



APLICAÇÃO DE BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA EM ANÁLISES PALEOAMBIENTAIS NO LITORAL DE MARICÁ, RIO DE JANEIRO

Cátia Pereira dos Santos¹
Heloisa Helena Gomes Coe²
Margarita Osterrieth³
Mauro Parolin⁴

RESUMO

As áreas costeiras assumem grande importância para o equilíbrio de diversos ecossistemas, apresentando, entretanto, forte vulnerabilidade face o avanço dos interesses econômicos. Nesse sentido, a planície costeira de Maricá, no estado do Rio de Janeiro, tem sido objeto de estudo, tanto do ponto de vista ambiental quanto social, de diferentes especialistas, como geógrafos, (geólogos, biólogos, geomorfólogos, entre outros. Este trabalho tem por objetivo contribuir para proporcionar maior compreensão a respeito da dinâmica deste ambiente, uma vez que busca reconstituir as condições paleoambientais desta parte do litoral fluminense durante o Holoceno. Foi realizada sondagem geológica com 12 m de profundidade, de onde se extraíram sedimentos para análises de biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos), além de análises granulométricas, de teor de matéria orgânica e datações (14C-AMS). Através das análises dos bioindicadores foi possível observar algumas variações na planície costeira de Maricá ao longo dos últimos 8.500 anos AP: (1) grande concentração de bioindicadores terrestres (fitólitos, predominantemente de morfotipos de dicotiledôneas lenhosas) e aquáticos (espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas (~8.500-6.500 anos cal AP); (2) mudança na composição dos bioindicadores terrestres com maior domínio dos morfotipos característicos de vegetação herbácea, quanto aos bioindicadores aquáticos, houve redução no registro de frústulas de diatomáceas e uma concentração expressiva de espículas de esponjas em torno de 3.000 anos cal AP (6500 e 3000 anos cal AP); (3) aumento do número de registros de morfotipos de fitólitos característicos de dicotiledôneas lenhosas, em comparação ao período anterior, porém, de forma menos expressiva se comparado com o período compreendido entre 8.500-6.500 anos cal AP, forte redução na quantidade de bioindicadores aquáticos. O bom estado de preservação dos bioindicadores ao longo de toda a sondagem indica predomínio de ambiente calmo que favoreceu a preservação dos mesmos.

Palavras-chave: Reconstituição Paleoambiental; bioindicadores de sílica; planície costeira de Maricá; Holoceno.

¹ Dr^a. em Dinâmica dos Oceanos e da Terra – Universidade Federal Fluminense, catia-ps@hotmail.com;

² Dr^a. em Geologia e Geofísica Marinha – Universidade Federal Fluminense. heloisacoe@gmail.com;

³ Dr^a. em Ciencias Naturales pelo Universidad Nacional de La Plata, mosterri@yahoo.com.ar;

⁴ Dr. em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais – Univesidade Estadual de Maringá, UEM, mauroparolin@gmail.com;



ABSTRACT

Coastal areas are of great importance for the balance of different ecosystems, although they are often vulnerable to the advancement of economic interests. In this sense, the coastal plain of Maricá, in the state of Rio de Janeiro, has been the object of study, both from an environmental and social perspective, by different specialists, such as geographers (geologists, biologists, geomorphologists, among others). This study aims to contribute to providing greater understanding of the dynamics of this environment, as it seeks to reconstitute the paleoenvironmental conditions of this part of the coast of Rio de Janeiro during the Holocene. A 12 m-deep geological survey was carried out, from which sediments were extracted to analyze silica biomineralizations (sponge spicules, diatom frustules, and phytoliths), granulometry, organic matter content, and dating (^{14}C -AMS). Through the analysis of the bioindicators it was possible to observe certain variations on the coastal plain of Maricá over the last 8,500 years BP: (1) a high concentration of terrestrial bioindicators (phytoliths, predominantly of woody dicotyledonous morphotypes) and aquatic bioindicators (sponge spicules and diatom frustules (~8,500-6,500 years cal BP)); (2) a change in the composition of terrestrial bioindicators with greater dominance of morphotypes characteristic of herbaceous vegetation; regarding aquatic bioindicators, there was a reduction in the record of diatom frustules and an expressive concentration of sponge spicules around 3,000 years cal BP (6,500 and 3,000 years cal BP); (3) an increase in the number of records of phytolith morphotypes characteristic of woody dicotyledons, compared to the previous period, albeit less expressively when compared to the period between 8,500-6,500 years cal BP, in addition to a strong reduction in the amount of aquatic bioindicators. The good state of preservation of the bioindicators throughout the survey indicates a predominantly calm environment that favored their preservation.

Keywords: paleoenvironmental reconstitution; silica bioindicators; Maricá coastal plain; Holocene.

INTRODUÇÃO

As áreas costeiras despertam o interesse político e econômico, sofrendo historicamente uma série de intervenções humanas que têm comprometido significativamente sua dinâmica natural. A planície costeira de Maricá tem sido alvo de inúmeras pesquisas (SILVA et al., 2014a, b; SILVESTRE et al., 2015; SANTOS et al., 2017) voltadas para o estudo da evolução e dinâmica desse ambiente. Neste estudo, buscou-se contribuir para a compreensão das transformações ocorridas neste litoral com base na análise de bioindicadores, levando em conta que essa tem se mostrado uma ferramenta muito eficaz para fins de interpretações paleoambientais, em áreas litorâneas. Objetivou-se, assim, a partir de biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos) conhecer as características ambientais pretéritas no litoral de Maricá e as transformações aí ocorridas, de modo a contribuir para maior conhecimento das condições paleoambientais desta planície costeira ao longo do Quaternário.

Área de estudo

A planície costeira de Maricá, situada no estado do Rio de Janeiro, localiza-se entre as coordenadas 22°52' a 22°54'S e 42°48' a 42°54'O. Essa área limita-se ao norte e a oeste com a Serra da Tiririca; ao sul, com o Oceano Atlântico; e a leste com o Sistema Lagunar de Maricá e Serra de Ponta Negra (Figura 1). Trata-se de uma área com elevada biodiversidade, devido à proximidade com a Serra da Tiririca (coberta por remanescente de Mata Atlântica).

