho foram cortadas para que obtivessem 1 cm de espessura para *M. braziliensis* e 0,5 cm para *Siderastrea* spp., padrões esses utilizados para análise dos bandamentos e conversão da densidade ótica a ser obtida a partir das imagens de raio X, através do programa específico para este fim, o Coral XDS. As partes laterais dos sub-fósseis foram utilizadas para obtenção das amostras para as datações que tinham como fim determinar o espaço de tempo em que foram feitas as interpretações.

## **2.2 Obtenções de radiografias e análise no Coral XDS**

As radiografias foram tiradas no Laboratório de Radiologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia-IFBA. As placas dos testemunhos foram radiografadas com técnica livre (placas colocadas sobre o ecran). Depois de reveladas, as radiografias foram digitalizadas (ScanMaker 1000XL - Microtek) para o estudo e

visualização das dimensões de extensão linear de cada par de bandas de crescimento anual, para este estudo foi utilizado o programa Coral XDS. Knutson et al., (1972), validou o método, seguindo o princípio da esclerocronologia, em que através de radiografias dos corais é possível analisar as bandas de crescimento do mesmo e compará-las em um mesmo indivíduo ou em indivíduos diferentes, através da extensão linear ou taxa de calcificação do bandamento. Um par de bandas clara (alta densidade) e escura (baixa densidade), visível em radiografia, representa um ano de crescimento do coral. Estudos realizados por Kikuchi et al. (2013) mostram que o coral *Mussismilia braziliensis* deposita um par de bandas anuais bem definidas, formando bandas de alta densidade no verão quando as temperaturas são mais quentes. Para esta análise de bandamentos no presente trabalho, em cada testemunho foram feitos três transectos (cada um representando um eixo de crescimento) (Figura 1) de cada testemunho e assim os resultados obtidos, resultaram de médias desses três transectos.

Figura 1: Imagem da radiografia do testemunho de coral com os transectos escolhidos (linhas pontilhadas) para análise no programa Coral XDS. A letra T representa o topo da colônia e a letra B a base da colônia. Estão apresentadas também as cunhas de Alumínio e Aragonita utilizadas pelo programa como referencia de densidade.



### 2.3 Obtenção dos dados isotópicos

Após a delimitação da extensão linear de cada ano de crescimento, feita utilizando-se o software Coral XDS, realizou-se uma amostragem a cada 0,5 mm, ao longo da teca de um corallito escolhido. Este elemento esquelético foi escolhido, tomando-se como base experimentos realizado por Giry et al. (2010), onde foi feita uma microamostragem ao longo de elementos individuais do esqueleto de uma espécie de coral (*Diploria strigosa*), com taxa de crescimento de 0,65 cm/ano, e ficou demonstrado que apesar da parede da teca ser significativamente empobrecida  $^{18}\text{O}$  e  $^{13}\text{C}$  em comparação com os septos e a columela, na teca é onde existe uma melhor correlação entre  $\delta^{18}\text{O}$  e variáveis ambientais, sugerindo assim, com base nos resultados, que a

microamostragem ao longo do centro da parede da teca é um pré-requisito para gerar reconstruções de clima mais confiáveis. No presente trabalho a microamostragem foi feita com uma broca diamantada dental (marca Kg Sorensen ref 7011) acionada por micromotor de bancada (Beltecref LB 100).

De cada furo foi obtido pó de coral que foi sendo depositado em frascos plásticos tipo eppendorfs de 1,5 ml, com uma réplica para cada amostra. A amostra tomada nos primeiros 0,5 mm, no topo, é a de número 1, a obtida nos 0,5 mm seguintes corresponde à amostra de número 2, e assim sucessivamente. As amostras foram analisadas através de Espectrometria de Massa de Razão Isotópica-IRMS, no Laboratório de Física Nuclear Aplicada-IF-UFBA. Após a validação da ciclicidade na formação das bandas de densidade e da incorporação dos isótopos estáveis, produziu-se séries temporais de variação isotópica que nos permitiu avaliação com dados mensais.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Comportamento do $\delta^{18}\text{O}$ em coral recente e variáveis ambientais**

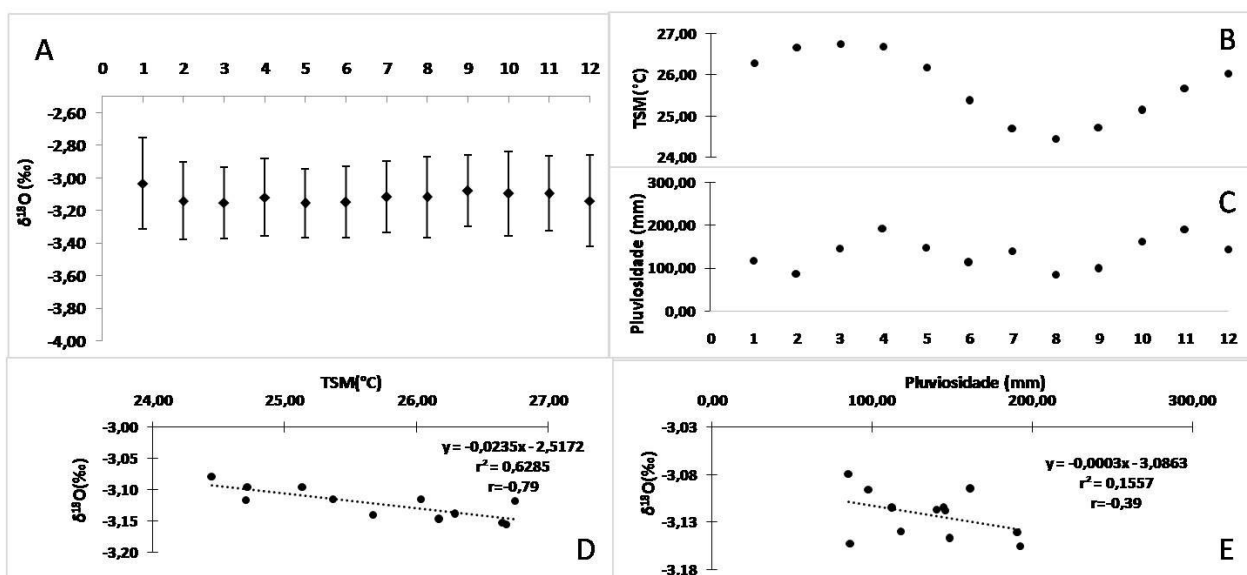
A figura 2 apresenta os gráficos A, B e C que mostram o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  na espécie de coral *Mussismilia braziliensis* recente e o comportamento das variáveis ambientais, TSM e Pluviosidade, respectivamente na região onde o mesmo cresceu.

Dentro do contexto de variações de parâmetros do clima, utilizando médias climatológicas ao longo de trinta anos, foi verificada que a espécie de coral *Mussismilia braziliensis* (CAB2) recente apresenta uma relação com os fatores ambientais, como a



temperatura ( $r=-0,79$ ) (Figura 2D). Neste momento verificou-se que a resposta do coral não é imediata as alterações na temperatura da superfície do mar (TSM) e que esta resposta é bastante melhorada com um mês de defasagem para a incorporação de  $\delta^{18}\text{O}$ , ou seja, a temperatura de determinado mês se refere ao valor de  $\delta^{18}\text{O}$  referente ao mês seguinte. O gráfico de dispersão (Figura 2D) mostra a linha de tendência decrescente. A interferência de outros parâmetros como a pluviosidade, também está demonstrada na mesma figura (Figura 2E).

Figura 2: Gráficos construídos usando médias climatológicas (1973-2003). A figura mostra o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  (A) em relação à TSM (B) e Pluviosidade (C). (D) Diagrama de dispersão entre  $\delta^{18}\text{O}$  e TSM e (E) Diagrama de dispersão entre  $\delta^{18}\text{O}$  e Pluviosidade. Nestes dois últimos estão representando as equações dos gráficos e os valores de  $r^2$  e  $r$ . No eixo das abscissas os números de 1 a 12 representam os meses de janeiro a dezembro, respectivamente.



Neste estudo climatológico (Figura 2D) fica evidente o comportamento inverso entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ . Esta resposta fica mais clara com esse tratamento, pois com ele obtém-se uma resposta de longo prazo dos parâmetros, reduzindo a importância da variabilidade de curto prazo na temperatura e na absorção dos isótopos de oxigênio.

Os comportamentos do  $\delta^{18}\text{O}$  e da TSM devem ser inversos (Leeder et al., 1996, Gagan et al., 2000), ou seja, quanto maior a TSM mais negativos devem ser os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no organismo. Comparando os gráficos das figuras 2A e 2B só não aparece o comportamento inverso entre a TSM e  $\delta^{18}\text{O}$  no mês de agosto, onde a TSM e a pluviosidade apresentam os valores mais baixos de toda série temporal. Ainda neste contexto ficou claro que a inter-relação entre os parâmetros é melhor quando construída a dispersão levando-se em consideração uma defasagem de um mês em relação a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$ . Este teste então sugere que a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no esqueleto do coral, além de ser altamente dependente da temperatura ( $r = -0,79$ ), não é feito de maneira imediata. Sendo assim, o coral necessita de um intervalo de tempo para responder as mudanças na TSM. Além disso, pode-se sugerir que nos meses de mais baixas TSM, em relação à média, acompanhados de baixos índices pluviométricos, essa relação inversa pode sofrer interferências.

Os gráficos A, C e E da figura 2 que envolvem a comparação entre o  $\delta^{18}\text{O}$  e a pluviosidade, também apresentam um comportamento inverso entre os parâmetros, com um coeficiente que mede o grau de inter-relação de  $r = -0,39$  que demonstra um resultando significativo, porém não tão bom quanto essa inter-relação entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ .

### 3.2 Avaliação dos dados de TSM para as duas áreas estudadas

Visto que os resultados do presente estudo foram feitos utilizando comparações com um espécimen recente coletado em uma área distinta, é necessária uma contextualização para que se possa comparar as observações pertinentes para as duas áreas envolvidas. Para este tipo de verificação foi adotado o critério de comparação dos dados de TSM recentes para as duas áreas em questão, Abrolhos do testemunho recente CAB2 e o Litoral Norte para os testemunhos sub-fósseis PF1, PF2, GUA6 e ITA1, ambos localizadas na costa leste do Brasil, entre 12° e 18° de latitude sul. Estas comparações serão utilizadas com o intuito de verificar as discrepâncias existentes entre a TSM para as duas regiões, já que os resultados deste estudo também estão apoiados na relação do  $\delta^{18}\text{O}$  com as variáveis ambientais do CAB2 e os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  presentes nos testemunhos sub-fósseis.

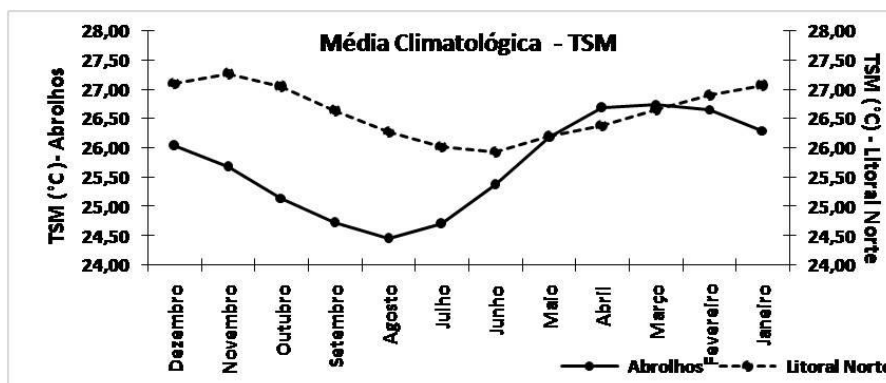
Pode ser verificado na tabela 1 que a variabilidade de temperatura ao longo de trinta anos entre as duas localidades é diferente de 1,1°C, maior a 18°S, em Abrolhos. Para Abrolhos é visto uma maior variabilidade de 2,6 °C e para o Litoral Norte um valor menor de 1,5°C. Embora a variabilidade para o Litoral Norte seja menor, a temperatura média anual da superfície do mar nesta região é maior em 0,9°C.

**Tabela 1: Valores relacionados a TSM para as duas localidades estudadas**

<b>Localidade</b>	<b>Variabilidade TSM (°C)</b>	<b>Média Anual TSM (°C)</b>
<b>Abrolhos</b>	<b>2,6</b>	<b>25,7</b>
<b>Litoral Norte</b>	<b>1,5</b>	<b>26,6</b>

A Figura 3 ilustra o comportamento da TSM para as duas regiões. Enquanto no Litoral Norte, as temperaturas máxima e mínima anuais separam um intervalo de 7 meses de aquecimento e 5 meses para resfriamento da água, ao sul, o período de aquecimento da água ainda é mais longo que o do seu resfriamento (8 meses x 4 meses). A temperatura máxima é similar nas duas localidades, e ocorre em Novembro aos 12°S e em Abril aos 18°S. Contudo, a mínima na parte sul é cerca de 1,5°C mais baixa e ocorre em Agosto, enquanto que no Litoral Norte, ocorre em Junho.

Figura 3: Comportamento da TSM ao longo do tempo para a região de Abrolhos (linha cheia) e para o Litoral Norte (linha pontilhada)



### 3.2 Registros das taxas de extensão anual, idades e médias dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ dos corais recente e sub-fósseis

Aqui neste item os resultados incluem a taxa de extensão anual média para cada testemunho, além das idades, média de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , comprimento do testemunho e anos investigados (Tabela 2).

