UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE – UFF INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – LAGEMAR PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

CÁTIA PEREIRA DOS SANTOS

RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DE MARICÁ, RJ, COM BASE EM BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA

CÁTIA PEREIRA DOS SANTOS

RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DE MARICÁ, RJ, COM BASE EM BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor. Área de Concentração: Biogeoquímica.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Heloisa Helena Gomes Coe

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva

Coorientadora: Prof. a Dr. a Margarita Osterrieth

Niterói - RJ 2018

CÁTIA PEREIRA DOS SANTOS

RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DE MARICÁ, RJ, COM BASE EM BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA

> Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Tema, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor Área de Concentração Biogequímica.

Aprovada em 02 de abril de 2018.

BANCA EXAMINADORA
Hodgise Hodina Pengu Col
Prof.* Dr.* Heloisa Helena Gomes Coe - Orientadora
Universidade Federal Fluminense - UFF
Andri Bring & S. Sle
Prof. Dr. Andre Luiz Canglillo-da Silva, L'occnentador
Universidade do Estado do No de Janeiro - UERJ
Prof Dr Chargania Onterneth - Coonentadors
Universidad Nacional de Mar Del Plata - UndMP
Prof. Dr. Alberto Garcia de Figueirodo Jr., Ph. D.
Universidade Federal Flummense – UFF
Corbo mould bounds Cangel
Prof. Dr. Carlos Marcle: Amuda Rangel
Universidade Federal Fluminense - UFF
Prof. Dr. Rodingo Countrio Abuchacra
Prof. Dr. Rodingo Coutinho Abuchacra
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
1
Prof St Manne Farcing
Universidade Estadual do Parana - UNESPAR
Allas Mer terena
Dr. Alipio José Pereira
CENPES'- PETROBRAS

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG Gerada com informações fornecidas pelo autor

S237r Santos, Cátia Pereira dos
Reconstituição paleoambiental da planície costeira de
Maricâ, RJ, com base em biomineralizações de sílica /
Cátia Pereira dos Santos ; Heloisa Helena Gomes Coe,
orientadora ; André Luiz Carvalho da Silva, coorientador.
Niterói, 2018.
241 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

DOI: http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT .2018.d.01214726712

1. Paleoambiente. 2. Bioindicadores. 3. Ambientes costeiros. 4. Holoceno. 5. Produção intelectual. I. Coe, Heloisa Helena Gomes, orientadora. II. Silva, André Luiz Carvalho da, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer àqueles sem os quais nada aconteceria em minha vida:

A Deus, pela minha existência, pela família que me deu, pelo amparo nos momentos mais difíceis, por colocar no meu caminho pessoas verdadeiramente iluminadas e amigas, por me proporcionar o privilégio deste aprendizado enriquecedor e pelas oportunidades que tenho tido ao longo da vida.

À minha família, pelo apoio, paciência e compreensão nesta trajetória. A meus pais, por tudo que fizeram por mim, para que eu chegasse até onde cheguei. Os maiores ensinamentos que tive na vida me foram dados por eles.

A conclusão de um trabalho de doutorado é resultado da colaboração e dedicação de muitas pessoas. Nada conseguimos sozinhos. Ter chegado ao fim deste trabalho é motivo de agradecimento a muitas pessoas que contribuíram para esta conquista. A lista não é pequena e espero não esquecer de ninguém.

Quero começar por três pessoas que foram mais do que orientadores:

À amiga e mais que orientadora, Prof^{a.} Dr^a. Heloisa Helena Gomes Coe, pessoa que nunca mediu esforços, que sempre se colocou à disposição, inclusive nos finais de semana e feriados, para sentarmos e trabalharmos. Pesquisadora dedicada, competente e sempre disposta a compartilhar seus ensinamentos. Obrigada pela amizade, pelo apoio e pela compreensão em momentos delicados vividos ao longo desta trajetória. Sem dúvida alguma, tê-la como orientadora me ajudou a trilhar este caminho. Sou grata por todo aprendizado que tive ao longo deste período e, certamente, pelo que continuarei tendo.

Ao Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva, dizer que foi meu co-orientador é pouco. Pessoa com quem também pude contar em todo momento, incluindo finais de semana e feriados. Pessoa competente, muito exigente, mas também amigo e incentivador. É duro ser cobrado, mas a cobrança nos faz crescer, aprimorar. Sei que toda a cobrança foi por perceber e acreditar que eu poderia dar o meu melhor. Agradeço por sua dedicação e pelo aprendizado que pude ter. Sei que ainda tenho muito a aprender com você.

À Prof^a.Dr^a. Margarita Osterrieth, outra pessoa com quem aprendi muito e a quem devo esta conquista. Ter um orientador e um co-orientador já é difícil, imagina quando se tem uma orientadora e dois co-orientadores (*rs*)?! Margarita, agradeço por todo carinho e atenção dedicados a mim e ao meu trabalho. Sei o quanto é uma pessoa ocupada e ainda assim, não se

absteve de encontrar tempo para se dedicar a observar minhas amostras, a vir ao Brasil para sentar comigo e discutir meu trabalho. Sinto-me muito honrada por ter tido suas correções, sugestões e todo o carinho que a mim dispensou.

Outra pessoa especial neste percurso foi o Prof. Dr. Mauro Parolim, grande amigo que em todos os momentos que solicitei esteve pronto a me atender. Sou eternamente grata pela participação ativa neste trabalho, por ter aberto as portas do seu laboratório na UNESPAR em Campo Mourão (no Paraná) para me receber tantas vezes, pelas vindas ao Rio de Janeiro para participar de diferentes etapas da minha pesquisa. Agradeço pelas discussões, sugestões, correções e, sem dúvida por me auxiliar na identificação das espículas de esponja.

Minha eterna gratidão a esses quatro professores, pessoas muito competentes no que fazem e muito comprometidas com a pesquisa científica e com o trabalho acadêmico.

Agradeço aos anjos que Deus colocou em meu caminho: Yame Medina, Aline Rocha, Sarah Fricks, David Barcellos, Karina Chueng, Carolina Silvestre, Jenifer Garcia e Emannuele Madureira (Manu). Estas pessoas foram especiais para mim. Nos momentos de sufoco, devido à falta de tempo para me dedicar integralmente às atividades de laboratório, eles foram verdadeiros "cireneus" que Deus colocou em meu caminho para me ajudar.

Quero deixar um agradecimento mais do que especial para Carolina Silvestre, Jenifer Garcia e Karina Chueng, que estiveram presentes em diferentes momentos da minha trajetória de pesquisa: trabalhos de campo e laboratório. Mais do que a ajuda com o trabalho, vocês me incentivaram e me reanimaram nos momentos em que batia o desânimo. Obrigada pelo carinho e pela amizade de vocês. Agradeço ainda a Carolina Silvestre e Jenifer Garcia pela elaboração de algumas figuras.

A Guilherme Pires, pelo companheirismo e apoio moral acompanhando a mim e a minha orientadora a campo, quando precisamos ir para identificar possíveis locais para sondagem. A Jenifer e Thiago pela mesma razão.

À Professora Dra. Kita Macario, com quem fiz uma das disciplinas, aprendendo um pouco mais sobre datação. Agradeço também pelo empenho na realização do preparo das minhas amostras para datação e pela ajuda em diferentes momentos.

À Profa. Dr^a. Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza, da Universidade Federal Fluminense, pela identificação das conchas.

Ao Prof. Dr. Fábio Pamplona, Universidade Federal Rural da Amazônia, pela identificação das frústulas de diatomáceas.

À Prof^{a.} Dr^a. Cátia Fernandes Barbosa, do Departamento de Geoquimica da UFF, pelo pronto atendimento à minha solicitação em utilizar o MEV. Lamentavelmente por questões de ordem técnica (defeito no microscópio), sua utilização acabou não sendo possível.

Ao Prof. Dr. Leandro de Oliveira Furtado de Sousa da UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), pela identificação das espécies de plantas.

Aos professores do Departamento de Dinâmica dos Oceanos e da Terra, com os quais fiz disciplinas do Doutorado, pelos ensinamentos que compartilharam: Prof. Dr. Cleverson Guizan da Silva, Prof. Dr. José Antônio Baptista Neto, Prof. Dr. Gilberto Dias e Profa. Dra. Josefa Varela Guerra.

A Érika e Andressa (orientandas do André) pelo suporte (respectivamente) no manuseio da lupa e na garimpagem de referências bibliográficas sobre o uso de diferentes *proxies* para estudos paleoambientais.

A Ana Beatriz (Bia) pela ajuda imensurável na edição de inúmeras figuras no Corel. Apesar de também estar envolvida com sua própria pesquisa, sempre encontrou um tempinho para elaborar e reeditar as figuras, quando necessário. Algumas tiveram que ser reeditadas mais de uma vez.

A todos os demais integrantes do LAMOM que participaram dos meus trabalhos de campo, arregaçando as mangas e ajudando a fazer sondagem, coletar e catalogar amostras.

À equipe do LEPAFE (Laboratório de Pesquisas Paleoambientais da Universidade Estadual do Paraná), coordenado pelo Prof. Mauro Parolin, por todo o acolhimento e colaboração. Além do aprendizado adquirido, vocês fizeram das minhas idas a Campo Mourão, momentos inesquecíveis. Agradeço pela excelente recepção, carinho, parceria, atenção. Guardarei todos vocês nas minhas lembranças. Muito obrigada Gilliane Rasbold, Mayra Stevanato, Mayara Monteiro, Elaine Kalinovsky, Anne Karolyna, Leandro Luz, João, pela amizade, pela ajuda e por todo o carinho com que me receberam.

Ao Prof. Alberto Figueiredo por ceder a pick-up para podermos transportar o trado até o local de sondagem e, assim, ter tornado possível a realização de mais um trabalho de campo. Ao Sérgio Cadena, que por ocasião, não só conduziu a pick-up, mas também participou do trabalho de campo e ajudando na realização das sondagens. Agradeço pela mesma razão a Marcel, por ter participado ativamente na realização das sondagens com trado mecânico.

Aos membros da banca: professores Alberto Figueiredo, Cintia Barreto, Gustavo Vaz, Mauro Parolin e ao pesquisador Alípio Pereira, pela disponibilidade e pelas contribuições feitas a este trabalho.

A Renata Jou e a Lucas, bolsitas do Laboratório de Física da UFF pela preparação das amostras para datação.

A Marcley pelo apoio e incentivo ao longo dessa caminhada.

Ao Ronaldo e sua equipe, pela realização das sondagens em Itaipuaçú, com seu *know how*, profissionalismo e boa vontade contribuíram para que esta etapa tivesse sucesso.

A Henriette Porciúncula e Érika Espíndola, minhas diretoras na Rede Municipal de Educação de São Gonçalo, pelo apoio, compreensão e incentivo e pelo esforço em tentarem fazer o possível para me ajudarem a conciliar as atividades profissionais com as atividades do meu trabalho de doutorado. Toda a parceria de vocês foi fundamental para a conclusão deste trabalho. Tenho grande admiração pelas profissionais incríveis que vocês são.

Aos diretores do Colégio Estadual Nilo Peçanha: Eusébio, Lígia e Simone, pelo empenho em tentar colaborar, sempre e da melhor forma possível, para que eu pudesse conciliar minhas obrigações como professora com as exigências e o desafio de realizar um doutorado trabalhando. Agradeço a Deus por ter me colocado em escolas com gestores tão competentes e humanos como vocês.

Às minhas ex-coordenadoras Maristela Silva Paz (*In memoriam*) e Cristina Albino, do Núcleo de Tecnologia Educacional do Estado, onde trabalhei durante boa parte do tempo em que realizei meu doutorado, pela compreensão e apoio.

Aos amigos, fora do meio acadêmico, Cristina Albino, Ronaldo Gonzaga, Júnia Ramalho, Silvânia Lourenço e Josiane Dias, que me ajudaram a manter contato com o mundo fora da universidade; com os quais sempre pude contar para conversar e distrair a mente. Vocês são especiais. "Algumas pessoas a gente conhece, outras, Deus nos apresenta". Deus me apresentou vocês.

Às colegas do Núcleo de Tecnologia Municipal de São Gonçalo pela compreensão nas vezes em que não pude corresponder, como gostaria, às demandas do trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Dinâmica dos Oceanos e da Terra da UFF que direta ou indiretamente colaboraram com meu trabalho.

Meu muitíssimo obrigada a todos vocês!

(...)

"Hoje me sinto mais forte
Mais feliz, quem sabe
Só levo a certeza
De que muito pouco sei
Ou nada sei
(...)

Cada um de nós compõe a sua história
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
E ser feliz."

Almir Sater – Tocando em frente.

SUMÁRIO

Lista de figuras]
Lista de tabelas	1
RESUMO	1
ABSTRACT]
1. INTRODUÇÃO	2
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
2.1. Aspectos geográficos e geomorfológicos	2
2.2. Evolução da planície costeira de Maricá	2
2.3. Vegetação	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1. Sistemas barreira-laguna	3
3.1.1. Formação de sistemas de barreiras e lagunas	3
3.1.2. Variações relativas no nível do mar no Holoceno	2
3.2. Reconstituição Paleoambiental	
3.3. Biomineralizações de Sílica	
3.3.1. Espículas de esponjas	
3.3.2. Frústulas de diatomáceas	
3.3.3. Fitólitos	
3.3.4. Estudos de reconstituição paleoambiental com base e	em
bioindicadores de Sílica	
4. MATERIAIS E MÉTODOS	
4.1. Trabalhos de campo	
4.1.1. Coleta de plantas	
4.1.2. Coleta de sedimentos em assembleias fitolíticas modernas (AMs	s)
4.1.3. Sondagem geológica para amostragem de sedimentos	
4.2. Critérios de seleção das amostras para análises laboratoriais	
4.3. Análises laboratoriais	
4.3.1. Granulometria	
4.3.2. Extração de espículas de esponjas	
4.3.3. Extração de fitólitos	
4.3.4. Medição da matéria orgânica nos sedimentos lamosos	
4.3.5. Medição de carbonatos.	
4.4. Microscopia e Identificação de conchas	
4.4.1. Microscopia óptica	
4.4.2. Microscopia de varredura eletrônica (MEV)	
4.4.3. Identificação de conchas	
4.5. Datações por ¹⁴ C-AMS	
4.6. Análises de isótopos estáveis de Carbono	
4.7. Processamento e integração dos dados	

5.2. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction (Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography) 5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ 120 5.3.1. Sondagem 1 120 5.3.2. Sondagem 2 147 5.3.3. Sondagem 3 164 5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno 187 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 205 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 207 8. APÊNDICES 207 8. APÊNDICES 222 8.1. Relação das amostras coletadas nas sondagens 1, 2 e 3 e características identificadas em campo 222 8.2. Protocolo de extração de espículas de esponja em solo e sedimentos 233	5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
5.2. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction (Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography) 5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ 120 5.3.1. Sondagem 1 120 5.3.2. Sondagem 2 147 5.3.3. Sondagem 3 164 5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno 187 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 205 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 205 8. APÊNDICES 206 8. APÊNDICES 226 8.1. Relação das amostras coletadas nas sondagens 1, 2 e 3 e características identificadas em campo 226 8.2. Protocolo de extração de espículas de esponja em solo e sedimentos 233	5.1. Caracterização das comunidades vegetais na restinga de Maricá, Rio	
Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction (Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography) 5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ	de Janeiro, Sudeste do Brasil (Artigo publicado na Revista Tamoios)	93
reconstruction (Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography) 5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ	5.2. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of	
5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ	Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic	
Itaipuaçú, Maricá-RJ1265.3.1. Sondagem 11265.3.2. Sondagem 21475.3.3. Sondagem 31645.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno1876. CONSIDERAÇÕES FINAIS2037. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS2038. APÊNDICES2248.1. Relação das amostras coletadas nas sondagens 1, 2 e 3 e características identificadas em campo2248.2. Protocolo de extração de espículas de esponja em solo e sedimentos233	reconstruction (Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography)	107
5.3.1. Sondagem 1	5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de	
5.3.2. Sondagem 2	Itaipuaçú, Maricá-RJ	126
5.3.3. Sondagem 3	5.3.1. Sondagem 1	126
5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	5.3.2. Sondagem 2	147
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	5.3.3. Sondagem 3	164
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 207 8. APÊNDICES 224 8.1. Relação das amostras coletadas nas sondagens 1, 2 e 3 e características identificadas em campo 224 8.2. Protocolo de extração de espículas de esponja em solo e sedimentos 233	5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno	187
8. APÊNDICES	6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	205
8.1. Relação das amostras coletadas nas sondagens 1, 2 e 3 e características identificadas em campo	7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	207
características identificadas em campo	8. APÊNDICES	224
The state of the s		224
8.3. Protocolo de extração de fitólitos em solo e sedimentos	8.2. Protocolo de extração de espículas de esponja em solo e sedimentos	233
	8.3. Protocolo de extração de fitólitos em solo e sedimentos	234

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO
Figura 2.1 – Localização da área de estudo.
Figura 2.2 – Geomorfologia e comunidades vegetais da Planície Costeira de Maricá.
Figura 2.3 – Litoral de Maricá no final da década de 1930.
Figura 2.4 – Esquema comparativo do litoral de Maricá antes e depois da formação das
barreiras arenosas.
Figura 2.5 – Modelo evolutivo da formação da planície costeira de Maricá segundo Coe Neto <i>et al.</i>
Figura 2.6 – Sequências deposicionais que formam o depósito sedimentar costeiro de
Maricá, elaborado por Silva (2011).
Figura 2.7 – Modelo evolutivo das etapas de formação da planície costeira de Maricá
Capítulo 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA
•
Figura 3.1 – Esquema de um sistema barreira-laguna.
Figura 3.2 – Exemplos de sistemas barreira-lagunas no litoral fluminense.
Figura 3.3 – Face frontal e retaguarda da restinga da Marambaia no litoral fluminense.
Figura 3.4 – Tipos de barreiras arenosas. Modificado de Leatherman (1979) e Davis Jr.
E Fitzgerald (2004).
Figura 3.5 – Exemplos de barreiras arenosas.
Figura 3.6 – Curvas de variação do nível do mar durante o Quaternário elaboradas por
Martin na década de 1970.
Figura 3.7 – Curva de variação do nível do mar durante o Quaternário elaborada por
Angulo.
Figura 3.8 – Conjunto de gêmulas formadas em esponja da espécie
Oncoscleranavicella encontrada no rio Formoso, afluente do rio Ivaí.
Figura 3.9 – Fotografia tirada em microscópio eletrônico de varredura de gêmula de
Oncosclerajewelli, coberta por gemoscleras.
Figura 3.10 – Ósculos presentes em esponja Corvospongillaseckti fixada em folha de
Nymphaea no Lago de Itaipu.
Figura 3.11 – Espécies de esponjas.
Figura 3.12 – Esquema ilustrativo da organização da frústula de uma diatomácea penada.
Figura 3.13 – Corte transversal, eixos e vistas valvar e pleural de uma frústula de
diatomácea.
Figura 3.14 – Morfologia e estrutura de duas espécies de diatomáceas
Figura 3.15 – Esquema de divisão assexuada para diatomácea, demonstrando a redução
no tamanho da frústula.
Figura 3.16 – Esquema da forma de reprodução sexuada das diatomáceas cêntricas:
oogamia
Figura 3.17 – Esquema da forma de reprodução sexuada das diatomáceas penadas:
isogamia.
Capítulo 4 –MATERIAIS E MÉTODOS
•
Figura 4.1 – Esquema das diversas etapas da metodologia adotadas na pesquisa.
Figura 4.2 – Localização das assembleias fitolíticas modernas. (Fonte: SANTOS <i>et al.</i> ,
2015).
Figura 4.3 – Localização dos sete pontos de sondagem.
Figura 4.4 – Etapas da sondagem com trado manual em Itaipuaçú.

Figura 4.6 – Procedimentos de preparação da fração areia para análise granulométrica.	83
	83
Figura 4.7 – Analisador de partículas a laser CAMSIZER P4.	84
Figura 4.8 – Granulômetro de lama <i>Malvern Mastersizer</i> 2000.	84
Figura 4.9 – Etapas de preparação dos sedimentos lamosos para análise	٠.
granulométrica.	85
Figura 4.10 – Procedimentos para extração de espículas de esponjas	86
Figura 4.11 – Procedimentos para extração de fitólitos.	87
Figura 4.12 – Procedimentos para queima da matéria orgânica.	88
Figura 4.13 – Procedimentos para medição de CaCO ₃ .	89
Figura 4.14 – Etapa de microscopia.	89
Figura 4.15 – Microscopia eletrônica.	91
Capítulo 5 –RESULTADOS E DISCUSSÃO	
•	
5.1. Caracterização das comunidades vegetais na restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Sudes Brasil	e do
Figura 1 – (A, B) Localização da área de estudo e (C) dos pontos de identificação das	
comunidades vegetais estudadas na APA de Maricá. Geomorfologia e	
sistemas deposicionais baseados em Silva et al. (2014a, 2014b)	95
Figura 2 – (A) Planície Costeira Maricá, (B, C, D) com uma geomorfologia típica de	93
barreiras arenosas associadas a sistemas lagunares.	
barreiras arcitosas associadas a sistemas lagunares.	98
Figura 3 – Descarte irregular de lixo (A, B, C) e carcaça de automóvel em meio a	70
vegetação de restinga (D).	98
Figura 4 – Distribuição das comunidades vegetais da APA de Maricá ao longo dos	102
ambientes que compõem a planície costeira.	102
Figura 5 - Visão geral e em detalhe das comunidades vegetais da Restinga de Maricá	103
1 1guin 0 - 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	100
5.2 Estudos isotónicos e fitalíticos das comunidades de restinga na Planície Costei	ra de
5.2. Estudos isotópicos e fitolíticos das comunidades de restinga na Planície Costei	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstituale paleobiogeoclimática	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstituda paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling	uição
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites.	
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain	uição 110
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009).	uição 110
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques,	uição
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitu paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al.	u ição 110 111
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitupaleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a).	110 111 115
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitupaleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities.	u ição 110 111
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstitupaleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities. Figure 5 – Detail of the collected plant species in the halophile-psamophile	110 111 115 115
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstite paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities. Figure 5 – Detail of the collected plant species in the halophile-psamophile community.	110 111 115
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstite paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities. Figure 5 – Detail of the collected plant species in the halophile-psamophile community. Figure 6 – Detail of the collected plant species in the herbaceous swamp community	110 111 115 116
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstite paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities. Figure 5 – Detail of the collected plant species in the halophile-psamophile community. Figure 6 – Detail of the collected plant species in the herbaceous swamp community on the lagoonal plain.	110 111 115 116
Maricá, RJ, Brasil, como uma referência moderna para reconstite paleobiogeoclimática Figure 1 – (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites. Figure 2 – Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009). Figure 3 – Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a). Figure 4 – Overview of the areas occupied by the plant communities. Figure 5 – Detail of the collected plant species in the halophile-psamophile community. Figure 6 – Detail of the collected plant species in the herbaceous swamp community	110 111 115

5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ	
Figura 5.1 – Sedimentos coletados durante a sondagem 1 na planície costeira de Maricá.	127
Figura 5.2 — Sedimentos da sondagem 1 coletados na planície costeira de Itaipuaçú.	
	128
	130
	132
Figura 5.5 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de	
` / C	133
	134
, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	136
	137
	138
1 ,	139
	140
ϵ	142
v v	143
	143
	144
Figura 5.16 – (A) Índice D/P e (B) Índice Bi da Sondagem 1.	146
\mathcal{E}	147
Figura 5.18 – Sedimentos coletados na Sondagem 2.	150
Figura 5.19 – Cor granulométrica da Sondagem 2.	152
	153
Figura 5.21 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de	
` '	154
	156
	156
E	159
\mathcal{E}	159
	161
	161
, 1	163
	164
	168
	169
Figura 5.32 – Carapaças de concha da espécie Anomalocardia brasiliana encontradas	
	170
Figura 5.33 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de	
` '	171
	172
	175
	176
ξ ,	177
e e	180
	181
	183
, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	184
Figura 5.42 – (A) Índice D/P e (B) Índice Bi da Sondagem 3.	186

5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Itaipuaçú durante o Holoceno	
Figura 5.43 – Sondagem 1 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e	
diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/P.	189
Figura 5.44 – Sondagem 2 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e	
diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/P.	191
Figura 5.45 – Sondagem 3 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e	
diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/P.	193
Figura 5.46 – Modelo evolutivo das condições paleoambientais na planície costeira de	194
Maricá.	
Figura 5.47 – Biomineralizações de sílica identificadas nas Sondagens 1, 2 e 3	
	196

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	
Tabela 2.1 – Idades apontadas para a formação dos sistemas barreira-laguna no litoral de Maricá e adjacências, RJ.	32
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
Tabela 3.1 – Estudos de reconstituição paleoambiental em diferentes ecossistemas brasileiros.	45
Tabela 3.2 – Tipos de <i>proxies</i> e suas aplicações	47 63
CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS	
Tabela 4.1 – Descrição dos sete poços de sondagem geológica na planície costeira de Maricá.	79
Tabela 4.2 – Total de amostras selecionadas nas três sondagens para análises granulométricas, de biomineralizações de sílica e datação por ¹⁴ C- AMS	82
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1. Caracterização das comunidades vegetais na Restinga de Maricá, Rio de Jan Sudeste do Brasil	eiro,
Tabela 1 - Lista de espécies ameaçadas da Restinga de Maricá	99
5.2. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Braz a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction	il, as
Table 1 – Plants collected in each plant community of the Maricá	112
Table 2 – Surface sediments collected in the plant communities of the Maricá	112
restinga (Sample number indicated in parenthesis).	121
5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipu	ıaçú,
Maricá-RJ	
Tabela 5.1 – Principais características sedimentares da sondagem 1 (observadas em	
campo)	127
planície costeira de Itaipuaçú.	129
Tabela 5.3 – Percentual de carbono orgânico (COT) e de CaCO ₃ na Sondagem 1	133
Tabela 5.4 – Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da Sondagem 1	135
Tabela 5.5 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na sondagem 1 e suas características ambientais.	139
Tabela 5.6 – Sondagem 1 – Resultados da datação por radiocarbono	147
Tabela 5.7 – Sondagem 2 - Características morfológicas das amostras observadas em	1.40
campo.	148
Tabela 5.8 – Resultados das análises de sedimentos coletados na Sondagem 2 na planície costeira de Itaipuaçú.	149
Tabela 5.9 – Percentual de carbono orgânico total (COT) e de carbonato de cálcio	177
(CaCO ₃) na Sondagem 2.	154
Tabela 5.10 – Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da Sondagem 2.	157

Tabela 5.11 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 2 e
suas características ambientais.
Tabela 5.12 – Resultados da datação por radiocarbono na Sondagem 2
Tabela 5.13 – Sondagem 3 - Características das amostras observadas em campo
Tabela 5.14 - Resultados das análises de sedimentos coletados na sondagem 3 na
planície costeira de Itaipuaçú.
Tabela 5.15 – Percentual de carbono orgânico total (COT) e de carbonato de cálcio
(CaCO ₃) na Sondagem 3.
Tabela 5.16 – Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da sondagem 3
Tabela 5.17 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 3 e
suas características ambientais.
Tabela 5.18 – Resultados da datação por radiocarbono na Sondagem 3
5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricáno Holoceno
Tabela 5.19 - Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das
biomineralizações e datação da Sondagem 1.
Tabela 5.20 - Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das
biomineralizações e datação da Sondagem 2.
Tabela 5.21 – Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das
biomineralizações e datação da Sondagem 3.
Tabela 5.22 – Total* de bioindicadores (absoluto e percentual) em cada fase
Tabela 5.23- Síntese da evolução paleoambiental da planície costeira de Itaipuaçú
durante o Holoceno.