Do ponto de vista geomorfológico, essa planície apresenta uma barreira arenosa pleistocênica, com cerca de 7 a 9 m de altura em relação ao nível médio do mar (SILVA et al., 2014a, b), e uma barreira holocênica, situada a cerca de 300 m da pleistocênica, com altura entre 5 a 7 m em relação ao nível médio do mar (SILVA et al., 2014b). A barreira holocênica formou-se durante a última transgressão marinha ocorrida no Holoceno, por volta de 5.000 anos AP, o que teria possibilitado a formação de pequenas lagoas à sua retaguarda (IRELAND, 1987; PEREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2014a; SILVESTRE et al., 2015). Atualmente, essas barreiras arenosas encontram-se separadas



por pequenas lagoas colmatadas e pelas Lagoas de Maricá, Barra, Padre e Guarapina (Figura 1).

O presente estudo foi realizado no trecho oeste desta planície costeira, correspondente a Itaipuaçu, e faz parte de uma pesquisa maior que buscou fazer a reconstituição paleoambiental da planície costeira de Maricá. Neste trabalho serão analisados os dados referentes a uma das sondagens geológicas feitas com o propósito de se extrair informações pretéritas relativas à evolução ambiental dessa planície.

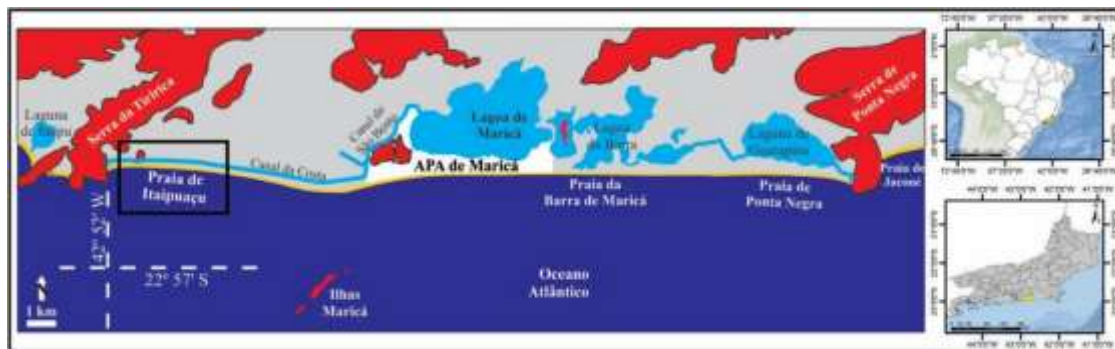


Figura 1- Localização da área da sondagem – Praia de Itaipuaçu - Litoral de Maricá, estado do Rio de Janeiro.

METODOLOGIA

Foi realizada sondagem geológica de 12 m de profundidade com trado manual, em uma área de turfeira distante 0,70 km ao norte do mar, localizada na margem leste de um antigo canal próximo à retaguarda da barreira holocênica. Foram coletadas 112 amostras de sedimentos, em intervalos entre 5 e 30 cm, entre as quais 14 foram selecionadas para as análises de granulometria, biomineralizações de sílica, teor de matéria orgânica e datações por $^{14}\text{CAMS}$.

Foram pesados 50g de amostra e depois os sedimentos grossos (cascalhos e areias) foram separados dos finos (silte e argila) com uma peneira de 0,500mm. Os sedimentos grossos (cascalhos e areias) foram processados no analisador de partículas óptico CAMSIZER P4. Os sedimentos finos (silte e argila) foram analisados no granulômetro Malvern Mastersizer 2000, através do método de difração de laser. As espículas de esponja, frústulas de diatomáceas e fitólitos foram extraídos de 20g de solo seco após procedimentos de remoção de carbonatos, matéria orgânica, óxido de ferro e argila. (COE et al., 2021). A concentração de matéria orgânica nos sedimentos foi medida pelo método de perda de peso por ignição a uma temperatura de 410°C durante 16 horas



(SCHUMACHER, 2002). Utilizaram-se 5 gramas de sedimentos lamosos após a secagem na estufa a 50° C. As lâminas para microscopia óptica foram confeccionadas com 25 µl de amostra extraídos com o auxílio de uma pipeta automática de volume fixo.

A contagem das biomineralizações foi feita em 3 transectos de cada lâmina, usando um microscópio óptico Zeiss com aumento de 500x e 630x. A identificação taxonômica das espículas de esponja foi realizada por meio da observação sistemática das lâminas e da distinção entre os diferentes elementos do esqueleto da esponja (megascleras, gemoscleras e microescleras) (MANCONI & PRONZATO, 2002; VOLKMER-RIBEIRO & PAROLIN, 2010). A identificação das diferentes espécies seguiu a chave de identificação das esponjas da Classe Demospongiae (SOLLAS, 1885; VOLKMER-RIBEIRO, 1985). As espículas de esponjas marinhas detectadas foram identificadas com base em Hopper e Soest (2002). As frústulas de diatomáceas foram identificadas com base no sistema proposto por Round et al. (1990) para classificação sistemática das espécies, e no catálogo de Moro & Fürstengerger (1997), para informações a respeito do hábito das espécies.

A contagem de fitólitos incluiu aqueles com significância taxonômica (classificáveis) e sem significância taxonômica (não classificáveis), devido à dissolução ou fragmentação. Para a classificação dos morfotipos buscou-se atingir, no mínimo, um total de 200 fitólitos de diâmetro superior a 5µm. Os resultados são apresentados como porcentagens do total de fitólitos classificáveis, seguindo a classificação proposta pelo ICPN (International Code for Phytolith Nomenclature) 2.0, de Neumann et al. (2019). Foi calculado o índice D/P (Dicotiledôneas lenhosas/ Poaceae), que mede a densidade de cobertura arbórea e é calculado: $D/P = [SPHEROID\ ORNATE / (short\ cells + ACUTE\ BULBOSUS + BULLIFORM\ FLABELLATE + BLOCKY)]$. Os bivalves foram identificados no nível taxonômico mais baixo possível, seguindo características da concha como forma, tipo de dobradiça e escultura, presença e formato de cicatrizes musculares, seio palial e linha palial e com base em Rios (1994), Amaral et al. (2005), Mikkelsen e Bieler (2007), Souza et al. (2011), Worms (2020).