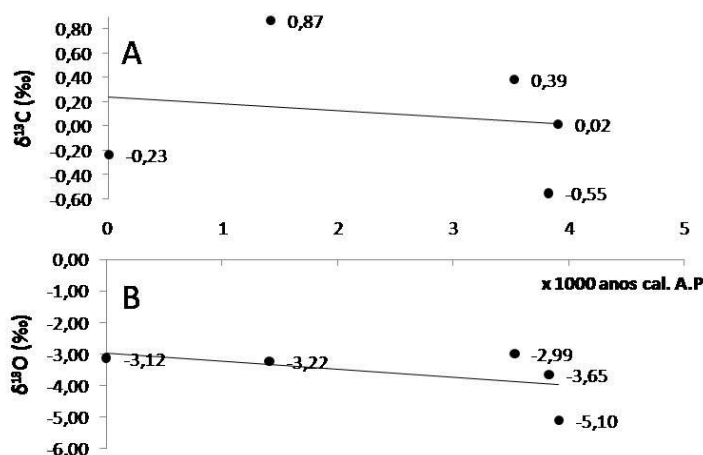
Tabela 2: Apresenta os testemunhos de corais, suas espécies, extensão linear média, idade e média dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  e seus desvios padrões, comprimento dos testemunhos e anos investigados.

Testemunho	Espécie	Extensão anual	Idade	Valor médio	DESVPAD	Valor médio	DESVPAD	Comprimento do testemunho (cm)	Anos investigados
		média (cm) $\pm$ $\sigma$	(anos A.P.)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$		
CAB 2	<i>Mussismilia braziliensis</i>	0,63 $\pm$ 0,17	Recente	-0,23	0,63	-3,12	0,24	18,4	29,2
ITA 1	<i>Mussismilia braziliensis</i>	0,57 $\pm$ 0,03	1298 - 1520	0,87	0,98	-3,22	1,5	7,4	12,9
GUA 6	<i>Siderastrea spp.</i>	0,45 $\pm$ 0,14	3372 - 3692	0,39	0,37	-2,99	0,71	1,9	4,2
PF 2	<i>Siderastrea spp.</i>	0,40 $\pm$ 0,27	3682 - 3978	-0,55	0,8	-3,65	1,57	1,7	4,25
PF 1	<i>Mussismilia braziliensis</i>	0,62 $\pm$ 0,08	3759 - 4069	0,02	1,28	-5,10	3,08	1,8	2,9

Os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  em três dos quatro corais dos espécimens sub-fósseis apresentam valores positivos. A exceção é o testemunho PF2, cujo valor assemelha-se ao do testemunho recente, também negativo. Comparação entre a média calculada para os quatro espécimens sub-fósseis e a média do espécimen recente, mostra que o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  se apresenta mais elevado para as espécies sub-fósseis (0,73‰). Na relação dentro da mesma espécie, pode ser visto que os espécimens *Mussismilia braziliensis* sub-fósseis (PF1 e ITA1) apresentam uma média positiva de  $\delta^{13}\text{C}$ , diferentemente do coral recente. Ainda mantendo esta relação, agora para *Siderastrea spp.*, o GUA6 e o PF2 apresentam valores bastante discrepantes no  $\delta^{13}\text{C}$ , de 0,39 e -0,55‰ respectivamente. Não foi possível estabelecer qualquer relação entre a extensão anual média e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  medido nos corais.

Observando esta mesma tabela, os valores das médias do  $\delta^{18}\text{O}$ , pode se perceber que não existe uma relação significativa entre as variações dessa razão entre os espécimens.

Figura 4: Gráficos apresentando a relação entre as idades dos testemunhos e (A)  $\delta^{13}\text{C}$  e (B)  $\delta^{18}\text{O}$

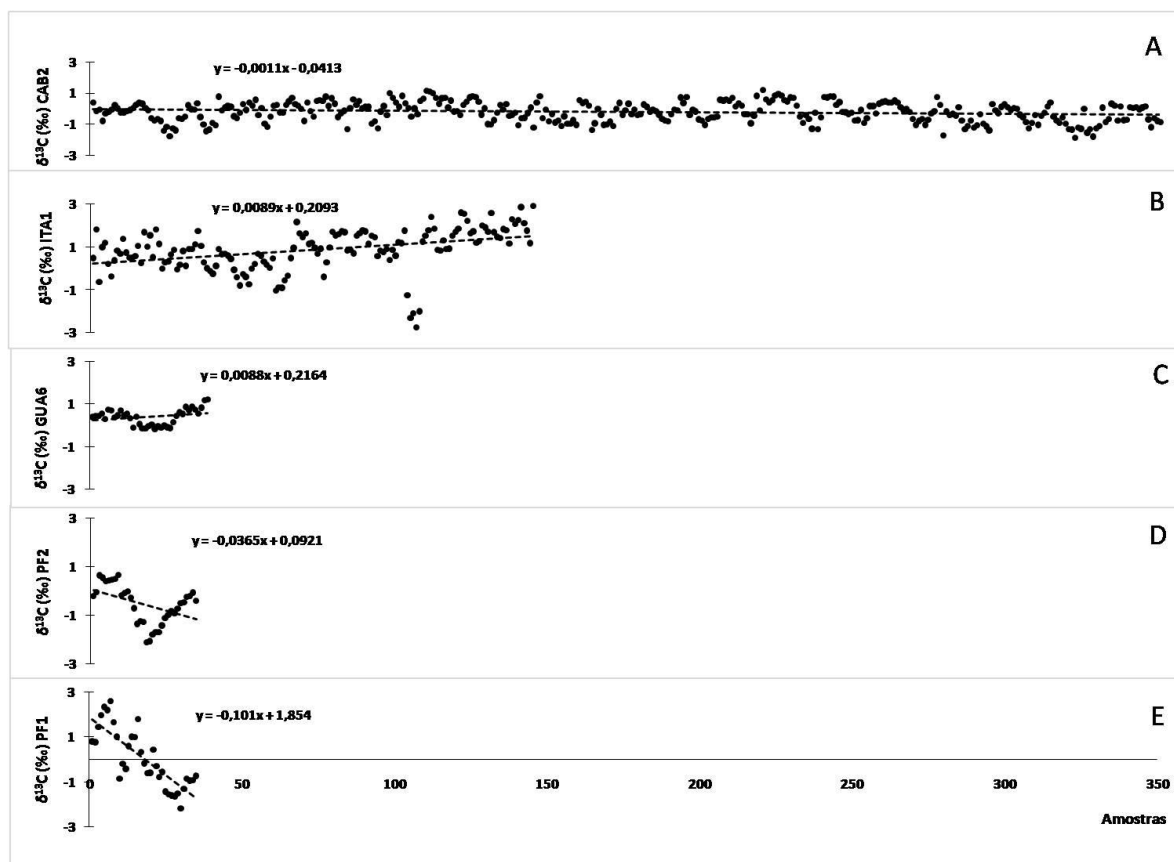


Apesar de pouca variação nos valores da razão isotópica do oxigênio entre os espécimens sub-fósseis mais novos e o recente, o valor obtido no testemunho mais antigo é bastante mais negativo que os demais (Figura 4). Ainda em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , comparando os espécimens de *Mussismilia braziliensis*, aquele que apresenta maior extensão anual média apresenta valor mais negativo de  $\delta^{18}\text{O}$  do que a que apresenta menor extensão. No caso dos dois testemunhos de *Siderastrea*, esta tendência não ocorre (Tabela 2)

### 3.3 Padrões de variação de $\delta^{13}\text{C}$

O registro de  $\delta^{13}\text{C}$  do coral recente apresenta 352 amostras, abrangendo cerca de 27,9 anos, que se apresentam bem distribuídos em respeito aos valores positivos e negativos variando entre 1,18‰ e -1,89‰, apresentando contraste de 3,07‰ (Figura 5). A média dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para este testemunho é de -0,23‰.

Figura 5: Comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  dos testemunhos: A) CAB2 (*Mussismilia braziliensis*, recente) e B) ITA1 (*Mussismilia braziliensis*, sub-fóssil), C) GUA6 (*Siderastrea* spp., sub-fóssil), D) PF2 (*Siderastrea* spp., sub-fóssil) e E) PF1 (*Mussismilia braziliensis*, sub-fóssil) e estão presentes as equações dos gráficos e retas pontilhadas.



Os testemunhos GUA6 e ITA1 são os mais novos dentre os sub-fósseis e forneceram 38 e 148 amostras, respectivamente. As amostras apresentam ciclicidade com período similar ao do testemunho recente, levando-se em conta tanto o bandamento de densidade como entre as distâncias entre dois valores máximos ou dois valores mínimos consecutivos ao longo do testemunho. Desse modo, essas amostras se distribuem num intervalo de tempo de cerca de 4,2 e 12,9 anos, respectivamente, e revelam valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  para GUA6=0,39‰ e ITA1= 0,87‰ (Tabela 2). Os

valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para GUA6 estão entre 1,21‰ e -0,16‰ com variação de 1,37‰ e para ITA1 entre 2,93‰ e -2,76‰ e variação de 5,69 ‰. Nestes dois últimos casos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  apresentam uma tendência decrescente com valores cada vez menores à medida que o coral cresceu (da direita para esquerda, ou seja, da base para o topo).

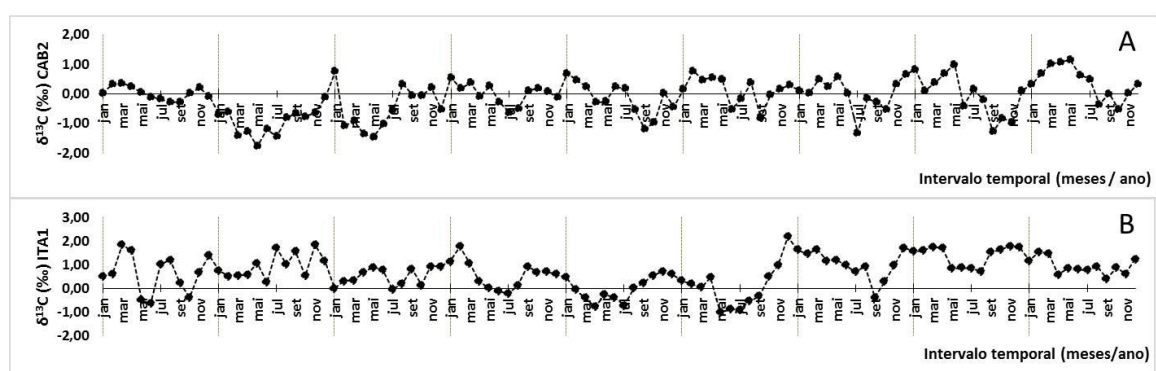
Os testemunhos PF1 e PF2 apresentam 35 e 34 amostras. De modo semelhante ao descrito nos testemunhos mais novos, apresentam ciclicidade com período similar ao do testemunho recente, tanto quanto o bandamento de densidade como nas distâncias entre dois valores máximos ou dois valores mínimos consecutivos ao longo do testemunho. Assim, a série de amostras abrange um intervalo de tempo de cerca de 2,9 e 4,2 anos respectivamente. A média dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para PF1 é 0,02‰, a mais próxima do valor obtido no testemunho recente, e para PF2 é -0,55‰, muito distinto dos outros valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos corais sub-fósseis que são valores mais altos que o do testemunho recente. Para PF1 os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  estão entre 2,58‰ e -2,17‰, apresentando uma variabilidade de 4,75‰ ao longo do tempo. Em PF2, os valores estão entre 0,66‰ e -2,10‰, com variabilidade de 2,76‰. Estes dois testemunhos apresentam uma tendência crescente para os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do crescimento dos corais.

Observando o comportamento geral do gráfico e reta de tendência (Figura 4), pode-se verificar que com o passar do tempo, do testemunho mais antigo (PF1) para o menos antigo (ITA1), ocorreu uma alteração na distribuição dos dados para valores cada vez maiores, sugerindo assim, um aumento de  $\delta^{13}\text{C}$  entre aproximadamente 4069 anos cal. A.P. e 1298 anos cal. A.P.



Levando-se em consideração a similaridade encontrada entre a ciclicidade e a periodicidade dos testemunhos sub-fósseis com o testemunho recente, foi produzida a migração de espaço para tempo das séries. A Figura 6 apresenta as duas séries temporais, num intervalo de 9 anos. Os gráficos desta figura mostram claramente a ciclicidade sazonal da razão isotópica em duas épocas não contemporâneas, o CAB2 representando a época recente e o ITA1 o Holoceno tardio.