RESUMO

A Planície Costeira de Maricá tem vivenciado um processo histórico de problemas de ordem estrutural e ambiental, em virtude da ocupação sem planejamento e predatória, que tem comprometido significativamente a dinâmica natural deste ambiente. Diante da importância que as áreas costeiras assumem para o equilíbrio de diferentes ecossistemas e face a sua vulnerabilidade, pretende-se que este trabalho de reconstituição paleoambiental seja mais uma contribuição no sentido de aprofundar os conhecimentos sobre a dinâmica atual e pretérita do litoral de Maricá. Para isso, buscou-se conhecer as características ambientais neste litoral e as transformações aí ocorridas e, desta forma, reconstituir as condições paleoambientais desta planície costeira, procurando contribuir para o entendimento de sua evolução durante o Holoceno. Para a caracterização da vegetação atual foram delimitadas as comunidades vegetais da restinga de Maricá, onde coletaram-se plantas e sedimentos superficiais. Para as análises em material fóssil foram realizadas três sondagens geológicas até 12 metros de profundidade. Foram realizadas análises das biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos), granulometria, teor de matéria orgânica e carbonatos; foram integrados dados de isótopos estáveis de carbono e de datações pelo método ¹⁴C – AMS. Das espécies de plantas presentes nas comunidades vegetais, as maiores produtoras de fitólitos são as pertencentes às famílias Poaceae, Cyperaceae e Arecaceae, que além de produzirem fitólitos em grandes quantidades, também apresentam diversidade de morfotipos. Os tipos de fitólitos observados em cada assembleia moderna nem sempre correspondem à vegetação sobrejacente, provavelmente devido à dinâmica ambiental, sobretudo ao transporte dos fitólitos pelos ventos. De uma maneira geral, os índices fitolíticos expressaram coerentemente o ambiente de cada comunidade analisada, tanto do ponto de vista do tipo de cobertura vegetal quanto das condições de disponibilidade hídrica para as plantas. Os morfotipos encontrados nas assembleias fitolíticas fósseis foram muito semelhantes aos encontrados nas assembleias fitolíticas modernas e apontam para poucas variações em relação à composição vegetal atual. As análises dos bioindicadores presentes nas sondagens permitiram identificar três fases com condições paleoambientais distintas relacionadas à evolução da planície costeira de Maricá no Holoceno: a primeira, entre 8500 e 6500 anos cal AP, corresponde a um período mais úmido com predomínio de vegetação arbustiva/arbórea bastante densa que ocupava as encostas e a planície costeira; os bioindicadores marinhos (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e bivalves) apontam para a existência de uma antiga lagoa de águas rasas, conectada com o mar por um canal de maré intermitente, em um ambiente de baixa energia hidrodinâmica. A segunda fase, entre 6500 e 3000 anos cal AP, sugere um período menos úmido, com domínio de vegetação herbácea e aumento da energia hidrodinâmica, possivelmente ocasionado por eventos de transposição de ondas; coincidindo com o início do processo de colmatação da lagoa. A terceira fase, após 3000 anos cal AP, caracterizou-se por um novo período de maior umidade com retorno da vegetação arbustiva/arbórea, como na primeira fase, porém, com uma vegetação menos densa. Corresponde novamente a um ambiente de baixa energia hidrodinâmica. A diminuição da quantidade de espículas de esponjas evidencia a redução da lâmina d'água da lagoa e o preenchimento da mesma. Este processo culminou, mais recentemente, com intervenções antrópicas para a expansão urbana na planície costeira.

Palavras-chave: reconstituição paleoambiental; bioindicadores de sílica; planície costeira de Maricá; Holoceno.

ABSTRACT

The Coastal Plain of Maricá has experienced a historical process of structural and environmental problems, due to unplanned predatory occupation, which has significantly compromised the natural dynamics of this environment. In view of the importance of coastal areas to the equilibrium of different ecosystems and given the vulnerability of such ecosystems, the objective of this paleoenvironmental reconstruction study is to provide a further contribution to the deepening of knowledge on the current and past dynamic of the coast of Maricá. As such, pre-existing environmental characteristics of the coast and the transformations occurring there were investigated, so as to reconstruct the paleoenvironmental conditions of this coastal plain, to contribute to the understanding of its evolution during the Holocene. For characterization of the current vegetation, the vegetal communities of the Maricá sandbanks were delimited, from which plants and superficial sediments were collected. For fossil material analyses, geological bore holes of up to 12 meters in depth were made. Analyses of the biomineralizations of silica (sponge spicules, diatom frustules and phytoliths), granulometry, organic matter and carbonate content were also performed. Stable carbon isotope data and dating through the ¹⁴C - AMS method were also integrated into the analyses. Of the plant species present in the vegetal communities, the major producers of phytoliths are those belonging to the Poaceae, Cyperaceae and Arecaceae families, which, in addition to producing phytoliths in large quantities, also present morphotype diversity. The types of phytoliths observed in each modern assemblage do not always correspond to the overlying vegetation, which is probably due to the environmental dynamics, especially the transport of phytoliths by wind. In general, the phytolith indexes consistently expressed the environment of each community under analysis, both from the point of view of the type of vegetation cover and the conditions of water availability to the plants. The morphotypes found in the fossil phytolith assemblages were very similar to those found in the modern phytolith assemblages, indicating little variation in relation to the current vegetal composition. Analysis of the bioindicators present in the surveys enabled identification of three phases with distinct paleoenvironmental conditions related to the evolution of the Maricá coastal plain during the Holocene. The first phase, between 8500 and 6500 years cal BP, corresponds to a wetter period with a predominance of dense shrub / tree vegetation occupying the slopes and coastal plain. The marine bioindicators (sponge spicules, diatom frustules and bivalves) indicate the existence of an ancient lagoon with shallow waters, connected to the sea by an intermittent tidal channel, in an environment of low hydrodynamic energy. The second phase, between 6500 and 3000 years cal BP, suggests a period of lower humidity, with a dominance of herbaceous vegetation and increased hydrodynamic energy, possibly caused by wave transposition events and coinciding with the beginning of the lagoon silting process. The third phase, after 3000 years cal BP, was characterized by a new period of higher humidity with a return to shrub / tree vegetation, as in the first phase, but with lower density. It once again corresponds to an environment of low hydrodynamic energy. A decrease in the quantity of sponge spicules demonstrates the reduced water line of the lagoon and the filling of the same. This process culminated, more recently, with anthropic interventions of urban expansion on the coastal plain.

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

1. INTRODUÇÃO

As áreas litorâneas vêm despertando cada vez mais o interesse de pesquisadores sob os mais variados temas (VOLKMER-RIBEIRO et al., 2004; SILVA et al., 2008; PEREIRA, 2009; SILVA, 2011; BRUNO, 2013a, 2013b; SILVA et al., 2014a; SILVA et al., 2014b; entre inúmeros outros). Por se tratarem de ambientes muito dinâmicos, tem sido frequente a necessidade de maior conhecimento sobre os mecanismos que influenciam no seu comportamento e evolução. Por constituírem algumas das mais belas paisagens do litoral brasileiro, as barreiras arenosas vêm sofrendo ameaças constantes, sobretudo nas últimas décadas, devido à subida do nível do mar, aumento no regime de tempestades e modificações causadas pelo Homem. O desejo de muitas pessoas em morar nesses lugares privilegiados pela beleza natural tem intensificado o crescimento das cidades em áreas cada vez mais próximas do mar. Tal situação é preocupante visto que o aumento crescente no número de construções nessas áreas tende a comprometer o equilíbrio de diferentes ecossistemas presentes no sistema barreira-laguna. Essa realidade tem gerado graves consequências do ponto de vista ambiental. A importância em se aprofundar os estudos sobre as áreas costeiras, neste caso específico a de Maricá, apoia-se no fato de que estas áreas apresentam problemas devido a uma série de modificações decorrentes de intervenções humanas que têm comprometido significativamente a dinâmica natural deste ambiente.

A Planície Costeira de Maricá tem vivenciado um processo histórico de problemas de ordem estrutural e ambiental, em virtude da ocupação sem planejamento e predatória. Esse processo tem causado consideráveis danos aos ecossistemas litorâneos e prejuízos à comunidade pesqueira artesanal há pelo menos seis décadas. Em meados da década de 1950, estudo realizado por Oliveira *et al.* (1955) já mostrava neste litoral problemas relacionados a enchentes e às constantes alterações no sistema lagunar, com a abertura de canais e lançamento de esgoto *in natura* nas lagoas, causando diminuição do pescado e implantação de vários loteamentos.

Essa realidade, não só ainda está presente como tem se intensificado nos dias atuais, mesmo que parte dessa planície tenha sido transformada em uma Unidade de Conservação, do tipo APA (Área de Preservação Ambiental). Diversas formas de agressão ao meio ambiente são facilmente observadas na área de estudo, tais como: a retirada ilegal de areia, que vem destruindo a topografia das barreiras arenosas; o tráfego de veículos sobre as dunas e áreas de vegetação, destruindo a flora e a fauna local; o despejo irregular de lixo doméstico; a

construção de casas e estradas sobre a vegetação de restinga, causando desmatamento; além da ação constante de criminosos praticando a caça de animais silvestres (SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014c).

Diante da importância que as áreas litorâneas assumem para o equilíbrio de diferentes ecossistemas e face a sua vulnerabilidade, pretende-se que este trabalho de reconstituição paleoambiental seja mais uma contribuição no sentido de aprofundar os conhecimentos sobre o litoral, em particular o de Maricá. Para isso, buscou-se conhecer as características ambientais pretéritas neste litoral e as transformações aí ocorridas e, desta forma, reconstituir as condições paleoambientais desta planície costeira, procurando contribuir para o entendimento de sua evolução durante o Holoceno. Para isso, buscou-se:

- Identificar as biomineralizações de sílica (fitólitos, espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas) nas amostras de sedimentos e compreender os processos relacionados a estas biomineralizações;
- Correlacionar as assembleias fitolíticas¹ modernas presentes na restinga, com as interpretações das assembleias fósseis encontradas nas amostras de sondagens geológicas realizadas na área de estudo;
- Analisar e integrar os resultados dos isótopos estáveis de carbono (δ¹³C) das amostras modernas;
- Estabelecer a cronologia das mudanças ambientais observadas, a partir de datações por ¹⁴C-AMS;
- A partir da integração de todas as análises, elaborar um modelo contemplando as condições paleoambientais que marcaram a evolução costeira de Maricá.

O presente estudo de reconstituição paleoambiental foi realizado a partir da identificação das comunidades vegetais da restinga de Maricá e das assembleias fitolíticas modernas presentes nos vários ambientes atuais da planície costeira, estabelecendo coleções de referência para as interpretações das assembleias fósseis encontradas nas amostras de sondagens geológicas realizadas na área de estudo; na caracterização qualitativa e quantitativa das biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos) em plantas, amostras de solos e sedimentos coletados por meio de sondagens geológicas na

-

¹ Assembleia fitolitica corresponde a uma quantidade estatisticamente válida de diferentes tipologias fitolíticas e representa a "produção média qualitativa e quantitativa" de fitólitos de um determinado tipo de vegetação (COE, 2009).

planície costeira de Maricá. Os resultados aí obtidos foram associados a análises de isótopos estáveis de carbono (δ^{13} C) das plantas e das amostras de sedimentos superficiais (que correspondem às assembleias fitolíticas modernas) e às idades fornecidas por datações feitas através da técnica do ¹⁴C-AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*), para a cronologia dos eventos deposicionais, além de análises granulométricas e do conteúdo de carbonatos e matéria orgânica.

A biomineralização refere-se a um processo que ocorre quando minerais, substâncias amorfas ou mineralóides são formados a partir do metabolismo de organismos vivos, desde procariontes a eucariontes, incluindo seres humanos (LOWESTAN, 1981; WEINER e DOVE, 2003). Apesar de serem ainda pouco estudadas, as biomineralizações ocorrem com frequência na natureza, resultando na formação de complexos sólidos orgânicos e inorgânicos em sistemas biológicos denominados biominerais (HINKE et al., 2005). O uso de biomineralizações como ferramenta para estudos paleoambientais é algo recente, porém alguns trabalhos (ALEXANDRE et al, 1997; BARBONI et al, 1999; DELHON et al, 2003; BREMOND et al, 2004; BORBA-ROSCHEL et al, 2006; COE et al, 2014, 2017a, 2017b, 2017c; BARROS et al., 2016; PAROLIN et al., 2017, entre outros) vêm demonstrando a importância desses indicadores. Estes biominerais podem se formar em um sítio particular, ficando aí retidos. Quando isso acontece, é possível reconstituir as características ambientais pretéritas de um determinado lugar. No entanto, eles podem também ser transferidos de um sítio para outro por meio de diferentes processos de transporte. Podem ainda, ser excretados, dissolvidos e remineralizados no seu lugar de origem ou em outro (OSTERRIETH, 2005). Em qualquer uma dessas situações, as formações dos biominerais têm uma importância fundamental para o conhecimento das condições paleoambientais do ambiente estudado.

A partir da interpretação dos resultados obtidos, realizou-se uma análise integrada dos diferentes *proxies* para melhor interpretar as condições paleoambientais que marcaram a evolução da planície costeira de Maricá e, assim, apresentar um modelo de mudanças dessas condicionantes e sua relação com a evolução ambiental de Maricá ao longo do Holoceno.

O trabalho encontra-se assim organizado: após a introdução, no capítulo 2 é feita a caracterização da área de estudo. No capítulo 3, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas que servem de embasamento teórico para esta pesquisa, a saber: formação de sistemas de barreiras e lagunas e variações do nível relativo do mar durante o Holoceno, reconstituição paleoambiental, biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos) e, por último, um breve levantamento de estudos de reconstituição

feitos a partir do emprego de bioindicadores. No capítulo 4 são descritos os materiais coletados e as técnicas utilizadas para coleta e processamento dos dados. Os resultados são apresentados no capítulo 5 da seguinte maneira: os itens 5.1 e 5.2 correspondem às condições ambientais atuais da planície costeira de Maricá (identificação de comunidades vegetais, de plantas e de assembleias fitolíticas modernas), cuja caracterização é fundamental para a comparação com os dados fósseis. Nestes dois itens os resultados são apresentados no formato de artigos já publicados. O primeiro, intitulado "Caracterização das comunidades vegetais na restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil", foi publicado na Revista **Tamoios** (http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/26120). segundo, com o título "Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction", foi publicado Brazilian Journal of Oceanography (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci arttext&pid=S1679-

87592015000300255&lng=en&nrm=iso). A caracterização dos dados fósseis obtidos por meio das sondagens geológicas é apresentada no ítem 5.3, com o tútulo Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú, Maricá-RJ e no ítem 5.4, denominado Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá durante o Holoceno, é feita a discussão dos resultados expostos no item 5.3.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Aspectos geográficos e geomorfológicos

A área de estudo corresponde à planície costeira de Maricá, que se estende de Itaipuaçú a Ponta Negra (Figura 2.1). Está situada no município de Maricá (estado do Rio de Janeiro), a cerca de 20 km a leste da entrada da Baía de Guanabara, entre as coordenadas 22°52' a 22°54'S e 42°48' a 42°54'O. Possui de uma extremidade a outra uma extensão de aproximadamente 33 Km. Limita-se ao norte com o sistema lagunar de Maricá-Guarapina; a oeste com a serra da Tiririca; a leste com a serra de Ponta Negra e, ao sul, com o oceano Atlântico (Figura 2.1).

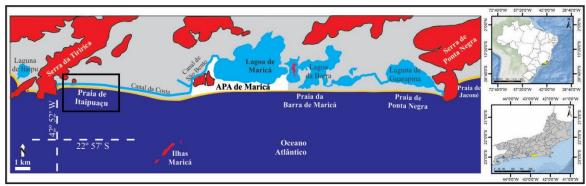


Figura 2.1 – Localização da área de estudo.

O litoral de Maricá é dinâmico e apresenta uma praia com perfil refletivo, submetida à incidência direta de ondas de alta energia, que chegam a alcançar mais de 2 metros de altura na arrebentação durante a ocorrência de eventos de tempestades (SILVA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2014c). A geomorfologia da planície costeira de Maricá é constituída por dois sistemas barreira-laguna ao longo de toda sua extensão (LAMEGO, 1945, IRELAND, 1987; TURCQ *et al.*, 1999; SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014a; SILVA *et al.*, 2014b; SILVA *et al.*, 2014c; entre outros) (Figura 2.2).

As barreiras arenosas presentes neste litoral foram formadas em períodos distintos e encontram-se separadas por uma longa e estreita planície lagunar; a lagoa de Maricá localizase à retaguarda da barreira mais antiga (SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014a; SILVA *et al.*, 2014c).

No interior da planície costeira formaram-se as lagunas de Maricá, do Padre, da Barra e de Guarapina (Figura 2.1). Estas lagoas correspondem a um importante sistema lagunar que se conecta ao oceano Atlântico através de um canal situado no extremo leste no litoral de Ponta Negra (SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014c; SILVESTRE *et al.*, 2017).



Figura 2.2 – Geomorfologia e comunidades vegetais da Planície Costeira de Maricá. (Foto: Desirée Guichard, 2009). Fonte: Santos *et al.*, 2015.

A barreira interna é a mais antiga, tendo sido formada no Pleistoceno por volta de 40.000 anos AP (SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014b; SILVA *et al.*, 2014c). A barreira externa, mais recente, foi formada no Holoceno e sua formação resultou de um importante evento de transgressão ocorrido neste período (PERRIN, 1984; IRELAND, 1987; TURCQ *et al.*, 1999; PEREIRA *et al.*, 2003; SILVA, 2011; SILVESTRE, 2013; SILVA *et al.*, 2014b; SILVA *et al.*, 2014c).

A barreira arenosa externa encontra-se, atualmente, com uma elevação de 7 metros em relação ao nível médio do mar, exceto na porção oeste, onde sua elevação é de pouco mais de 5 metros acima do nível médio do mar, o que mostra que a altura deste cordão aumenta no sentido oeste/leste. Sua largura média é de cerca de 240 metros. No que diz respeito à topografia, a barreira holocênica encontra-se relativamente plana, apresentando uma escarpa de tempestade bem definida, que marca seu limite com a praia. Próximas ao reverso da barreira são encontradas dunas cuja altura máxima fica em torno de 12 metros acima do nível médio do mar na porção leste da APA de Maricá (SILVA, 2011 e SILVA *et al.*, 2014c).

Se comparada à barreira externa, a barreira interna apresenta uma topografía mais suave, devido ao maior desgaste ocorrido ao longo de milhares de anos. A altura em relação ao nível médio do mar varia de 5,4 a 7 metros podendo, no entanto, chegar a 9 metros no extremo oeste (SILVA, 2011; SILVA *et al.*, 2014c). Entre essas duas barreiras está situada a planície lagunar, com uma altura média de 1,5 metros em relação ao nível médio do mar e com uma largura de aproximadamente 150 metros. Em direção a leste, esta planície vai se estreitando gradualmente até que as duas barreiras se encontrem e a planície desapareça. Pereira (2009) e Pereira *et al.* (2003), por meio de imagens GPR, inferiram que a planície

lagunar localizada entre as duas barreiras teria se formado em decorrência do processo de colmatação de uma paleolaguna.

2.2. Evolução da planície costeira de Maricá

Vários estudos voltados para o entendimento dos mecanismos responsáveis pela evolução quaternária da costa fluminense e, particularmente, do litoral de Maricá, têm sido realizados nas últimas décadas (LAMEGO, 1940; 1945; PERRIN, 1984; COE NETO et al., 1986; IRELAND, 1987; MUEHE e CORREA, 1989; TURCQ et al., 1999; PEREIRA, 2001; PEREIRA et al., 2003; PEREIRA, 2009; SILVA, 2011; SILVESTRE, 2013; SILVA et al., 2014a, 2014b e 2014c). Com base nesses estudos, foram apresentadas algumas hipóteses para a compreensão da evolução desse litoral: a primeira está baseada no crescimento de pontais arenosos que promoveram o fechamento de antigas enseadas, resultando na formação dos sistemas barreira-laguna existentes (LAMEGO, 1940, 1945). A segunda hipótese explica a evolução do litoral fluminense baseando-se nas oscilações do nível do mar (PERRIN, 1984; COE NETO et al., 1986; IRELAND, 1987; MUEHE e CORREA, 1989; TURCQ et al., 1999; PEREIRA, 2001; PEREIRA et al., 2003). A terceira hipótese refere-se às variações do nível do mar como sendo o mecanismo preponderante, sem descartar o papel da deriva litorânea na migração longitudinal dessas barreiras (SILVA, 2011; SILVA et al., 2014a).

Lamego (1940) elaborou um modelo evolutivo para o litoral do Rio de Janeiro, que mostra que a formação das barreiras arenosas (ou cordões litorâneos), desde a restinga da Marambaia (entre os municípios do Rio de Janeiro, Itaguaí e Mangaratiba) até a Massambaba (nos municípios de Araruama, Iguaba, São Pedro da Aldeia e Arraial do Cabo), está associada ao crescimento lateral de pontais arenosos em direção a leste. O crescimento desses pontais propiciou o fechamento de inúmeras enseadas ao longo de todo o litoral, dando origem a uma sequência de lagunas e baías que foram aprisionadas em decorrência das últimas variações do nível do mar durante o Quaternário e que ficaram protegidas da ação direta do mar (LAMEGO, 1940; 1945) (Figura 2.3).

Outra hipótese baseia-se nas oscilações do nível do mar como responsáveis pelo processo de evolução do litoral fluminense. Perrin (1984), ao estudar a evolução desse litoral, ressaltou que, durante a penúltima transgressão (120.000 anos A.P.) formou-se uma grande enseada no litoral de Maricá, posteriormente fechada, formando as barreiras e as lagunas (Figura 2.4). Em seguida, um evento de regressão expôs a plataforma continental causando a progradação da linha de costa.

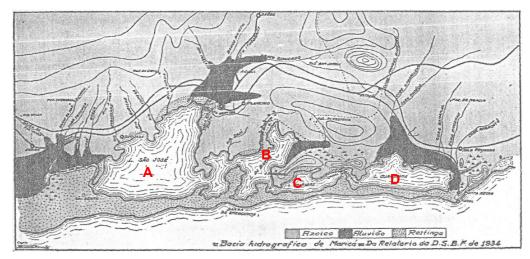


Figura 2.3 – Litoral de Maricá no final da década de 1930. O desenvolvimento de cordões arenosos deu origem à formação de várias lagunas no litoral de Maricá: (A) Lagoa de Maricá; (B) Lagoa da Barra; (C) Lagoa do Padre; (D) Lagoa de Guarapina (Fonte: SILVA, 2011).

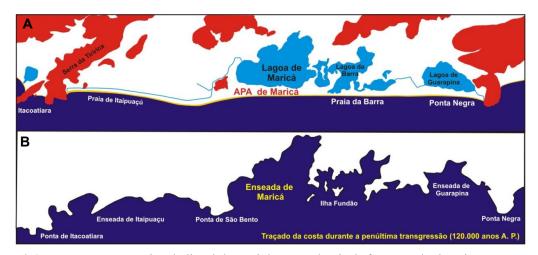


Figura 2.4 – Esquema comparativo do litoral de Maricá antes e depois da formação das barreiras arenosas: (A) Configuração do litoral de Maricá nos dias atuais; (B) Configuração do litoral durante um evento de transgressão marinha (Modificado de PERRIN, 1984, por SILVA, 2011).

Coe Neto et al. (1986) sustentam a hipótese da existência de três barreiras arenosas, uma, mais antiga, formada no Pleistoceno, durante uma fase de nível de mar mais alto; as outras duas, mais recentes (uma intermediária e outra mais externa) foram formadas durante o Holoceno em consequência de sucessivas elevações do nível do mar, entre 5.100 e 3.600 anos A.P. A barreira intermediária teria se formado a partir do aparecimento de canais que faziam a ligação entre a lagoa e o mar e que representavam a entrada, de forma atenuada, de águas oceânicas no sistema lagunar. O estabelecimento dessa barreira permitiu, portanto, o desenvolvimento de pequenas lagoas entre cordões. Progressivamente, com o fechamento deste canal, a extensão da lagoa diminuiu (Figura 2.5). Para os autores, o litoral de Maricá

apresenta um movimento do tipo progradante a oeste e um movimento do tipo erosivo a leste. Segundo os autores, a variação granulométrica assume um papel relevante na dinâmica costeira atual, ajudando a explicar a progradação do setor oeste (situado em Itaipuaçú) e o relativo recuo do setor leste (situado em Guarapina).