Foram selecionadas 5 amostras para datação por radiocarbono. Alguns gramas (1–2g) de sedimento de cada profundidade selecionada foram amostrados. Após a remoção física das raízes e folhas, a matéria orgânica do solo (MOS) foi separada após tratamento com ácido clorídrico a 90°C. A preparação da amostra foi realizada no Laboratório de Radiocarbono - LAC-UFF (MACARIO et al., 2015) e a medição foi realizada no Centro



de Estudos de Isótopos Aplicados (CAIS) da Universidade da Geórgia, EUA, com sistema de 0,5 MV da NEC. As idades do radiocarbono foram calibradas usando a curva do hemisfério sul SHCal13 (HOGG et al., 2013) dentro do software OxCal. 4.3 (BRONK RAMSEY, 2009a, b).

REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos de reconstituição paleoambiental com bioindicadores têm se mostrado promissores, em particular quando se trata de uma abordagem multiproxy. Neste trabalho, a análise multiproxy foi feita com base nas biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos). Entende-se por biomineralizações o processo pelo qual são formados minerais, substâncias amorfas ou mineraloides, a partir do metabolismo de organismos vivos, desde procariontes a eucariontes, inclusive humanos (Lowestán, 1981; Weiner e Dove, 2003). As biomineralizações constituem verdadeiros repositórios, que indicam os tipos de organismos que os originaram (espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas) e a vegetação que ali se desenvolveu (fitólitos), o que possibilita fazer inferências a respeito do ambiente pretérito tendo como referência as características taxonômicas identificadas com base nas biomineralizações (Osterrieth, 2006). No Brasil, na última década, muitas pesquisas paleoambientais têm sido feitas a partir do estudo de biomineralizações. O que reforça a importância e a eficácia desses indicadores para este fim (Rezende, 2010; Calegari et al., 2013, 2015, 2017a, 2017b; Coe et al., 2013, 2014, 2015, 2017, 2017b, 2017c; Paisani et al., 2013; Augustin et al., 2014; Kalinovski, 2015; Lorente et al., 2015; Santos et al., 2015, 2017; Barros et al., 2016; Freitas, 2011; Rasbold et al., 2016, 2019, 2020; Santos-Fischer et al., 2016; Parolin et al., 2017; Chueng et al., 2018, 2019, 2020; Ricardo et al., 2018; Ruwer e Rodrigues, 2018; Ramírez et al., 2019; Salgado et al., 2021; Machado et al., 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sondagem foi realizada em uma área de formação turfosa distante 0,70 km ao norte do mar, localizada na margem leste de um antigo canal próximo à retaguarda da barreira holocênica. Foram analisadas as seguintes profundidades: 11,20-11,30m; 10,40-10,50m; 9,20-9,30m; 8,30-8,40m; 7,60-7,70; 6,90-7,00m; 6,20-6,30m; 5,30-5,40m; 4,90-5,00m; 3,90-4,00m; 2,90-3,00m; 1,90-2,00m; 0,90-1,00m; 0,0-0,10m.



Os sedimentos são predominantemente lamosos, com presença de areia grossa, muito grossa e cascalhos angulosos e subangulosos, em especial a 1m de profundidade. O aumento no tamanho dos grãos sugere um incremento na energia do ambiente. Na superfície, a quantidade de sedimentos finos volta a aumentar (99%), indicando um retorno às condições de baixa energia observadas anteriormente. A cor dos sedimentos é predominantemente cinza, com pouca variação ao longo dos 12m. O teor de COT apresentou variações da base até o topo da sondagem, ficando em torno de 14% até os 8,3m, possivelmente em decorrência da maior quantidade de biomassa presente e ao predomínio de sedimentos finos (96%); reduzindo para cerca de 5% entre os 8,3m e 1m. A partir de 1m, volta a aumentar, chegando a 35% na superfície, aumento que pode estar associado à matéria orgânica moderna (Tabela 1 e Figura 2).

Tabela 1 – Resultados das análises de sedimentos coletados na Sondagem 3 na planície costeira de Itaipuaçu

Prof. (m)	Cor (Carta de Munsell)*1	Cas. (%)	Areia (%)	Lama (%)	Classificação textural (Folk, 1954 apud McLane, 1995)	Granulometria predominante	Selecionamento
0 - 0,1	10YR 2/2 <i>Very dark brown</i>	0	1	99	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
0,9 – 1,0	10YR 2/1 <i>Black</i>	23,71	56,39	19,9	Areia	AMG	PS
1,9-2,0	2.5Y 4/1 <i>Dark gray</i>	0	17,4	82,6	Lama	Silte grosso	PS
2,9-3,0	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	6,14	93,86	Lama	Silte muito grosso	MPS
3,9-4,0	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	11,64	88,36	Lama	Silte grosso	PS
4,9-5,0	2.5Y 4/1 <i>Dark gray</i>	0	9,54	90,46	Lama	Silte muito grosso	PS
5,3-5,4	2.5Y 6/1 <i>Gray</i>	0	4,14	95,86	Lama	Silte muito grosso	PS
6,2-6,3	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	7,8	92,2	Lama arenosa	Silte muito grosso	MPS
6,9-7,0	2.5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	9,24	90,76	Lama	Silte grosso	PS
7,6-7,7	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	11,4	88,6	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
8,3-8,4	2.5Y 4/1 <i>Dark gray</i>	0	3,68	96,32	Lama	Silte muito grosso	PS
9,2-9,3	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	13,12	86,88	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
10,4-10,5	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	18,79	81,21	Lama	Silte grosso	PS
11,2-11,5	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	7,19	92,81	Lama	Silte grosso	PS