**Figura 6: Série temporal elaborada para mostrar a ciclicidade da incorporação dos isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$ ) nos testemunhos CAB2 (A), representando a época recente e ITA1 (B) o Holoceno tardio.**



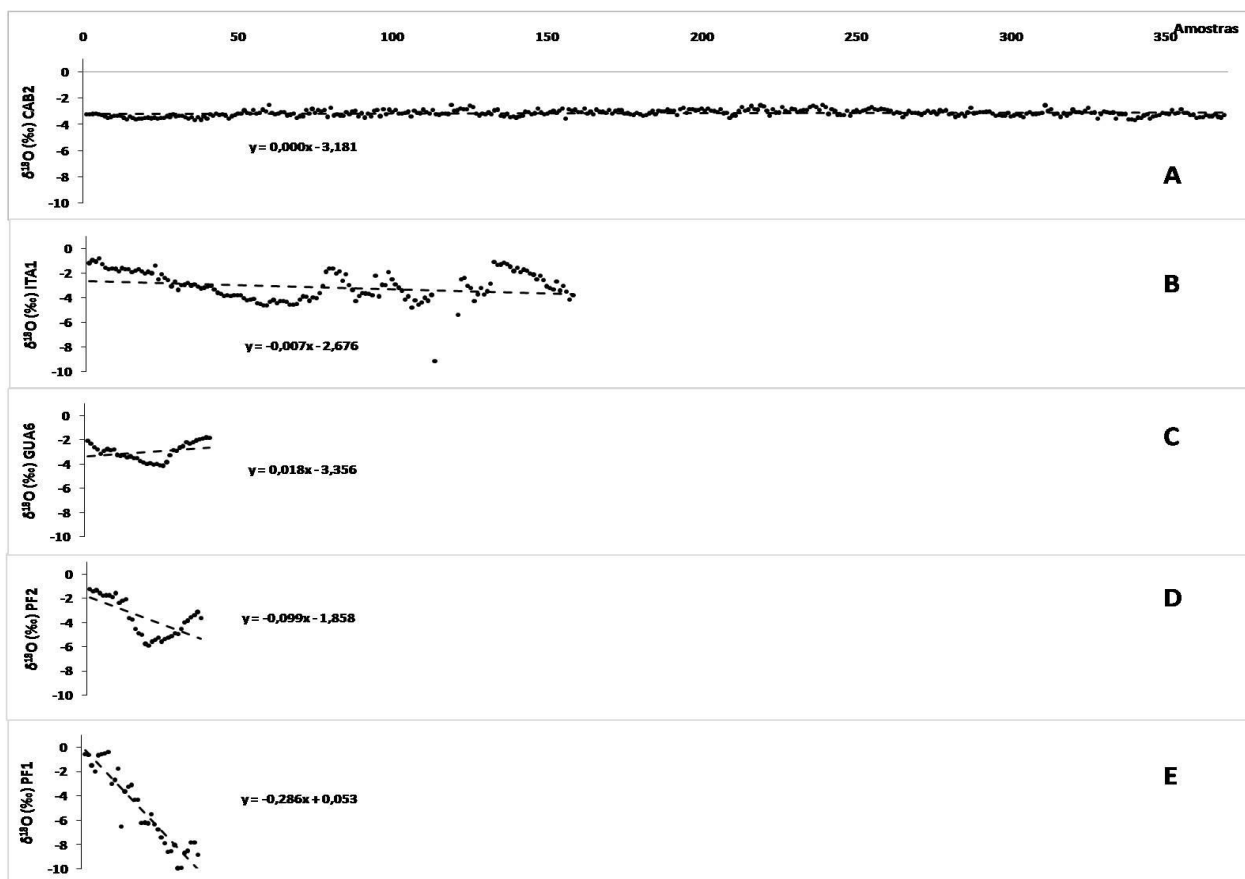
As análises sazonais ilustradas nos gráficos A e B na figura 6, foram construídos com uma reformulação para espaços de tempo mensais em um período de 9 anos como citado no item materiais e métodos, assim, esses gráficos representam uma parte de todo intervalo abordado por estes testemunhos, podendo não corresponder a tendência geral de todo intervalo, mas as flutuações sazonais estão representados da mesma maneira. Nesta figura, pode-se observar a distribuição de picos e vales irregulares que determinam flutuações sazonais. Para o ITA1, a maior variabilidade sazonal foi calculada em 3,21‰ no sexto período e 0,97 ‰, a menor variabilidade, no terceiro

período. Em todo o ciclo no ITA1 a média da variabilidade foi de 1,77‰ e a variabilidade sazonal para os 9 períodos foi de 3,21‰. No CAB2, a variabilidade sazonal do  $\delta^{13}\text{C}$  foi de 2,27‰ no oitavo período e 0,64‰ no primeiro período, apresentando uma média de variabilidade sazonal de 1,62 ‰ para todo o ciclo. No que se refere a variabilidade de todo o ciclo para CAB2 foi de 2,92‰. Assim, a variabilidade sazonal do ciclo no testemunho sub-fóssil é maior que a variabilidade sazonal do ciclo no testemunho recente, assim como a média das variabilidades. Em geral, o comportamento sazonal para os dois testemunhos oscila de maneira semelhante com picos e vales fluando de forma irregular, embora o ITA1 oscile com mais frequência entre valores mais positivos e o CAB2 apresente sua oscilação entre valores positivos e negativos.

#### **3.4 Padrões de variação de $\delta^{18}\text{O}$**

Na figura 7, os registros de  $\delta^{18}\text{O}$  do coral recente (CAB2) apresentam 369 amostras que representam aproximadamente 29,2 anos distribuídos em valores negativos que variam entre -2,48‰ e - 3,64‰, apresentando uma variação de 1,16‰. A média calculada para os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  neste testemunho é de -3,12‰.

Figura 7: Comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  dos testemunhos: A) CAB2 (*Mussismilia braziliensis*, recente) e B) ITA1 (*Mussismilia braziliensis*, sub-fóssil), C) GUA6 (*Siderastrea* spp., sub-fóssil), D) PF2 (*Siderastrea* spp., sub-fóssil) e E) PF1 (*Mussismilia braziliensis*, sub-fóssil) e estão presentes as equações dos gráficos e retas pontilhadas.



Os testemunhos GUA6 e ITA1 são os mais novos dentre os sub-fósseis com 38 e 148 amostras respectivamente e as amostras apresentam ciclicidade com período similar ao testemunho recente, levando-se em conta tanto o bandamento de densidade como entre as distâncias entre dois valores máximos ou dois valores mínimos consecutivos ao longo do testemunho. Desse modo, essas amostras que atribuem um intervalo de tempo de cerca de 4,2 e 12,9 anos, respectivamente, revelam valores médios de  $\delta^{18}\text{O}$

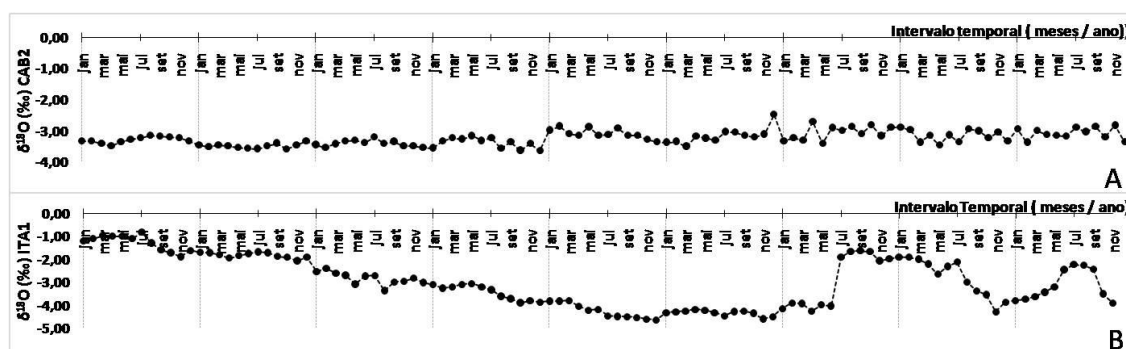
para GUA6 =  $-2,99\text{‰}$  e ITA 1=  $-3,22 \text{‰}$  (Tabela 2). Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para GUA6 estão entre  $-1,80\text{‰}$  e  $-4,12\text{‰}$ , com variação de  $2,32\text{‰}$  e tendência a valores cada vez mais negativos no sentido que o coral cresceu (para a esquerda, no gráfico) e para ITA1 entre  $5,18\text{‰}$  e  $-14,62\text{‰}$ , e variação de  $19,8\text{‰}$  com tendência a valores menos negativos dessa razão à medida que o coral cresceu. Este testemunho chama atenção por apresentar valores muito discrepantes referentes às amostras de números 106 a 110. Além disso, o gráfico apresenta mudança de padrão em três momentos distintos, do topo para a base (esquerda para a direita), inicialmente até a amostra 71 o gráfico apresenta um padrão retilíneo decrescente, em seguida os pontos apresentam um padrão escalonado até a amostra 126 e após esta, o gráfico apresenta um padrão retilíneo decrescente semelhante ao primeiro padrão descrito. Os testemunhos PF1 e PF2 apresentam 35 e 34 amostras. De modo semelhante ao descrito nos testemunhos mais novos no que diz respeito à ciclicidade com período similar ao do testemunho recente, as séries destes dois testemunhos mostram intervalos de tempo de aproximadamente 2,9 e 4,2 anos respectivamente. As médias dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para PF1=  $-5,10\text{‰}$ , que é o valor mais negativo deste estudo e para PF2=  $-3,65\text{‰}$ . Para PF1 os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  estão entre  $0,39\text{‰}$  e  $-9,87\text{‰}$ , apresentando uma variabilidade  $9,48\text{‰}$ . Em PF2, os valores estão entre  $-2,18\text{‰}$  e  $-5,92\text{‰}$ , com variabilidade  $3,74\text{‰}$ . Estes dois testemunhos apresentam uma tendência crescente para valores de  $\delta^{18}\text{O}$  ao longo do crescimento dos corais.

Observando o comportamento geral do gráfico e reta de tendência (Figura 4), pode-se verificar que com o passar do tempo, do testemunho mais antigo (PF1), para o menos

antigo (ITA1), ocorreu uma alteração na distribuição dos dados para valores cada vez menos negativos, mostrando um aumento de  $\delta^{18}\text{O}$  entre aproximadamente 4069 anos A.P. e 1298 anos A.P.

Levando-se em consideração a similaridade encontrada entre a ciclicidade e a periodicidade dos testemunhos sub-fósseis com o testemunho recente, foi produzida a migração do espaço para tempo das séries dos dados. A figura 8 apresenta duas séries temporais, num intervalo de 9 anos. Os gráficos desta figura mostram claramente a ciclicidade sazonal da razão em duas épocas não contemporâneas, o CAB2 representando a época recente e o ITA1 o Holoceno tardio.

**Figura 8: Série temporal elaborada para mostrar a ciclicidade da incorporação dos isótopos ( $\delta^{18}\text{O}$ ) nos testemunhos CAB2 (A), representando a época recente e ITA1 (B) representando o Holoceno tardio**

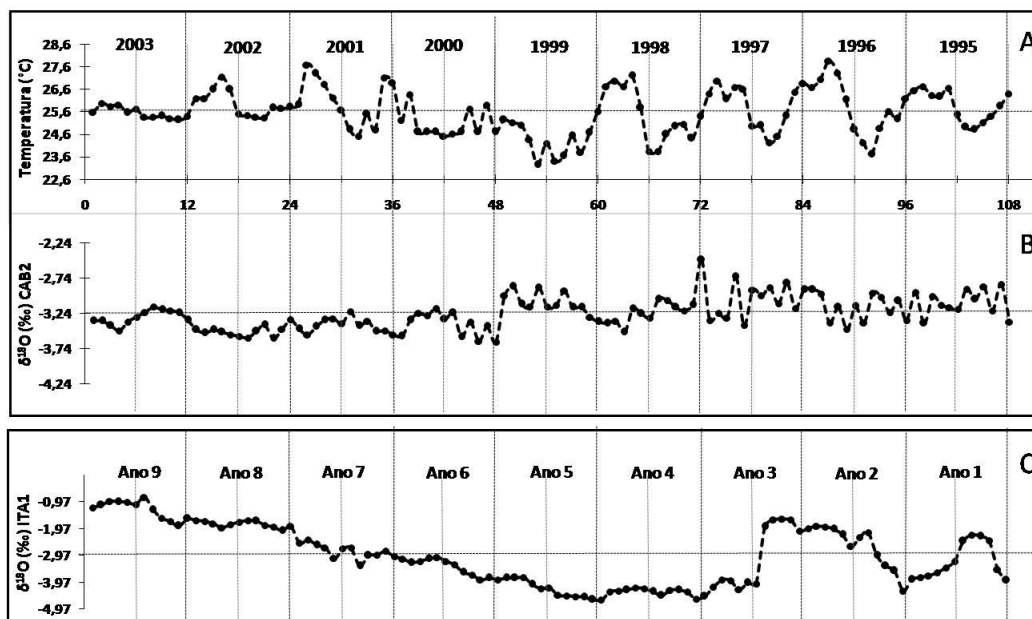


As análises sazonais ilustradas nos gráfico A e B na figura 8 apresentam a distribuição dos picos e vales que determinam flutuações sazonais para cada ano. Para esta distribuição de dados feita para o ITA1, a variabilidade sazonal foi entre 2,61‰ no sétimo período e 0,32‰ no sexto período. O sétimo período apresenta uma brusca

variação dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para valores menos negativos de um mês para o outro e após essa mudança observa-se uma alteração na distribuição dos valores, esta mudança de padrão foi descrita anteriormente durante a apresentação do comportamento deste mesmo testemunho na figura 7, quando se referiu a primeira mudança de padrão de comportamento geral do gráfico. O ITA1 Apresentou uma média de variabilidade de 1,17‰ em todo ciclo. No CAB2, a variabilidade sazonal variou de 1,02‰ no sexto período e 0,19‰ no segundo período, apresentando uma média de variabilidade sazonal 0,50‰ para todo o ciclo. No que se refere à variabilidade de todo o ciclo, para ITA1 foi de 3,80‰ e para o CAB2 de 1,16‰. Assim, a variabilidade sazonal do ciclo no testemunho sub-fóssil é maior que a variabilidade sazonal do ciclo no testemunho recente, assim como a média da variabilidade de todo o ciclo também é maior no sub-fóssil. Levando-se em consideração a relação do  $\delta^{18}\text{O}$  e a TSM, ao longo de trinta anos, verificados através dos dados instrumentais na região sul da Bahia, a variação de temperatura foi de 2,6°C (tabela 1) e neste mesmo intervalo a variação de  $\delta^{18}\text{O}$  foi de 1,16‰, determinando que a cada 1°C de variação de temperatura ocorre uma variação de 0,44‰ de  $\delta^{18}\text{O}$ . Mesmo levando em consideração que atualmente a variabilidade de TSM é 0,9°C menor no Litoral Norte da Bahia e a variação de  $\delta^{18}\text{O}$  no sub-fóssil (ITA1) é de 3,80‰, sendo assim ao longo de um intervalo de 222 anos determinados pelo intervalo de idade do ITA1, a variação de temperatura pode ter sido maior. Além disso, a diferença entre as médias dos valores do sub-fóssil (ITA1) com o recente é 0,10‰ (tabela 2), determinando um incremento de TSM ao Holoceno tardio em relação aos dias atuais.

Ainda se tratando de séries temporais, a figura 9, mostra, numa escala semestral, o comportamento da TSM em relação à média dos valores e nesta mesma escala o comportamento, em relação à média, dos valores das séries de  $\delta^{18}\text{O}$  para os testemunhos CAB2 representando o período recente e o ITA1 o Holoceno tardio.