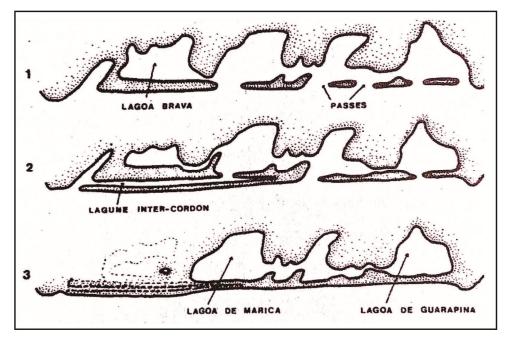


Figura 2.5 – Modelo evolutivo da formação da planície costeira de Maricá segundo Coe Neto et al. (1986).

Ireland (1987), ao estudar a história sedimentar holocênica de algumas lagunas costeiras situadas na costa do estado do Rio de Janeiro entre Maricá e Niterói, destacou três lagoas: do Padre, de Itaipuaçú e de Itaipú. Segundo este autor, essas lagoas se desenvolveram em resposta ao máximo transgressivo ocorrido durante o Holoceno e devido às oscilações do nível do mar neste período. Ele chama a atenção para o fato da evolução dessas lagoas apresentarem características distintas. Ireland (1987) se baseou em análises de diatomáceas e de radiocarbono. Para o referido autor, na planície costeira de Maricá formaram-se três barreiras durante o Holoceno: duas antes da formação da lagoa atual e uma após a existência dela. A primeira barreira, formada antes da lagoa, data de 7.150±120 anos A.P. O autor destaca ainda a existência de dois momentos distintos para a formação das barreiras: a primeira ocorreu por volta de 5.230±90 anos A.P.; a barreira mais recente, num segundo momento, teria se formado há aproximadamente 2.700 anos A.P.

Os resultados das análises das frústulas de diatomáceas (ora com predomínio de espécies marinhas ora de espécies continentais, de água doce ou salobra) confirmaram uma

sucessão de fases marinha e continental. Segundo Ireland (1987), essa sucessão deposicional provocada, ora por processos regressivos ora transgressivos, corresponde à primeira sedimentação lagunar holocênica, fato evidenciado pela presença de remanescentes de barreiras fósseis ao longo desta parte da costa.

Pereira (2009) estudou a planície costeira de Maricá, mais precisamente no trecho correspondente a Itaipuaçú. O modelo de evolução proposto por este autor para a planície costeira a subdivide em dois segmentos: um trecho menor situado próximo à Pedra do Elefante, também conhecido como Praia do Recanto, e um trecho maior situado entre o Morro da Peça e o Pontal de Itaipuaçú. Pereira (2009) afirma que o preenchimento da planície costeira teve forte controle do embasamento cristalino, porém com características distintas nos dois trechos por ele identificados. No primeiro trecho, o autor afirma que a configuração do embasamento em forma de enseada promoveu características deposicionais específicas para este trecho do litoral. A presença mais elevada do embasamento cristalino, situada no centro da enseada, teria sido a base para a formação de uma pequena barreira arenosa, paralela à praia, o que limitou a entrada de material marinho e promoveu a formação de uma paleolaguna no seu reverso. No segundo trecho, Pereira (2009) destaca que o embasamento cristalino se encontra a 25m de profundidade (na região próxima à rua 32) apresentando um mergulho de 10m na direção do mar, formando a base sobre a qual se depositaram sedimentos transportados pelas correntes marinhas, numa intensa migração lateral no sentido leste-oeste, dando início à formação de uma paleobarreira.

O modelo evolutivo apresentado por Silva (2011) mostra que a formação dessa planície teve início no Pleistoceno, numa fase de nível de mar mais baixo que o atual, quando o embasamento, formado por rochas gnáissicas pré-cambrianas, esteve exposto à ação de processos subaéreos que promoveram o desenvolvimento do solo e permitiram a formação de uma cobertura vegetal. Posteriormente, a transgressão ocorrida em torno de 120.000 anos A.P. inundou o litoral gerando uma enseada ou uma grande laguna, resultando na formação de uma extensa superfície lamosa. Com o rebaixamento do nível do mar, esta superfície foi erodida devido à ação de processos subaéreos, em consequência de um novo momento de avanço do nível do mar que resultou numa intensa fase de retrogradação, com o deslocamento da barreira arenosa para uma porção mais interna do continente. Esta teria sido a primeira barreira arenosa a se estabelecer na área e seria a responsável pela formação da lagoa de Maricá, cuja idade é superior a 46.000 A.P. (SILVA, 2011). Por volta de 45.000 A.P. foi formada uma camada de lama arenosa sobre a camada lamosa pré-existente e sobre parte do

que restou da primeira barreira pleistocênica (Figuras 2.6 e 2.7). A formação dessa camada de lama arenosa aponta para a existência de outra barreira mais ao sul, que teria propiciado a formação de uma laguna, caracterizando assim, um sistema de barreira-laguna de idade pleistocênica (SILVA, 2011). Posteriormente, o nível do mar tornou a se elevar e promoveu a retrogradação da barreira arenosa situada mais ao sul, cobrindo a antiga laguna formada a retaguarda desta barreira. Tem origem aí a formação da segunda barreira pleistocênica (barreira pleistocênica II), que se posicionou sobre a paleolaguna e sobre a barreira remanescente mais antiga. Por volta de 40.000 anos A.P. ocorreu uma nova fase de regressão marinha e a barreira começou a progradar, dando origem a uma superfície de erosão que pode ter se formado entre 35.000 e 9.000 A.P. (SILVA, 2011). Um novo período deposicional permitiu a formação do sistema barreira-laguna holocênico. O referido autor aponta para a existência de uma barreira holocênica situada mais ao sul, onde atualmente se encontra o arenito de praia datado em 8.100 anos A.P., atualmente submerso (em Itaipuaçú) (Figuras 2.6 e 2.7).

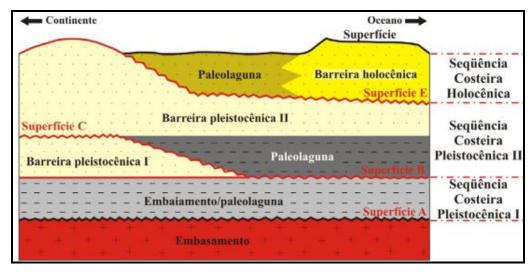


Figura 2.6 – Sequências deposicionais que formam o depósito sedimentar costeiro de Maricá, elaborado por Silva (2011): Sequência Costeira Pleistocênica I (SCP-I), Sequência Costeira Pleistocênica II (SCP-II) e Sequência Costeira Holocênica (SCH). Fonte: Silva, 2011.

Atualmente esta barreira se encontra em fase de retrogradação, devido elevação do nível do mar (SILVA *et al.*, 2008; SILVA, 2011). O modelo evolutivo apresentado por Silva (2011) evidencia as diversas etapas de formação e evolução da planície costeira de Maricá ao longo do Quaternário. Este esquema evolutivo foi feito com base em dados de georadar, sondagem geológica na planície costeira (até a profundidade de 27 m) e datações por ¹⁴C-AMS (Figura 2.7).

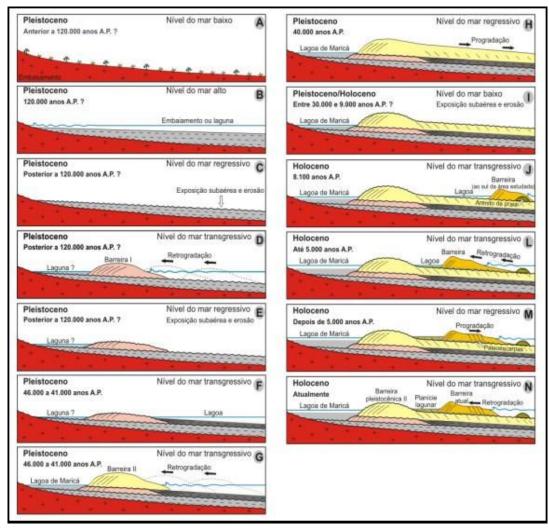


Figura 2.7 – Modelo evolutivo das etapas de formação da planície costeira de Maricá. Fonte: Silva *et al.* (2014b).

No que diz respeito às idades de formação destas barreiras, há uma certa discordância entre os autores que estudaram a planície costeira de Maricá, em especial sobre a formação da barreira mais antiga. A barreira externa se formou no Holoceno (PERRIN, 1984; MAIA *et al.*, 1984; IRELAND, 1987; TURCQ *et al.*, 1999; PEREIRA, 2001; PEREIRA *et al.*, 2003; SILVA, 2011). As idades apresentadas para esta barreira por Ireland (1987), Turcq *et al.* (1999), Pereira (2001), Pereira *et al.* (2003), Silva (2011) e Silva *et al.* (2014c) são semelhantes (Tabela 2.1). Porém, a idade apresentada por Perrin (1984) e Maia *et al.* (1984) para a barreira externa é bem mais recente do que as sugeridas pelos demais autores (Tabela 2.1). Com relação à barreira interna, Perrin (1984) e Maia *et al.* (1984) consideram que este

ambiente também teria se formado no Holoceno, divergindo de Ireland (1987), Turcq *et al.* (1999) e Silva (2001), que afirmam que ela se formou durante o Pleistoceno (Tabela 2.1). Em estudo mais recente, Silva (2011) e Silva *et al.* (2014a) coletaram amostra de matéria orgânica a 14 metros de profundidade, numa camada de sedimentos correspondente a barreira interna. A datação desta amostra feita por ¹⁴C-AMS indicou a idade de 40.880±1420 anos cal A.P. Este dado confirmou, assim, que a formação da barreira interna ocorreu no Pleistoceno (Tabela 2.1), ao contrário do que havia sido dito anteriormente por Perrin (1984) e Maia *et al.* (1984).

Tabela 2.1 – Idades apontadas para a formação dos sistemas barreira-laguna no litoral de Maricá e adiacências. RJ.

		mariou e adjucciicias, 185.	
Barreira e laguna externa (Idade/anos AP)	Barreira e laguna interna (Idade/anos AP)	Material datado e localização	Fonte
3.500	5.500 a 5.000	Baseando-se em datações realizadas por Martin <i>et al.</i> (1979), litoral de Maricá (RJ)	Perrin (1984)
3.500	7.000 a 5.000	Conchas e M.O. de sedimentos lagunares na planície costeira de Jacarepaguá (RJ)	Maia <i>et. al</i> . (1984)
7.150	Pleistoceno	Sedimentos com M.O. das lagoas do Padre (Maricá) e Itaipu (Niterói), RJ	Ireland (1987)
7.000 e 5.000	Pleistoceno	Sedimentos com M.O da lagoa Vermelha e Brejo do Espinho (Saquarema, RJ)	Turcq et. al. (1999)
6.040 a 5.900	_	Sedimentos da paleolaguna contendo M.O. em Itaipuaçú (Maricá, RJ)	Pereira <i>et. al.</i> (2003)
8.198 – 7827 cal.	_	Conchas extraídas do arenito de praia de Jaconé (Maricá, RJ)	Mansur <i>et. al.</i> (2011)
8.572 cal.	46.000 a 40.000	Conchas e M.O. extraídas da paleolaguna, da barreira interna e do arenito de Itaipuaçú (Maricá, RJ)	Silva (2011)

Fonte: Silva et al. (2014c).

2.3. Vegetação

A planície costeira de Maricá encontra-se, em grande parte, coberta por vegetação de restinga (Fig. 2.2), com presença de cactos, bromélias e espécies de diversas gramíneas e arbustos de baixo porte. Apresenta grande biodiversidade, com cerca de 408 espécies de flora e fauna endêmicas e ameaçadas de extinção, sítios arqueológicos e alguns recursos minerais (FARIA e BOHRER, 2005; LOUREIRO *et al.*, 2010). Essa variabilidade é decorrente da influência de fatores como a insolação, topografía, maior ou menor exposição ao vento, intrusão salina, ação das ondas de tempestade e do alcance do spray marinho, escassez de nutrientes e água no solo, entre outros (CORTE, 2009).

As espécies vegetais presentes podem ser endêmicas da restinga, provenientes da Mata Atlântica que conseguiram se adaptar à restinga e outras que coexistem nos dois ecossistemas,

adaptando-se às condições extremas como escassez de água, ventos intensos e salinidade (SILVA, 1999). A vegetação de restinga pode conter espécies herbáceas, formações arbustivas (abertas ou fechadas) e até espécies características de florestas. Parte da vegetação de restinga pode ficar sujeita a períodos mais ou menos prolongados de inundação do solo, fator que influencia diretamente na distribuição de determinadas formações vegetais (SILVA, 1999). A inundação do solo e sua duração depende da topografia do terreno, da profundidade do lençol freático e da proximidade de corpos d'água (rios ou lagoas), o que promove o surgimento de trechos com formações vegetais inundáveis e outros não inundáveis, como um mosaico, com fisionomias variáveis (SILVA, 1999). Segundo Mantovani (2003), as famílias mais encontradas na vegetação de restinga são: Convolvulaceae, Poaceae, Amaranthaceae, Cyperaceae e Fabaceae.

Para a restinga de Maricá, Oliveira e Silva (1989) e Araújo e Henriques (1984) identificaram comunidades vegetais baseadas em grupos florísticos do Estado do Rio de Janeiro, totalizando 13 comunidades. A comunidade vegetal de restinga denominada comunidade halófila, está mais intensamente sujeita à ação das marés de sizígias e seu espaço físico fica reduzido ou restrito ao das psamófilas. Entre as halófilas e psamófilas, destacam-se: Alternanthera littoralis var. maritima (Mart.) Pedersen, Blutaparon portulacoides (A.St.-Hil.) Mears, Sporobolus virginicus (L.) Kunth, Mariscus pedunculatus (R.Br.) Koyama, Ipomoea pes-caprae (L.) R.Br., Ipomoea littoralis (L.) Boiss (OLIVEIRA e SILVA, 1989). O brejo herbáceo está limitado a bolsões de umidade, que variam de 2 a 10m de diâmetro, apresenta uma fase mais vigorosa nos períodos chuvosos, devido à maior elevação do lençol freático; a vegetação arbórea apresenta altura média de 4 a 8 m, sobre a qual diversas plantas epífitas se desenvolvem (OLIVEIRA e SILVA, 1989).

As formações vegetais denominadas "thicket" e "scrub" correspondem, respectivamente, à vegetação arbustiva fechada e à vegetação arbustiva aberta. O scrub se caracteriza como um tipo de vegetação esclerófila arbustiva (ARAÚJO e HENRIQUES, 1984; MANTOVANI, 2003). Essa vegetação forma moitas com ramos predominantemente retorcidos, podendo ser intercaladas com espaços abertos ou em aglomerados contínuos com plantas que podem atingir até 3 metros de altura. Embora não estejam sujeitas diretamente à influência marinha, sofrem a influência da maresia, dos ventos, da insolação e da falta de nutrientes do solo (MANTOVANI, 2003). São representadas principalmente por samambaias, bromélias e orquídeas. As espécies vegetais mais comumente encontradas são: Dalbergia ecastophyllum (L.) Taub. (rabo-de-bugio ou marmelo-do-mangue), Tibouchina clavata (Pers.)

Wurdack (orelha de onça), Cordia curassavica (JACQ.) ROEM (erva baleeira), Eugenia uniflora L. Pitangueira (pitanga), Epidendrum fulgens Brongn e *Catasetum trulla* Lindl. (orquídeas terrestres), Nidularium innocentii Lem. e Quesnelia arvensis (Vell.) Mez (bromeliáceas terrestres), Rumohra adiantiformis (G. Forst.) Ching (samambaia de buquê) entre outras (MANTOVANI, 2003).

A floresta de restinga pode se dividir em floresta baixa e floresta alta. A primeira é composta por variadas espécies de Myrtaceae, além de espécies de outras famílias como Aquifoliaceae, Malpighiaceae, Theaceae, Clusiaceae, Fabaceae e Lauraceae (MANTOVANI, 2003). Encontra-se aí o predomínio de estratos arbustivos e arbóreos, com dossel aberto, cujas árvores alcançam entre 3 a 10 m de altura. A floresta alta apresenta uma vegetação predominantemente arbórea, com dossel fechado e árvores cuja altura varia entre 10 e 15 m. As espécies mais comuns são *Euterpe edulis* Mart., *Xylopia langsdorffiana* A. St.-Hill. & Tul., *Amaioua intermedia* Mart., *Ternstroemia brasiliensis* Cambess e *Ocotea puchella* (Nees) Mez (MANTOVANI, 2003). Nas áreas entre cordões arenosos e na borda das lagoas, ocorre uma vegetação herbácea-arbustiva, com plantas que atingem até 1 metro e meio de altura, sujeita a alagamentos perenes ou periódicos. Trata-se de uma formação onde a diversidade de espécies é pequena, podendo ocorrer Pteridófitas (*Lycopodium* spp, *Ophioglossum* sp.), gramíneas, ciperáceas e saprófitas (*Utricularia nervosa*), *Triglochin striata* e *Drosera villosa* (MANTOVANI, 2003).

Dentre as classificações existentes, neste estudo foi adotada a apresentada por Araújo e Henriques (1984), que identificaram as seguintes comunidades vegetais em restingas: halófilas, psamófilas-reptantes; "slack" de dunas móveis; "thicket"; "scrub"; brejo herbáceo; floresta periodicamente inundada; floresta permanentemente inundada e floresta seca (Figura 2.2). No caso da planície costeira de Maricá, além destas, foi identificada por Coe et al. (2012 b) uma outra comunidade, que recebeu a denominação de vegetação arbustiva nas margens da lagoa (Figura 2.2).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Sistemas Barreira-laguna

Um sistema barreira-laguna (Figura 3.1) é composto por barreiras arenosas associadas com sistemas lagunares que se formam em resposta ao fechamento de antigas enseadas. Esses ambientes podem ser encontrados em cerca de 15% dos ambientes costeiros no mundo e ocorrem em diferentes tipos de clima. As barreiras arenosas se desenvolvem paralelamente à costa, aprisionando corpos d'água e possibilitando o surgimento de lagunas na sua retaguarda (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

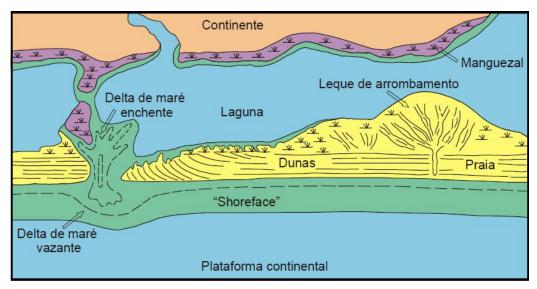


Figura 3.1 – Esquema de um sistema barreira-laguna. Modificado de Scholle e Spearing, 1982. Fonte: Silva, 2011.

3.1.1. Formação de sistemas barreira-lagunas

Barreiras arenosas

As barreiras arenosas correspondem a faixas de areia que se formam ao longo da costa em consequência da ação combinada de ventos, ondas e correntes longitudinais, de modo gradual e ao longo de vários anos. Sua origem se associa à deposição constante de sedimentos. Essa feição costeira recebe essa denominação por formar uma barreira entre o mar aberto e os demais ambientes presentes na planície costeira, protegendo o litoral dos efeitos diretos das forças do mar, sobretudo da incidência direta de ondas de tempestades (BIRD, 2008; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004) (Figura 3.2).

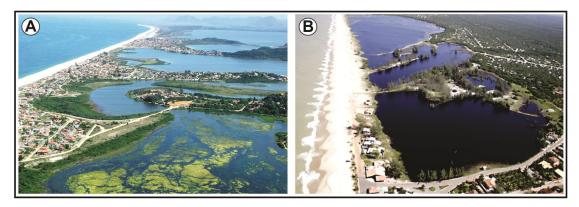


Figura 3.2 – Exemplos de sistemas barreira-lagunas no litoral fluminense. (A) Sistema barreira-laguna de Maricá – RJ. (B) Sistema barreira-laguna de Jurubatiba (Quissamã/Macaé) – RJ. Em ambas as fotos é nítida a barreira formada entre o mar e a(s) laguna(s). (Foto A: Guichard, D. 2009; Foto B: http://www.achetudoeregiao.com.br/animais/jurubatiba.htm).

A largura de uma barreira pode variar de menos de 100 metros a alguns quilômetros, dependendo da disponibilidade de sedimentos (na fração areia procedente de várias fontes como rios, depósitos deltaicos e glaciais, falésias e materiais biogênicos) e da maior ou menor taxa de erosão. Seu comprimento também é bastante variável, podendo ter poucos metros ou alcançar mais de 100 quilômetros de extensão de acordo com a disponibilidade de sedimentos (BIRD, 2008; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

A maioria das barreiras apresenta uma parte frontal (voltada para o oceano com dunas frontais e a praia) e uma retaguarda (face voltada para a laguna ou baía, com depósitos de leques de arrombamento, vegetação mais densa, dunas) (Figura 3.3). Podem ser seccionadas por canais de maré apresentando depósitos de areias denominados delta de maré enchente e/ou vazante (Figura 3.1) (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).



Figura 3.3 – Face frontal e retaguarda da restinga da Marambaia no litoral fluminense. (Fonte: http://mapio.net/pic/p-22102510/).

Mecanismos de formação de barreiras arenosas

Vários autores apresentam diferentes mecanismos como responsáveis pela formação das barreiras arenosas:

- (1) construção de barras submarinas em fases de mar estável (BEAUMONT, 1845; apud DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004);
- (2) progradação de pontais arenosos paralelamente à praia devido à ação da corrente de deriva litorânea, e segmentação desses esporões por canais de maré durante eventos de alta energia (GILBERT,1885; apud DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004);
- (3) submergência de cristas de praia pela inundação decorrente da elevação do nível do mar (MCGEE, 1890; HOYT, 1967; apud DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004);
- (4) processos relativos à combinação de várias causas, quando vários desses mecanismos atuam juntos para formar uma barreira. (SCHWARTZ,1971).

Fatores que atuam na evolução de uma barreira

Diferentes fatores de origem tectônica ou climática podem interferir na dinâmica das barreiras aumentando-a ou diminuindo-a, alterando sua morfologia. O tipo de tectônica característica de uma determinada costa é responsável pela forma de contribuição sedimentar, a largura da plataforma continental e a topografia da costa (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). O clima exerce uma influência preponderante no tamanho e quantidade de rios, bem como, sobre o volume total de sedimentos que chegam à costa. Tal característica está condicionada à relação entre a taxa de precipitação e evaporação, que está diretamente relacionada ao tipo de clima que atua sobre uma determinada região (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

Leatherman (1979) apud Silva (2011) ressalta que a evolução e dinâmica das barreiras arenosas está ligada a alguns fatores que controlam seu desenvolvimento, são eles: o suprimento de sedimentos, a taxa de variação do nível do mar, a relação entre a energia das ondas e a maré e a capacidade do homem de intervir neste tipo de ambiente. A influência dessas variáveis pode provocar a progradação da barreira (quando esta se desloca em direção ao oceano); a retrogradação (recuo em direção ao continente) ou a agradação (crescimento vertical da barreira) (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

A progradação de uma barreira ocorre em função de dois fatores: oferta de sedimentos e nível do mar estável, em queda ou em lenta elevação. É possível haver aumentos na taxa de sedimentação durante a ocorrência de tempestades (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). O elevado suprimento de sedimentos é o principal fator capaz de contribuir para a progradação

das barreiras arenosas. Desse modo, as desembocaduras de rios ou as áreas litorâneas adjacentes a grandes rios são as mais susceptíveis à progradação costeira (SILVA, 2011). A barreira também pode progradar devido ao transporte de sedimentos da plataforma interna em direção à praia (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

A retrogradação de barreiras é uma resposta a uma elevação do nível do mar e/ou em decorrência da perda de sedimentos no litoral, causando a redução no volume de areia depositada sobre a barreira. Essa redução pode ocorrer durante as tempestades, quando grandes quantidades de sedimentos podem ser transportadas para a região submarina; devido ao transporte ocorrido ao longo do litoral pela corrente de deriva litorânea; ou ainda em decorrência do processo de sobrelavagem (*overwash*), devido ao transporte de materiais por sobre a barreira na direção do continente. A erosão na parte frontal da barreira causa a diminuição da largura da praia e a destruição da crista das dunas frontais. A barreira arenosa se desloca, então, em direção aos ambientes presentes na sua retaguarda: baías, lagunas e pântanos (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

O processo de agradação representa o desenvolvimento vertical de uma barreira. Esse crescimento é o resultado de uma fase de elevação do nível do mar com concomitante equilíbrio com o aporte de sedimentos. Trata-se de um caso mais raro de desenvolvimento de barreiras, que depende de uma taxa de suprimento de sedimentos que compense a elevação do nível do mar (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

Tipos de barreira

As barreiras podem apresentar três diferentes morfologias.

Barreiras arenosas (welded barrier): ocorrem ao longo de costas irregulares onde o fornecimento de sedimentos é suficiente para formar uma barreira. São comuns ao longo de costas de formação rochosa, como na costa oeste dos Estados Unidos e ao longo de costas glaciais no Canadá e no Alaska. Seu desenvolvimento ocasiona o fechamento de baías de águas rasas dando origem à formação de lagunas na retaguarda da barreira. Formam-se com mais frequência ao longo de costas influenciadas por regimes de micromarés; e em locais que apresentam uma energia de ondas de moderada a alta, capazes de favorecer o desenvolvimento desses corpos arenosos (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004) (Figuras 3.4 e 3.5A).

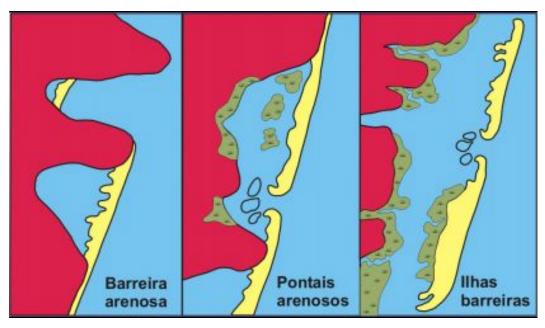


Figura 3.4 – Tipos de barreiras arenosas. Modificado de Leatherman (1979) e Davis Jr. e Fitzgerald (2004). Fonte: Silva (2011).