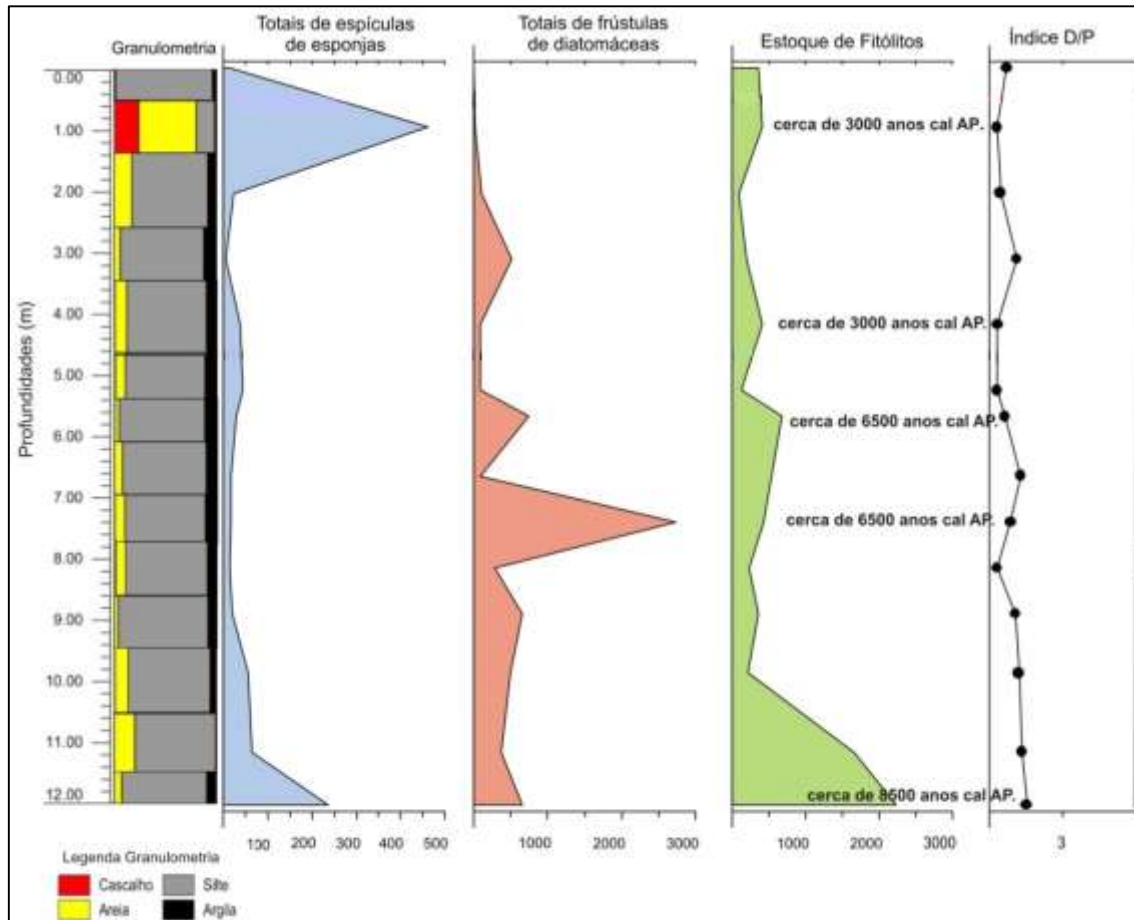


Figura 2 – Granulometria e totais de biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos).

Foram encontradas espículas de esponjas em todas as profundidades analisadas, num total de 1198 unidades, das quais apenas 13,5% estavam intactas. Predomina a presença de megascleras, porém também foram identificadas espículas de esponja marinha e gemoscleras na maioria das amostras analisadas, com exceção das profundidades 7,6-7,7m e 2,9-3,0m. As maiores concentrações de espículas de esponjas estão na base e na profundidade 0,9-1,0m, onde foram observadas 71 megascleras, 54 gemoscleras do gênero *Anheteromeenya*, além de 1 espícula de esponja marinha. Também foi encontrada gemosclera do gênero *Corvoheteromeenya* na profundidade de 6,2-6,3m. (Figura 3 e Tabela 2).

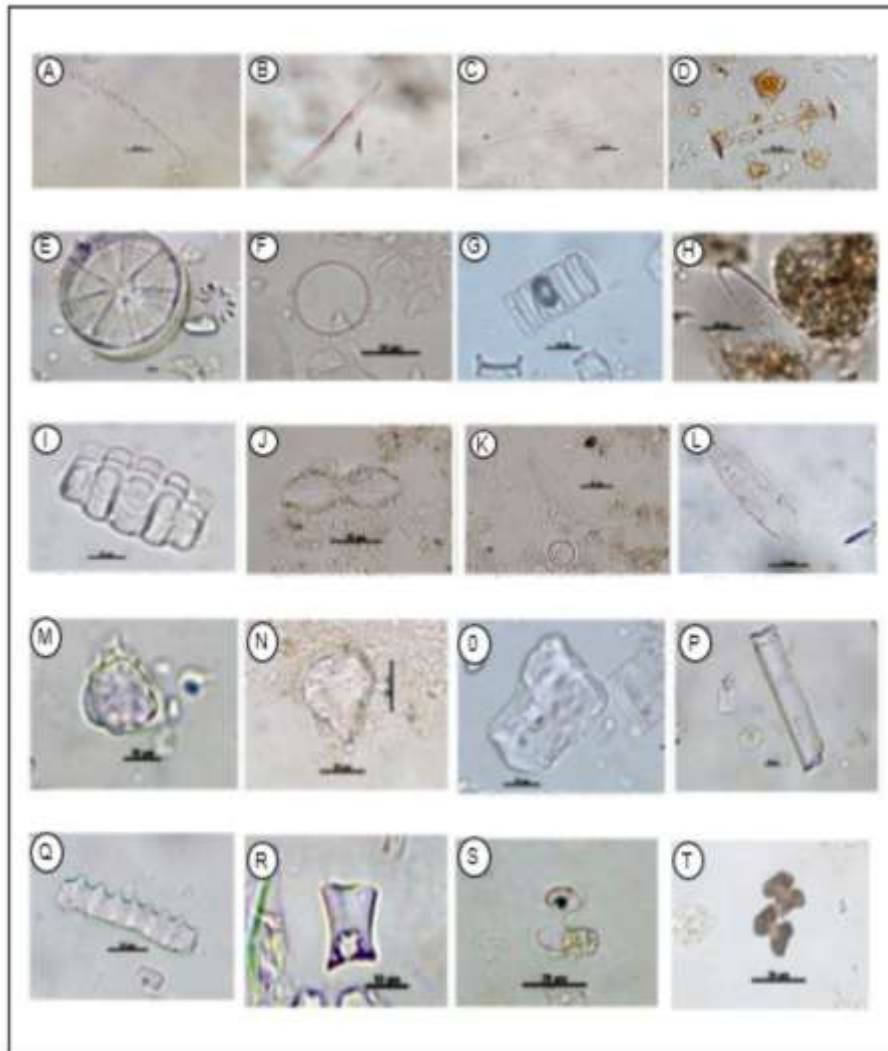


Figura 3 – Biomineralizações de sílica. **Espículas de esponjas:** (A, B) Gemoscleras de *Anheteromeenya* sp.; (C) Espícula de esponja marinha. (D) Gemosclera de *Corvoheteromeyenya* sp. **Frústulas de diatomáceas:** (E) *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs; (F) *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve; (G) Colônia de *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve; (H) *Plagiogramma staurophorum*; (I) *Terpsinoë americana* (Bailey); (J) Gênero *Diploneis*; (K) Gênero *Rhopalodia*; (L) *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing. **Fitólitos:** (M) SPHEROID ORNATE; (N) BULLIFORM FLABELLATE; (O) BLOCKY; (P) ELONGATE; (Q) ELONGATE DENTATE ONE SIDE; (R) TRAPEZOID; (S) BILOBATE; (T) BILOBATE BROWN.