Figura 9: Série temporal da A) TSM e do  $\delta^{18}\text{O}$  B) CAB2 e C) ITA1. As linhas horizontais pontilhadas representam a média dos valores das variáveis em questão. As linhas verticais pretas pontilhadas representam o intervalo de tempo de um ano e as linhas verticais cinza pontilhadas representam o intervalo semestral para cada ano. Esta figura apresenta comparação entre épocas não contemporâneas.



Esta comparação foi feita com o objetivo de visualizar o comportamento predominante inverso entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$  em escala semestral para o testemunho recente, dando lugar assim a interpretações relacionadas ao testemunho sub-fóssil.

Pode-se perceber nas figuras 9A e 9B que apenas os semestres 2001.2 e 2000.2 a relação inversa entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$  não é clara, além de alguns pontos onde a resposta do isótopo é tardia em relação à variação de TSM, como por exemplo, entre 1996.2 onde a TSM começa a baixar e o  $\delta^{18}\text{O}$  se mantém entre a média e logo em seguida a TSM começa a aumentar e o  $\delta^{18}\text{O}$  continua mantendo-se na média até que ocorre uma diminuição da TSM (1995.2) e o  $\delta^{18}\text{O}$  volta a aumentar. Levando-se em conta o comportamento geral do  $\delta^{18}\text{O}$  no CAB2 e o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  em relação à média do ITA1, é nítido que esta variável não se comporta da mesma forma nos dois testemunhos. No ITA1, o  $\delta^{18}\text{O}$  flutua acima da média nos 5 primeiros semestres, observando o gráfico da esquerda para a direita, depois flutua abaixo da média nos 8 semestres seguintes, posteriormente passa 2,5 semestres acima da média, em seguida 1,5 semestres abaixo e depois volta a subir. Sendo assim, os valores permanecem acima e abaixo da média por períodos maiores que no CAB2. Assim, o  $\delta^{18}\text{O}$  nos dois testemunhos oscila de forma diferente, o  $\delta^{18}\text{O}$  varia sazonalmente com maior amplitude e frequência, em relação à média no CAB2, isso leva ao pensamento de que a temperatura no Holoceno tardio variava com menor amplitude e frequência dentro do ano. Portanto, no Holoceno tardio, a mudança de períodos mais quentes para períodos mais frios, dentro de um ano, não ocorria com a intensidade que ocorre agora. Além de que, atualmente a mudança entre períodos quentes e frios, acontece, em geral, numa escala semestral já no Holoceno tardio, essa mudança deveria ocorrer em espaços de tempos maiores.



#### 4. DISCUSSÃO

Os dados relacionados à espécie recente, são de fundamental importância para as posteriores análises feitas com os corais sub-fósseis, já que o presente estudo está baseado nas comparações do comportamento da espécie recente em relação as variáveis ambientais que correspondem ao tempo de vida de tal espécie.

No estudo climatológico da figura 2 fica evidente o comportamento inverso entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ . Contudo pode-se sugerir que nos meses de mais baixas TSM, em relação à média, acompanhados de baixos índices pluviométricos, essa relação inversa pode sofrer interferências. Além disso, fica claro que em todos os pontos onde existe um aumento relativo da pluviosidade o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  no mês seguinte apresenta uma diminuição, sendo assim, a resposta do coral estudado ao aumento de quantidade de  $^{16}\text{O}$  na água do mar pode ocorrer de forma defasada. Ainda na figura 2, a TSM apresenta um comportamento semelhante com a Pluviosidade, com algumas interferências, tornando compreensivo que na região onde o testemunho foi coletado, nos meses mais quentes a quantidade de chuvas aumenta com exceção de fevereiro e dezembro e nos meses mais frios, chove menos com exceção de julho. Observando então os três parâmetros nestes três meses citados, é sugerido que a temperatura é o principal parâmetro de controle de incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral já que em toda série temporal apenas o mês de abril não obedece à relação inversa esperada, pois o esperado é que o mês de abril apresentasse um valor de  $\delta^{18}\text{O}$  mais negativo.

A observação das informações, para o presente estudo também foi feita em respeito a possíveis variações na taxa de crescimento das espécies de corais em questão. Neste

contexto, a extensão anual média além das idades de todos os testemunhos foram analisadas e verificou-se que entre as espécies de *Mussismilia braziliensis* incluindo a recente e sub-fósseis a taxa de extensão não apresentou variação considerável (Tabela 2), o mesmo pode ser observado entre as espécies de *Siderastrea* spp. para esta última a extensão anual no presente trabalho está entre 0,40 -0,45 cm e estão entre a média de 0,35 – 0,50 cm/ano determinados para espécies recentes. Sendo assim, não existem diferenças significativas de crescimento entre as espécies recentes a as do Holoceno tardio. Essa observação é importante, pois assim, as interpretações em relação a este parâmetro feitas para a espécie recente, pode ser estendida para as mesmas espécies sub-fósseis.

#### **4.1 Padrões de variação de $\delta^{13}\text{C}$**

Segundo alguns autores (Leder et al., 1996; Cohen e Hart, 1997), além das variáveis ambientais, os outros fatores que podem afetar o sinal anual do  $\delta^{13}\text{C}$  esquelético são variações nas taxas de extensão e calcificação.

No presente estudo a taxa de extensão não parece ser fator predominante que afete a variação de  $\delta^{13}\text{C}$  no esqueleto do coral, pois utilizando as duas espécies, pode ser verificado que os corais fósseis com crescimento mais rápido (*Mussismilia braziliensis*) e os corais fósseis com crescimento mais lento (*Siderastrea* spp.), não apresentam relação com variações dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , assim como em estudos feitos por Al-Rousan e Felis (2013) onde demonstraram que alguns corais fósseis com taxas de

crescimento menores que  $5 \text{ mm.ano}^{-1}$ , apresentaram valores  $\delta^{13}\text{C}$  semelhantes em relação a outros corais fósseis de crescimento mais rápido.

Os registros de  $\delta^{13}\text{C}$  nos testemunhos foram ilustrados na tabela 2, nesta tabela, no que se refere ao  $\delta^{13}\text{C}$ , a média calculada para os quatro espécimens sub-fósseis ( $0,73\text{‰}$ ) é maior  $0,96\text{‰}$  que o valor para o espécimen recente ( $-0,23\text{‰}$ ). Assim como visto por Felis et al., (2000), onde registros de  $\delta^{13}\text{C}$  em corais modernos, mais jovens que 1960 e corais do Holoceno, os corais modernos apresentaram valores mais leves de  $\delta^{13}\text{C}$ . Portanto, a quantidade de  $\delta^{13}\text{C}$  na superfície do mar diminuiu do Holoceno tardio para os dias atuais. Esta tendência também pode ser atribuída a maior entrada de carbono derivado da destruição dos ecossistemas terrestres, além de que esta diminuição pode ser parte da diminuição do  $\delta^{13}\text{C}$ , a longo prazo, associado à adição de  $\text{CO}_2$  derivado da queima de combustíveis fósseis. Esta relação existe, pois, o C proveniente da queima de combustível fóssil é enriquecido em  $^{12}\text{C}$ , aumentando assim a quantidade de  $^{12}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico, do  $\text{CO}_2$  que é armazenado na biomassa terrestre (quantidade de matéria produzida por plantas e animais) por fotossíntese e do  $\text{CO}_2$  captado pela água do oceano através da interação ar-mar- $\text{CO}_2$ , diminuindo assim a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , absorvido pelo esqueleto do coral. Este mesmo resultado de maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$  é encontrado nas espécies mais antigas se a comparação for feita intra-espécies no caso da *Mussismilia braziliensis*, para a *Siderastrea* spp. não foi possível estabelecer esta relação.

Vale ressaltar a importância da fotossíntese na incorporação dos isótopos de carbono pelo esqueleto do coral, estudos indicam que a importância das zooxantelas neste

processo de incorporação de isótopos de carbono deve ser considerada, pois confirmam que com a diminuição da irradiação solar o  $\delta^{13}\text{C}$  esquelético do coral também será reduzido (Heikoop et al., 2000; Grottoli, 2002; Ferrier-Pages et al., 2003) devido a uma diminuição na fotossíntese das zooxantelas do coral.

A figura 5 permitiu uma análise mais detalhada do comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  em cada testemunho e ao todo, com os sub-fósseis, temos 2771 anos não consecutivos, investigados no Holoceno tardio. Neste intervalo foi possível ver, assim como descrito anteriormente com a tabela 2, que a média dos valores para esta época é maior. Três dos quatro testemunhos apresentam valores maiores de  $\delta^{13}\text{C}$ , determinando assim, uma maior condição do coral naquela época para incorporar  $\delta^{13}\text{C}$ . Este resultado também pode estar associado a mudança no equilíbrio químico entre as espécies de Carbono Inorgânico Dissolvido (CID), que compromete à condição atual dos organismos, reduzindo o processo de calcificação. Isto ocorre porque a quantidade de  $\text{CO}_2$  vem aumentando na água e com isso o conseqüente aumento nas concentrações de ácido carbônico que modifica o equilíbrio e a abundância relativa das espécies químicas do carbono que causam um aumento de  $\text{CO}_2$  e dos bicarbonatos, e com isso ocorre a redução nas concentrações dos íons carbonatos, e esta redução implica em alterações no processo de calcificação dos organismos.

Vários trabalhos têm documentado tendências de longo prazo em direção a valores mais baixos de  $\delta^{13}\text{C}$  dentro de esqueletos de corais e atribuiu estes declínios para o efeito de Suess (Asami et al., 2005; Kilbourne et al., 2007; Wei et al., 2009; Swart et al., 2010; Goodkin et al., 2012).

Ainda com referência ao comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\text{CO}_2$ , nesta etapa do estudo, o espaço de tempo compreendido pelos testemunhos sub-fósseis, foi dividido em duas partes, os testemunhos PF1(3759-4069 anos A.P.), PF2 (3682-3978 anos A.P.) e GUA6 (3372-3692 anos A.P.), fizeram parte de um mesmo momento de discussão e o ITA1 (1298-1520 anos A.P.) representou outro momento.

Os quatro testemunhos juntos representam valores baixos de  $\delta^{13}\text{C}$ , que podem indicar um momento com altos índices de  $\text{CO}_2$  atmosféricos. Nesta discussão é apontado os estudos de Ruddiman (2003), que relata o período entre 8000 anos atrás até o início do século XIX com altos valores de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Se tratando do espaço de tempo abordado por PF1, PF2 e GUA6, em várias partes do mundo, este período coincidiu com o surgimento e a expansão da agricultura e que a partir de 4000 anos, o desflorestamento ganhou força e assim, rapidamente florestas foram consumidas. A condição de uma pouca representatividade de espaço de floresta em relação à antes de 8000 anos atrás, remonta a condição de maior disponibilidade de  $\text{CO}_2$  atmosférico, antes aprisionado na biomassa, com isso, o  $\text{CO}_2$  disponível no oceano na forma de ácido carbônico aumenta, o pH diminui, acidificando assim as águas oceânicas e prejudicando a calcificação e por último dificultando a possibilidade de incorporação do  $\delta^{13}\text{C}$ . Entretanto nos últimos ~ 2000-1500 anos, representados no presente estudo pelo testemunho ITA1 (1298-1520 anos A.P.), houveram quedas na quantidade de  $\text{CO}_2$ , que podem refletir eventos que afetaram a produtividade rural. Este período coincide com grandes epidemias que possuíam grande abrangência afetando diversas partes do mundo (Ruddiman, 2003). Em episódios nos quais havia alta mortalidade, o

crescimento de florestas que sequestravam CO<sub>2</sub>, refletiam intervalos de queda de níveis de CO<sub>2</sub>. Esta queda nos níveis de CO<sub>2</sub> representam melhores condições do pH oceânico, corroborando assim com a maior capacidade de calcificação dos organismos aumentando a incorporação do  $\delta^{13}\text{C}$ , este fato está representado por um considerável aumento desse parâmetro no testemunho ITA1.

Em se tratando de uma visão moderna, o aumento de CO<sub>2</sub> está atribuído às emissões humanas a partir da revolução industrial, época que remonta cerca de 200 anos atrás. Nesta visão moderna, pode-se interpretar um novo aumento na liberação do CO<sub>2</sub> atmosférico, porém desta vez enriquecido de carbono de massa 12 (proveniente de queima de combustível fóssil). Para esta época, temos o CAB2, que aponta novamente um baixo valor de  $\delta^{13}\text{C} = -0,23\text{‰}$ , como citado anteriormente.

Na figura 6, é possível observar o comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$ , numa série temporal, de um testemunho sub-fóssil e do testemunho recente, ao longo de nove anos. Nesta figura as conclusões não foram diferentes das descritas anteriormente. As flutuações sazonais do testemunho fóssil e do recente apresentam comportamentos irregulares, embora o ITA1 apresente uma flutuação predominantemente entre valores mais positivos e o CAB2 entre valores positivos e negativos. Sendo assim sugere-se que entre 1298-1520 anos A.P., além de apresentar, em média, valores maiores de  $\delta^{13}\text{C}$ , pode-se também considerar uma menor concentração de CO<sub>2</sub> com carbono de massa 12, neste mesmo período a absorção pelo coral do  $\delta^{13}\text{C}$  podia também ser mais facilitada. Entretanto o testemunho recente apresenta valores mais leves de  $\delta^{13}\text{C}$ , pois o aumento de CO<sub>2</sub> em um curto espaço de tempo, pelas emissões antropogênicas, e consequente aumento

nas concentrações de ácido carbônico, modifica o equilíbrio entre a abundância relativa das espécies químicas do carbono do CID, causando uma redução nas concentrações dos íons carbonatos. A redução deste último implica em alterações para a vida marinha, particularmente para os organismos calcificadores como os corais.