<u>Pontais arenosos</u> (*barrier spit*): ocorrem com mais frequência ao longo de costas irregulares onde as ondas incidem de forma oblíqua e a oferta de sedimentos é abundante, características que resultam em altas taxas de transporte longitudinal de sedimentos. Tais condições além de propiciarem a formação de pontais que atravessam embaiamentos também favorecem a retilinização da costa (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). Esse tipo de barreira é dominante ao longo de costas tectonicamente ativas (Figuras 3.4 e 3.5C).

<u>Ilha barreira</u> (*barrier islands*): ocorrem quando as faixas de areia paralelas à costa são seccionadas por canais de maré que impedem a conexão entre estes corpos arenosos e o continente. Diferentes variáveis interferem no comprimento, na largura e na morfologia das ilhas barreira: a amplitude das marés, a energia das ondas, o aporte de sedimentos, as variações do nível do mar, etc. (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004) (Figuras 3.4 e 3.5C).



Figura 3.5 – Exemplos de barreiras arenosas. (A) Barreira arenosa que se encontra conectada ao continente pelas duas extremidades. Litoral de Maricá – RJ – Brasil. (B) Formação de pontal arenoso na península Sandy Hook, Baía de Nova York, EUA. (C) Ilha Barreira na Ria Formosa, Portugal (Fotos: Google Earth).

Lagunas costeiras

Podem ser definidas como corpos d'água rasos separados do oceano por barreiras e que se conectam com o mar, ainda que temporariamente, por um ou mais canais de maré. Em geral, elas apresentam uma orientação paralela à costa (FREITAS, 1996; KJERFVE e MAGILL, 1989) e estão sujeitas às variações da maré e da salinidade, podendo variar de lagunas de água doce a hipersalinas, dependendo da conexão com o mar e do balanço

hidrológico (KJERFVE e MAGILL, 1989). Ocupam cerca de 13% das áreas costeiras, distribuindo-se desde as zonas tropicais até os pólos e encontram-se essencialmente em regiões de micro ou meso maré, sujeitas a uma rápida sedimentação.

Os sedimentos de uma laguna podem ter origens diversas: marinha, continental e/ou resultante de atividade química ou biológica. Estas feições estão sujeitas tanto a mudanças naturais, podendo eventualmente evoluir para outro tipo de ambiente devido a fatores como o preenchimento sedimentar, a atividade tectônica e as variações eustáticas do nível do mar, quanto aos impactos causados pela ação antrópica (KJERFVE, 1986; KJERFVE e MAGILL,1989).

Os sedimentos depositados em uma laguna são provenientes das seguintes fontes: (1) plataforma continental interna e face litorânea (*shoreface*), de onde provem areia e cascalho para o sistema lagunar; (2) processos eólicos, sobretudo em áreas onde o clima é mais árido; (3) descarga fluvial, responsável por transportar sedimentos de diferentes tamanhos, desde finos a grossos, que se depositam próximos à borda interna da laguna; (4) processos químicos e biológicos, decorrentes da precipitação de sais e crescimento de organismos, respectivamente (DAVIDSON-ARNOTT, 2010). O preenchimento total ou parcial da laguna vai depender dos seguintes fatores: (a) sua maior ou menor eficiência na retenção de sedimentos; (b) da taxa de variação do nível do mar; e (c) da interferência antropogênica como represamento de rios, bombeamento de água, uso e ocupação do solo, etc. (KJERFVE, 1994; BIRD, 1994). As taxas normais de preenchimento sedimentar em uma laguna variam entre 30 e 40 cm por século (SHEPARD, 1953).

São sistemas muito dinâmicos que, na escala geológica, têm vida extremamente curta e sua existência está diretamente relacionada às variações do nível do mar e à capacidade de chegada de sedimentos à mesma (DAVIS, 1985). O padrão de circulação nas lagunas é pouco afetado pelo *input* de água doce e sua comunicação com o mar é restrita. Os principais movimentos de água na laguna ocorrem na forma de correntes de maré ou ondas geradas por ventos (SILVA, 2009).

O teor de salinidade das lagunas pode variar intensamente, de modo que algumas cheguem a ser hipersalinas. A salinidade é controlada pela troca de água com o mar e pelo volume de entrada de água doce. A variação na salinidade se dá de uma laguna para outra e internamente dentro de uma mesma laguna. Assim, as áreas mais próximas à entrada de águas fluviais, por exemplo, tenderão a ser menos salinas (KJERFVE e MAGILL, 1989).

3.1.2. Variações relativas no nível do mar no Holoceno

Conforme Angulo *et al.* (2006), as primeiras interpretações confiáveis dos paleoníveis marinhos foram possíveis graças às datações pioneiras por radiocarbono de pedra calcária biogênica composta por vermetídeos realizadas por Van Andel e Laborel (1964). A partir daí, outras datações para estudo dos paleoníveis marinhos foram também usadas por Bigarella (1965; 1971); Bigarella e Sanches (1966); Delibrias e Laborel (1969) e Laborel (1969). Conforme Angulo e Souza (2014), os paleoníveis marinhos podem ser inferidos com base em diversos tipos de indicadores costeiros: geomorfológicos, faciológicos, biológicos em costões rochosos e recifes e arqueológicos. Os autores também chamam a atenção para o uso de indicadores obtidos através de microfósseis ou por fracionamento isotópico.

A partir de meados da década de 1970 pesquisas importantes sobre as variações do nível do mar ocorridas na costa brasileira foram realizadas por Suguio et al. (1985) e Suguio (2010). Na década de 1980, Suguio et al. (1985) destacaram a importância das oscilações do nível do mar para a evolução das planícies costeiras brasileiras. Com base em evidências biológicas e na presença de sambaquis, estes autores identificaram variações do nível relativo do mar nos últimos 7.000 anos no litoral brasileiro que apontam para uma fase de elevação máxima em torno de 5.100 anos A.P. e para duas fases de oscilações com diminuição e subida do nível do mar, posteriormente ao momento de maior elevação marinha. Segundo esses autores, o litoral brasileiro no Holoceno esteve submetido a um período de submersão até cerca de 5.100 anos A.P. e que, posteriormente, foi acompanhado de uma emersão devido a fases de regressão marinha. As curvas traçadas para a maioria dos setores do litoral indicam dois momentos de regressão marinha e consequente emersão do litoral (Figura 3.6). Martin et al. (2003), baseando-se em diferentes indicadores (biológicos, sedimentares, arqueológicos e isotópicos) mostra que nos últimos 7.000 anos a porção central da costa brasileira foi submetida a uma fase de submersão que teria durado até mais ou menos 5.100 14C A.P (5.600 anos cal A.P), sendo seguida, posteriormente, por uma fase de emersão marcada por duas oscilações de alta frequência, corroborando com Suguio et al. (1985).

Angulo e Lessa (1997) também afirmam que as planícies costeiras brasileiras apresentam evidências de fases de regressão após o máximo transgressivo ocorrido no Holoceno, em torno de 5.100 anos A.P. Com base em estudos realizados no litoral do estado do Paraná e parte sul do Estado de São Paulo, Angulo e Lessa (1997) e Angulo *et al.* (2016) apontam para a existência de uma fase de elevação máxima do nível do mar em torno de 5.000 anos A.P. No entanto, para estes autores, a elevação não chegou a ultrapassar os 3m,

enquanto que para Martin et al. (1985), o máximo de elevação atingiu os 5m. Para Angulo e Lessa (1997), após esse máximo, a redução do nível do mar foi constante até ser atingido o nível atual (Figura 3.7). Diferente do que acredita Martin *et al.* (1985), que apontam duas fases de abaixamento do nível do mar, posteriormente ao máximo atingido, seguidas de novas oscilações.

Mais recentemente, Angulo e Souza (2014) apresentaram resultados de uma revisão conceitual sobre os principais indicadores costeiros de paleoníveis marinhos utilizados no Brasil para o Quaternário. Conforme Angulo e Souza (2014), as oscilações no nível do mar têm sido estudadas no Brasil desde o século XIX. Os autores apresentam uma proposta de classificação dos indicadores e destacam a importância de se elaborar curvas locais e regionais de nível relativo do mar em função da diversidade de variáveis envolvidas nas flutuações eustáticas e aparentes do nível do mar.

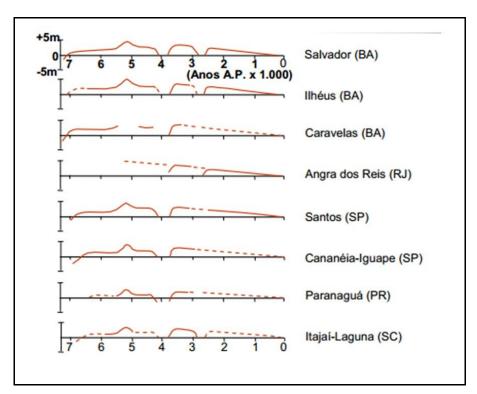


Figura 3.6 – Curvas de variação do nível do mar durante o Quaternário elaboradas por Martin na década de 1970. Fonte: Suguio *et al.*, 1985.

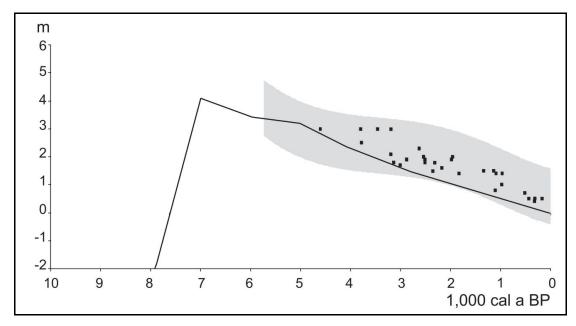


Figura 3.7 – Curva de variação eustática do nível do mar (Milne *et al.*, 2005 – linha sólida), envoltório do nível do mar (Ângulo et al., 2006 – área cinza) e reconstrução de paleoníveis marinhos através de vermetídeos e cracas (quadrados pretos) para a costa do Rio de Janeiro. Fonte: Angulo *et al.*, 2016.

3.2 Reconstituição Paleoambiental

Estudos de reconstituição paleoambiental têm por objetivo compreender as mudanças no clima e na vegetação ocorridas numa determinada área no decorrer de milhares ou milhões de anos. Tais estudos buscando reconstruir as condições ambientais durante o Quaternário, em especial no Holoceno, tornaram-se mais frequentes desde meados da década de 1980 e se intensificaram nos anos 1990 (SOUZA *et al.*, 2005, SUGUIO, 2010). Estudos de tal natureza encontram, porém, restrições devido à escassez e a descontinuidade de dados, limitando assim, as correlações cronoestratigráficas bem como as interpretações das informações obtidas (BARRON e MOORE, 1994, SUGUIO, 2010). Esses estudos requerem necessariamente a utilização de um indicador (*proxy*) ou a aplicação combinada de mais de um indicador (COE *et al.*, 2013).

O maior conhecimento a respeito da dinâmica climática atual e do ambiente como um todo, bem como prognósticos a respeito de mudanças futuras estão diretamente associados a estudos de reconstituição paleoambiental. Suguio (2010) destaca que o conhecimento mais completo de dados globais, regionais e locais confiáveis é fundamental para a calibração de modelos que permitam diagnosticar futuras mudanças climáticas. Ressalta ainda que, para entender a dinâmica ambiental, além dos dados atuais é essencial o conhecimento de dados ambientais pretéritos. Daí a necessidade e a importância da reconstituição histórica do clima,

que implica em mudanças paleoclimáticas ocorridas em diferentes escalas espaciais (mundiais, regionais e locais) e temporais (de centenas a dezenas de milhões de anos até a algumas dezenas de anos) (SUGUIO, 2010).

Dentre as diversas ferramentas passíveis de serem aplicadas aos estudos ambientais, os grãos de pólen têm sido uma das mais utilizadas por muitos pesquisadores como recurso para fazer reconstruções da vegetação e inferências climáticas (SOUZA *et al.* 2005; SUGUIO, 2010, COE *et al.* 2013). Tais análises palinológicas têm sido integradas a outras ferramentas, principalmente, às datações pelo método do radiocarbono (SUGUIO, 2010).

A partir da década de 1970, o desenvolvimento de técnicas palinológicas para análises de registros sedimentares contribuiu significativamente para a melhor compreensão das mudanças ocorridas na vegetação brasileira, tanto aquelas decorrentes das mudanças climáticas globais quanto às ligadas às ações antrópicas, durante o Quaternário Tardio (SOUZA *et al.*, 2005). Suguio (1999) ressalta a importância da Palinologia associada a técnicas de datação absoluta como, por exemplo, a datação por Carbono 14, nos estudos paleoambientais. No entanto, apesar de muitas pesquisas terem revelado a eficiência deste *proxy*, uma limitação que o mesmo apresenta diz respeito à disponibilidade de fontes de coleta de materiais e à identificação de gramíneas (COE *et al.*, 2013).

No Brasil, Souza *et al.* (2005) destacam que, no início dos anos 1980, os trabalhos de reconstrução paleoclimática estavam concentrados na região amazônica. Na década de 1990, pesquisas paleoambientais utilizando grãos de pólen em sedimentos lacustres e em turfeiras se intensificaram e passaram a abordar diversos ecossistemas brasileiros (SAIA, 2006) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Estudos de reconstituição paleoambiental em diferentes ecossistemas brasileiros.

Ecossistema	Autores		
	De Oliveira, 1996; Colinvaux et al., 1996; Colinvaux et al., 1999; Colinvaux		
Amazônia	e De Oliveira, 1999; Colinvaux et al., 2000; Bush et al., 2000; Colinvaux e		
	De Oliveira, 2001; Bush et al., 2002; Behling, 1996, 2001; Behling et al.,		
	2000, 2001b, c; Behling e Costa, 1994, 2001		
	Ledru, 1992; Ledru et al., 1993; De Oliveira, 1992; Ferraz-Vicentini, 1993;		
Cerrado	Salgado-Labouriau e Ferraz-Vicentini, 1994; Salgado-Labouriau et al., 1997,		
	1998; Ferraz-Vicentini, 1999; Barberi, 2001; Behling, 2002a		
Região sul do Brasil	Behling, 1993, 1995a, 1997a, 2002a; Behling e Negrelle, 2001		
Pantanal	De Oliveira et al., 1999b		
Mata Atlântica	Garcia, 1994; Behling, 1993,1995a; Chaves, 1997; Barros et al., 2000; Bissa		
iviata Atlantica	et al., 2000; Costa, 2000; São-Thiago, 2002		
Caatinga Nordestina	De Oliveira et al., 1999 ^a		

Fonte: Souza et al. (2005)

O Estado do Rio de Janeiro também tem sido alvo de diversos trabalhos de reconstrução ambiental. Boa parte destes trabalhos foi desenvolvida no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, onde foram feitas análises paleoambientais associadas a estudos geomorfológicos e estatigráficos, que contribuíram para a reconstituição da paisagem durante o Quaternário. Tais análises permitiram identificar as seguintes fases: uma mais fria e seca que corresponde ao período entre 30.000 e 21.000 anos A.P., marcada pela presença de vegetação arbórea bem diversificada (própria de floresta tropical) e de áreas de savanas. Outra, entre 21.000 e cerca de 12.000 anos A.P., com a presença de um padrão de vegetação em forma de mosaico floresta-savana. Uma terceira fase, que corresponde à transição entre o Pleistoceno e Holoceno, cuja característica foi a instabilidade tanto do clima quanto da vegetação (SOUZA et al., 2005). Nessa transição houve um período mais úmido (com a presença de solos encharcados, típicos de áreas pantanosas ou de brejos) seguido de um período de instalação de uma cobertura vegetal com espécies pioneiras e predomínio da vegetação de savana (BARROS, 2003 apud SOUZA et al., 2005).

São poucos os estudos paleoambientais desenvolvidos ao longo do litoral do Brasil (SOUZA *et al.*, 2005). No que diz respeito ao litoral fluminense, a reconstituição do paleoambiente costeiro mostrou que não houve variações na formação vegetal durante o Holoceno Superior e que as principais mudanças ocorreram bem mais recentemente devido à interferência antrópica durante o período colonial, em decorrência das atividades extrativistas, da ocupação litorânea e das atividades turísticas (SOUZA *et al.*, 2005). Souza *et al.* (2005) ressaltam que formações vegetais como a restinga, os manguezais e as florestas (de mata seca e atlântica) estiveram presentes no litoral fluminense desde pelo menos 5.500 anos A.P. a aproximadamente 1.400 anos A.P.

Diante das limitações apresentadas em estudos baseados em um apenas um *proxy*, análises *multiproxies* têm se tornado cada vez mais frequentes em estudos de reconstituição paleoambiental. Estudos mais recentes (MEDEANIC *et al.*, 2007; NEUMANN, 2009; COE *et al.*, 2012a; COE *et al.*, 2013; COE *et al.*, 2014b; CALEGARI *et al.*, 2015; RASBOLD *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016, entre outros) buscam integrar diferentes bioindicadores, como foraminíferos, pólen, ostracodes, tecamebas, cocolitoforídeos, corais, frústulas de diatomáceas, espículas de esponjas, vermetídeos, anéis de árvores, fitólitos, carvão, análises isotópicas e ligninas. Ao se optar por um ou mais indicadores deve-se considerar o ambiente a ser estudado, pois cada um desses *proxies* apresenta características próprias e limitações, que os tornam mais ou menos eficazes de acordo com o ambiente e o material que serão

analisados (Tabela 3.2). O enfoque *multiproxy* revela a preocupação em se fazer uma abordagem que possa oferecer informações que complementem.

Tabela 3.2 – Tipos de *proxies* e suas aplicações.

	PROXY	TIPOS DE ESTUDOS AOS QUAIS SE APLICA	AUTORES
	Pólen e Palinomorfos	Estudos relacionados a mudanças florísticas e climáticas	Toledo, 1998; Bremond <i>et al.</i> , 2004; Medeanic, <i>et al.</i> , 2007; Neuman <i>et al.</i> , 2009; Calegari <i>et al.</i> , 2015;
Proxies terrestres	Fitólitos	Mudanças na vegetação e no clima	Piperno e Becker, 1996; Fredlund e Tieszen, 1997; Barboni et al., 1999; Blinnikov, et al., 2002; Delhon et al., 2003; Bremond et al., 2004; Boyd, 2005; Borba-Roschel et al. 2006; Medeanic, et al., 2007; McClung de Tapia et al., 2008; Medeanic et al., 2008; Neuman et al., 2009; Ghosh et al., 2011; Coe et al., 2012a; Coe et al., 2013; COE et al., 2014; Calegari et al., 2015; Paisani et al., 2016; Rasbold et al., 2016;
	Isótopos estáveis de Carbono	Mudanças no tipo de vegetação	Coe et al., 2012a; Coe et al., 2013; COE et al., 2014; Paisani et al., 2016.
	Anéis de crescimento de árvores	Estudos climáticos	Kromer, 2009; Gebrekirstos <i>et al.</i> , 2014; Arzhannikov <i>et al.</i> , 2017Blondel <i>et al.</i> , 2017.
	Espículas de esponjas	Estudos de variações em ambientes aquáticos de água doce e água marinha.	Racek, 1966; Harrison et al., 1979; Hall e Herrmann, 1980; Harrison, 1988; Martin et al., 1992; Sifeddine et al., 1994; Volkmer-Ribeiro e Turcq, 1996; Cordeiro et al., 1997; Turcq et al., 1998; Cândido et al., 2000; Volkmer-Ribeiro et al., 2001b; Parolin et al., 2003; Volkmer-Ribeiro et al., 2004; Parolin et al., 2005; Parolin et al., 2007; Volkmer-Ribeiro et al., 2007; Parolin et al., 2008; Almeida et al., 2009; Machado, 2009; Rezende, 2010; Silva et al., 2012; Guerreiro et al., 2013; Kalinovski et al., 2013; Rasbold et al., 2014; Kalinovski et al., 2016; Santos et al., 2016.
Proxies aquáticos	Frústulas de diatomáceas	Estudos de variações em ambientes aquáticos de água doce e marinha	Ireland, 1987; Zong, 1997; McQuoid et al., 1998; Volkmer-Ribeiro et al., 2001b; McQuoid et al., 2003; Ribeiro, 2005, 2007; Souza et al., 2007; Volkmer-Ribeiro et al., 2007; Hermany, 2009; Machado, 2009; Machado et al., 2011; Benício, 2010; Castro et al., 2011; Kalinovski et al., 2013; Zhang et al., 2015;
Proxi	Ostracodes	Estudos paleoceanográficos, paleoclimáticos e bioestratigráficos, sendo bons indicadores de batimetria	Forester, 1986; Carbonel, 1988; Engstrom e Nelson, 1991; Ricketts <i>et al.</i> , 2001; Hunt e Roy, 2006.
	Vermetídeos	Estudos de variações do nível do mar, reconstituição de mudanças eustáticas e instabilidade tectônica	Jesus et al., 2017;
	Cocolitoforídeos	Estudos de variações em ambientes marinhos.	Laslandes, 2007.
	Tecamebas	Mudanças da salinidade, da acidez das massas de água e do clima.	Patterson <i>et al.</i> , 1985 ; Medioli, e Scott, 1988; Wightman <i>et al.</i> , 1994; Asioli <i>et al.</i> , 1996.
	Foraminíferos	Variações paleoceanográficas e paleoclimáticas	Wightman <i>et al.</i> , 1994; Silva, 2003; Bruno, 2013a; Bruno, 2013b.
	Radiolários	Estudos bioestratigráficos, reconstituição paleogeográficas de áreas tectonicamente complexas, estudos paleoceanográficos e paleoclimatológicos	Harper Jr. e Knoll, 1975; Holdsworth e Jones, 1980.

Fonte: Modificado de Seixas (2017).

Alguns trabalhos têm associado, por exemplo, análises de diferentes indicadores biológicos resultantes de biomineralizações. Entende-se por biomineralizações o processo pelo qual são formados minerais, substâncias amorfas ou mineraloides, a partir do processo de funcionamento metabólico dos organismos vivos, de procariontes a eucariontes, incluindo humanos (LOWESTAN, 1981; WEINER e DOVE, 2003). Embora aconteçam com frequência na natureza, as biomineralizações são relativamente pouco estudadas. Elas resultam na formação de complexos sólidos orgânicos e inorgânicos em sistemas biológicos (HINKE *et al.*, 2005) denominados biominerais. Estes diferem dos minerais de origem inorgânica pelo fato de seu crescimento depender diretamente da atividade celular (JAHREN, 1996).

As biomineralizações possuem naturezas diversas e podem ser cristalinas, paracristalinas ou amorfas. Apresentam composição química muito variada, sendo as mais comuns as de carbonatos e oxalatos de cálcio, sílica amorfa, e óxi-hidróxidos de ferro e de manganês (OSTERRIETH, 2006). O processo de biomineralização pode ser considerado um processo celular e também um processo global, visto que ocorre em todo globo terrestre. Este processo atua como fonte e sumidouro de íons solúveis, considerando que durante sua realização há uma constante troca de anions e cátions entre as células.

Há diferentes tipos de biomineralizações, no entanto as mais comuns são as que contêm ferro, cálcio e sílica. Nem sempre o processo de biomineralização vai gerar minerais, sendo comum a formação de substâncias amorfas como resultado deste processo (OSTERRIETH, 2008). São exemplos de biomineralizações amorfas, a opala biogênica (SiO₂.nH₂O), o carbonato de cálcio amorfo (CaCO₃.nH₂O), os oxalatos de cálcio hidratados (CaC₂O₄. nH₂O), sulfetos amorfos de ferro (FeS) e ferrihidrita (5Fe₂O₃.9 nH₂O) (OSTERRIETH, 2008).

Neste trabalho foram utilizados três tipos de biomineralizações de sílica: espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos. Cada um deles será tratado mais detalhadamente a seguir. Todos eles correspondem a indicadores orgânicos que estão associados a algum tipo de organismo vivo, sendo os dois primeiros indicadores aquáticos, enquanto que os fitólitos são continentais. Eles têm em comum o fato de apresentarem uma composição silicosa que lhes confere maior resistência, fazendo com que se preservem e sirvam, assim, como instrumentos eficazes para o conhecimento de condições ambientais pretéritas (KALINOVSKI *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2007). A sílica pode estar presente de diferentes maneiras: no caso das esponjas e das diatomáceas formando o esqueleto dos organismos, no caso dos fitólitos no interior da célula vegetal (OSTERRIETH, 2008).

3.3. Biomineralizações de sílica

As análises de espículas de esponjas e de frústulas de diatomáceas contribuem para estudos paleoambientais por oferecerem informações a respeito das características ambientais das espécies (*habitat*) permitindo determinar, por exemplo, a origem dos sedimentos (se são continentais ou marinhos), as mudanças ocorridas nas características lacustres (eutrofização antropogênica e acidificação) durante o Quaternário e a reconstrução dos climas pretéritos e das condições dos oceanos e dos ecossistemas aquáticos (SOUZA *et al.*, 2007).

3.3.1 Espículas de esponja

As esponjas são organismos aquáticos que pertencem ao filo Porífera e que podem habitar águas oceânicas ou água doce (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010). Trata-se de organismos sésseis, metazoários que sugam a água do ambiente, filtram-na em câmaras coanocitárias² e depois a devolvem limpa para o ambiente. Por sua propriedade séssil, as esponjas se fixam em diferentes substratos situados em locais onde a água tenha boa oxigenação, para assim poderem retirar o oxigênio do qual precisam para viver. Estes substratos podem ser rochosos ou restos de vegetação submersa como raízes de espécies macrófitas, galhos, troncos de árvores de espécies que vivem em locais sujeitos a alagamentos sazonais. As esponjas de água doce podem ocupar estes substratos por meio das larvas (reprodução assexuada), ou por dispersão, quando as gêmulas³, ao flutuar, acompanham o movimento das águas, ficando retidas por algum obstáculo durante seu deslocamento (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010) (Figuras 3.8 e 3.9).