Tabela 2 – Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da Sondagem.

Profundidade ^a	FITÓLITOS											ESPÍCULAS DE ESPONJA ^b							FRÚSTULAS DE DIATOMÁCEAS ^b						
	Tipos (%)											Fitólitos classificáveis ^b	Fitólitos não classificáveis ^b	Totais de Fitólitos ^b	Índice D/P*	Megascleras Inteiras	Megascleras Fragmentadas	Gemoscleras Inteiras	Gemoscleras Fragmentadas	Marinhas Inteiras	Marinhas Fragmentadas	Totais	Inteiras	Fragmentadas	Totais
	BLOCKY	BULLIFORM FLABELLATE	ORNATE	PSILATE	ECHINATE	E LONGATE	A CUTE BULBOSUS	BILOBATE	RONDEL	Outros short cells (S ADDLE + CROSS)	T RAPEZIFORM														
0,00-0,10	7,2	4,6	36,8	0,0	7,9	24,0	1,6	1,0	0,0	0,0	16,8	304	54	358	1,18	0	5	0	8	0	0	13	0	0	0
0,90-1,00	21,6	10,2	25,9	0,0	11,1	12,0	8,3	1,2	0,0	0,0	9,6	324	84	408	0,51	71	250	54	84	1	0	460	0	13	13
1,90-2,00	22,9	11,4	34,3	0,0	14,3	5,7	7,1	0,0	0,0	0,0	4,3	70	18	88	0,75	4	17	1	0	0	22	34	67	101	
2,90-3,00	2,4	0,0	61,9	0,0	2,4	2,4	23,8	2,4	0,0	0,0	4,8	126	75	201	1,86	0	6	0	0	0	6	240	270	510	
3,90-4,00	17,5	4,4	27,5	0,9	16,6	6,9	8,4	1,9	1,3	0,9	13,8	320	103	423	0,57	3	34	0	1	0	1	39	18	59	77
4,90-5,00	26,9	13,5	29,8	0,0	6,7	5,8	5,8	3,8	1,0	0,0	6,7	104	30	134	0,52	1	41	0	1	0	2	45	59	22	81
5,30-5,40	30,3	4,5	43,9	0,0	5,3	9,1	6,1	0,8	0,0	0,0	0,0	396	285	681	1,05	0	23	0	0	1	4	28	651	96	747
6,20-6,30	13,9	0,9	59,3	0,0	10,2	2,8	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	324	219	543	2,13	6	7	1	0	0	4	18	44	42	86
6,90-7,00	15,6	2,2	54,4	0,0	5,6	2,2	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	270	168	438	1,44	0	15	0	0	0	1	16	2070	660	2730
7,60-7,70	18,3	8,6	28,6	1,7	5,1	11,4	8,6	4,0	1,7	0,6	11,4	175	66	241	0,54	0	15	0	0	0	0	15	244	40	284
8,30-8,40	11,6	2,3	55,8	0,0	5,8	7,0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	258	96	354	1,78	2	9	6	3	0	0	20	324	336	660
9,20-9,30	11,8	0,0	66,7	0,0	0,0	0,0	17,6	3,9	0,0	0,0	0,0	153	60	213	2,00	6	42	1	0	1	6	56	315	180	495
10,40-10,50	5,6	4,6	56,1	0,0	9,7	8,7	0,5	5,1	4,6	1,5	3,6	1176	492	1668	2,20	2	3	0	3	0	0	8	294	78	372
11,20-11,50	8,6	5,2	53,4	1,3	12,1	12,1	0,4	1,3	0,4	0,9	4,3	1392	840	2232	2,53	0	450	0	0	1	1	452	534	126	660

a=metros;; b= unidades / *Índice D/P = [SPHEROID ORNATE / (short cells + ACUTE BULBOSUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY)]



Foi encontrada grande quantidade de frústulas de diatomáceas (6.816 no total) com alto grau de preservação (71%), evidenciando deposição em ambiente com pouca competência para o retrabalhamento dos materiais depositados. Chama a atenção o predomínio de frústulas de diatomáceas intactas em 10 das 14 amostras analisadas, representando, em muitos casos, mais da metade dos registros encontrados. A maior quantidade de frústulas de diatomáceas foi encontrada na profundidade de 6,9-7,0m.

Das frústulas encontradas, a maioria corresponde a espécies de diatomáceas marinhas, próprias de áreas litorâneas de mares calmos e tropicais, bem como a algumas espécies eurihalinas. Destacando-se a *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (inclusive formando colônias), a *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, a *Plagiogramma staurophorum*, a *Terpsinoë americana* (Bailey) e espécies associadas aos gêneros *Cyclotella*, *Diploneis*, *Rhopalodia* e *Navicula* (essas duas últimas de característica bentônica e de águas salobras). Também foram observados alguns poucos registros de frústulas da espécie *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg e dos gêneros *Amphora*, *Staurosira*, *Staurosirella* e *Dimeregramma*. (Figura 3). Grande quantidade de fitólitos foi encontrada nas 2 amostras da base da sondagem. Ao longo de toda a sondagem o grau de preservação dos fitólitos foi alto, com índices acima de 58%, o que sugere a existência de um ambiente de deposição com o predomínio de condições de baixa energia. Além disso, a granulometria com elevado teor de sedimentos finos pode ter favorecido a preservação dos fitólitos. Da base até a profundidade 5,30-5,40m, o morfotipo de fitólito mais frequente foi o SPHEROID ORNATE, característico de dicotiledôneas lenhosas. De 5m até o topo passam a predominar morfotipos característicos de gramíneas como o BULLIFORM FLABELLATE, BLOCKY, ELONGATE e ACUTE BULBOSUS, além do registro de alguns *short cells*, destacando-se os TRAPEZOID e BILOBATE. Essa mudança no predomínio dos morfotipos é também evidenciada pelos valores nos índices D/P. Da base até os 5,30-5,40m os índices ficam, na maioria, entre 1,05 e 2,53; a partir dos 5m até o topo, há uma queda no índice D/P, predominando valores abaixo de 1,0 (Figura 3 e Tabela 2).