Muitos trabalhos apresentaram resultados que corroboram com os resultados apresentados neste estudo. Alguns deles como Gatuso et al., (1999) em seu trabalho relataram que as atividades humanas aumentam o CO<sub>2</sub> atmosférico, principalmente através da utilização de combustíveis fósseis, produção de cimento e queima da biomassa. Aproximadamente metade do CO<sub>2</sub> liberado permanece na atmosfera e o restante do CO<sub>2</sub> é armazenado na biomassa terrestre por fotossíntese e captação de CO<sub>2</sub> pela água do oceano.

Este resultado onde ITA1 apresenta uma flutuação predominantemente entre valores mais positivos e o CAB2 entre valores positivos e negativos, também pode significar uma diminuição na luminosidade que pode estar vinculada a aumento de pluviosidade em direção ao tempo presente, pois alguns autores (Heikoop et al., 2000; Grottoli, 2002; Ferrier-Pages et al., 2003) ressaltam a importância da fotossíntese na incorporação dos isótopos de carbono pelo esqueleto do coral, ou seja, a importância das zooxantelas neste processo de incorporação.

#### **4.2 Padrões de variação de $\delta^{18}\text{O}$**

De acordo com a tabela 2, se forem verificadas as variações do  $\delta^{18}\text{O}$  entre as espécies de maior crescimento (*Mussismilia braziliensis*) e menor crescimento (*Siderastrea* spp.),

a taxa de extensão não parece ser fator predominante que afete a variação de  $\delta^{18}\text{O}$  no esqueleto do coral. Numa observação mais detalhada dos testemunhos sub-fósseis, dentro da mesma espécie, a *Mussismilias braziliensis* com maior extensão anual média apresenta valor mais negativo de  $\delta^{18}\text{O}$  do que a que apresenta menor extensão. No caso dos dois espécimens de *Siderastrea*, esta observação não procede, talvez esta não concordância de quanto maior a extensão menor o valor de  $\delta^{18}\text{O}$ , não esteja claro nestes espécimens, devido aos grandes erros associados a extensão anual média de cada uma delas, estes desvios podem alterar qual dos dois testemunhos apresentam maior extensão. Levando em conta estas observações, no presente trabalho, quanto maior a extensão, dentro da mesma espécie, mais negativo será o valor de  $\delta^{18}\text{O}$ . Alguns trabalhos chegaram a conclusões semelhantes a este estudo assim como Mc Connaughey (1989) e Aharon (1991) que verificaram que uma redução na taxa de crescimento tem sido sugerida por causar valores de  $\delta^{18}\text{O}$  mais altos em esqueletos de corais. Outros estudos de alta resolução demonstraram que a taxa de crescimento tem um efeito significativo sobre as taxas isotópicas na mesma colônia, e até mesmo no mesmo coralito, para quase todos os tipos de corais escleractíneos (por exemplo Watanabe et al., 2002 e Felis et al., 2003).

Assim como neste estudo onde se trabalhou com média de valores, Felis et al., (2003) relataram que os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  assim como do  $\delta^{13}\text{C}$  são diferentes entre espécies, isso pode acontecer porque a maioria das diferenças entre as médias das assinaturas isotópicas estão relacionadas à taxa de crescimento.



No presente estudo foi mostrado que as assinaturas de  $\delta^{18}\text{O}$  entre corais da espécie *Mussismilia braziliensis* com taxas de extensão anual média entre 0,57 e 0,62 cm, uma variação de 0,05 cm, podem ter uma variabilidade de cerca de 1,88‰, demonstrando que efeitos metabólicos associados ao crescimento do coral afetam a incorporação dos isótopos no esqueleto do coral, para a *Siderastrea* spp. não foi possível ser feita esta relação. Sendo assim, o indivíduo (*Mussismilia braziliensis*) que cresce mais rapidamente deve ser mais depletado em  $\delta^{18}\text{O}$  em relação ao de crescimento mais lento. Contudo, efeitos no desequilíbrio isotópico, podem estar relacionados à taxa de extensão e podem também ser responsáveis pela diferença entre colônias de espécies diferentes da assinatura isotópica no coral.

Felis et al. (2003), mostraram que as assinaturas médias de  $\delta^{18}\text{O}$  em corais *Porites* spp. do norte do Golfo de Aqaba (Mar Vermelho) com taxas de extensão médias entre 0,2 e 1,5 cm/ano podem ter uma variabilidade de até 1,28‰. Em taxas de extensão de menos de 0,6 cm/ano a média de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  do coral das colônias são altamente dependentes da extensão média, com cada vez mais altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  ao passo que a taxa de extensão diminui. Estudos que apoiam esta relação não são muito comuns, embora isto seja um ponto crucial com respeito à interpretação paleoclimática própria de corais fósseis, principalmente quando esses têm taxas de crescimento com médias semelhantes aos corais modernos usados como referência.

O crescimento esquelético do coral está associado a duas variáveis, extensão e calcificação. As contribuições relativas para efeitos cinéticos dos isótopos relacionados a taxa de crescimento não são claras. Os efeitos cinéticos dos isótopos foram com

sucesso ligados a variações na extensão anual média, em parte porque esta variável é mais fácil de estimar em registros de coral. Contudo, o mecanismo físico que liga o crescimento de coral com efeitos cinéticos dos isótopos está quase certamente relacionado a variações na calcificação (McConnaughey 1989; Cohen e Hart 1997).

Baseado nos resultados do presente trabalho e de outros autores citados pensamos que é justificado, embora imperfeito com respeito aos mecanismos de biomineralização, usar taxa de extensão em vez da taxa de calcificação para a avaliação da taxa de crescimento relacionada com efeitos cinéticos dos isótopos nos nossos corais. O nosso trabalho é diferente daqueles que investigaram o efeito de taxas de extensão diferentes intra-colônia e variabilidade de  $\delta^{18}\text{O}$  pela amostragem dentro de um intervalo de tempo específico de uma colônia única (por exemplo McConnaughey 1989). Ao contrário, o nosso estudo investiga o efeito da diferença na extensão média e médias das assinaturas de  $\delta^{18}\text{O}$  de colônias diferentes da mesma espécie, isto é, discutimos a variabilidade entre-colônias.

Deng et al., (2014), trabalhando com colônias de *Porites* sp., compararam dois testemunhos com taxas de extensão diferentes e verificaram que os registros geoquímicos do coral parecem ter sido independentes da taxa de extensão e de outros efeitos vitais. O autor demonstrou que o testemunho de crescimento mais rápido, na resolução anual, o  $\delta^{18}\text{O}$  mostrou ser um bom indicador de temperatura anual da superfície do mar ( $r=-0,67$ ). No entanto, a amostra de coral com crescimento mais lento, mostrou correlações significativamente mais baixas ( $r=-0,19$ ), indicando sua maior susceptibilidade aos efeitos biológicos/metabólicos.

A figura 7, nos permite verificar o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  em todos os testemunhos sub-fósseis em seus respectivos espaços de tempo. Esta verificação é importante por ser investigada com detalhe o  $\delta^{18}\text{O}$  em cada período proposto dentro do Holoceno tardio. O  $\delta^{18}\text{O}$  é considerado um dos marcadores mais confiáveis da variação da TSM, apesar de mudanças no  $\delta^{18}\text{O}$  na água do mar poder alterar a reconstrução a partir de  $\delta^{18}\text{O}$  nos corais, pois as variações do  $\delta^{18}\text{O}$  na água do mar podem estar ligadas a mudanças relacionadas à evaporação, precipitação, salinidade, além de existir muita incerteza quanto ao estado de incorporação de elementos traços e isótopos estáveis no esqueleto do coral (Corrége, 2006).

Os comportamentos do  $\delta^{18}\text{O}$  e da TSM devem ser inversos (Gagan et al., 2000), ou seja, quanto maior a TSM mais negativos devem ser os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no organismo. Neste contexto foi feita a validação do  $\delta^{18}\text{O}$  como bom indicador da TSM ( $r=-0,79$ ) neste estudo, mostrado na figura 2 e agora na figura 7, a discussão dos dados a este respeito.

Na figura 7A, os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  no testemunho recente estão entre -2,48 e -3,64 ‰, com uma tendência bastante suave a valores mais negativos ao longo do crescimento do coral durante 30 anos, indicando, em geral, um leve aumento da temperatura entre 1973 e 2003. Os estudos a este respeito têm se difundido ao longo das últimas décadas. Desde a década de 1980 têm se observado gráficos com o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  em esqueletos de corais. Autores investigaram o efeito de registros geoquímicos incluindo o  $\delta^{18}\text{O}$  e esta relação reage às variações da TSM, embora cada registro seja apresentado com variabilidades diferentes (Cardinal et al., 2001; Yu et al., 2005;

Hetzinger et al., 2006). Além dessas verificações entre a dependência do  $\delta^{18}\text{O}$  e da TSM, foi visto, também, a dependência desta variação isotópica em relação a pluviosidade e que períodos de altos índices pluviométricos enriquecem a água do mar no isótopo mais leve, disponibilizando maior quantidade deste isótopo para absorção, diminuindo assim o  $\delta^{18}\text{O}$  esquelético do coral.

Em relação aos períodos do Holoceno tardio representados pelos testemunhos subfósseis, foi apresentado valores bem mais negativos no espaço de tempo compreendido entre 4069-3682 anos A.P. (determinados por PF1 e PF2), sugere-se neste intervalo uma época mais quente que a atual, com uma posterior diminuição na TSM entre 3692-3372 anos A.P (GUA6) e entre 1520 e 1298 anos A.P (ITA1) um novo aumento de temperatura, dessa vez com temperaturas mais amenas que o período mais antigo apresentado neste estudo. Neste último período, determinado pelo ITA 1, pode ser observado uma mudança de padrão na parte mais central do gráfico para um padrão aproximadamente escalonado que se inicia na amostra 71, onde no testemunho foi observado a presença de uma bioturbação. A presença desta estrutura pode ter surtido um efeito de interferência na distribuição dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no coral em uma área do gráfico, porém não altera o valor médio geral desse parâmetro. Apesar deste comportamento diferenciado, o valor médio de  $\delta^{18}\text{O}$  obtido neste testemunho, mostra que a TSM era semelhante à apresentada nos dias atuais, apenas um pouco mais quente.

Observando isoladamente o testemunho PF1 (3758 – 4069 anos A.P.) é discrepante o baixo valor médio de  $\delta^{18}\text{O}$  para o espaço de tempo estudado. Este mesmo período está

próximo do que foi chamado de Evento 4.2 ka A.P (Walker et al., 2012), onde foi sugerida uma subdivisão formal cronoestratigráfica globalmente aplicável seguindo procedimentos geológicos convencionais que podem coincidir com eventos climáticos. Nesse trabalho os autores sugerem este Evento como fronteira para o Holoceno Médio e Tardio, onde é apresentado neste período um fenômeno climático de baixa a média latitudes de aridificação, em torno de 4000 anos que é refletido nos registros de *proxy* da América do Norte, Oriente Médio, China, África e partes da América do Sul e Antártica (Mayewski et al, 2004;. Staubwasser e Weiss, 2006). Segundo Walker et al., (2012), existe uma ampla gama de provas, pelo que se propõe para a fronteira entre Holoceno Médio e Tardio e esta deve basear-se no evento 4.2. e como este é um fenômeno predominantemente de média e de baixa latitude, o estratotipo a ser utilizado deve estar localizado dentro destas latitudes, e um potencial estratotipo é o registro de espeleotemas (KM-A) a partir da caverna Mawmluh em Cherrapunji, Meghalaya, nordeste da Índia. A ficha da amostra do espeleotema ( $\delta^{18}\text{O}$  KM-A), a qual é baseada em 1128 medições isotópicas, em uma resolução de cinco anos por amostra compreende uma pronunciada mudança de valores mais negativos de  $\delta^{18}\text{O}$  em ~ 4100 anos A.P. até em torno de -7,3 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ ) (Berkelhammer et al., 2012). Este está bem dentro da gama de idades dos outros *proxies* climáticos para o Evento 4.2 citado anteriormente. Independentemente da causa, no entanto, o fato de que o evento 4.2 é manifestado em um intervalo de registros geomorfológicos, estratigráficos arqueológicos em muitas partes do mundo (Weiss, 2012 apud Walker et al, 2012) constituindo um marcador temporal adequado para o Holoceno Médio-Tardio. No

presente trabalho os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  chegam nesta época, seguindo um padrão decrescente, a  $-9,92\text{‰}$ . Mostrando assim, uma concordância de valores com o encontrado para outros lugares do mundo, mostrando que o Evento 4.2, também caracterizado com um aumento da temperatura, pode ser também marcado na região estudada do presente trabalho, talvez não com a mesma intensidade.

Na análise temporal, utilizando o testemunho sub-fóssil ITA1 e o testemunho recente (Figura 8), foi verificado em todo o ciclo estudado uma variabilidade de  $3,80\text{‰}$  para ITA1 e  $1,16\text{‰}$  para o CAB2, sugerindo assim uma maior variabilidade da TSM nos 222 anos incluídos no Holoceno tardio.

Além da variação anual de TSM no Holoceno tardio ter sido menor, a média do valor do  $\delta^{18}\text{O}$  para esta época também é menor cerca de  $0,10\text{‰}$  do que o recente e utilizando os dados atuais, sabendo-se que atualmente a cada  $1^\circ\text{C}$  há uma variação de  $0,44\text{‰}$  de  $\delta^{18}\text{O}$  no coral, logo através de uma relação direta, a TSM nesta época pode ter sido maior cerca de  $0,2^\circ\text{C}$ . Não tão diferente dos valores modernos.

Recentemente, Chapori et al., 2015 demonstraram com estudo em assembléias de foraminíferos que no final do Holoceno as temperaturas se apresentavam dentro do intervalo de valores modernos.