² Células que apresentam um colarinho e flagelos que, devido ao seu movimento, favorecem a criação de correntes de circulação da água, retirando da mesma microorganismos como as bactérias, dos quais se alimentam (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).

³ Gêmulas "são elementos de reprodução assexuada, individualizados por um revestimento protetor não celular contendo uma incrustação de gemoscleras" (VOLKMER-RIBEIRO, 1981). Correspondem a estruturas esféricas que estão contidas na parede esqueletal das esponjas e que se encontram protegidas por uma camada denominada espongina. São estruturas importantes para a dispersão das espécies (VOLKMER-RIBEIRO, 1981; VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000; VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).

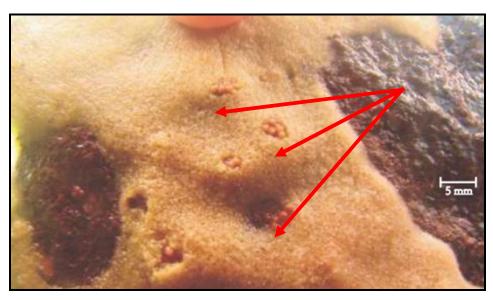


Figura 3.8 – Conjunto de gêmulas formadas em esponja da espécie *Oncosclera navicella* encontrada no rio Formoso, afluente do rio Ivaí. Fonte: Volkmer-Ribeiro e Parolin, 2010.

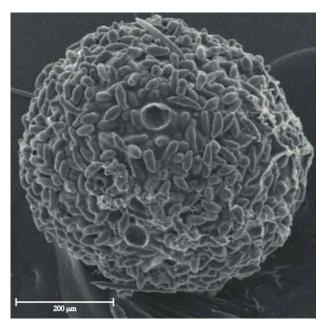


Figura 3.9 – Fotografia tirada em microscópio eletrônico de varredura de gêmula de *Oncosclera jewelli*, coberta por gemoscleras. Fonte: Volkmer-Ribeiro e Parolin, 2010.

As primeiras espécies de esponjas originaram-se nos oceanos passando a ocupar também ambientes continentais (de água doce) no decorrer do tempo geológico, em decorrência da invasão do continente pelas águas oceânicas. Posteriormente, com o recuo do mar as esponjas que permaneceram em rios e lagos sofreram adaptações e deram origem a novas espécies, gêneros e famílias de esponjas (VOLKMER RIBEIRO, 1985; VOLKMER-

RIBEIRO e PAROLIN, 2010; VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000; MANCONI e PRONZATO, 2008). Para Volkmer-Ribeiro e De Rosa-Barbosa (1979) o processo de transição e adaptação de esponjas do meio marinho ao ambiente de águas continentais ocorreu em decorrência da alternância de eventos de transgressões marinhas (oriundas de movimentos tectônicos, principalmente no período Cretáceo) e regressões marinhas. No entanto, episódios de transgressão, em virtude da elevação do nível do mar ocorridos em períodos interglaciais mais recentes, contribuíram para a formação de lagos salgados que foram posteriormente dessalinizados devido ao aumento do aporte de água doce oriunda dos rios, originando fases mesohalinas (VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000). Em conjunto, todos esses eventos favoreceram o desenvolvimento e a proliferação das esponjas de água doce, agora adaptadas às novas condições ambientais.

Uma característica marcante das esponjas é o fato de agirem como filtradoras no ambiente onde se desenvolvem e vivem. Essa ação é consequência do seu mecanismo de alimentação, já que elas se alimentam filtrando microorganismos como bactérias e outras partículas em suspensão na água, o que acontece por meio de um sistema de alimentação que envolve canais incurrentes e excurrentes e poros e ósculos⁴ na superfície (Figura 3.10). Desse modo, a água é absorvida pelos poros e passa por um de processo filtragem nas câmaras coanocitárias, sendo novamente devolvida para o meio aquático por meio dos ósculos (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).



Figura 3.10 – Ósculos presentes em esponja *Corvospongilla seckti* fixada em folha de *Nymphaea* no Lago de Itaipu. Fonte: Volkmer-Ribeiro e Parolin, 2010.

_

⁴ Orificios que servem de canais para a água que entrou no organismo ser expelida de volta ao meio ambiente (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).

Além disso, as esponjas também possuem células que se agrupam em populações de células diferenciadas sem formarem tecidos, apresentando arranjos tridimensionais que servem de abrigo às populações de células e que garantem maior ocupação de espaço para captação e filtração de água. Esses arranjos tridimensionais, constituídos por unidades mineralizadas, correspondem às espículas, que se unem de formas diferenciadas formando estruturas mais ou menos rígidas para dar sustentação para as células vivas do animal. Essas espículas, que correspondem ao "esqueleto" das esponjas, podem ser formadas por carbonato de cálcio, dando origem a cristais de calcita magnesiana; ou por sílica hidratada, originando formas não cristalinas de opala; ou por fibras de espongina⁵ orgânica; ou ainda pela ação combinada das duas últimas (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010; RUPPERT e BARNES, 1996).

Até o momento, não houve registros da presença de esponjas de água doce constituídas por espículas de carbonato de cálcio nem de espículas constituídas por espongina (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010). A deposição de dióxido de silício (SiO₂) nas espículas formadas por sílica hidratada ocorre em células conhecidas como esclerócitos, sobre um microfilamento orgânico intracelular. Essa deposição de opala dá origem a estruturas vítreas constituídas de sílica amorfa (VOLKMER RIBEIRO, 1981). Estas estruturas silicosas são resistentes e permanecem nos sedimentos dos fundos das lagoas e rios, mesmo após a morte das esponjas. Por esta razão, tem sido um instrumento de interpretação paleoambiental tão utilizado.

Volkmer-Ribeiro e Parolin (2010) apresentam três famílias de esponjas de água doce, Spongilidae, Potamolepidae e Metaniidae, cujas características referentes ao ambiente são bem distintas. As esponjas da família Spongilidae possuem estruturas delicadas, de forma arborescente (Figura 3.11A). Ao contrário das outras famílias, estas apresentam uma distribuição bastante cosmopolita e são encontradas em todas as regiões do planeta. Vivem encrustadas na vegetação submersa, assim desenvolvem-se melhor em ambientes em que não haja muita movimentação da água. São, portanto, encontradas com mais frequência em lagos naturais ou artificiais, como por exemplo, aqueles formados por barragens de rios para geração de energia elétrica. A família Potamolepidae é formada por esponjas duras, predominantemente com forma laminar (Figura 3.11B). Por se fixarem nos substratos rochosos do fundo dos rios, conseguem resistir às fortes correntezas e à erosão decorrente da

-

⁵ Proteína fibrosa semelhante ao colágeno que envolve o retículo esquelético das esponjas de água doce e permite a aderência da esponja ao substrato, mantendo as espículas unidas em feixes estruturais (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).

fricção da areia e dos sedimentos dos rios. Também podem assumir formas arborescentes, porém, nestes casos, as esponjas se alojam nas reentrâncias das rochas do fundo do rio. As esponjas da família Metaniidae, em geral, também são esponjas duras que apresentam formas tuberosas, esféricas ou hemisféricas com esqueletos que formam malhas mais ou menos abertas (Figura 3.11 C). São esponjas mais resistentes, que se fixam sobre o substrato vegetal nos vales de inundação de rios tropicais, que estão sujeitos a secas estacionais. Nos períodos de secas, as esponjas chegam a ficar expostas ao ar durante alguns meses, apresentando uma grande quantidade de gêmulas presas ao esqueleto. Quando ocorrer novo período de inundação, estas gêmulas servirão de substrato sobre o qual se desenvolverá outra camada viva (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010).

As espículas podem apresentar diferentes tamanhos e formas, conforme a função que estas desempenhem, sendo divididas em três categorias: a) megasclera ou macrosclera – integra a rede esqueletal e possui maior tamanho; por ser a parte mais resistente do endo-esqueleto, é a encontrada em maior quantidade, porém não traz grandes informações taxonômicas; b) microsclera ou pinacoderme – possui tamanho menor e encontra-se preferencialmente na superfície externa da esponja. Do ponto de vista taxonômico, favorece a identificação de gêneros e espécies, no entanto, não estão presentes em todas as esponjas de água doce; c) gemosclera – parte do esqueleto que reveste as gêmulas das esponjas de água doce, não sendo encontrada em esponjas de origem marinha; possui grande valor taxonômico, uma vez que representam o caráter morfológico mais importante para a identificação de famílias, gêneros e espécies (VOLKMER-RIBEIRO, 1981; VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000).

Uma característica que diferencia as esponjas continentais das marinhas está relacionada a sua reprodução. Em decorrência da maior instabilidade (ausência e presença) de água nos continentes, as primeiras desenvolvem corpos resistentes a condições extremas como as de seca e de congelamento (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010). Esta especificidade permite que tais esponjas possam se reproduzir tanto de forma sexuada (por meio de larvas livre-nadantes, em condições ambientais estáveis), como assexuada (por meio das gêmulas, em condições ambientais menos favoráveis com períodos de seca), conforme a maior ou menor disponibilidade de água no ambiente (FROST, 1991; VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000).

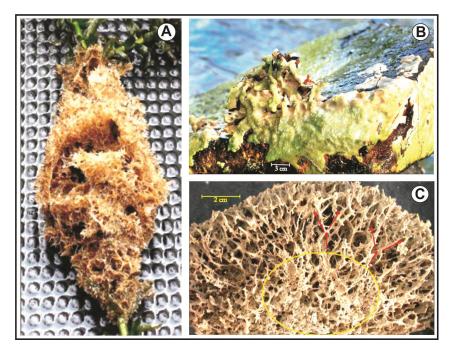


Figura 3.11 – Espécies de esponjas. (A) Esponja *Radiospongilla amazonensis* (da família Espongillidae). (B) Esponja *Oncosclera navicella* (da família Potamolepidae). (C) Esponja *Drulia browni* (da família Metaniidae). Fonte: Volkmer-Ribeiro e Parolin (orgs.), 2010.

A reprodução por gêmulas teve papel decisivo na dispersão das esponjas dos ambientes lagunares para os rios. As gêmulas fixaram-se em substratos rochosos como estratégia para ocupar ambientes lacustres, cujo fluxo de água é mais turbulento (VOLKMER-RIBEIRO e PAULS, 2000). O transporte das gêmulas pode acontecer de diferentes maneiras: por meio do fluxo e flutuação das águas; pela ingestão realizada por algumas espécies de peixes quando estes as expelem em locais distantes de onde ingeriram; por meio de aves aquáticas, quando as mesmas se alimentam desses peixes, ou ainda pelo transporte através das plumas e patas de aves limnícolas (VOLKMER-RIBEIRO e GROSSER, 1981).

3.3.2 Frústulas de Diatomáceas

As diatomáceas são algas unicelulares que possuem uma membrana contínua constituída de pectina, sobre a qual é depositada uma camada de sílica polimerizada (SiO₂, nH₂O) de coloração marrom-dourada, devido à presença predominante de fucoxantina, pigmento fotossintetizante que apresenta esta coloração (LEANDRINI *et al.*, 2010). Cerca de 95% da sua composição corresponde a uma complexa parede celular denominada frústula, composta essencialmente por sílica opalina. Morfologicamente, a frústula é composta por duas metades: epiteca (epivalva + epicíngulo) e hipoteca (hipovalva + hipocíngulo) que

apresentam um encaixe perfeito. A epivalva corresponde à valva maior e a hipovalva à valva menor (ROUND, 1983; KENNINGTON, 2002; ARMSTRONG e BRASIER, 2005; Round *et al.*, 1990; VAN DEN HOEK *et al.* 1995 *apud* SANTOS, 2011) (Figuras 3.12 e 3.13). As valvas são ornamentadas com estrias, auréolas, pontos, rafe (em alguns casos) e espessamento silicoso. O arranjo destes elementos se dá das mais variadas formas e com elevado grau de complexidade, conferindo às frústulas uma grande diversidade conforme cada espécie (LEANDRINI *et al.*, 2010). A identificação taxonômica das diatomáceas é feita com base na morfologia e na estrutura da frústula, sobretudo da valva.

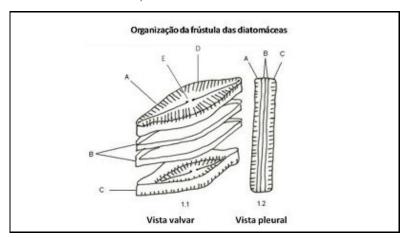


Figura 3.12 – Esquema ilustrativo da organização da frústula de uma diatomácea penada. 1.1. Vista valvar: (A) Epivalva, (B) Cintura constituída de duas banas conectiviais intercalares, (C) Hipovalva, (D) estrias unisseriadas e (E) rafe. 1.2. Vista pleural. (Modificado de RUMEAU e COSTE, 1988, *apud* SANTOS, 2011).

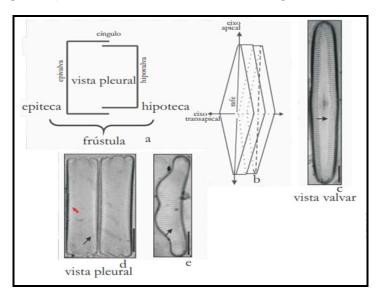


Figura 3.13 – Corte transversal, eixos e vistas valvar e pleural de uma frústula de diatomácea. (a) Representação de um corte transversal da frústula de diatomácea; (b) Representação dos eixos apical e transapical; (c) Vista valvar (seta) de uma frústula da espécie (Nitzschi) Ehrenberg com estria alveolar; (d) Vista pleural (seta vermelha) e estrias (seta preta) de frústula de diatomácea do gênero *Eunotia* sp.; (e) estrias (seta preta) identificadas na frústula da espécie *Eunotia camelus* Ehrenberg. Fonte: Leandrini *et al.* (2010).

Conforme a simetria, as diatomáceas podem ser classificadas em cêntricas ou penadas. O primeiro grupo possui simetria central radiada podendo apresentar morfologia circular, triangular ou quadrada na vista valvar e retangular ou ovalada em vista pleural. Além disso, tem como característica hábitos predominantemente plantônicos (ARMSTRONG e BRASIER, 2005; ARS, 2004). As espécies cêntricas são encontradas com maior frequência em ambientes marinhos. Para alguns autores, a maioria dos gêneros das diatomáceas cêntricas encontradas em água doce tem sua origem em eventos transgressivos. As diatomáceas penadas possuem comprimento (eixo apical) maior do a largura (eixo transapical) e apresentam grande variedade de formas em vista valvar, podendo ser elípticas, lanceoladas, ovaladas etc., em vista pleural, são predominantemente retangulares. A grande maioria das diatomáceas que pertence a este grupo possui uma estrutura denominada rafe⁶.

As diatomáceas produzem uma secreção polissacarídea conhecida como mucilagem. Esta substância, ao mesmo tempo em que é responsável pela fixação das valvas sobre o substrato, também tem a função de propiciar o deslizamento destes organismos (ARMSTRONG e BRASIER, 2005) (Figura 3.14). As diatomáceas cêntricas se movimentam sobre a mucilagem. No caso das penadas que possuem rafe, a mucilagem é produzida pela rafe e por corpos cristaloides que produzem muco e facilitam a locomoção fazendo com que a diatomácea deslize sobre ou através do substrato. Porém, tal movimentação se dará na medida em que a diatomácea aderir ao substrato (LEANDRINI *et al.*, 2010).

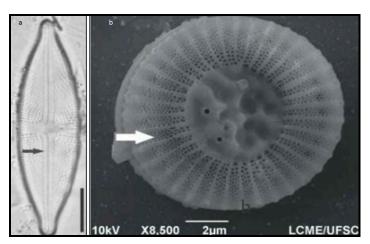


Figura 3.14 – Morfologia e estrutura de duas espécies de diatomáceas. (A) diatomácea penada da espécie *Luticola goepertiana* (Simth) Mann apresentando simetria bilateral com presença de rafe (seta preta) e estrias com auréolas na superficie valvar; (B) diatomácea cêntrica da espécie *Cyclotella meneghiniana* Kützing apresentando simetria radial com alvéolos (observados em microscópio eletrônico de varredura). Adaptado de Leandrini *et al.*, 2010.

-

⁶ Ranhura que se encontra no eixo axial ou nas margens valvares.

Sobre a classificação das diatomáceas, Leandrini *et al* (2010) destacam que atualmente elas se dividem em três classes: as Bacillariophyceae (antiga ordem Pennales, com presença de rafe); as Fragilariophyceae (antiga ordem Pennales, com ausência de rafe) e as Coscinodiscophyceae (anteriormente pertencentes à ordem Centrales, por conta da morfologia radial da frústula) (ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990 *apud* LEANDRINI *et al.*, 2010).

As diatomáceas podem se reproduzir de forma assexuada e sexuada. O primeiro caso acontece por meio de mitose originando células filhas, hipovalva e epivalva, responsáveis pelo surgimento de uma nova hipovalva (RAVEN et al., 2001, apud LEANDRINI et al., 2010). Considerando que a hipovalva é menor do que a epivalva, neste processo, após algumas divisões o tamanho dos indivíduos começa a diminuir, o que vai gerar a necessidade de restabelecimento do tamanho dos indivíduos. Deste modo, os organismos serão levados a se reproduzir de forma sexuada. Este processo provoca a diminuição do tamanho tanto das diatomáceas cêntricas como das penadas (LEANDRINI et al., 2010) (Figura 3.15).

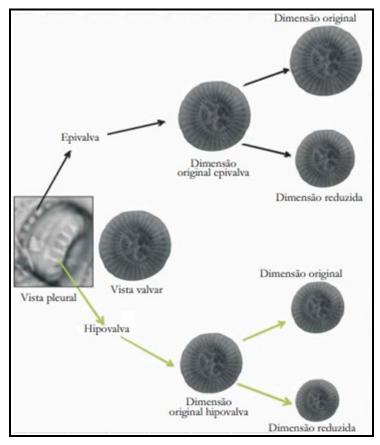


Figura 3.15 – Esquema de divisão assexuada para diatomácea, demonstrando a redução no tamanho da frústula. Fonte: Leandrini *et al.*, 2010.

A reprodução sexuada ocorre por meio de meiose. De acordo com a forma simétrica da diatomácea, os gametas podem ser: a) oogâmicos (como acontece com as diatomáceas cêntricas): quando o gameta masculino é menor e flagelado e possui apenas um flagelo e o feminino, é maior e sem flagelo; b) isogâmicos (como ocorre com as diatomáceas penadas): os gametas masculinos e femininos morfologicamente iguais, ou seja, de mesmo tamanho e sem flagelos (Figuras 3.16 e 3.17). Pode haver casos de exceção, como acontece com a diatomácea cêntrica da espécie *Rhabdonema* Kützing. (LEANDRINI *et al.*, 2010).

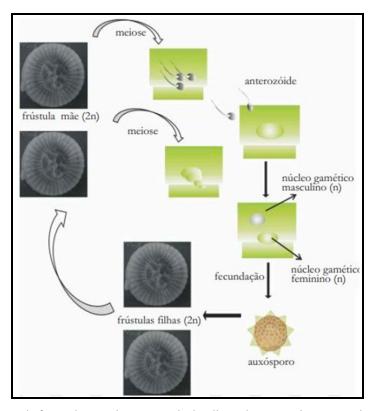


Figura 3.16 – Esquema da forma de reprodução sexuada das diatomáceas cêntricas: oogamia. Fonte: Leandrini *et al.*, 2010.

Dentre os diversos ambientes onde podem ser encontradas estão: rios lagos, lagoas, mares, mangues, marismas etc. Podem ser planctônicas (vivem livremente na coluna d'água), bentônicas (fixam-se ao fundo), ou ainda perifíticas (fixam-se ao substrato). Estas últimas, dependendo do tipo de substrato ao qual estejam aderidas, recebem denominações distintas: epifíton (quando se aderem sobre macrófitas aquáticas); epilíton (quando se aderem sobre rochas); episâmicas (quando se aderem sobre grãos de areia); epipélon (quando se aderem sobre lamas e argilas) e epizóicas (quando se aderem ao corpo de carapaças de animais) (BOLD e WYNNE, 1985 apud SANTOS, 2011; LEANDRINI et al., 2010). Essa

característica de se aderirem ao substrato é fundamental para as espécies que vivem em ambientes de alta energia, pois aumenta a sua capacidade de resistir aos impactos das ondas.

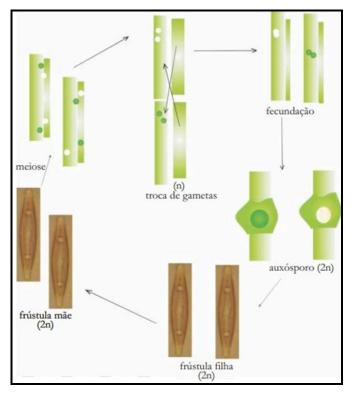


Figura 3.17 – Esquema da forma de reprodução sexuada das diatomáceas penadas: isogamia. Fonte: Leandrini *et al.*, 2010.

3.3.3 Fitólitos

Fitólitos são partículas microscópicas de opala (SiO₂nH₂O) cujo tamanho varia entre <60-100μm (silte e areia muito fina). Tais partículas se formam a partir da precipitação de sílica amorfa que ocorre entre e no interior das células de plantas vivas (PIPERNO, 1988; COE, 2009). Os fitólitos se formam devido a um processo de biomineralização com controle biológico, ou seja, resultam da mediação da matriz orgânica – as plantas, que constroem uma estrutura ou molde onde os íons se introduzem sendo levados a se precipitar e cristalizar. Por este motivo, o formato dos fitólitos assume a forma da célula na qual o mesmo se desenvolveu (COE *et al.*, 2014a).

Por terem uma composição silicosa, para que se formem nas células vegetais é preciso que as plantas absorvam a sílica do solo. Essa absorção se dá na forma de ácido monosilícico [Si(OH)₄], através do sistema radicular, quando o pH do solo está entre 2 e 9 (OSTERRIETH, 2008). Grande parte dos organismos vegetais se utilizam de suas raízes para absorver o ácido

monosilícico que, uma vez absorvido, é transportado através da corrente de transpiração sendo polimerizado e precipitado como sílica amorfa (silicobiólitos) pelas paredes celulares, preenchendo, desse modo, o lúmen celular e os espaços intercelulares (PIPERNO, 1988; COE et al., 2014a). Conforme a água se evapora, a concentração de sílica na célula vegetal ultrapassa o límite de solubilidade e vai dar origem à formação de sílica amorfa hidratada (SiO₂.nH₂O) (SOMMER et al., 2006).

As plantas podem absorver a sílica ativa ou passivamente. O primeiro caso acontece quando a célula na raiz funciona como uma bomba que faz o reconhecimento da Si, havendo, então, diferença eletrostática entre o interior e o exterior da célula. Quando a absorção acontece dessa maneira, o nível de silicificação da planta é maior. Porém, em geral, as plantas não possuem unicamente a absorção ativa. O segundo caso, a absorção passiva, ocorre através de um canal situado na raiz da planta pelo qual entram todos os elementos em solução; esta entrada é favorecida pela presença do gradiente osmótico. Assim, na absorção passiva, além da água e da Si, são absorvidos outros elementos (MADELLA, 2008 apud COE et al., 2014a).

O ácido monosilícico [Si (OH)₄] é produzido no solo a partir de dois seguintes processos: a intemperização de minerais primários (como o feldspato) e minerais secundários (argilas silicatadas, principalmente); bem como a dissolução de biomineralizações silícicas (opalas biogênicas) que se depositam em solos e sedimentos (PIPERNO, 1988; ALEXANDRE *et al.*, 1997).

A sílica pode ser armazenada em qualquer órgão da planta (PIPERNO, 1988, COE *et al.*, 2014a), por conta disso, a produção de fitólitos vai acontecer em diferentes partes como: folhas, tronco e raízes. A maior produção de fitólitos ocorre nas folhas, por onde as plantas perdem a maior quantidade de agua por transpiração. É nas folhas que se formam os mais variados tipos de fitólitos (nas células longas, curtas e buliformes). Os fitólitos formados no tronco de árvores ou arbustos trazem informações relevantes do ponto de vista taxonômico e quanto ao tipo de tecido. Aqueles formados nas raízes de gramíneas ou de plantas lenhosas têm pouca informação taxonômica ou ecológica, possuem morfotipos repetitivos, portanto, sem grande variação morfológica e pouco característicos (COE, 2009).

Os grupos vegetais que mais acumulam sílica são as gramíneas (Poaceae), as ciperáceas (Cyperaceae), as palmeiras (Arecaceae) e Marantaceae. Quando partes dessas plantas caem e/ou quando as plantas morrem, se depositam no solo e a matéria orgânica de seus tecidos se decompõe, fazendo com que os fitólitos que estavam presentes nesses tecidos sejam incorporados ao solo. A maior ou menor concentração de fitólitos é determinada por

vários fatores: as espécies vegetais existentes (se são grandes produtoras ou não de fitólitos); as propriedades do solo no qual as plantas se desenvolveram (teor de pH, concentração de sílica solúvel, conteúdo de óxidos de ferro e alumínio reativos, hidrologia, granulometria, etc.); as características climáticas, geomorfológicas e a estabilidade da opala (OSTERRIETH, 2006; BORELLI *et al.*, 2008; COE, 2009). Outro fator importante que interfere na maior ou menor concentração de fitólitos é a senescência: quanto mais velhas são as plantas mais sílica armazenada elas possuem (BLACKMAN, 1968, 1969; LANNING e ELEUTERIUS, 1985, *apud* COE, 2009).

As plantas produzem fitólitos por várias razões: 1) adquirir suporte mecânico para as células; 2) dar força aos órgãos e estruturas das plantas; 3) como forma de proteção contra herbívoros e parasitas; 4) para neutralizar ânions e cátions "venenosos" para as plantas, como o alumínio (COE, 2009).