A presença marcante de bioindicadores aquáticos (espículas de esponja e frústulas de diatomáceas) na base da sondagem (cerca de 8.500 anos cal AP), sugere a existência de um ambiente de deposição aquoso, possivelmente uma pequena laguna rasa, conectada ao mar por meio de canal de maré. O registro de bivalves da espécie *Anomalocardia flexuosa*, característica de ambientes de águas pouco profundas, lagoas rasas ou próximas



a estuários (SOUZA, 2011), bem como o predomínio de gemoscleras associadas a *Anhetereomeenya* sp., gênero de esponja de água doce que vive em lagoas rasas, conforme Buso Jr. *et al.* (2012), são evidências que ajudam a confirmar a existência dessa antiga laguna, hoje colmatada, na região.

A origem dessa laguna pode estar associada ao afogamento e represamento de antigos canais fluviais que cortavam a planície costeira de Maricá, num período em que o nível do mar estava abaixo do atual (MARTIN *et al.*, 1998; ANGULO *et al.*, 2006). A predominância de gemoscleras de esponjas continentais é também um indicativo de que este ambiente sofreu forte influência de processos fluviais. Por outro lado, a ocorrência de bioindicadores cujas espécies são de origem marinha sugere que este ambiente esteve submetido à dinâmica de abertura e fechamento de canais de maré, que ora favoreceu ora restringiu a entrada desses organismos. Pereira *et al.* (2003), Pereira (2009), Silva *et al.* (2014a) e Silvestre *et al.* (2015) já haviam mapeado canais de maré em subsuperfície no litoral de Maricá.

Considerando que a fração predominante da base até a profundidade de 1m é de sedimentos finos, a redução na quantidade de espículas de esponjas observada entre a base e esta profundidade pode estar associada a uma redução gradativa da umidade, que teria diminuído o aporte fluvial. A hipótese de mudanças, no que diz respeito a maior ou menor umidade, também pode ser explicada pela variação dos morfotipos predominantes e pelo acentuado acúmulo de fitólitos. A grande quantidade de fitólitos na base (a maior de toda a sondagem), indica a presença de uma vegetação muito densa. A biomassa produzida pela vegetação existente no entorno, incluindo a mata de encosta que ocupava as vertentes e a mata de transição entre a restinga e a encosta, em torno dos 8.500/8.000 anos AP, foi sendo acumulada nesse ambiente de deposição, dando origem a uma grande quantidade e variedade de fitólitos, com predomínio dos característicos de dicotiledônea lenhosa (SPHEROID ORNATE), o que remete à presença de uma vegetação bastante densa. A partir de cerca de 5,40m até aproximadamente 1m de profundidade, além de haver redução na quantidade de fitólitos encontrada, torna-se maior o predomínio de morfotipos de fitólitos associados às gramíneas, corroborando a hipótese da existência de um ambiente menos úmido nesse período (em torno dos 6.500 anos AP a 3.000 anos AP).

Em torno de 1m de profundidade até o topo (após 3.000 anos AP), o índice D/P apresenta novamente uma tendência de aumento (1,18), e volta a ocorrer com mais frequência o morfotipo de fitólito SPHEROID ORNATE, ainda que em proporções bem



menores do que as encontradas na base, principalmente por se tratar de amostras menos profundas. Essa alternância, ora com o predomínio de morfotipos característicos de dicotiledôneas lenhosas, ora com o de gramíneas, é um indicativo de mudanças no tipo da formação vegetal, associadas a condições de maior ou menor umidade no ambiente, em decorrência da variação nos índices pluviométricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais se observa que estudos realizados com diferentes proxies têm mostrado grande eficácia para a compreensão das mudanças paleoambientais, proporcionando melhor conhecimento a respeito do processo de evolução ambiental de diferentes áreas, incluindo as litorâneas. Nesse contexto, a análise de bioindicadores terrestres e marinhos nesta pesquisa pode oferecer informações que se complementaram e possibilitaram compreender as características ambientais e as mudanças ocorridas na composição vegetal, nas condições de umidade e na hidrodinâmica nesse trecho do litoral de Maricá. Estudos de tal natureza são importantes na medida em que contribuem para aprofundar o conhecimento a respeito da dinâmica e evolução de ambientes costeiros deposicionais e de sua complexidade.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. Z., RIZZO, A. E., ARRUDA, E. P. Manual de identificação dos invertebrados marinhos da região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2005, 287p.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C., SOUZA, M.C. A critical review of mid-to late-Holocene sealevel fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25, 486506, 2006.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; COE, H. H. G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J. G. Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. *Géomorphologie (Paris)*, v.4, p.355 - 376, 2014.
- BARROS, L. F. P.; COE, H. H. G.; SEIXAS, A. P.; MAGALHÃES, A. P.; MACARIO, K. C. D. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. v. 67, p.71 - 88, 2016.



BRONK RAMSEY, C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(1):337–60. 2009a.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; TORRADO, P. V.; PESSENDA, L. C.; MARQUIS, F. A. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. *Quaternary international*. v. 287, p. 47–55, 2013.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BUSO JR, A. A.; OSTERRIETH, M. L.; LORENTE, F. PESSENDA, L. C. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State, Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. v. 6, p. 01–10, 2015.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L. T.; PESSENDA, L. C.; BUSO JR, A. A.; FRANCISQUINI, M. I.; BENDASSOLI, J. A.; TORRADO, P. V. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary International*. v. 437, parte B, p. 156–164, 2017a.

CALEGARI, M. R.; PAISANI, S. D. L.; CECCHET, F. A.; EWALD, P. L. L.; OSTERRIETH, L.; PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E. Phytolith signature on the Araucarias Plateau – Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). *Quaternary International*. v. 434, parte B. p. 117–128, 2017b.