A figura 9 nos dá a oportunidade de analisar o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  e da TSM em relação à média, este comportamento é importante, pois podem determinar mudanças entre semestres com condições quentes para semestres mais frios. Apesar da possível interferência de bioturbação no testemunho ITA, a distribuição dos dados representam as conclusões chegadas nesta etapa do estudo. Em maior detalhe, a figura 9 mostra o

comportamento predominantemente inverso entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$  numa escala semestral, embora esta relação apresente, em algumas situações, que a resposta do isótopo seja tardia. Contudo, foi demonstrado que a temperatura varia sazonalmente com maior amplitude e frequência em relação à média nos dias atuais e isso nos leva ao pensamento que a temperatura no Holoceno tardio variava com menor amplitude e frequência dentro do ano, sendo assim, a mudança entre períodos mais quentes para períodos mais frios, dentro de um ano, não ocorria com a intensidade que ocorre agora. Observando o comportamento dos parâmetros ao longo do tempo, as informações mostram que as diferenças não representarão uma mudança grande entre os valores de temperatura no Holoceno tardio e recente. Entretanto ficou claro que existe uma diferença entre a intensidade de mudança da temperatura dentro de um ano.

## **5.CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No presente estudo, os corais foram arquivos utilizados com bons resultados no que diz respeito a serem indicadores de variáveis ambientais. Isto ficou comprovado quando os registros de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  foram apresentados utilizando resoluções temporais que representaram o período recente, para o oxigênio e diferentes períodos no Holoceno tardio para os dois elementos. Os registros dos corais modernos e sub-fósseis mostraram ciclos irregulares de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , influenciados principalmente por fatores ambientais. Inicialmente foi apresentada uma relação satisfatória entre isótopos do coral recente e os parâmetros ambientais característicos da área onde viveu, através de estudos climatológicos. A resposta fica mais clara com esse tratamento, pois com ele

obtem-se uma resposta de longo prazo dos parâmetros, reduzindo a importância da variabilidade de curto prazo na temperatura e na absorção dos isótopos de oxigênio. Nesta investigação foi visto um comportamento inverso entre a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ , neste contexto demonstrou-se que esta inter-relação é bastante melhorada quando se atribuiu um mês de defasagem na incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$ . Contudo, a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  é altamente dependente da TSM e não é feita de maneira imediata.

A importância da pluviosidade na variação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral também avaliada, verificou-se o aumento do  $^{18}\text{O}$  causado pela diminuição das chuvas e o consequente aumento de sua disponibilidade pode interferir na relação inversa esperada.

Observando então os três parâmetros, sugere-se que a TSM é o principal fator ambiental que controla a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral.

Para as espécies deste estudo a taxa de extensão linear média não possui uma variação considerável entre as espécies recentes e as sub-fósseis, sendo assim, a taxa de crescimento não mudou entre o Holoceno tardio e o recente.

Aqui foi testada uma possível interferência da taxa de extensão e a incorporação dos isótopos e verificou-se que a taxa de extensão não parece ser um fator predominante na incorporação do  $\delta^{13}\text{C}$ . Em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , entre as espécies, a taxa de extensão também não parece um fator importante na incorporação deste isótopo, mas comparações dentro da mesma espécie sub-fóssil (*Mussismilia braziliensis*) mostraram que o indivíduo que cresce mais rapidamente apresenta valor mais negativo de  $\delta^{18}\text{O}$ . Contudo nesta espécie, uma variação de 0,5 mm na extensão, marcou uma



variabilidade de 1,88‰, demonstrando que a extensão anual pode afetar significativamente a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  dentro da mesma espécie.

Neste estudo, investigando a média dos valores, foi verificada tendência a valores mais leves de  $\delta^{13}\text{C}$  no coral moderno, e que a quantidade de  $\delta^{13}\text{C}$  diminuiu do Holoceno tardio para os dias atuais. Numa análise detalhada para o Holoceno tardio, as variações de  $\delta^{13}\text{C}$  acompanharam períodos históricos relatados por autores. Assim, a tendência do  $\delta^{13}\text{C}$  nos corais registrados neste estudo está em conformidade com a tendência global de  $\delta^{13}\text{C}$  em corais de outras partes do mundo.

Em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , no testemunho recente foi apresentada uma tendência bastante suave a valores mais negativos ao longo do crescimento do coral entre 1973-2003, representando um leve aumento de temperatura ao longo destes trinta anos. Em relação ao Holoceno tardio os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  apresentados no período entre 4069-3682 anos A.P. sugerem uma época mais quente que a atual, com uma posterior diminuição da TSM a partir desta data até 3372 anos A.P. e entre 1520-1298 anos A.P. um novo aumento da temperatura, desta vez mais amena que a do período mais antigo. Vale ressaltar a importância da constatação do Evento 4.2 (Walker et al., 2012) que marca a passagem do Holoceno Médio-Tardio na área de estudo. Os dados também mostraram que a temperatura no Holoceno tardio pode ter sido cerca de 0,2°C maior que atualmente. Além disso, a temperatura nesta época variou de forma diferente, ou seja, a mudança entre semestres mais quentes e mais frios dentro do ano não variava da forma como ocorre hoje, nesta época a temperatura variava com menor amplitude e mais baixa frequência que os dias atuais.

A grande prioridade deste trabalho foi verificar a importância dos corais como indicadores qualitativos de variáveis climáticas e junto com datações podem gerar informações sobre o clima passado e a partir daí futuramente usar os corais como indicadores quantitativos de aspectos específicos do clima.

Importante que se faça experimentos com corais em aquários onde pode ser verificado o crescimento dos corais em condições controladas, e que possa nos ajudar a compreender melhor a solidez de cada marcador e de controlar os fatores da sua incorporação na aragonita do coral.

Sendo assim, neste estudo viu-se que, para comparações ambientais a espécie fóssil *Mussismilia braziliensis*, com taxas de extensão medias semelhantes aos corais recentes devem ser selecionados para este tipo de estudo. Contudo, exemplares de espécies recente e fóssil da mesma espécie no mesmo local podem ser difíceis de encontrar no campo. Portanto nem sempre será possível reunir-se corais modernos e corais fósseis que encontram os critérios supracitados. Os procedimentos de comparações, aqui sugeridos, das medias de valores dos isótopos das colônias, embora não perfeitos, permitem uma boa avaliação quanto à interpretação paleoclimática. A aplicação de uma defasagem nos resultados com os isótopos de oxigênio pode melhorar a interpretação para esta investigação passada.

Os resultados do presente estudo fornecem suporte para a hipótese de que o Holoceno tardio apresentava condições semelhantes aos dias atuais, mas ainda assim, não é fácil determinar exatamente as semelhanças e o quanto diferente pode ter sido esta temperatura. Nesta fase, apenas foi possível estimar quantitativamente a importância

relativa da temperatura e chuvas como controle sobre a distribuição dos isótopos nos corais.

A não concordância com outros trabalhos publicados no mundo pode estar associada a diversos fatores incluindo erros analíticos, além de que, um testemunho de mudança climática pode corresponder a uma mudança completamente local, mas não podemos deixar de acreditar que um testemunho local também pode ser a expressão daquele lugar a uma mudança climática global, como visto com o testemunho PF1 que registrou o Evento 4.2.

Deng et al., (2014) relataram a importância da utilização de pelo menos dois testemunhos de coral de uma mesma localização, porque os registros de coral extraídos a partir de uma única colônia de coral não podem ser utilizados para distinguir ruídos de sinais de clima ou induzidos biologicamente. No presente trabalho esta consideração foi seguida, como também, foi utilizada a replicação na análise analítica e uma resolução mensal que é essencial para se estudar variabilidade do clima (Lough 2004; DeLong et al. 2013; Zinke et al. 2014).

Este trabalho apontou prováveis mudanças das variáveis ambientais no Holoceno tardio em relação ao presente, sem comprometimento exato com as causas, mas sim com a contribuição que possa levar a maiores discussões.

## 6. REFERENCIAS

Aharon, P. 1991. Recorders of reef environmental histories: stable isotopes in corals, giant calms and calcareous algae. *Coral Reefs*. 10, 71-90.

Al-Rousan, S. Felis, T. 2013. Long-term variability in the stable carbon isotopic composition of *Porites* coral at the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 381-382, p. 1-14.

Al-Rousan, S., Pätzold, J., Al-Moghrabi, S., Wefer, G. 2004. Invasion of anthropogenic CO<sub>2</sub> recorded in planktonic foraminifera from the northern Gulf of Aquaba. *International Journal of Earth Sciences*. 93, 1066-1076.

Assami, R., Yamada, T., Iryu, Y., Quinn, T.M., Meyer, C.P., Paulay, G. 2005. Interannual and decadal variability of the western Pacific sea surface condition for the years 1787–2000: reconstruction based on stable isotope record from a Guam coral. *Journal of Geophysical Research*. 110, 1-13.

Berkelhammer, M., Sinha, A., Stott, L., Cheng, H., Pausata, F.S.R., Yoshimura, K. 2012. An abrupt shift in the Indian Monsoon 4000 years ago. *Geophysical Research Letters*. 196, 75-87.

Cardinal, D., Hamellin, B., Bard, E., Pätzold, J. 2001. Sr/Ca, U/Ca and  $\delta^{18}\text{O}$  records in recent massive corals from Bermuda: relationships with sea surface temperature. *Chem. Geol.* 176, 213-233.

Chapori, N.G., Chiessi, C.M., Bickert, T., Laprida, C. 2015. Sea-surface temperature reconstruction of the Quaternary western South Atlantic: New planktonic foraminiferal correlation function. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 425, 67-75.

Cohen, A.L., Hart, S.R. 1997. The effect of colony topography on climate signals in coral skeleton. *Geochimica et Acta*, 61, 3905-3912.

Cohen, A.L., McConnaughey, T.A. 2003. Geochemical perspectives on coral mineralization. *Rev. Mineral. Geochem.* 54, 151-187.

DeLong, K.L., Quinn, T.M., Taylor F.W., Shen C.C., Lin K. 2013. Improving coral-base paleoclimate reconstructions by replicating 350 years of coral Sr/Ca variations. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 373, 6-24.

Deng, W., Wei, G., McCulloch. 2014. Evaluation of annual resolution coral geochemical records as climate proxies in the Great barrier Reef of Australia. *Coral Reefs*. 3, 965-977.

Domingo, L., Pérez-Dios, P., Fernández, M.H., Martín-Chivelet, J., Ortiz, J.E., Torres, T. 2015. Late Quaternary climatic and environmental conditions of northern Spain: An isotopic approach based on the mammalian record from La Paloma cave. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 440, 417-430.

Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y. 2003. Mean oxygen-isotope signatures in *Porites spp.* corals: intercolony variability and correction for extension-rate effects. *Coral Reefs.* 22, 328-336.

Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y., Fine, M., Nawar, A.H., Wefer, G. 2000. A coral oxygen isotope record from the northern Red Sea documenting NAO, ENSO, and North Pacific teleconnections on Middle East climate variability since the year 1750. *Paleoceanography.* 15, 679-694.

Felis, T., Pätzold, J., Loya, Y., Wefer, G. 1998. Vertical water mass mixing and plankton blooms recorded in skeletal stable carbon isotopes of a Red Sea coral. *J. Geophys. Res.* 103, 731-739.

Ferrier-Pages, C., Witting, J., Tambutté, E., Sebens, K.S. 2003. Effect of natural zooplankton feeding on the tissue and skeletal growth of the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. *Coral Reefs.* 22, 229-240.

Gagan, M.K., Ayliffe, L. K., Beck, J. W., Cole, J. E., Druffel, E. R. M., Dumbor, R. B., Schrag, D. P. 2000. New view of tropical paleoclimates from corals. *Quaternary Science Reviews*. 19, 45-64.

Gattuzo, J.P., Allemand, D., Frankignoulle, M. 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral reefs: a review on interactions and control by carbonate chemistry. *American Zoologist*. 39, 160-183.

Giry, C., Felis, T., Kölling, M., Scheffers, S. 2010. Geochemistry and skeletal structure of *Diploriastrigosa*, implications for coral-based climate reconstruction. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 298, 378-387.

Goodkin, N.F., Druffel, E.R.M., Hughen, K.A., Doney, S.C. 2012. Two centuries of limited variability in subtropical North Atlantic thermocline decline ventilation. *Nature Communications*. 3, p.803.

Grottoli, A.G. 2002. Effect of light and brine shrimp on skeletal  $\delta^{13}\text{C}$  in the Hawaiian coral *Porites compressa*: a tank experiment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 66, 1955-1967.

Grottoli, A.G., Wellington, G.M. 1999. Effect of light and zooplankton on skeletal  $\delta^{13}\text{C}$  values in the eastern Pacific corals *Pavonaclavus* and *Pavonagigantea*. *Coral Reefs*.18, 29- 41.

Grottoli, A.G. 1999. Variability of stable isotopes and maximum linear extension in reef-corals skeletons at Kaneohe Bay, Hawaii. *Marine Biology*.135, 437-449.

Heikoop, J., Dunn, J., Risk, M., Schwarcz, H., McConnaughey, T., Sandeman, I. 2000. Separation of kinetic and metabolic isotope effects in carbon-13 records preserved in reef coral skeletons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 64, 975-987.

Hetzinger, S., Pfeiffer, M., Dullo, W.C., Ruprechet, E., Garbe-Schönberg, D. 2006. Sr/Ca and  $\delta^{18}\text{O}$  in a fast-growing *Diploria strigosa* coral: evaluation of a new climate archive for the tropical Atlantic. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 7, 1-9.

Jones, P.D., Mann, M.E. 2004. Climate over past millennia. *Review of Geophysics*. 42, 1-42.

Kilbourne, K.H., Quinn, T.M., Guilderson, T.P., Webb, R.S., Taylor, F.W. 2007. Decadal-to interannual-scale source water variations in the Caribbean Sea recorded by Puerto Rican coral radiocarbon. *Climate Dynamics* .29, 51-62.



Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., Leão, Z.M.A.N. 2013. Density banding pattern of the south western Atlantic coral *Mussismilia braziliensis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 449, 207-214.

Knutson, D.W., Buddemeier, R.W, Smith, S.V. 1972. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. Science.177, 270-272.