Famílias produtoras de fitólitos

Nem todas as espécies vegetais produzem fitólitos. As principais produtoras são as monocotiledôneas, destacando-se as famílias Poaceae (gramíneas), Cyperaceae, Equisetaceae, Marantaceae, Zingiberaceae, Orchidaceae, Arecaceae e Musaceae (COE, 2009). Algumas plantas dicotiledôneas também são boas produtoras como as das famílias Acanthaceae, Annonaceae, Bignoniaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Magnoliaceae, Moraceae, Sterculiaceae (PIPERNO, 1988; COE, 2009). Dentre estas, as Poaceae são, sem dúvida, as maiores produtoras de fitólitos chegando a produzir 20 vezes mais do que as dicotiledôneas lenhosas (PIPERNO, 2006).

A morfologia dos fitólitos tem valor taxonômico, pois sua estrutura retrata a arquitetura da célula do tecido original onde se formou. Desse modo, as células que formam os "esqueletos" podem ser descritas a partir de sua anatomia, como por exemplo *hair-cell*, *stomata cell*, etc. (MADELLA *et al.*,2005; COE, 2009).

Tipologia e propriedades dos fitólitos: multiplicidade e redundância

Há uma grande diversidade de tipos de fitólitos. Além da variedade, dois aspectos relevantes que devem ser considerados no estudo de fitólitos são a multiplicidade e a redundância. Em outras palavras, uma mesma espécie de planta pode produzir diferentes morfotipos (multiplicidade) e um mesmo morfotipo pode ser produzido por diferentes espécies de plantas (redundância). Neste último caso, vale ressaltar que pode ou não haver relação taxonômica entre essas plantas (COE, 2009).

Coe (2009) ressalta que, na classificação dos fitólitos, três abordagens devem ser consideradas:

- "Taxonômica: relação direta entre um tipo de fitólito e um táxon de planta" (ex: banana, arroz, etc.). Essa abordagem é muito usada por pesquisadores, de maneira especial para estudos arqueológicos.
- "Tipológica: não há ligação direta entre um tipo de fitólito e uma planta". Segundo esta abordagem a descrição dos tipos é feita segundo suas características visuais como a geometria, a aparência geral, etc.
- "Taxonômico-tipológica: utiliza-se informação taxonômica, quando conhecida, devido a sua utilidade. Os tipos que sabidamente pertencem a grupos específicos e os que são redundantes são frequentemente descritos usando-se diferentes abordagens". A maioria das nomenclaturas utilizadas atualmente leva em conta esta abordagem.

O caráter de multiplicidade e redundância da produção de fitólitos pelas plantas dificulta a atribuição de valor taxonômico a um tipo específico de fitólito. Porém, podem-se identificar grupos de tipologias com valor taxonômico ao nível de vegetação. Tais grupos são denominados assembleias fitolíticas. "Uma assembleia fitolítica é constituída de um número estatisticamente válido de tipologias fitolíticas e representa a produção média qualitativa e quantitativa de fitólitos de uma vegetação em particular" (COE, 2009).

Em decorrência disso, a presença de um único fitólito não é suficiente para caracterizar um táxon, no entanto, a identificação de uma assembleia fitolítica dá condições de se caracterizar uma formação vegetal. Como bioindicador paleoambiental, o estudo dos fitólitos tem por finalidade determinar se houve ou não mudanças no tipo de cobertura vegetal e não estabelecer quais espécies constituíam esta ou aquela vegetação (COE, 2009).

Na tabela 3.3 são apresentados os principais tipos de fitólitos conforme o táxon produtor.

Tabela 3.3 – Tipos de fitólitos segundo sua taxonomia e características ambientais das plantas produtoras.

Tipo de fitólito	Parte da planta onde são produzidos	Táxon	Características do ambiente	Foto
Bilobate short cell	Células curtas da epiderme	GRAMÍNEAS sobretudo nas Panicoideae alta C4, também algumas Panicoideae C3; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	Quente úmido Áreas à sombra, sob o dossel de florestas tropicais	(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Cylindrical Polylobate	Células curtas da epiderme	GRAMÍNEAS Predominam nas Panicoideae (C4 e C3)	Clima quente e úmido	(Gaiser <i>et al.</i> , 2004)
Cross		GRAMÍNEAS Arundinoideae C3, Bambusoideae C3	Zonas tropicais e temperadas quentes, essencialmente florestais	(5.0.5)

Fonte: Coe, 2009

Tabela 3.3 – Tipos de fitólitos segundo sua taxonomia e características ambientais das plantas produtoras (continuação).

Tipo de fitólito	Parte da planta onde são produzidos	Táxon	Características do ambiente	Foto
Saddle	Células curtas da epiderme	GRAMÍNEAS sobretudo Chloridoideae baixas C4; algumas Bambusoideae C3, Arundinoideae C3	Regiões secas de baixa latitude e altitude ou condições edáficas secas	(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Trapeziform short cell (retangular)	células curtas da epiderme	GRAMÍNEAS Pooideae C3	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Rondel	Células curtas da epiderme das Pooideae C3 (das regiões temperadas, frias e/ou de altitude), mas também pelas Bambusoideae.	GRAMÍNEAS sobretudo Pooideae C3, também Bambusoideae	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	(Barboni <i>et al.</i> , 1999)

Fonte: Coe, 2009

Tabela 3.3 – Tipos de fitólitos segundo sua taxonomia e características ambientais das plantas produtoras (continuação).

Tipo de fitólito	Parte da planta onde são produzidos	Táxon	Características do ambiente	Foto
Acicular hair cell (point-shaped)	Pêlos absorventes de todas as gramíneas.	Sobretudo em GRAMÍNEAS (micro-hair ou prickels de todas as epidermes); também nas Arecaceae, sementes de outras plantas		(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Bulliform cell Cuneiform (fan-shaped) ou Parallelepipedal	Células buliformes das epidermes de todas as gramíneas e ciperáceas	GRAMÍNEAS e CIPERÁCEAS (células buliformes de todas as epidermes)		(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Elongate echinate long cell (elongate spiny)	Células longas de todas as gramíneas.	GRAMÍNEAS long cells de todas as gramíneas		(Barboni <i>et al.</i> , 1999)

Fonte: Coe, 2009

Tabela 3.3 – Tipos de fitólitos segundo sua taxonomia e características ambientais das plantas produtoras (continuação).

Tipo de fitólito	Parte da planta onde são produzidos	Táxon	Características do ambiente	Foto
Elongate psilate (elongate smooth)		Long cells de todas as gramíneas		(Bremondet al., 2005)
Cone-shape (Papillae)		CYPERACEAE		(Lu et al., 2006; Bremond et al., 2005)
Globular granulate (spherical rugose)	Xilema secundário das dicotiledôneas lenhosas (troncos de árvores de arbustos tropicais) (Scurfield <i>et al.</i> , 1978; Welle, 1976; Kondo <i>et al.</i> , 1994).	(transas da árvaras a arbustas		(Bremond <i>et al.</i> , 2005)

Fonte: Coe, 2009.

Tabela 3.3 – Tipos de fitólitos segundo sua taxonomia e características ambientais das plantas produtoras (continuação).

Tipo de fitólito	Parte da planta onde são produzidos	Táxon	Caracteristicas do ambiente	Foto
Globular psilate (spherical smooth)	Possivelmente proveniente de folhas e galhos, bem como de algumas monocotiledôneas herbáceas (Piperno, 1998; Kondo et al.,1994). Também foi observado nas raízes de algumas gramíneas (Alexandre et al., 2000).	DICOTILEDÔNEAS (epidermes de folhas e parênquima) GRAMÍNEAS (raízes e sementes)		(Bremond <i>et al.</i> , 2005)
Globular echinate (crenate spherical)		Troncos e folhas das ARECACEAE		(Barboni <i>et al.</i> , 1999)
Cork-cell like		GRAMÍNEAS e NÃO- GRAMÍNEAS (sem valor taxonômico)		(Barboni <i>et al.</i> ,1999)

Fonte: Coe, 2009.

Índices fitolíticos

Os estudos que utilizam fitólitos como bioindicadores empregam alguns parâmetros conhecidos como índices fitolíticos. Estes índices medem a relação de predomínio de determinados tipos de fitólitos. Os índices fitoliticos foram calibrados para as condições ambientais da África Ocidental. Sobre a importância desses índices, Bremond (2003) destaca que são justamente os cálculos dos índices que permitem que as análises com base em fitólitos possam ser consideradas como marcadores das vegetações intertropicais, contribuindo, inclusive para estudos de reconstituição paleoambiental. Os índices fitolíticos são:

1- Índice D/P (Dicotiledôneas lenhosas / Poaceae): indica a densidade da cobertura arbórea. Mede a proporção de fitólitos próprios de espécies vegetais lenhosas em relação ao total de fitólitos produzidos por gramíneas (COE *et al.*, 2014). É calculado da seguinte maneira:

D/P = Globular granulate/ (short cells + acicular + cuneiform e parallelepipedal bulliform cells

Segundo Bremond *et al.* (2008), os valores desse índice mudam conforme o tipo de cobertura vegetal: nas florestas equatoriais este índice é superior a 150; nas florestas perenes fica entre 7 e 10 (Alexandre *et al.*, 1997); na savana alta o índice pode variar de 0,33 a 1,16 enquanto que na savana baixa a variação é de 0 a 0,1 (BREMOND *et al.*, 2005b).

2- Índice Iph (Chloridoideae / Chloridoideae + Panicoideae): indica a capacidade de adaptação da formação vegetal às condições de aridez. É medido de acordo com a proporção de fitólitos de gramíneas baixas (de ciclo fotossintético em C4 – Chloridoideae) em relação ao total de fitólitos de gramíneas altas (de ciclo fotossintético em C4 – principalmente as Panicoideae) (TWISS, 1987; TWISS, 1992, *apud* BREMOND, 2003). Seu cálculo é feito a partir da seguinte equação:

Iph (%) = $[Saddle / (saddle + cross + bilobate short cell)] \times 100$

Este índice reflete o domínio de gramíneas curtas de ciclo C4 em relação às gramíneas altas de mesmo ciclo. As primeiras (Chloridoideae) apresentam maior tolerância aos extremos de temperatura altas e aridez do que as outras gramíneas, excetuando-se algumas Panicoideae (gramíneas anuais curtas adaptadas a locais úmidos nas regiões áridas). Esse índice pode ainda ser influenciado pela presença de fitólitos produzidos por gramíneas da sub-família Arundinoideae, produtora tanto de fitólitos classificados como de Panicoideae quanto de Chloridoideae (COE *et al.*, 2014a).

Na África Ocidental, um Iph elevado (>20-40%) é característico de formações de gramíneas submetidas a condições ambientais quentes e secas, onde há o predomínio de Chloridoideae (xerophitic short grass savanas). Por outro lado, um Iph baixo (<20-40%) é próprio de associações

vegetais submetidas a condições ambientais quentes e úmidas ou a condições de umidade no solo, com domínio das Panicoideae (gramíneas C4 mesofiticas) (COE et al., 2014). Já na África Oriental, onde as condições mais áridas são predominantes em comparação com a porção oriental, o valor limite do índice Iph é 40. Desse modo, um Iph > 40 "caracteriza as regiões áridas (dry grasslands) associadas a fases áridas do norte do Saara durante o Pleistoceno /Holoceno" (BARBONI et al., 1999).

A utilização deste índice, no entanto, não é recomendável em ambientes onde haja presença de fitólitos de gramíneas com ciclo fotossintético em C3 (Pooideae ou Bambusoideae).

3- Índice Bi (previamente chamado de Fs) - corresponde à proporção e fitólitos do morfotipo bulliform em relação ao total de fitólitos de gramíneas (BREMOND et al, 2005a; COE et al., 2014a). Trata-se um de um indicador de estresse hídrico, na medida que a maior produção deste morfotipo está associada de ao fato que quanto mais planta transpira e/ou sofre o estresse hídrico, maior será a produção de células buliformes silicificadas. Desse modo, este índice dá condições de se fazer uma estimativa do nível de estresse hídrico do ambiente. Para se calcular este índice, usa-se a seguinte equação:

Bi % (Fs) =
$$[(Bulliform\ cuneiform + bulliform\ parallelepipedal) / (short\ cells + acicular + bulliform\ cuneiform + bulliform\ parallelepipedal)] x 100$$

4- Índice Ic – corresponde à proporção de fitólitos de gramíneas com ciclo fotossintético em C3 em relação ao total de fitólitos de gramíneas (TWISS, 1987; TWISS, 1992, apud BREMOND, 2003, 2008). Indica o nível de adaptação da formação vegetal a uma temperatura baixa e/ou à Pressão Parcial de Dióxido de Carbono (pCO₂) forte (zonas de altitude). É determinado da seguinte maneira:

Ic = Pooideae / (Pooideae + Chloridoideae + Panicoideae)

Ic (%) = [(Rondel + Trapeziform polylobate + Trapeziform short cell) / (Rondel + Trapeziform polylobate short cell + Trapeziform short cell + Saddle + Cross + Bilobate short cell)]

Ao definir este índice, Twiss (1992) (apud BREMOND, 2003, 2008) tinha por objetivo estimar a abundância relativa de gramíneas temperadas C3 em comparação a gramíneas quentes C4 na América do Norte (BARBONI *et al.*, 2007). As áreas onde há predomínio de gramíneas da família Pooideae apresentam um Ic elevado, já aquelas dominadas por gramíneas das famílias Panicoideae e Chloridoideae apresentam um Ic baixo. Este índice, porém, pode ser alterado pela presença expressiva de gramíneas das famílias Arundinoideae e Bambusoideae (que não produzem fitólitos distintivos).

O índice Ic é um bom indicador quantitativo da proporção de gramíneas C3 Pooideae, Arundinoideae e Bambusoideae em relação às gramíneas Panicoideae, aumentando com a altitude (Bremond *et al.*, 2007 *apud* COE, 2009). O ponto limite da sub-família florística é indicado pelo valor 50%.

5- Índice Pa/P (Palmeiras/Poaceae) – indica a densidade de cobertura de palmeiras em comparação à cobertura de gramíneas. Foi calculado pela primeira vez por Coe (2009) (COE *et al.*, 2014a). Sua equação é assim definida:

Pa/P= Globular echinate / (bilobate short cell + cross + saddle + acicular + cuneiform e parallelepipedal bulliform cells)

3.3.4 Estudos de reconstituição paleoambiental com base em biomineralizações de Sílica

No que diz respeito às espículas de esponjas, a importância de seu emprego como bioindicador se deve ao fato delas fornecerem informações referentes ao ambiente no qual as esponjas se desenvolveram (PAROLIN *et al.*, 2010). Embora um pouco frágeis, as espículas de esponjas são bioindicadores importantes para análises ambientais pois permitem chegar a nível de espécie. No entanto, sua preservação está associada a uma série de condicionantes ambientais, não sendo sempre possível se encontrar espículas intactas, principalmente as gemoscleras⁷ e as microscleras, partes da espícula que permitem a identificação da espécie. Na maioria dos casos, o que se preserva são as megascleras (PAROLIN *et al.*, 2010).

O uso das espículas de esponjas como bioindicador começou em meados da década de 1960, com estudo realizado na laguna da Guatemala (RACEK, 1966). Na década seguinte, Harrison *et al.* (1979) realizaram estudo, na Flórida, usando espículas de esponjas também em sedimentos lagunares. Volkmer-Ribeiro e Machado (2007) realizaram o primeiro trabalho desta natureza em ambiente costeiro utilizando datação absoluta. Os autores associaram a datação absoluta ao estudo de espículas de esponjas continentais na área do rio Luján, em Buenos Aires – Argentina.

No Brasil, estudos empregando espículas de esponja como bioindicadores tiveram início nos anos 1990 e foram feitos na Amazônia (MARTIN *et al.*, 1992). Posteriormente, outros autores realizaram estudos paleoambientais empregando espículas de esponjas na região de Taquarussu/MS (STEVAUX, 1994, 2000; PAROLIN *et al.*, 2008; Rio Grande do Sul (VOLKMER-RIBEIRO *et al.*, 2006); Depressão do Rio São Francisco, no oeste da Bahia (SANTOS *et al.*, 2016). Um estudo pioneiro utilizando espículas de esponjas para entender as mudanças paleoambientais em sedimentos arenosos foi feito por Kuerten *et al.* (2011) na região do Pantanal Mato-grossense.

No caso das diatomáceas, por sua característica altamente resistente, a frústula pode permanecer intacta por longo tempo, mesmo após a morte da alga, contribuindo para a identificação

_

⁷ Gemoscleras são as "espículas que revestem as gêmulas das esponjas de água doce" (VOLKMER-RIBEIRO, 1981).

do tipo de diatomácea que viveu em dado ambiente. Por esta propriedade, as frústulas de diatomáceas têm se mostrado como um ótimo bioindicador.

Para Machado (2009), o uso de frústulas de diatomáceas como *proxy* apresenta algumas especificidades que o colocam como uma importante ferramenta para estudos de natureza paleoambiental. São elas: o alto grau de sensibilidade às mudanças das condições ambientais, a presença em diferentes tipos de sistemas (ambientes lênticos, lóticos, estuários, águas marinhas e hipersalinas) e o elevado potencial de preservação das frústulas em sedimentos (MACHADO, 2009).

Considerando a diversidade de ambientes nos quais as diatomáceas podem ser encontradas, seu registro fóssil é de grande importância para o estudo paleoambiental, visto que a identificação taxonômica das frústulas das diatomáceas indica o tipo de ambiente no qual as diatomáceas viveram, ajudando, assim, na reconstituição das características ambientais pretéritas.

Estudos paleoambientais usando frústulas de diatomáceas como bioindicadores remontam ao final do século XVIII (SMOL e STOERMER, 1999). Pesquisas de reconstituição paleoambiental têm sido realizadas no Brasil a partir de análises das frústulas de diatomáceas em diferentes áreas (McQUOID *et al.*, 1998; McQUOID *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2005; RIBEIRO, 2007; SOUZA *et.al*, 2007; HERMANY, 2009; BENÍCIO, 2010; CASTRO *et al.*, 2011; MACHADO et al., 2011; ZHANG *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016).

Os fitólitos, apesar de não atingirem uma grande precisão taxonômica, têm a propriedade de guardar características do tipo de vegetação onde foram produzidos, trazendo informações importantes sobre mudanças no tipo de vegetação e de clima, além de fornecer indicações que contribuem para o conhecimento de processos pedogenéticos e geomorfológicos durante o Quaternário. A importância dos fitólitos como bioindicadores se deve ao fato deles se preservarem bem mesmo sob condições oxidantes, como nos solos, por exemplo, sendo, em alguns casos, os únicos bioindicadores disponíveis. Também são muito indicados para estudos com gramíneas. Como *proxy* continental a análise fitolítica pode substituir ou complementar análises polínicas, podendo seus resultados serem combinados com resultados de análises isotópicas e outras (COE *et al.*, 2013).

Quanto aos fitólitos, seu emprego como *proxy* para estudos de reconstituição paleoambiental vem se destacando entre diversos autores no mundo. Diversos trabalhos puderam evidenciar mudanças climáticas e de vegetação a partir da análise comparativa de assembleias fitolíticas fósseis e modernas (FRENDLUND e TIESZEN, 1997; McLUNG de TAPIA *et al.*, 2008). No Brasil, os trabalhos de reconstituição paleoambiental empregando fitólitos ainda são poucos. No entanto, é possível destacar alguns realizados em diferentes regiões: na Bacia Amazônica Central (PIPERNO e BECKER, 1996), em Minas Gerais (ALEXANDRE *et. al.*, 1999; BORBA-ROSCHEL *et al.*,

2006; PAULA e SILVA, 2006; CHUENG, 2012, 2016; AUGUSTIN et al., 2014; ROCHA, 2014; SEIXAS, 2015; BARROS et al., 2016), na caatinga (RICARDO, 2016; COE et al., 2017c; DIAS, 2017) no litoral sul do Brasil (WESOLOWSKI et al., 2007); Espírito Santo (CALEGARI, 2008; CALEGARI et al. 2015); no Rio de Janeiro: na Região dos Lagos (COE, 2009; COE et al., 2012c, 2017b), na Bacia do Rio São João (GOMES, 2012; COE et al., 2014b), em Maricá (BORRELLI et al., 2014; RAMOS, 2014;), na Baía de Guanabara (GOMES, 2013) e no médio vale do Paraíba do Sul (SEIXAS, 2017) e na Ilha Grande (RAMOS, 2016); no Paraná (MONTEIRO et al., 2011; PAROLIN et al., 2017; MONTEIRO et al., 2011; ALCANTARA-SANTOS, 2013; PAISANI et al., 2016; RASBOLD et al., 2016).

O uso das biomineralizações de sílica, individualmente ou combinado a outros indicadores (estudos multiproxies) passou a ser, para muitos autores, mais uma ferramenta na busca pela compreensão da evolução paleoambiental de ambientes continentais e costeiros. Volkmer-Ribeiro et al. (2006) estudaram vários corpos de água doce na área costeira do Rio Grande do Sul com o objetivo de correlacionar a quantidade de espículas com o tipo de sedimentos e as características da água e, assim, compreender a evolução do sistema costeiro, a partir da presença de espículas de esponjas nos sedimentos. Coe (2009) estudando a região de Cabo Frio e Búzios, a partir do uso de fitólitos, constatou que não houve grandes mudanças no tipo de cobertura vegetal desta área ao longo do Holoceno, mas identificou oscilações na densidade da cobertura arbórea. Calegari et al. (2015) estudaram o paleoclima e a paleovegetação na Lagoa do Macuco (costa norte do Espírito Santo) durante o Holoceno, integrando análises fitolíticas e de grãos de pólen. A abordagem interproxy possibilitou obter informações sobre as condições pretéritas de umidade e temperatura, bem como da estrutura e dinâmica da vegetação arbórea e não arbórea em relação ao período úmido durante o Holoceno Médio, indicando momentos de pulsos na composição de gramíneas C3 e C4. Além disso, contribuíram para os dados sobre as mudanças no nível do mar. Estudo realizado por Medeanic et al. (2008) em sedimentos superficiais do fundo da laguna dos Patos (RS) utilizou como proxy as frústulas de diatomáceas. Através deste estudo, os autores diagnosticaram mudanças ambientais significativas durante o Holoceno. Para os autores, uma das grandes vantagens em optar pelo uso das diatomáceas, em comparação a outros bioindicadores como os palinomorfos, por exemplo, está relacionada a sua maior resistência, devido a sua composição silicosa.

Também merecem destaque estudos realizados no Brasil em ambientes turfosos. Silva *et al.* (2012) analisaram a presença de espículas de esponja em sedimentos turfosos na região do baixo curso do rio Ribeira de Iguape (SP), buscando compreender as mudanças paleoambientais ocorridas. Os autores constataram a presença de esponjas continentais da espécie *Oncosclera navicella* e do gênero *Corvoheteromeyenia*, esta última característica de lagoas costeiras sazonais e que pode ser encontrada em áreas tropicais e subtropicais (EZCURRA de DRAGO, 1979).

Gemoscleras associadas ao gênero *Corvoheteromeyenia* também foram identificadas na planície costeira de Maricá nas profundidades: 2,40-2,50m e 1,00-1,10m (sondagem 1). A presença deste tipo espícula, associada a outros estudos realizados no litoral de Maricá (COE NETO *et al.*, 1986; PEREIRA, 2009), embasa a hipótese da existência de uma paleodrenagem com rios que cortavam a planície costeira. Além das espículas de esponjas, outro *proxy* utilizado por Silva *et al.* (2012) foram os fitólitos. Foi constatada a predominância do tipo *bilobate*, característico de Poaceae. Sua presença aliada à ausência de espículas de esponjas marinhas indica ao mesmo tempo que o ambiente esteve exposto, havendo a proliferação de gramíneas. Kalinovski *et al.* (2013) também realizaram estudo em sedimentos turfosos situados na planície do rio Iapó (Campos Gerais, Castro-PR). Utilizaram espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas como bioindicadores que revelaram mudanças paleoambientais significativas nos últimos 1.870 anos A.P. Os autores identificaram espículas de esponjas das espécies *Trochospongilla variabilis* (BONETTO e EZCURRA DE DRAGO, 1973) e *Heterorotula fistula* (VOLKMER-RIBEIRO e MOTTA, 1995), típicas de ambientes lênticos (VOLKMER-RIBEIRO *et al.*, 1998).

Podemos ainda enumerar alguns trabalhos que buscaram entender a evolução da planície costeira de Maricá a partir do uso de bioindicadores. Um dos mais pioneiros foi realizado por Ireland (1987). Conforme citado anteriormente, este autor estudou a história sedimentar das lagoas costeiras da planície de Maricá e, para isso, utilizou frústulas de diatomáceas como *proxy* ambiental, associado a outras ferramentas (análises estratigráficas e de radiocarbono). Dentre os resultados já mencionados, a aplicação deste bioindicador permitiu constatar a alternância de fases marinha e continental na evolução dessa planície costeira, revelando uma relação direta no processo de formação e desenvolvimento das lagoas com as variações do nível relativo do mar.

A evolução dessa planície costeira também foi estudada com base em outro bioindicador. Bruno (2013a) analisou a distribuição de foraminíferos bentônicos associados a aspectos sedimentológicos na Lagoa de Maricá. Os resultados apontaram para uma composição sedimentológica que intercala lama siltosa e lama arenosa, apresentando coloração cinza-médio a cinza-escuro, além da presença de conchas desgastadas e fragmentadas. As análises de foraminíferos permitiram identificar a existência de dois estágios e de uma fase de transição para a evolução da lagoa de Maricá. O estágio I (2.740-2.460 anos cal AP) marcou um momento de alta energia hidrodinâmica com influência marinha. A fase de transição (cerca de 1.040-970 anos cal A.P.) remeteu a um provável fechamento da barreira arenosa interna. O segundo estágio indicou o fechamento total da barreira arenosa interna, além de condições de baixa energia hidrodinâmica da laguna, diminuição de calcita e aumento de uma condição mais hipossalina.