CHUENG, K. F.; COE, H. H.G.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A.M.C.; RICARDO, S.D.F. Reconstituição Paleoambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da Análise de Fitólitos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11, 2260–2275. 2018.

CHUENG, K. F.; COE, H. H.G.; AUGUSTIN, C. H.R.R.; MACARIO, K.D.; RICARDO, S.D.F.; VASCONCELOS, A.M.C. Landscape paleodynamics in siliciclastic domains with the use of phytoliths, sponge spicules and carbon isotopes: the case of southern Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. *J. S. A.* 2019.

CHUENG, K. F. Reconstituição Paleobiogeoclimática de Áreas Arqueológicas e Turfeiras na Serra do Espinhaço Meridional, MG, através de biomineralizações de sílica. PhD Thesis. Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil. 2020.

COE, H. H. G.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C. N.; SANTOS, G. M.; SILVA, A. S.; SOUSA, L. O.F.; LEPSCH, I. F. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio



(Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. *Quaternary International*, v. 287, p. 63 - 72, 2013.

COE, H. H. G.; MACARIO, K.; GOMES, J. G.; CHUENG, K. F.; OLIVEIRA, F.; GOMES, P. R.S.; CARVALHO, C.; LINARES, R.; ALVES, E.; SANTOS, G. M. Understanding Holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 415, p. 59 - 68, 2014.

COE, H. H. G.; RAMOS, Y. B. M.; SANTOS, C. P.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P.; BORRELLI, N. L.; SOUSA, L.O.F. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Maricá, Rio De Janeiro, Brazil. *Quaternary International*, v. 388- 89, p. 1 - 12, 2015.

COE, H. H. G.; SOUZA, R. C. C. L.; DUARTE, M. R.; RICARDO, S. D. F.; MACHADO, D. O. B. F.; MACARIO, K. C. D.; SILVA, E. P. Characterisation of phytoliths from the stratigraphic layers of the Sambaqui da Tarioba (Rio das Ostras, RJ, Brazil). *Flora*, v. 236-237, p. 1 - 8, 2017.

COE, H.H.G.; SOUZA, R.C.L.; DUARTE, M.R; RICARDO, S.D.F.; MACHADO, D.O.B.F.; MACARIO, K. C. D.; SILVA, E. P. Characterisation of phytoliths from the stratigraphic layers of the Sambaqui da Tarioba (Rio da Ostras, RJ, Brazil). *Flora*, 236-237, 1-8, 2017b.

COE, H.H.G.; RICARDO, S.D.F.; SOUSA, L.O.F.; DIAS, R.R. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 08(2):09-21, 2017c.

COE, H. H. G.; RAMOS, Y.B.M; SILVA, A.L.C; GOMES, E.; SOUSA, L.O.F.; MACARIO, K.D.; DIAS, R.R. Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. *Revista Brasileira de Geografia Física* v11, n.02, p. 456-476, 2018.

COE, H.H.G., MACHADO, D.O.B.F., CHUENG, K.F., RICARDO, S.D.F. Fitólitos de Sedimentos e Plantas – Métodos De Extração E Suas Aplicações. In: Sales, F.O. (Eds) *Ciências Exatas e da Terra: Exploração e Qualificação de Diferentes Tecnologias 3*, Atena, Ponta Grossa, Paraná, Brazil, 134 - 149. 2021. DOI: 10.22533/at.ed.12321130111.
FREITAS, A. Registro palinológico e mudanças ambientais holocênicas na península de



Armação dos Búzios, Região dos Lagos - RJ, BRASIL. Tese de Doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2011.

HOGG, A.G.; HUA, Q.; BLACKWELL, P.G.; NIU, M.; BUCK, C. E.; GUILDERTSON, T.P.; HEATON, T.J.; PALMER, J.G.; REIMER, P.J.; REIMER, R.W.; TURNEY, C. S.M.; ZIMMERMAN, S.R.H. SH Cal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50, 000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4), 1889–1903. 2013.

IRELAND, S. The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil. In: *Sea Level Changes*. TOOLEY, M. e SHENNAM, I. (Eds.). Oxford: Brazil Blackwell Ltd., 25-66, 1987.

KALINOVSKI, E. C. Z. Paleoambientes quaternários da planície do Ria Iapó. Castro, Paraná. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 2015.

LORENTE F. L., PESSEDA L. C. R. CALEGARI M. R., COHEN M. C. L., ROSSETTI D., GIANNINI P. C. F., BUSO JR. A. A., CASTRO D. F., FRANÇA M. C., BENDASSOLLI J. A., MACARIO K.D. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06(1): 01-15. 2015.

LOWENSTAN, H. A. Minerals formed by organisms. *Science*, 211: 1126-1131. 1981

MACHADO, D. O. B.; CHUENG, K. F.; COE, H. H. G.; SILVA, A. C.; COSTA, C. R. Paleoenvironmental reconstruction of the headwaters of the preto river, Minas Gerais state, Brazil, through siliceous bioindicators. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 108, p. 103349, 2021.

MACARIO, K. D.; OLIVEIRA, F. M.; CARVALHO, C.; SANTOS, G. M.; XU, X.; CHANCA, I. S.; ALVES, E. Q.; JOU, R. M.; OLIVEIRA, M. I.; BRANDAO, B.; MOREIRA, V. N.; MUNIZ, M.; LINARES, R.; GOMES, P. R. S.; ANJOS, R. M.; CASTRO, M. D.; ANJOS, L.; MARQUES JR., A. N.; RODRIGUES, L. F. Advances in the graphitization protocol at the Radiocarbon Laboratory of the Universidade Federal Fluminense (LAC-UFF) in Brazil. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms (Print)*, v. 361, p. 402-405, 2015.

MANCONI, R. e PRONZATO, R. Suborder Spongillina subord. nov.: Freshwater Sponges. In: *Systema Porifera*, 2002. p. 921-1019. 2002.

MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.J.; SUGUIO, K. Oscillations or not oscillations, that is the question: Comment on Ângulo, R.J. and Lessa, G.C. "The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis ont



the curves from the Paranaguá and Cananéia regions” [Marine Geology, 140, 141-166].
Marine Geology, 150, p. 179-187, 1998.