Leder, J.J., Swart, P.K., Szmant, A., Dodge, R.E. 1996. The origin of variations in the isotopic record of scleractinian corals: I. Oxygen. Geochimica et Cosmochimica Acta. 60, 2857-2870.

Lough, J.M. 2004. A strategy to improve the contribution of coral data to high-resolution paleoclimatology. Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. 204, 115-143.

Mayewski, P.A, Rohling E.E., Stager J.C. 2004. Holocene climate variability. Quaternary Research. 62, 243-255.

McConnaughey T.A. 1989.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotopic disequilibrium in biological carbonates: I Patterns. Geochim. Cosmochim. Acta.53, 151-162.

Ruddiman, W.F. 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. Climate Change. 61, 261-93.

Staubwasser M., Weiss H. 2006. Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric–early historic West Asia. *Quaternary Research*. 66, 372-387.

Swart, P.K., Greer, L., Rosenheim, B.E., Moses, C.S., Waite, A.J., Winter, A., Dodge, R.E., Helmle, K. 2010. The  $^{13}\text{C}$  Suess effect in scleractinian corals mirror changes in the anthropogenic  $\text{CO}_2$  inventory of the surface oceans. *Geophysical Research Letters*. 37.

Watanabe, T., Winter, A., Oba, T., Anzai, R., Ishioroshi, H. 2002. Evaluation of the fidelity of isotope records as an environmental proxy in the coral *Montastraea*. *Coral Reefs*. 21, 169-178.

Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H. 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*. 27(7), 649-659.

Wei, G.J., McCulloch, M.T., Mortimer, G., Deng, W., Xie, L. 2009. Evidence for ocean acidification in the Great Barrier Reef of Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 73, 2332-2346.

Weiss, H. 2012. Altered trajectories: the Intermediate Bronze Age in Syria and Lebanon 2200-1900 BCE. In Killebrew A, Steiner M (eds) Oxford Handbook of the Archaeology of the Levant. Oxford University Press.

Yu, K.F., Zhao, J.X., Wei, G.J., Cheng, X.R, Chen, T.G., Felis, T., Wang, P.X., Liu, T.S. 2005.  $\delta^{18}\text{O}$ , Sr/Ca and Mg/Ca records of *Porites lutea* corals from Leizhou Peninsula, northern South China Sea, and their applicability as paleoclimatic indicators. Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. 218, 57-73.

Zinke, J., Rountrey, A., Feng, M., Xie, S.P., Dissard, D., Rankenburg, K., Lough, J.M., McCulloch, M.T. 2014. Corals record long-term Leeuwin current variability including Ningaloo Niño/Niña since 1795. Nat. Commun. 5, p.3607.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSÕES

---

Pode ser verificado pelos dados apresentados no presente estudo, que abrangem desde aproximadamente 8000 anos A.P. até o presente, que a proposta de curva que representa as flutuações do PNM mostra uma tendência de suavização do primeiro momentos de mar baixo, denominado desde então como oscilação de alta frequência e a não existência da segunda oscilação. A proposta de curva mostra que o nível médio do mar sempre esteve acima do nível atual nestes últimos milênios e a distribuição espacial dos IPNM, incluindo 14 amostras de corais desse estudo, determinam a presença de uma mínima lâmina d'água nos momentos dessas oscilações. Além disso, também foi apresentando um intervalo de estabilidade entre 3920-800 anos A.P. e a partir daí uma brusca descida no NMM até o nível atual.

Algumas divergências vistas neste trabalho quando comparadas com os autores significativamente citados como Martin (2003), podem ter ocorrido devido às calibrações dos dados, pois desde então foram colocados à disposição programas com versões mais recentes. Esses novos dados apresentados mostram a importância que datações de IPNM como corais podem ter no aprimoramento das curvas relativas do nível do mar. Assim, compreendemos que a identificação de recifes que contenham corais que marquem níveis mínimos do mar e que possam ser utilizados para balizar novas interpretações é uma implicação importante deste trabalho. Além disso, é

imprescindível que os estudos das oscilações do nível do mar sejam complementados pela abordagem de indícios de neotectônica próximos à área de estudo, como também a investigação de antigos padrões de vento e ondas na área.

Assim como feito na investigação do paleonível do mar, os corais foram arquivos utilizados com bons resultados no que diz respeito a serem indicadores de variáveis ambientais. Isto ficou comprovado quando os registros apresentados de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  utilizando resoluções temporais que representaram o período recente e diferentes períodos do passado no Holoceno tardio. Os registros dos corais modernos e sub-fósseis mostraram ciclos irregulares de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  influenciados principalmente por fatores ambientais.

No presente trabalho a relação dos isótopos do coral recente e os parâmetros ambientais característicos da área onde viveu, através de estudos climatológicos foi comprovada. Nesta investigação foi visto um comportamento inverso entre TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ , neste contexto demonstrou-se que esta inter-relação é bastante melhorada quando se atribuiu um mês de defasagem na incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$ . Contudo, a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  é altamente dependente da TSM e não é feita de maneira imediata.

A interferência da pluviosidade na variação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral também foi avaliada, verificou-se o aumento do  $^{18}\text{O}$  causado pela diminuição das chuvas e o consequente aumento de sua disponibilidade pode interferir na relação inversa esperada. Esta relação inversa entre a pluviosidade e  $\delta^{18}\text{O}$  também foi melhorada levando em

consideração um mês de defasagem para a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$ , embora não tão boa quanto a TSM e o  $\delta^{18}\text{O}$ .

Observando então os três parâmetros, este estudo sugere-se que a TSM é o principal fator ambiental que controla a incorporação do  $\delta^{18}\text{O}$  no coral.

Foi verificado que além da temperatura e a pluviosidade, outros fatores podem afetar o  $\delta^{18}\text{O}$  do coral, como efeitos metabólicos relacionados ao coral. Este último investigado, através da extensão anual média.

O efeito da extensão anual média foi mais facilmente percebido no que diz respeito a incorporação do oxigênio, já na avaliação desse fator em relação ao carbono, os resultados foram pouco significativos.

Para as espécies deste estudo a taxa de extensão anual média não possui uma variação considerável entre espécies recentes e sub-fósseis, sendo assim, a taxa de crescimento não mudou entre o Holoceno tardio e o recente.

Em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , entre as espécies, a taxa de extensão não parece fator importante na incorporação deste isótopo, mas comparações dentro da mesma espécie sub-fóssil (*Mussismilia braziliensis*) mostram que o indivíduo que cresce mais rapidamente apresenta valor mais negativo de  $\delta^{18}\text{O}$ . Com isso, nesta espécie quanto maior a extensão mais negativo são os valores de  $\delta^{18}\text{O}$ .

Quanto à média dos valores, foi verificado tendências a valores mais leves de  $\delta^{13}\text{C}$  no coral moderno, e que a quantidade de  $\delta^{13}\text{C}$  diminui do Holoceno tardio para os dias atuais. Numa análise detalhada para o Holoceno tardio, as variações de  $\delta^{13}\text{C}$  acompanharam períodos históricos relatados por outros autores. A tendência do  $\delta^{13}\text{C}$

nos corais registrados neste estudo está em conformidade com a tendência global de  $\delta^{13}\text{C}$  em corais de outras partes do mundo conforme indicado por outros estudos citados.

Em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , no testemunho recente foi apresentado uma tendência bastante suave a valores mais negativos ao longo do crescimento do coral entre 1973-2003, representando um leve aumento de temperatura ao longo destes trinta anos. Em relação ao Holoceno tardio os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  apresentados no período entre 4069-3682 anos cal. A.P. sugerem uma época mais quente que a atual, com uma posterior diminuição da TSM a partir desta data até 3372 anos A.P., e entre 1520-1298 anos A.P. um novo aumento da temperatura, desta vez mais amena que a do período mais antigo. Os dados mostram que a temperatura no Holoceno tardio pode ter sido cerca de  $0,2^\circ\text{C}$  mais elevada que atualmente. Além disso, a temperatura nesta época variou de forma diferente, ou seja, a mudança entre semestres mais quentes e mais frios, dentro do ano, não variou da forma como ocorre hoje, nesta época a temperatura variou com menor amplitude e mais baixa frequência que os dias atuais.

Essas mudanças passadas, presentes e prováveis futuras na química do mar pode ter várias implicações para a precipitação do  $\text{CaCO}_3$  (calcificação), de organismos marinhos e dos ecossistemas.

Este trabalho mostrou a importância dos corais como indicadores qualitativos de variáveis climáticas e junto com datações podem gerar informações sobre o clima passado e a partir daí futuramente usar os corais como indicadores quantitativos de aspectos específicos do clima.

Importante que se faça experimentos com corais em aquários onde pode ser verificado o crescimento dos corais em condições controladas, e que possa nos ajudar a compreender melhor a solidez de cada marcador e de controlar os fatores da sua incorporação na aragonita do coral.

Sendo assim, neste estudo viu-se que, para comparações ambientais a espécie sub-fóssil *Mussismilia braziliensis*, com taxas de extensão medias semelhantes aos corais recentes devem ser selecionados para este tipo de estudo. Contudo, exemplares de formas recentes e fósseis da mesma espécie, no mesmo local, podem ser difíceis de encontrar. Portanto nem sempre será possível reunir-se corais modernos e corais fósseis que apresentem os critérios supracitados. Os procedimentos de comparações, aqui sugeridos, das medias de valores dos isótopos das colônias, permitem uma boa avaliação quanto à interpretação paleoclimática. A aplicação de uma defasagem nos resultados com os isótopos de oxigênio pode melhorar a interpretação para esta investigação.

Os resultados do presente estudo fornecem suporte para a hipótese de que o Holoceno apresentava condições semelhantes aos dias atuais, mas ainda assim, não é fácil determinar exatamente as semelhanças e o quanto diferente pode ter sido esta temperatura. Nesta fase, apenas foi possível estimar quantitativamente a importância relativa da temperatura, como controle sobre a distribuição dos isótopos nos corais.

A não concordância com outros trabalhos publicados no mundo pode estar associada a diversos fatores incluindo erros analíticos, além de que, um testemunho de mudança climática pode corresponder a uma mudança completamente local, mas não podemos



deixar de acreditar que um testemunho local também pode ser a expressão daquele lugar a uma mudança climática global, como visto com o testemunho PF1 que registrou o Evento 4.2.

Este trabalho apontou prováveis mudanças das variáveis ambientais no Holoceno tardio em relação ao presente, sem comprometimento exato com as causas, mas com a contribuição que possa levar a maiores discussões. Além disso, este trabalho apresentou informações atualizadas com o objetivo de colaborar com as discussões na reconstrução do comportamento do nível médio do mar no Holoceno para região de estudo, sugerindo mudanças no comportamento da curva que marca essas flutuações.

## **APENDICE A –JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DO CO-AUTOR**

---

O terceiro autor do Artigo 2, Tércio Henrique Ribeiro do Santos é aluno do Curso de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, desenvolve suas atividades no Laboratório de Física Nuclear Aplicada e foi colaborador no processo de execução e correção dos dados das análises isotópicas que correspondem a parte dos resultados do presente trabalho.

# ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA: MARINE GEOLOGY

---

## MARINE GEOLOGY

International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics

## AUTHOR INFORMATION PACK

## TABLE OF CONTENTS

- Description
- Audience
- Impact Factor
- Abstracting and Indexing
- Editorial Board
- Guide for Authors

ISSN: 0025-3227

## DESCRIPTION

Marine Geology is the premier international journal on marine geological processes in the broadest sense. We seek papers that are comprehensive, interdisciplinary and synthetic that will be lasting contributions to the field. Although most papers are based on regional studies, they must demonstrate new findings of international significance. We accept papers on subjects as diverse as seafloor hydrothermal systems, beach dynamics, early diagenesis, microbiological studies in sediments, palaeoclimate studies and geophysical studies of the seabed. We encourage papers that address emerging new fields. We insist that the papers are concerned with the marine realm and that they deal with geology: with rocks, sediments, and physical and chemical processes affecting them. Papers should address scientific hypotheses: highly descriptive data compilations or papers that deal only with marine management and risk assessment should be submitted to other journals. Papers on laboratory or modelling studies must demonstrate direct relevance to marine processes or deposits. The primary criteria for acceptance of papers is that the science is of high quality, novel, significant, and of broad international interest.

## Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please [click here](#) for more information on our author services.

## AUDIENCE

Marine geologists, marine geochemists, marine geophysicists.

## IMPACT FACTOR

2014: 2.710 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

## GUIDE FOR AUTHORS

### INTRODUCTION

Marine Geology is the premier international journal on marine geological processes in the broadest sense. We seek papers that are comprehensive, interdisciplinary and synthetic that will be lasting contributions to the field. Although most papers are based on regional studies, they must demonstrate new findings of international significance. We accept papers on subjects as diverse as seafloor hydrothermal systems, beach dynamics, early diagenesis, microbiological studies in sediments, palaeoclimate studies and geophysical studies of the seabed. We encourage papers that address emerging new fields. We insist that the papers are concerned with the marine realm and that they deal with geology: with rocks, sediments, and physical and chemical processes affecting them. Papers should address scientific hypotheses: highly descriptive data compilations or papers that deal only with marine management and risk assessment should be submitted to other journals. Papers on laboratory or modelling studies must demonstrate direct relevance to marine processes or deposits. The primary criteria for acceptance of papers is that the science is of high quality, novel, significant, and of broad international interest.

### Types of paper

The majority of the articles published in the journal are original Research Papers. Research papers should report new and original research of high quality that meet the criteria of being of broad international interest, significant and novel. Authors must warrant that the material has not been previously published and declare in a covering letter any

related manuscripts that are submitted or in press. A research paper is typically structured with a brief introduction, if necessary a section on the geological and oceanographic setting, followed by methods, results, discussion and conclusions. The length should be commensurate with the significance of the work and is usually not more than 10000 words.