Ramos (2014), Santos *et al.* (2015) e Coe *et al.* (2017a) realizaram pesquisas na planície costeira de Maricá, na qual buscaram estabelecer coleções de referência de assembleias fitolíticas

modernas para servirem de parâmetro para a comparação com assembleias fitolíticas fósseis em estudos paleoambientais. Os dados obtidos foram integrados com espículas de esponjas e isótopos de carbono. De uma maneira geral, foi possível constatar que as plantas da restinga não são grandes produtoras de fitólitos e que esse ambiente não é muito favorável à acumulação de fitólitos. A permanência dos fitólitos nos sedimentos é fortemente influenciada pela granulometria e teor de matéria orgânica. Apesar dos estoques de fitólitos das assembleias modernas serem quase sempre reduzidos, o grau de conservação dos mesmos é elevado. Os índices fitolíticos calculados expressaram coerentemente o ambiente de cada comunidade analisada, tanto do ponto de vista do tipo de cobertura vegetal quanto das condições de disponibilidade hídrica para as plantas. Apesar de algumas lacunas encontradas, os fitólitos forneceram informações importantes e, sobretudo por meio dos índices, detalhadas para a caracterização do ambiente estudado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de trabalho adotada na pesquisa compreende as seguintes etapas (Figura 4.1):

- (1) Levantamento bibliográfico;
- (2) Trabalhos de campo para a identificação das comunidades vegetais da restinga de Maricá e para a coleta de plantas e de sedimentos superficiais nas Assembleias Modernas (AM) de fitólitos;
- (3) Descrição, caracterização e identificação das comunidades vegetais e plantas da restinga de Maricá;
- (4) Trabalhos de campo para a realização das sondagens geológicas em profundidades variadas e coleta e descrição das amostras de sedimentos;
- (5) Descrição, caracterização e identificação das comunidades vegetais e plantas da restinga de Maricá;
- (6) Preparação e tratamento das amostras das assembleias modernas em laboratório para extração e análises de biomineralizações de sílica (fitólitos);
- (7) Preparação e tratamento das amostras das assembleias fósseis em laboratório para extração e análises de biomineralizações de sílica (fitólitos, espículas de esponja e frústulas de diatomáceas);
- (8) Preparação e tratamento das amostras para análises granulométricas e teor de matéria orgânica e carbonatos;
- (9) Identificação e contagem das biomineralizações de sílica no microscópio óptico;
- (10) Identificação das conchas
- (11) Análises de isótopos estáveis de Carbono e datação pelo método do Carbono 14-AMS
- (12) Interpretação dos resultados

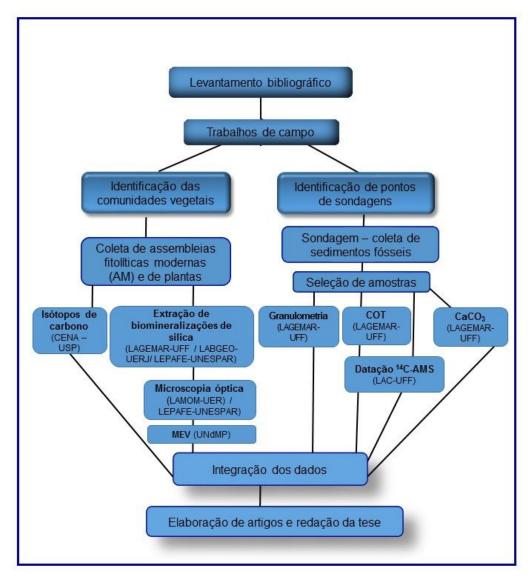


Figura 4.1- Esquema das diversas etapas da metodologia adotadas na pesquisa.

4.1. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo realizados tiveram por objetivo: identificar as comunidades vegetais da restinga de Maricá; coletar plantas e assembleias fitolíticas modernas; observar as comunidades vegetais em diferentes épocas do ano; identificar e escolher os locais de sondagem para posterior realização das mesmas para a coleta de sedimentos.

4.1.1. Coleta de plantas

A coleta de plantas foi feita na porção central da planície costeira que corresponde à Área de Preservação Ambiental (APA), por se tratar de um trecho onde a vegetação ainda se apresenta bem preservada (Figura 4.2B). Foram coletadas 33 plantas correspondentes a diferentes espécies presentes nas comunidades vegetais da Restinga de Maricá, para análises fitolíticas e isotópicas. A identificação destas comunidades foi feita com base na classificação proposta por Araújo e Henriques (1984). Através de dados pré-existentes e de imagens de satélite, disponibilizadas no Google Earth®, foi feito um reconhecimento prévio do local para a identificação dessas comunidades vegetais, que foram descritas a partir da seleção de espécies com grande número de indivíduos ou de maior representatividade na paisagem. Foram consideradas também variáveis ligadas às condições ambientais presentes em cada comunidade, tais como: topografia, distância em relação ao mar e alcance do spray marinho, tipo de substrato, condições hidrológicas, ambiente de formação etc. A caracterização morfológica dos ambientes (barreiras e lagunas) e subambientes (praias, dunas, margem lagunar) presentes planície costeira foi feita a partir de dados topográficos obtidos por Silva (2011) e Silva *et al.* (2014c).

Em campo foi feito o registro fotográfico e catalogação das plantas. A identificação das espécies foi feita no Departamento de Botânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) no Rio Grande do Norte (Herbário código: MOSS).

4.1.2. Coleta de sedimentos em Assembleias Fitolíticas Modernas (AM)

Assim como ocorreu com as plantas, a coleta de sedimentos para a caracterização das assembleias fitolíticas modernas (AM) foi feita na Área de Preservação Ambiental (APA). As assembleias fitolíticas modernas foram definidas tendo como base as diferentes comunidades vegetais identificadas na planície costeira: halófila-psamófila, *scrub*, brejo herbáceo, *slack*, floresta seca e vegetação da borda da lagoa de Maricá. Foram definidas oito assembleias fitolíticas modernas (AM1 a AM8). Em algumas dessas assembleias foi coletada mais de uma amostra, perfazendo um total de 14 amostras de sedimentos superficiais para servir como assembleias fitolíticas modernas (AM) de referência das principais formações vegetais da área. As amostras de

sedimentos foram coletadas abaixo de plantas representativas de cada formação vegetal encontrada na restinga. A localização das assembleias fitolíticas modernas pode ser observada na figura 4.2.

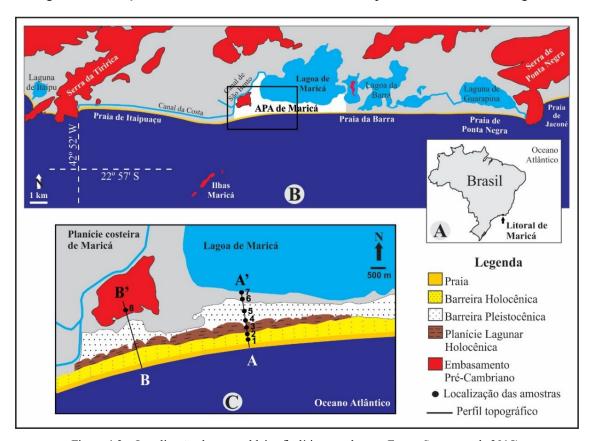


Figura 4.2 – Localização das assembleias fitolíticas modernas. Fonte: Santos et al., 2015).

4.1.3. Sondagens geológicas para amostragens de sedimentos

Para a escolha dos locais das sondagens, buscou-se realizar uma amostragem que fosse representativa de toda a extensão da planície costeira, priorizando áreas com unidades deposicionais lamosas, apresentadas por Pereira (2009) e Silva (2011), com o objetivo de se obter a maior quantidade de materiais finos para as diversas análises (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas, fitólitos, etc.), já que as biomineralizações de sílica se preservam melhor em sedimentos finos. Em seguida, considerou-se também a acessibilidade aos locais e a viabilidade técnica para a realização das sondagens.

Foram realizadas um total de 7 sondagens geológicas para coleta de sedimentos ao longo de toda a planície costeira de Maricá, desde Itaipuaçú até Ponta Negra, assim distribuídas: duas na planície lagunar da Área de Proteção Ambiental (APA) de Maricá, realizadas por Silva (2011); uma na antiga lagoa de São Bento (atualmente colmatada) em Itaipuaçú; uma na margem da Lagoa de Guarapina em Ponta Negra; três em áreas de brejo no reverso da barreira holocênica em Itaipuaçú (Tabela 4.1e Figura 4.3).

Tabela 4.1 – Descrição dos sete poços de sondagem geológica na planície costeira de Maricá.

Sondagens	Data	Prof. (m)	Coordenadas	Método	Descrição do local do poço	Total de amostras
S1	Mai/08	21,0	22°57'47.8" S 42°52'27.5" O	Trado mecânico	Planície lagunar entre as barreiras arenosas (SILVA, 2011), na porção central do litoral, onde se encontra a APA de Maricá	09
S2	Jan/09	27,0	22°57'45.3" S 42°51'44.6" O	Percussão	Planície lagunar entre as barreiras arenosas (SILVA, 2011), na porção central do litoral, onde se encontra a APA de Maricá	13
S3	Jan/14	3,5	22°57'11" S 42°43'48.1" O	Trado mecânico	Borda da lagoa de Guarapina	07
S4	Jan/14	3,5	22°57'1.61" S 42°55'8.67" O	Trado mecânico	Lagoa colmatada de São Bento, próximo ao canal de mesmo nome	07
S5 (atual S1)	Jun/14	6	22°57'42.9" S 43°0'11.1" O	Trado manual	Brejo no reverso da barreira holocênica, no setor oeste deltaipuaçú.	24
S6 (atual S2)	Jun/14	6,8	22°57'44.6" S 42°59'58.1" O	Trado manual	Brejo do reverso da barreira holocênica nosetor oeste de Itaipuaçú.	29
S7 (atual S3)	Ago/15	12	22°57'44.6" S 42°59'58.1" O	Trado manual	Brejo do reverso da barreira holocênica no setor oeste de Itaipuaçú.	114
Total de amostras coletadas						203

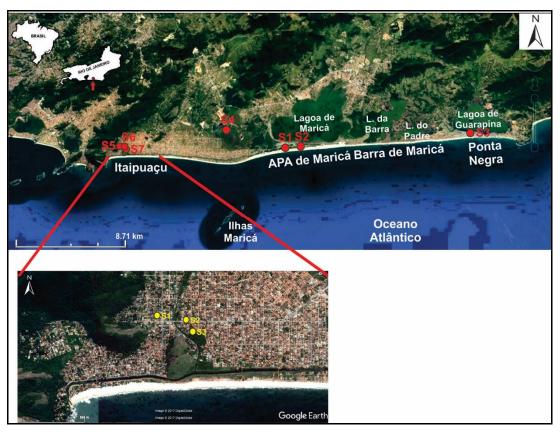


Figura 4.3 – Localização dos pontos de sondagem

As análises laboratoriais preliminares mostraram que somente três das sete sondagens (identificadas inicialmente como S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7) realizadas na planície costeira possuíam biomineralizações de sílica adequadas às análises almejadas e, consequente, com potencial para a interpretação paleoambiental. Deste modo, foram consideradas no estudo apenas as sondagens realizadas em Itaipuaçu e que foram renomeadas para S1, S2 e S3 (Tabela 4.1 e Figura 2.1).

As sondagens 1 e 2 foram realizadas em junho de 2014, utilizando-se um trado manual com o auxílio de um tubo de PVC para impedir que as paredes do poço cedessem (Figura 4.4). As profundidades atingidas nos poços 1 e 2 foram 6 m e 5,8 m, respectivamente. A amostragem de sedimentos ocorreu em intervalos variando entre 0,5 a 30 cm, observando-se a ocorrência de mudanças na granulometria, na coloração ou na textura dos sedimentos, ou ainda em função do aparecimento de materiais datáveis (como conchas e pedaços de madeira), perfazendo um total de 53 amostras, sendo 24 no poço 1 e 29 no 2. O poço 3 foi realizado em agosto de 2015, utilizando-se também o trado manual (Figura 4.4). Medindo 12 m de profundidade, neste poço foi coletado um total de 114 amostras, mantendo-se intervalos de cerca de 10 cm.

4.2. Critérios de seleção das amostras para análises laboratoriais

Foi selecionado um total de 29 amostras entre as 167 amostras coletadas nas sondagens (S1, S2 e S3) para as análises de granulometria, biomineralizações de sílica, teor de matéria orgânica e carbonatos e datação, conforme os critérios a seguir:

<u>Sondagem 1</u> — Para a análise granulométrica e das biomineralizações de sílica foram selecionadas um total de 8 amostras, desde à base (6m de profundidade) até a superficie. Por se encontrar num local bastante alterado, com presença de restos de construções, por exemplo, o material acima de 1m foi descartado. A escolha das amostras a serem analisadas levou em conta as mudanças de cor, textura e tamanho aparente dos grãos. Para a datação, foi selecionada apenas a amostra correspondente à base do poço e à profundidade de 4,80m (Tabela 4.2).



Figura 4.4 – Etapas da sondagem com trado manual em Itaipuaçú. (A) introdução de tubo de PVC para proteger as paredes do poço; (B) introdução da sonda dentro do tubo de PVC para a coleta de sedimentos; (C) retirada da amostra; (D) Separação da amostra em sacos plásticos; (E) identificação e catalogação das amostras. Fotos: A, Carolina Silvestre (2014); B, C e E, Cátia Santos (2015); D, André Silva (2015).

<u>Sondagem 2</u> — Para as análises de granulometria e de biomineralizações de sílica, primeiramente foram escolhidas as amostras referentes à base (5,80-5,90m) e ao topo (0,50-0,60m). Em seguida, buscou-se identificar as profundidades com mudanças nas características dos sedimentos. Foram escolhidas, então, as seguintes profundidades: 1,10-1,20m — 1,70-1,80m — 2,30-2,40m — 3,10-3,20m — 4,00-4,10m e 4,95-5,25m. Para a datação, foi selecionada a amostra correspondente à base, a equivalente à profundidade de 1,10-1,20m, onde foi identificada no microscópio uma expressiva concentração de biomineralizações, e a amostra correspondente a 4,00-4,10m de profundidade, por apresentar um material lamoso com característica distinta em relação as camadas adjacentes (Tabela 4.2).

<u>Sondagem 3</u>— Frente à grande quantidade de amostras coletadas na S3 (114 no total), foi feita inicialmente uma seleção de 42 amostras para a identificação preliminar em microscópio.

Nesta seleção foram levados em conta alguns critérios: primeiro priorizou-se as profundidades que tinham sido selecionadas para serem datadas. Depois, foi estabelecido um intervalo de 30 cm entre as amostras. Com base numa primeira observação fez-se nova seleção priorizando as profundidades que apresentaram características que podiam indicar informações importantes a respeito das condições ambientais. Foram, então, selecionadas 13 amostras nas quais foram feitas análises granulométricas e foi aplicado o protocolo para extração de fitólitos que, embora mais demorado, favorece a identificação das espículas, a contagem dos fitólitos e a melhor identificação dos morfotipos de fitólitos, uma vez que este procedimento inclui além da queima de matéria orgânica, a eliminação de argilas e ferro, deixando a amostra mais limpa, praticamente sem resíduos. Para datação através do método do Carbono 14, primeiramente foi selecionada a amostra de 11,20-11,50m. Embora o poço tenha atingido 12m, esta amostra foi escolhida por apresentar concha, e pelo fato de sua composição não mostrar alteração em relação à profundidade seguinte, que efetivamente correspondia à base. Buscou-se profundidades onde foi observada algum tipo de variação para a escolha de outras amostras para datação, buscando, quando possível associar a algum material datável como concha ou fragmento de madeira. Foram selecionadas outras 4 amostras para datação: as de 6,90-7,0m; 5,30-5,40m e 3,90-4,0m e 0,90-1,00m (Tabela 4.2 e Apêndice 2).

Tabela 4.2 – Total de amostras selecionadas nas três sondagens para análises de granulometria, carbonatos, carbono orgânico total, biomineralizações de sílica e datação por ¹⁴C-AMS

Sondagem	Granulometria	CaCo ₃	COT	Biomineralizações	¹⁴ C- AMS
_				de Sílica	
1	08	08	08	08	02
2	08	08	08	08	03
3	13	13	13	13	05
Total	29	29	29	29	10

4.3. Análises laboratoriais

4.3.1. Granulometria

A análise granulométrica das 29 amostras das sondagens foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da UFF. Foram pesados 50 g de cada amostra e em seguida foi feita a separação dos sedimentos grossos (cascalhos e areias) e finos (silte e argila) com o auxílio de uma peneira de 0,500 mm (a seco). A peneira foi colocada no vibrador elétrico por 5 minutos para a separação das frações (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Etapas de preparação para análise granulométrica. (A) Pesagem de 50g de amostra. (B) Colocação da peneira de 0,063 mm no vibrador elétrico para separação das frações. (C) Separação das frações areia e lama. Fotos: A e B) Cátia Santos; C) Carolina Silvestre (2016).

Análise granulométrica de sedimentos arenosos

Após a separação das frações, os sedimentos grossos foram colocados em *Beckers* de 1000ml, adicionando-se água até completar o Becker. Os *Beckers* foram colocados em chapa aquecida a 100°C por alguns minutos e em seguida a areia foi lavada em uma peneira de 0,063mm, para eliminar resíduos de lama. A areia foi novamente colocada em *Beckers* de 500 ml e foi posta em chapa aquecedora para eliminar o resíduo de água após a lavagem. Em seguida as amostras de sedimentos contendo areia e cascalhos foram colocadas para secar em estufa com temperatura média de 50°C e depois analisada no granulômetro de areia (Figura 4.6).

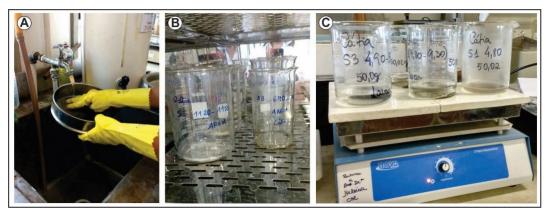


Figura 4.6 – Procedimentos de preparação da fração areia para análise granulométrica. (A) Lavagem das areias em água corrente; (B) Eliminação do resíduo de água em chapa aquecedora; (C) Secagem das amostras em estufa a 50° C. Fotos: Cátia Santos (2016).

Em seguida, a fração areia/cascalho foi processada utilizando o Analisador de partículas a laser *CAMSIZER* P4 (Figura 4.7).

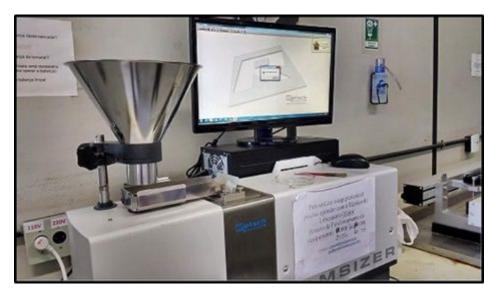


Figura 4.7 – Analisador de partículas a laser CAMSIZER P4. Foto: Cátia Santos (2017).

Análise granulométrica dos sedimentos lamosos

As amostras de sedimentos lamosos foram analisadas através do método de difração de *laser*. Esta análise foi feita por meio do Granulômetro *Malvern Mastersizer* 2000 (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Granulômetro de lama Malvern Mastersizer 2000. Foto: Cátia Santos (2017).

As amostras foram previamente tratadas conforme as seguintes etapas (Figura 4.9):

- (1) Secagem dos sedimentos contendo lama em estufa a 50° C para atingir peso constante.
- (2) Pesagem de 5g de amostra para ser colocada na mufla a 410°C para queima da matéria orgânica (MO).

- (3) Pesagem de 2g de amostra (após a queima da MO) que foram colocados em falcons, adicionando-se uma solução defloculante a base de hexametafosfato de sódio diluído em 1 litro de água destilada até atingir o volume de 15 a 20 ml do falcon.
- (4) Colocação das amostras em um agitador elétrico com intensidade moderada durante 48 horas.
- (5) Processamento no granulômetro de lama Malvern Mastersizer 2000 para análise.

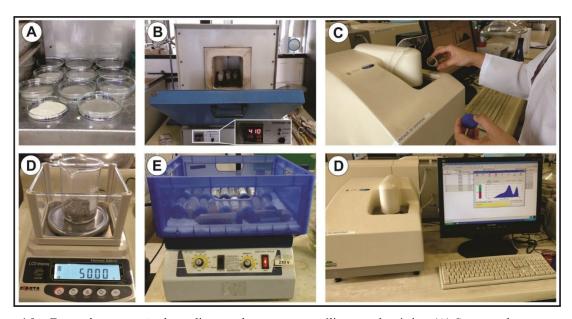


Figura 4.9 – Etapas de preparação dos sedimentos lamosos para análise granulométrica: (A) Secagem das amostras em estufa a 50°C para atingir peso constante; (B) Pesagem de 5 g de amostra; (C) Amostras colocadas na mufla a temperatura de 410°C para eliminação da MO; (d) Colocação das amostras em agitador elétrico por 48 horas; (D) Colocação da amostra no granulômetro de lama; (E) Processamento da análise pelo equipamento *Malvern Mastersizer* 2000. Fotos: Cátia Santos (2016).

4.3.2. Extração de espículas de esponjas

A extração das espículas de esponjas foi realizada no Laboratório de Sedimentologia da UFF em Niterói e no Laboratório de Estudos Paleoambientais (LEPAFE) da UNESPAR no estado do Paraná. Para a realização desta fase da pesquisa foi empregado o protocolo adaptado de extração de espículas de esponja de sedimentos e solos utilizado pelo professor Mauro Parolin, da UNESPAR (SILVA et al., 2012). Este protocolo consiste nas seguintes etapas: (1) secagem das amostras em estufa; (2) queima da matéria orgânica, colocando-se uma pequena quantidade (cerca de 2 a 3g) de sedimentos em um tubo de ensaio e adicionando-se ácido nítrico HNO3 (65%), em quantidade suficiente para cobrir toda a amostra e coloca-se o tubo de ensaio sobre uma lamparina. Acrescenta-se mais ácido nítrico (HNO3) sempre que necessário para não deixar que a amostra fique seca. Espera-se até que a fumaça produzida pela reação do HNO3 com o sedimento fique branca; (3) deixa-se a amostra esfriar um pouco e adiciona-se 2 a 3 gotas de peróxido de hidrogênio 130 no tubo de ensaio; (4) após a queima, o conteúdo do tubo de ensaio é colocado em um falcon onde é

adicionada água destilada para lavar o sedimento; (5) posteriormente, a amostra deve ser centrifugada por 3 minutos a 1500 rpm com água destilada. Após a centrifugação, a água que está na amostra é descartada, completa-se com mais água destilada e leva-se a amostra novamente para ser centrifugada. Este procedimento de lavagem da amostra deve ser repetido até se atingir o pH 5 ou 6. Em seguida (6), a amostra deve ser centrifugada 3 vezes com álcool (70%), para então, (7) serem preparadas as lâminas de microscopia (Figura 4.10) (Apêndice1).

Os elementos endo-esqueletais constituídos por sílica, presentes em todas as esponjas continentais, são avaliados conforme as categorias descritas por Volkmer-Ribeiro e Pauls (2000), sendo: (i) megascleras ou macroscleras, espículas que integram as bases da rede esqueletal e geralmente são as maiores espículas presentes. As megascleras, na maioria das vezes, são mais abundantes nas amostras, entretanto, não permitem distinções específicas nítidas, podendo, no entanto, em alguns casos diferenciar alguns gêneros; (ii) microscleras, espículas de tamanho reduzido e com a superfície recoberta por espinhos; (iii) gemoscleras, as espículas que recobrem as gêmulas das esponjas continentais e que constituem o caráter necessário para a caracterização de famílias, gêneros e espécies. As espículas marinhas detectadas foram identificadas com base na classificação de Hopper e Soest (2002). A contagem e a identificação das espículas estão sendo realizadas no Laboratório de Estudos Paleoambientais da UNESPAR, sob a orientação do Prof. Dr. Mauro Parolin, bem como no Laboratório de Microscopia Óptica e Morfoscopia (LAMOM) da UERJ-FFP.



Figura 4.10 – Procedimentos para extração de espículas de esponjas. (A) Queima da matéria orgânica com ácido nítrico. (B) Centrifugação das amostras a 1500 rpm. Fotos: Cátia Santos (2015).

Nas sondagens 1, 2 e 3, foi adotado o protocolo de extração de espículas, anteriormente a aplicação do protocolo de extração de fitólitos. Esta medida foi tomada uma vez que este procedimento é mais rápido podendo ser concluído em um dia de laboratório. Através do protocolo

de espículas é possível identificar se a amostra contém não só espículas, mas também fitólitos. No entanto, as etapas deste protocolo restringem-se a eliminar matéria orgânica, outros elementos como ferro, argila e etc. são mantidos, dificultando a contagem e a identificação dos fitólitos com precisão. Tal procedimento é útil na medida em que permite um conhecimento geral da amostra a ser trabalhada e, consequentemente, a seleção das amostras que contem biomineralizações. A partir dessa análise exploratória foram selecionadas as amostras que deveriam passar pelo protocolo de extração de fitólitos, mais complexo e mais demorado.

4.3.3. Extração de fitólitos

A extração e identificação dos fitólitos foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia da UFF e no Laboratório de Geociências da FFP/UERJ.

As etapas deste protocolo consistem na separação de 20 g de solo/sedimento seco e peneirado a 2 mm, nos quais é feita a dissolução dos carbonatos com HCl (3%), oxidação total da matéria orgânica utilizando-se peróxido de hidrogênio (30%). Em seguida, é feita a etapa de branqueamento da amostra e de remoção dos óxidos de ferro com Citrato de Sódio (C₆H₅Na₃O₇) a 88,4g/l e Diotinito de Sódio (Na₂O₄S₂, H₂O₂). Após esta etapa, passa-se à remoção das argilas acrescentando-se 20ml de Hexametafosfato, completando o *becker* de 500ml com água quente e deixando decantar por 2 horas para poder rinsar (etapa que deve ser repetida pelo menos 4 vezes. Quando a água fica totalmente límpida acrescenta-se 20ml de EDTA (defloculante) e novamente completa-se o Becker com água, rinsando a cada 2 horas. Terminado essas etapas, faz-se a peneiragem e a secagem das amostras. A peneiragem é feita utilizando-se uma peneira de 250 μm. A porção da amostra que for transvasada é colocada em falcons para serem misturadas no Vortex e depois são colocadas para secar (Figura 4.11e Anexo 2).