MIKKELSEN, P; M.; BIELER. Seashells of Southern Florida: Living Marine Mollusks of the Florida Keys and Adjacent Regions. Bivalves. New Jersey: Princeton University Press, 2007. NEUMANN, K., STRÖMBERG, C.A.E., BALL, T., ALNBERT, R.M., VYDAGHS, L., CUMMINGS, L. S. International code for phytolith nomenclature 2.0. Ann. Bot. 124, p. 189–199. 2019. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>.

OSTERRIETH, M. Ciclo biogeoquímico del Silicio: Biomineralizaciones silíceas. J. Gallardo Lancho Ed. T(II): Medioambiente en Iberoamérica, 2006. p. 583-590.

PAISANI, J. C.; CALEGARI, M.; PONTELLI, M. E.; PESSEDA, L.; CORRÊA, A. C. B.; PAISANI, S. D. L.; RAITZ, E. The Role of Late Quaternary Climate Change in the Evolutionary Dynamic of Second-Order Paleovalley (Southern Brazil). Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 14, nº 1, 2013.

PAROLIN, M., MONTEIRO, M. R., COE, H. H. G., COLAVITE, A. P. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. Revista do Departamento de Geografia (USP), v. SBGFA, 96 - 103, 2017.

PEREIRA, A.J.; GAMBOA, L.A.P.; SILVA, M.A.M.; RODRIGUES, A.R.; COSTA, A. A utilização do Ground Penetrating Radar (GPR) em Estudos de Estratigrafia na Praia de Itaipuaçu – Maricá (RJ). Revista Brasileira de Geofísica. Niterói: EDUFF, v. 21 (2), 1163171, 2003.

RAMÍREZ, A.I.A.; RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J:C. Phytoliths and seeds in fluvial island paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). Journal of South American Earth Sciences 89 (2019) 30–38.

RASBOLD, G.G; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, Turvo, Estado do Paraná, Brasil. Rev. Brasileira de Paleontologia. 19(2):315-324, Maio/Agosto 2016.

RASBOLD, G.G.; McGLUE. M.M.; STEVAUX, J:C.; PAROLIN, M.; SILVA, A.; BERGIER, I. Sponge spicule and phytolith evidence for Late Quaternary environmental changes in the tropical Pantanal wetlands of western Brazil. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 518, p. 119–133. 2019.

RASBOLD, G.G.; STEVAUX, J:C.; PAROLIN, M.; LELI, I.T.; LUZ, L.D.; BRITO, H.D. Phytoliths indicate environmental changes correlated with facies analysis in a paleo



island-lake, Upper Paraná River, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 99, p.1-8. 2020.

REZENDE, A.B. Espículas de esponjas em sedimentos de lagoa como indicador paleoambiental no NW do Estado do Paraná. Tese de Doutorado. Guarulhos, 2010.

RICARDO, S. D. F.; COE, H. H. G.; DIAS, R. R.; SOUSA, L. O. F.; GOMES, E. Reference collection of plant phytoliths from the Caatinga biome, Northeast Brazil. *Flora*, v. 249, p. 1 - 8, 2018.

RIOS, E. C. Seashells of Brazil. 2ª ed. Rio Grande: FURG, 1994, 492p.

ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. *The diatoms: Biology & Morphology of the Genera*. New York: Cambridge University Press, 747p., 1990.

RUWER, D. T. e RODRIGUES, L. Abundance of *Diadesmis confervacea* Ku" tzing and *Eunotia camelus* Ehrenberg indicates the historical water level variation in a marsh. *Brazilian Journal of Botany*, 2018.

SALGADO, E. T.; MIZUSAKI, A. M. P.; CHUENG, K. F.; COE, H. H. G.; PACHECO EVALDT, A. C.; BAUERMAN, S. G. Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of a native ecosystem on the coastal plain of southern Brazil through multi-proxy analysis. *Journal of South American Earth Sciences*, v.106, p. p. 1-16, 2021.

SANTOS, C.P., COE, H.H.G., BORRELLI, N., SILVA, A.L.C., SOUSA, L.O.F., RAMOS, Y.B.M., SILVESTRE, C.P., SEIXAS, A.P. Opal Phytolith and Isotopic Studies of "Restinga" Communities on the Coastal Plain of Maricá, RJ, Brazil, as a Modern Reference for Paleobiogeoclimatic Reconstruction. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 63(3), 255-270, 2015.

SANTOS, C. P. ; COE, HELOISA H.G. ; RAMOS, Y. B. M. ; SOUSA, L.O.F. ; SILVA, A. L. C. ; FREIRE, D. G. ; SILVESTRE, C. P. . Caracterização das comunidades vegetais na Restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. *Revista Tamoios*, v. 1, p. 121-135, 2017.

SANTOS-FISCHER, C.B., CORRÊA, I.S.C.; WESCHENFELDER, J.; TORGAN, L.C.; STONE, J.R. Paleoenvironmental insights into the Quaternary evolution of the southern Brazilian coast based on fossil and modern diatom assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2016. 446: 108-124.

SCHUMACHER, B.A. *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments*. Las Vegas: United States Environmental Protection Agency,



Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development, 1-25. 2002.

SILVA, A.L.C., SILVA, M.A.M., GAMBOA, L.A.P., RODRIGUES, A.R.: Sedimentary architecture and depositional evolution of the quaternary coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. J. Geol.* 44, 191–206 (2014a).

SILVA, A.L.C., SILVA, M.A.M., GRALATO, J.C.A., SILVESTRE, C.P.: Caracterização geomorfológica e sedimentar da planície costeira de Maricá (Rio de Janeiro). *Rev. Bras. Geomorfologia* 15, 231–249 (2014b).

SILVESTRE, C. P.; SILVA, A. L. C. A utilização do georadar em estudos de evolução de ambientes costeiros: litoral de Maricá (Rio de Janeiro). *Revista Equador*, v. 4, p. 1318-1325, 2015.

SOUZA, R. C. C. L.; LIMA, T. A.; SILVA, E. P. Conchas marinhas de sambaquis do Brasil. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, v. 1. 2011. 254p.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAROLIN, M. As esponjas. In PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J.A. (Orgs.) *Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná*. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, p. 105-130. 2010. WEINER, S & DOVE, P.M. Na overview of biomineralization processes and the problem of the vital effect. *Rev. Mineral Geochem*, 54:1-29. 2003.

WORMS (2020). Bivalvia. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105>.