Review Articles provide a comprehensive and novel assessment of an issue or significant region in marine geology and should be of interest to a wide readership. A Review Article should provide a balanced, integrated and critical summary of previous work and should evaluate potential controversial issues. Important new data may be presented, but are not the focus of the review. Illustrations should where possible integrate existing data into new comprehensive figures rather than duplicating published work. Length should not normally exceed twice that of a typical Research Paper. Potential authors are invited to consult informally with one of the Editors before preparing a Review Article; to do this we request that authors send an email to Tim Horscroft ([timothy.horscroft@elsevier.com](mailto:timothy.horscroft@elsevier.com)) in order to get the consultation process started. The editors may wish to categorize such articles as "Invited Review Article" in the published version. All other reviews will be categorized as "Review Article". Please note that an invitation from the Editors to submit a review article to the journal does not guarantee that it will be accepted for publication.

The Letter section of Marine Geology is intended to provide rapid publication of immediate results (which will normally arise from fieldwork, but may include significant new laboratory results). The criteria for acceptance of a Letter is that it presents exciting and significant new results, for which the interpretation is clear, and which will have an important impact on the international marine geology community. Authors must warrant that the material has not been previously published and explain in a covering letter how the Letter meets the criteria in terms of a new result, its significance and its impact. A letter is not normally more than 4000 words (including abstract and references) and 3 figures.

It is possible to submit a Discussion that comments on a recently published Marine Geology paper. Such a Discussion must be brief and directed only towards the main issue(s) that are being questioned in the original paper. It is not a vehicle for extensive review or for publishing the author's new findings. The original author(s) will be invited to write a Reply which must likewise be brief and directed only at the issues in question.

A Special Issue of Marine Geology is a coherent set of papers on a single scientific theme. The papers must meet the normal criteria for acceptance in Marine Geology. Although scientists intending to propose a Special Issue may

consult any of the Editors-in-Chief informally, a formal decision is taken only by all the Editors on receipt of a completed written proposal. Formal proposals for Special Issues should be submitted to Yanping Hou (y.hou@elsevier.com) and must include the following:

1. A one page text by the Guest Editor(s) outlining the reason for the Special Issue, what is the scientific theme and its significance, why it is timely and needed, and why a Special Issue is necessary rather than individual papers.
2. The proposed time schedule, taking into account that usually several months are required for both reviewing and revising of papers.
3. A list of the proposed contributions (titles, authors, institutions)
4. A draft abstract for each contribution. Once all of this material is received, the Editors-in-Chief will evaluate each proposal on its significance, novelty and timeliness. The proponents will act as Guest Editors, with one of the Editors-in-Chief assigned at an early stage to ensure that the Marine Geology standards are met and to provide advice where required. Guest Editors are expected to obtain independent reviewers who are un-associated with the Special Issue and are able to assess the quality of the manuscripts in an un-biassed manner. The assigned Editor-in-Chief will handle the review process for any manuscripts for which the Guest Editors have a conflict of interest. All manuscript submissions, reviewing and editorial decisions are handled through the Elsevier Editorial System.

#### BEFORE YOU BEGIN

##### Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

##### Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/supporthub/publishing](http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/supporthub/publishing).

##### Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see

<http://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

#### Authorship

All authors should have made substantial contributions to all of the following: (1) the conception and design of the study, or acquisition of data, or analysis and interpretation of data, (2) drafting the article or revising it critically for important intellectual content, (3) final approval of the version to be submitted.

#### Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors before submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only before the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the corresponding author: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors after the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

#### Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and

for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

#### Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <http://www.elsevier.com/copyright>.

#### Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

#### Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

#### Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

##### Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

##### Subscription



- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<http://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 3300, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public.

This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form.

This journal has an embargo period of 24 months.

#### Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these).

Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

#### Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

#### Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/margo>

#### Referees

Please submit, with the manuscript, the names and addresses of 6 potential referees.

#### PREPARATION

##### Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns.

The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

### LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class `elsarticle.cls` (<http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/elsarticle>) to prepare your manuscript and BibTeX (<http://www.bibtex.org>) to generate your bibliography.

For detailed submission instructions, templates and other information on LaTeX, see <http://www.elsevier.com/latex>.

### Article structure

#### Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered

1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

#### 1. Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

#### 2. Regional setting

For papers that focus on an area, provide a brief synopsis of the physical and geological characteristics of the area, sufficient to give the new work context, but again avoid a detailed literature survey.

#### 3. Materials and methods

Provide sufficient detail on methods to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described. Samples should normally be positioned on

a map or in a table. However, lengthy tables of precise positions should be submitted as Supplementary Material (see below)

#### 4. Results

This should highlight the key results (and not repeat material already in figures or tables) and summarise the direct implications of these results.

#### 5. Discussion

This should explore the inter-relationships of different data sets and the broader significance of the results. It may include limited speculation, that will not appear in the conclusions.

#### 6. Conclusions

The short Conclusions section should summarise the conclusions of the study that have been firmly established. It should not duplicate either the Abstract or the Discussion.

#### Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower- case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name.

The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

#### Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s) and the full bibliographic reference. Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

#### Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of  $531 \times 1328$  pixels (h  $\times$  w) or proportionally more. The image should be readable at a size of  $5 \times 13$  cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

#### Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

#### Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

#### Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

#### Nomenclature and units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI.

#### Mathematical formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible. In principle, variables are to be presented in italics. Use the solidus (/) instead of a horizontal line, e.g.,

X/Y rather than

X Y

Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separate from the text (if referred to explicitly in the text).

#### Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves on a separate sheet at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

#### Artwork Electronic artwork General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork. Avoid bold font unless essential for clarity.
- Save text in illustrations as "graphics" or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.

- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file, preferably eps, tif or pdf.
- All maps must have geographic referencing (UTM or latitude and longitude).

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

#### Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please "save as" or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as "graphics".

TIFF: color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required. DOC, XLS or

PPT: If your electronic artwork is created in any of these Microsoft Office applications please supply "as is".

Please do not:

- Supply embedded graphics in your wordprocessor (spreadsheet, presentation) document;
- Supply files that are optimised for screen use (like GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

The web version of your article is in full color at no cost and this is the version seen by almost all readers. There is a charge to the author for color reproduction in the print version. If greyscale figures are provided for the print version, the caption will note that a color version is available on the web.

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures...[etc].

#### Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

#### Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

#### References

##### Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the

journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

##### References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

##### Reference management software



Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles (<http://citationstyles.org>), such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and Zotero (<https://www.zotero.org/>), as well as EndNote (<http://endnote.com/downloads/styles>). Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/marine-geology>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

#### Reference style

All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by "et al." and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first chronologically, then alphabetically.

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters "a", "b", "c", etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *Journal of Scientific Communication* 163, 51-59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York. Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281-304.

In the References, the journal names should be given in full.

#### Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

#### AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

### Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

### Data deposit and linking

Elsevier encourages and supports authors to share raw data sets underpinning their research publication where appropriate and enables interlinking of articles and data. Please visit <http://www.elsevier.com/about/research-data> for more information on depositing, sharing and using research data.

### Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

### Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <http://www.elsevier.com/interactiveplots>.

### Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes) Further considerations
- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

Additional requirements for manuscripts:

- Use double line-spacing
- Insert continuous line numbering
- Submit figures separate from the text, do not embed figures in the text
- Use EPS or TIFF figures, or PDF figures of less than 3 MB

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal Physics Letters B):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

#### Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

#### Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

#### AUTHOR INQUIRIES

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please contact the Editorial Office. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs (<http://www.elsevier.com/authorFAQ>) and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

# **ANEXO B – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA: PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY, PALAEOECOLOGY**

---

PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY, PALAEOECOLOGY

An International Journal for the Geo-Sciences

## **AUTHOR INFORMATION PACK**

- Description
- Audience
- Impact Factor
- Abstracting and Indexing
- Editorial Board
- Guide for Authors

ISSN: 0031-0182

## **DESCRIPTION**

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology is an international medium for the publication of high quality and multidisciplinary, original studies and comprehensive reviews in the field of palaeo-environmental geology including palaeoclimatology. Please note that palaeogeographical and plate tectonic papers are considered to be outside the scope of the journal, and as such we kindly request that papers of this nature are not submitted. The journal aims at bringing together data with global implications from research in the many different disciplines involved in palaeo-environmental investigations.

By cutting across the boundaries of established sciences, it provides an interdisciplinary forum where issues of general interest can be discussed.

## Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our author services.

Please see our Guide for Authors for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our support pages: <http://support.elsevier.com>

## AUDIENCE

Palaeontologists, Sedimentologists, Marine Geologists, Quaternary Geologists.

## IMPACT FACTOR

2014: 2.339 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

## ABSTRACTING AND INDEXING

### AESIS

AGI's Bibliography and Index of Geology BIOSIS

Bulletin Signalétique Elsevier BIOBASE Current Contents

Meteorological and Geophysical Abstracts EBSCOhost

### ESRISAT GEOBASE

GeoRef

OCLC Contents Alert PASCAL/CNRS

Petroleum Abstracts PubMed

Referativnyi Zhurnal VINTI-RAN (Russian Academy of Sciences) Web of Science

Biological Abstracts BIOSIS Previews CAB International

Arts & Humanities Search

British & Irish Archaeological Bibliography Personal Alert

Scopus

Science Citation Index Expanded Thomson Scientific SciSearch ® ProQuest

## GUIDE FOR AUTHORS

### Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

### BEFORE YOU BEGIN

#### Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

#### Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/supporthub/publishing](http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/supporthub/publishing).

#### Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

#### Changes to authorship



Authors are expected to consider carefully the list and order of authors before submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only before the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the corresponding author: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors after the manuscript been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

#### Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. More information about this can be found here: <http://www.elsevier.com/authors/article-transfer-service>.

#### Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations

(please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

#### Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <http://www.elsevier.com/copyright>.

#### Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

#### Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

#### Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

##### Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

##### Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<http://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

#### Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

#### Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 2750, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

#### Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [green open access page](http://elsevier.com/greenopenaccess) for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is

needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public.

This is the embargo period and begins from the publication date of the issue your article appears in.

This journal has an embargo period of 24 months.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these).

Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/palaeo> [sdjlkdsjldjn](#)

[click here](#) one two three one two three one one two two three three

Referees

Authors are asked to provide the names and contact details for 5 possible reviewers; please provide specific disciplines of the suggested reviewers. These reviewers must not be colleagues with whom you have done research or published papers with during the last 5 years nor can they be working at your own institute. Only up to a maximum of two of these reviewers should be working in the same country as you. Palaeo3 relies on the honesty of our authors in the nomination of potential reviewers; any violation of the guidelines above could lead to rejection of your manuscript.

Please note that the journal may not use your suggestions, but your help is appreciated and may speed up the reviewing process.

Peer review assists the editors in making editorial decisions and through editorial communications with the author may also assist the author in improving the paper. Peer review is an essential component of formal scholarly communication, and lies at the heart of the scientific method. Elsevier shares the view that authorship and reviewing manuscripts are two inextricable aspects of scholarship.

## PREPARATION

### NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

### References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

### Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Please ensure the text of your paper is double-spaced and has consecutive line numbering - this is an essential peer review requirement.

#### Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

#### REVISED SUBMISSIONS

##### Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

##### LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class `elsarticle.cls` (<http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/elsarticle>) to prepare your manuscript and BibTeX (<http://www.bibtex.org>) to generate your bibliography.

For detailed submission instructions, templates and other information on LaTeX, see <http://www.elsevier.com/latex>.

##### Article structure

###### Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered

1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

###### Essential title page information

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- Author names and affiliations. Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower- case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

#### Abstract

A concise and factual abstract with a maximum limit of 300 words is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason,

References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

#### Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of  $531 \times 1328$  pixels (h  $\times$  w) or proportionally more. The image should be readable at a size of  $5 \times 13$  cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

### Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

### Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

### Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

### Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

### Artwork Electronic artwork General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files. A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.



You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

#### Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPG):

Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

#### Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

#### Tables

Submit tables separate from the text, do not embed them in the text. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters.

Authors are requested to upload a separate file for figure captions and a separate file for table captions.

## References

### Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full.

### References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### Reference management software

Most Elsevier journals have a standard template available in key reference management packages. This covers packages using the Citation Style Language, such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and also others like EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/downloads/styles>). Using plug-ins to word processing packages which are available from the above sites, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style as described in this Guide. The process of including templates in these packages is constantly ongoing. If the journal you are looking for does not have a template available yet, please see the list of sample references and citations provided in this Guide to help you format these according to the journal style.

If you manage your research with Mendeley Desktop, you can easily install the reference style for this journal by clicking the link below:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/palaeogeography-palaeoclimatology-palaeoecology> When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice. For more information about the Citation Style Language, visit <http://citationstyles.org>.

## Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

### Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York. Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

### Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

### AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

### Supplementary material

Supplementary material can support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Please note that such items are published online exactly as they are submitted; there is no typesetting involved (supplementary data supplied as an Excel file or as a PowerPoint slide will appear as such online). Please submit the material together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. If you wish to make any changes to supplementary data during any stage of the process, then please make sure to provide an

updated file, and do not annotate any corrections on a previous version. Please also make sure to switch off the 'Track Changes' option in any Microsoft Office files as these will appear in the published supplementary file(s). For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### Data deposit and linking

Elsevier encourages and supports authors to share raw data sets underpinning their research publication where appropriate and enables interlinking of articles and data. Please visit <http://www.elsevier.com/about/research-data> for more information on depositing, sharing and using research data.

#### Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

#### Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <http://www.elsevier.com/interactiveplots>.

#### International Geo Sample Number (IGSN)

If you have registered your sample with the SESAR database and have received an IGSN for this sample, please tag your IGSNs in your manuscript. This will enable Elsevier to link the IGSN number to the sample in SESAR if your paper is published online. To tag an IGSN, please use the syntax "IGSN: IGSN number" (e.g., IGSN: HRV0035F0). For more information on SESAR and how to register your samples please visit <http://www.geosamples.org/>

#### Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes) Further considerations
- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

Additional information

- Use double line-spacing
- Insert continuous line numbering
- Submit figures separate from the text, do not embed figures in the text
- Use EPS or TIFF figures, or PDF figures of less than 3 MB

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal Physics Letters B):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

#### Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

#### AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <http://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.