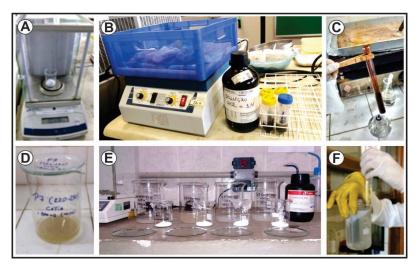


Figura 4.11 – Procedimentos para extração de fitólitos. (A) Pesagem de 20 g de material. (B) Descarbonatação com ácido clorídrico (HCl a 1N). (C) Queima da matéria orgânica. (D) Branqueamento com Hipoclorito de Sódio a 6%. (E) Remoção de argila com 20ml de Hexametafosfato. (F) Complementação com água quente e agitação da amostra após a adição de Hipoclorito de Sódio, para acelerar a remoção do Ferro. Fotos: Cátia Santos (2016, 2017).

4.3.4. Medição da Matéria Orgânica nos sedimentos lamosos

A concentração de matéria orgânica nos sedimentos foi medida através do método de perda de peso por ignição (*loss of ignition*), proposto por Schumacher (2002). Para a execução deste método, foram realizadas as seguintes etapas: pesagem de 5 g de sedimentos lamosos após a secagem na estufa a 50° C, até a obtenção de peso constante. A amostra foi acondicionada em recipientes (cadinhos) resistentes à alta temperatura da mufla, que foram previamente pesados antes da colocação das amostras. A queima da matéria orgânica ocorreu a uma temperatura de 410°C durante de 16 horas. Após este período, aguardou-se até que a temperatura da mufla diminuísse e as amostras pudessem ser retiradas. Novamente os cadinhos foram pesados. O resultado foi calculado a partir da diferença entre os pesos iniciais e finais de cada amostra (Figura 4.12).

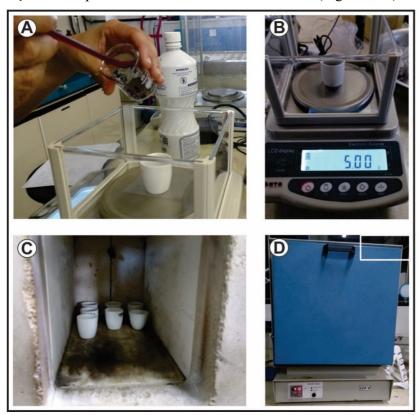


Figura 4.12 – Procedimentos para queima da matéria orgânica. (A) Pesagem de 5g de amostra. (B) Colocação dos cadinhos com as amostras dentro da mufla com temperatura de 410°C por 16 horas. Fotos: Cátia Santos (2017).

4.3.5. Medição de carbonatos

A concentração de carbonato de cálcio (CaCO₃) foi medida através do processo proposto por Gross (1971). Este processo consiste na dissolução da amostra em solução de HCl (10%). Foram pesados 2 g de amostra colocados em um *erlenmeyer* (cujo peso vazio foi previamente medido), no qual foi adicionada a solução de HCl (10%) por 24 horas. Após este período, as amostras foram transferidas para falcons (com pesos determinados) e foram centrifugadas até atingirem pH em torno de 6. Depois foram colocadas na estufa para secagem. O cálculo do teor de CaCO₃ foi feito considerando-se a diferença entre os pesos iniciais e finais (Figura 4.13).

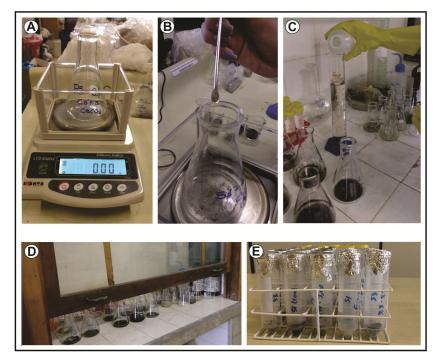


Figura 4.13 – Procedimentos para medição de CaCO₃. (A) Pesagem do *erlenmeyer* vazio; (B) Pesagem de 2 g de amostra; (C) Preparação da solução ácida de HCl (10%) e adição da solução nos *erlenmeyers*; (D) Repouso das amostras com a solução dentro da capela por 24 horas; (E) Preparação dos falcons, após a centrifugação, para a secagem das amostras na estufa a 50°C.

4.4. Microscopia e identificação de conchas

4.4.1. Microscopia óptica

Para a identificação e contagem dos fitólitos e das espículas de esponja, foram preparadas lâminas delgadas. Para confecção das lâminas foram coletados 25 µl de amostra com o auxílio de uma pipeta automática de volume fixo. Em seguida a lâmina foi colocada para secar e adicionou-se duas gotas de Entellan®, cobrindo-se o material com lamínula. As lâminas foram observadas em microscópio óptico Zeiss com objetivas de 50x e 63x (Figura 4.14).

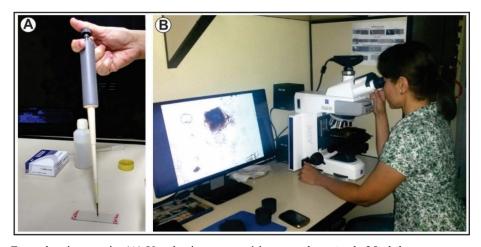


Figura 4.14 – Etapa de microscopia. (A) Uso de pipeta automática para obtenção de 25 μl de amostra para confecção da lâmina; (B) observação de lâmina em microscópio óptico Zeiss para identificação de biomineralizações. Fotos: A: Cátia Santos; B: Karina Chueng (2016, 2017).

A contagem e a identificação das biomineralizações de sílica (fitólitos e espículas de esponjas) foram realizadas, na maior parte, no Laboratório de Microscopia Óptica e Morfoscopia (LAMOM) da UERJ-FFP e no Laboratório de Estudos Paleoambientais (LEPAFE) da UNESPAR, sob a orientação do professor Dr. Mauro Parolin. As frústulas de diatomáceas foram identificadas pelo Dr. Fábio Pamplona da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas

A contagem e identificação de espículas de esponja seguiram os seguintes critérios: observação geral da lâmina para averiguar a existência e a frequência de espículas de esponja, gemoscleras de espículas e megascleras intactas. Em seguida, foi feita a contagem de fragmentos de megascleras de espículas em três transectos da mesma lâmina. Foram utilizadas três lâminas para cada amostra, totalizando 87 lâminas somando os três poços de sondagem.

Embora, num primeiro momento, as frústulas de diatomáceas não tenham constituído o foco de análise da pesquisa, a presença destas biomineralizações também foi considerada, visto que a ausência ou a presença (em maior ou menor quantidade) das mesmas pode trazer informações complementares ao estudo dos fitólitos e das espículas de esponja. A contagem das frústulas de diatomáceas seguiu esses mesmos critérios: primeiro a observação geral da lâmina para identificar a existência, frequência e estado de preservação de frústulas de diatomáceas; depois foi feita a contagem das frústulas inteiras e fragmentadas em três transectos da lâmina.

Fitólitos

Para a contagem e identificação dos fitólitos foi feita primeiramente uma observação geral da lâmina buscando avaliar se havia uma distribuição uniforme das biomineralizações em toda a lâmina. Em seguida, observaram-se três transectos de cada lâmina para a contagem dos fitólitos presentes na amostra. Para a classificação dos morfotipos buscou-se atingir, no mínimo, um total de 200 fitólitos de diâmetro superior a 5μm e com significado taxonômico (*classified*), além da quantificação daqueles sem significância taxonômica (*unclassified*) por estarem alterados ou fragmentados. Em algumas amostras não foi possível atingir essa quantidade devido à baixa ocorrência de fitólitos. Os resultados foram apresentados como porcentagens do total de fitólitos classificados, de acordo com o ICPN (*International Code for Phytolith Nomenclature* 1.0) (MADELLA *et al.*, 2005). Após a contagem foi calculado o índice fitolítico D/P.

4.4.2. Microscopia de varredura eletrônica (MEV)

Algumas amostras foram observadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca JEOL JSM-6460 LV, de propriedade do Instituto de *Geologia de Costas y Cuaternario da*

Universidad Nacional de Mar del Plata na Argentina (Figura 4.15). As imagens obtidas através do MEV apresentam alta resolução, o que permitiu uma visualização mais detalhada das características dos bioindicadores identificados nas amostras analisadas.

4.4.3. Identificação de conchas

A identificação das conchas de bivalves foi realizada pela Dr^{a.} Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza da Universidade Federal Fluminense.

4.5. Datações por ¹⁴C-AMS

As 13 amostras selecionadas para datação foram submetidas a um tratamento inicial no laboratório de radiocarbono (LAC) do Instituto de Física da UFF. Foi dado um pré-tratamento físico e químico nas amostras para a remoção de impurezas. A preparação inicial consiste na retirada de elementos visíveis (raízes, pedras etc.). Num segundo momento, foi utilizado ácido clorídrico para eliminar carbonatos e outros carbonos considerados como impurezas. Depois de removidas as impurezas, as amostras passaram por um processo de combustão para serem grafitizadas e enviadas ao *Center for Applied Isotope Studies* (CAIS) da Universidade da Geórgia (Estados Unidos) para análises de datação do radiocarbono pelo método do *Accelerator Mass Spectrometry* (¹⁴C-AMS).

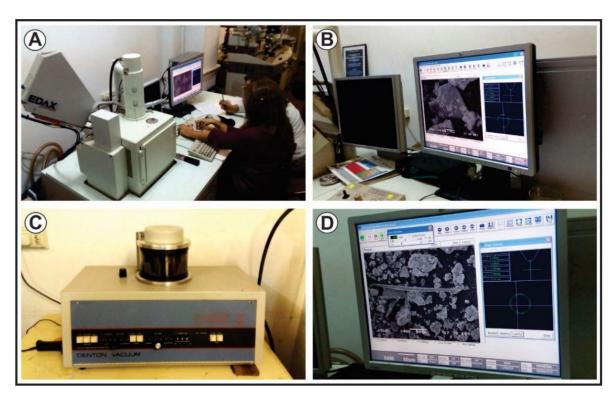


Figura 4.15 – Observação de amostras no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), da Universidade Nacional de Mar del Plata. Fotos: André Silva (2017).

4.6. Análises de isótopos estáveis de Carbono (δ ¹³C)

Para complementar as análises fitolíticas das Assembleias Modernas, utilizou-se os isótopos estáveis de carbono (nas amostras referentes às assembleias modernas) e o teor de concentração do carbono orgânico (nas amostras fósseis). As análises isotópicas e a determinação do carbono orgânico foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, por meio de um analisador elementar Carlo Erba, modelo EA 1110, acoplado a um espectrômetro de massa, com um limite de detecção de 0,03%. Os resultados referentes à análise isotópica foram expressos em unidade de δ (‰ – partes por mil), determinada em relação ao padrão internacional PDB (*Pee Dee Belemnite*) e referem-se à média de duas determinações, com precisão de 0,2‰. Os resultados do teor de carbono foram expressos em porcentagem de peso seco.

4.7. Processamento e integração dos dados

As figuras foram processadas nos softwares Corel Photo Paint® e Corel Draw®. Os gráficos de granulometria, carbono orgânico, carbonatos e dados das biomineralizações foram elaborados no software Microsoft Excel®. Os gráficos de integração e interpretação dos resultados foram processados no software Corel Draw® e Tiliagraph®.

Inicialmente, foi realizada uma análise por sondagem buscando identificar as características das amostras. Para isso, foram considerados os resultados de espículas de esponjas, de frústulas de diatomáceas, o estoque de fitólitos e o índice D/P. Esses resultados foram processados no Programa Tiliagraph e, posteriormente, foram identificados momentos ora com predomínio de *proxies* aquáticos ora com predomínio de *proxies* terrestres, ou ainda momentos marcados pela presença expressiva de ambos. A variação no índice D/P contribuiu para identificar mudanças na vegetação. Foram acrescentados os resultados de outros indicadores como granulometria, grau de preservação dos bioindicadores, identificação da origem dos *proxies* aquáticos (marinhos ou continentais) e identificação dos morfotipos dos fitólitos. Cada sondagem foi analisada e interpretada separadamente. Os resultados de cada análise serviram de base para a delimitação das fases identificadas para a reconstituição das condições ambientais na planície costeira de Maricá, durante o Holoceno.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das comunidades vegetais na Restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil

Artigo publicado na Revista Tamoios

https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/26120

CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES VEGETAIS NA RESTINGA DE MARICÁ, RIO DE JANEIRO, SUDESTE DO BRASIL

Caracterization of Vegetable Communities in The Maricá Restinga, Rio de Janeiro, Southeast of Brazil

Cátia Pereira dos Santos

Doutoranda em Dinâmica dos Oceanos e da Terra; Lagemar, UFF catia-ps@hotmail.com

Heloisa Helena Gomes Coe

Professora Adjunta do Departamento de Geografia da FFP UERJ heloisacoe@yahoo.com

Yame Bronze Medina Ramos

Mestre em Dinâmica dos Oceanos e da Terra; Lagemar, UFF yamemedina@hotmail.com

Leandro de Oliveira Furtado de Sousa

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Vegetais da UFERSA <u>leandro@ufersa.edu.br</u>

André Luiz Carvalho da Silva

Professor Adjunto do Departamento de Geografia da FFP UERJ andrelcsilvageouerj@gmail.com

Désirée Guichard Freire

Professora Assistente do Departamento de Geografia da FFP da UERJ desireeuerj@gmail.com

Carolina Pereira Silvestre

Doutoranda em Dinâmica dos Oceanos e da Terra; Lagemar, UFF cps silvestre@hotmail.com

Artigo recebido em 18/10/2016 e aceito para publicação em 15/05/2017

DOI: 10.12957/tamoios.2017.26120

Resumo

A restinga, vegetação predominante na planície costeira de Maricá no Estado do Rio de Janeiro, vem sendo devastada nas últimas décadas devido à ocupação desordenada que afeta os ecossistemas e altera profundamente a paisagem. Os objetivos desse trabalho estão voltados para a caracterização das comunidades vegetais da restinga na Área de Proteção Ambiental de Maricá e das espécies vegetais dominantes. Estudos dessa natureza ainda são possíveis graças à preservação desta restinga, o que permite um maior conhecimento sobre a biogeografia da região, importante para o desenvolvimento responsável e para um gerenciamento costeiro eficaz. Para isto, foram realizados trabalhos de campo para a caracterização das comunidades vegetais e das principais espécies que as constituem. Foram identificadas as espécies mais representativas de oito comunidades vegetais: halófila-psamófila, duas comunidades scrub, dois brejos herbáceos, slack, floresta seca e vegetação arbustiva nas margens da lagoa.

Palavras-chave: Maricá; restinga; comunidades vegetais; planície costeira.

Abstract

"Restinga" is the predominant vegetation of the coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. In recent decades, this area has been suffering the effects of a process of disorderly occupation, affecting ecosystems and profoundly altering the landscape. Our objective is to characterize the vegetation communities of the Environmental Protection Area of Maricá and their dominant plant species. Studies of this nature enable a better understanding of the dynamics of the region, and contribute to the sustainable development of these areas, through effective measures of integrated coastal management. It was therefore necessary to perform a survey of the species present in each vegetal community. The following vegetation communities and their dominant species were characterized: halophyte-psamophyte, two scrub communities, two herbaceous swamps, slack, dry forest and shrubland vegetation on the shores of the lagoon.

Keywords: Maricá; "Restinga"; vegetal communities; coastal plain.

INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental (APA) de Maricá, uma Unidade de Conservação estadual criada em 1984, é formada por três componentes: a Ilha Cardosa, a Ponta do Fundão, (ambas recobertas por floresta atlântica) e, ainda, a porção central da planície costeira do município. A estrutura desta planície costeira é composta por um sistema barreira-laguna, constituída por vários micro-ambientes e recoberto por vegetação de restinga, sendo, portanto, um componente do Bioma Mata Atlântica. Tal localidade, denominada no meio acadêmico, popular e institucional como "Restinga de Maricá", é o objeto do nosso estudo (Figura 1).

Esta investigação objetivou caracterizar as comunidades vegetais da restinga da APA de Maricá (Figura 1), as espécies vegetais dominantes em cada uma delas e as variáveis ambientais responsáveis por sua distribuição geográfica Este trecho do litoral, a "Restinga de Maricá", representa uma das poucas áreas desprovidas de construções e, por isso, de grande relevância para a realização de estudos dessa natureza. A vegetação de restinga, assim como fragmentos de Mata Atlântica, ainda estão bem preservados, principalmente quando comparados às áreas adjacentes à APA de Maricá.

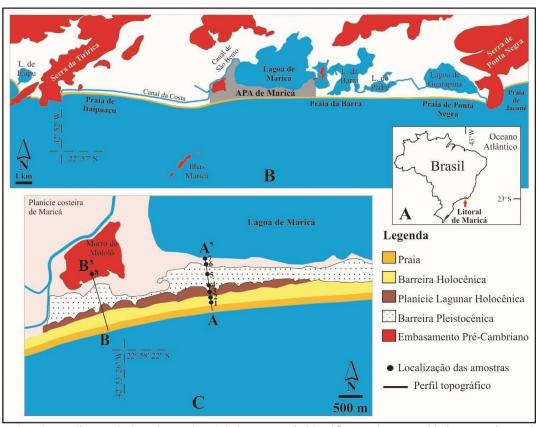


Figura 1: (A, B) Localização da área de estudo e (C) dos pontos de identificação das comunidades vegetais estudadas na APA de Maricá. Geomorfologia e sistemas deposicionais baseados em Silva et al. (2014a, 2014b).

Os ambientes de restinga, do ponto de vista geral, são marcados pela sua condição costeira, pelo alto dinamismo e, ao mesmo tempo, por ser objeto de muitos estudos científicos. No Brasil, foi objeto de intensa ocupação urbana, portuária e industrial. Desta forma, os trechos remanescentes são preciosidades para o meio ambiente, as comunidades tradicionais e a academia. Vários setores das ciências naturais e sociais se debruçam há décadas sobre tal formação como: Geologia, Geomorfologia, Botânica, Zoologia, Limnologia, Antropologia, Urbanismo, Geografia, entre outras. Assim, cada campo do conhecimento atribui ao termo

restinga uma determinada concepção, ressaltando as especialidades de acordo com o objetivo e o recorte temático.

A legislação brasileira apresenta definições qualificadas sobre o ambiente em questão: a Resolução CONAMA nº 303 de 2002 e o Código Florestal - Lei nº 12.651 de 2012 definem restinga com uma articulação importante entre os componentes geológicos-geomorfológicos e botânicos: "depósito arenoso paralelo à linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, com cobertura vegetal em mosaico, encontrada em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado". Assim, encontramos na base legislativa nacional definições com elos entre os componentes geológico-geomorfológicos e biológicos. Considerar-se-á, diante do exposto, restinga como um ecossistema do Bioma Mata Atlântica, um sistema integrado e autofuncionante que consiste em interações dos elementos bióticos e abióticos, e cujas dimensões podem variar consideravelmente.

No Decreto Estadual nº 41.612 de 2008 a mesma articulação aparece e destaque é atribuído aos aspectos geológico-geomorfológicos: "Ficam as restingas do Estado do Rio de Janeiro definidas como: planícies arenosas costeiras de origem marinha, abrangendo praias, cordões arenosos, dunas, depressões entrecordões e depressões entredunas com respectivos brejos, charcos, alagados e lagoas, cuja vegetação e fauna estão adaptadas às condições ambientais locais".

Especificamente sobre Vegetação de Restinga, a Resolução CONAMA nº 417 de 2009 apresenta uma conceituação bastante abrangente, pois, além da conexão entre diferentes elementos, bióticos e abióticos, insere a formação vegetal em questão no seu conjunto, isto é, no ecossistema: "Vegetação de Restinga: o conjunto de comunidades vegetais, distribuídas em mosaico, associado aos depósitos arenosos costeiros quaternários e aos ambientes rochosos litorâneos – também considerados comunidades edáficas – por dependerem mais da natureza do solo do que do clima, encontradas nos ambientes de praias, cordões arenosos, dunas, depressões e transições para ambientes adjacentes, podendo apresentar, de acordo com a fitofisionomia predominante, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado ecossistema".

Foi aqui adotada a definição que articula os diferentes elementos que compõem tal ambiente na direção de considerá-lo um ecossistema, logo a partir da sua gênese, dinâmica e ligações entre os componentes. Sua formação é caracterizada pela diversidade, com a presença de vários microambientes construídos pelas diferenças no modelado, no substrato, na umidade, dos ventos, das ondas, do spray marinho, etc. Diante disto, a formação restinga só pode ser considerada enquanto um ecossistema, dentro da sua totalidade, sua complexidade e do seu conjunto. Assim, a presente investigação faz a opção em trabalhar como instrumental analítico com o conceito de vegetação de restinga enquanto um ecossistema costeiro, componente do Bioma Mata Atlântica, constituído em mosaicos.

A diversidade desse tipo de vegetação, que é subdividida em diferentes comunidades vegetais, está relacionada à variação e influência de diferentes fatores, como: insolação, vento, intrusão salina, ondas de tempestade e spray marinho, escassez de nutrientes e de água no solo (CORTE, 2009). Araújo e Henriques (1984) identificaram as seguintes comunidades vegetais que podem compor uma restinga: a) halófilas, vegetação situada na parte superior da praia e adaptada às condições de salinidade e à influência decorrente das variações de maré; b) psamófilas reptantes, vegetação adaptada a solos arenosos e onde predominam espécies herbáceas reptantes; c) *slack*, comunidade a sotavento das dunas móveis; sem muitas informações botânicas;

d) *thicket*, vegetação arbustiva fechada, situa-se sobre as barreiras arenosas, nos pontos aonde as ondas não chegam, mesmo em períodos de fortes ressacas, subdivide-se em *thicket* de pós-praia e *thicket* de Myrtaceae; e) *scrub*, vegetação arbustiva aberta com formação de moitas em que os indivíduos não se tocam uns aos outros, pode-se encontrar três tipos de *scrub*: de Clusiaceae, de Arecaceae e de Ericaceae; f) brejo herbáceo, locais de topografia mais baixa situados entre as barreiras arenosas ou, algumas vezes, às margens das lagoas, apresentam-se úmidos a alagados, por acúmulo de água das chuvas, por afloramento do lençol freático, ou por serem antigos leitos de lagunas colmatadas, onde a água costuma ser salobra, abrange

espécies herbáceas a herbáceas-arbustivas; g) floresta periodicamente inundada, encontrada nas depressões úmidas delimitando as barreiras arenosas, apresenta vegetação arbórea entre 10 a 15m de altura; h) floresta permanentemente inundada, situada na borda das lagoas ou em áreas deprimidas e úmidas, apresenta uma vegetação com porte arbóreo entre 6 e 8m de altura; i) floresta seca, comunidades florestais que podem ou não sofrer inundações durante o ano, apresenta vegetação arbórea com porte em torno de 10m de altura (ARAÚJO e HENRIQUES, 1984).

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada está localizada no município de Maricá, Estado do Rio de Janeiro, correspondendo à parte central da planície costeira, a "Restinga de Maricá", inserida na Área de Proteção Ambiental (APA). Situa-se a cerca de 20 km da entrada da Baía de Guanabara, entre as coordenadas 22°52' a 22°54' S e 42°48' a 42°54' W (Figura 1). A planície costeira em questão é formada por diversos ambientes (praias, dunas, barreiras, lagoas, etc.) (Figura 2), com sedimentação predominantemente arenosa e com variações topográficas em torno de 9 metros em relação ao nível médio do mar (Silva et al., 2014b), responsáveis por diferenças de profundidade do nível freático ao longo do litoral. Essas formações arenosas encontram-se cobertas por vegetação de restinga, com presença de cactos, bromélias e espécies de diversas gramíneas e arbustos de baixo porte.

A área de estudo possui cerca de 8 quilômetros de extensão e uma área total de 844,16 ha. Foi transformada em Unidade de Conservação, juntamente com a Ilha Cardosa e a Ponta do Fundão, pelo Decreto nº 7.230 de 23 de janeiro de 1984, mas seus zoneamentos governamentais só foram aprovados após 23 anos; são eles o Plano de Manejo - Decreto Estadual nº 41048/2007 e o Plano Diretor Setorial - Lei Municipal 2331/2010, ambos questionados na Justiça Estadual e Federal. Esse trecho do litoral de Maricá apresenta uma biodiversidade considerável, com cerca de 408 espécies de flora e fauna, sendo várias raras e endêmicas (GUERRA et al., 2010), como Dyckia pseudococcinea L.B.Sm. (Bromeliaceae), endêmica de Maricá e criticamente em perigo; Schaueria calycotricha (Link e Otto) Nees (Acanthaceae) e Neoregelia compacta (Mez) L.B.Sm. (Bromeliaceae), endêmicas do Rio de Janeiro; e Cattleya harrisoniana Batem. ex Lindl. (Orchidaceae), além de sítios arqueológicos e alguns recursos minerais (FARIA e BOHRER, 2005; LOUREIRO et al., 2010). No entanto, a APA de Maricá apresenta diversos problemas decorrentes do abandono, do acúmulo de lixo e queimadas, da mineração ilegal de areias e tráfego irregular de veículos sobre as dunas (SILVA et al., 2014c) (Figura 3), com várias espécies ameaçadas de extinção (Tabela 1). Apesar dos problemas apontados, a faixa costeira em estudo, embora bastante utilizada para diversos fins no decorrer do tempo, ainda mantém vegetação nativa e alta biodiversidade, o que a torna de grande relevância para o desenvolvimento de estudos dessa natureza.



Figura 2: (A) Planície Costeira de Maricá, (B, C, D) com uma geomorfologia típica de barreiras arenosas associadas a sistemas lagunares. Fotos: A - Desirée Guichard (2009); B, C, D - André Silva (2009).

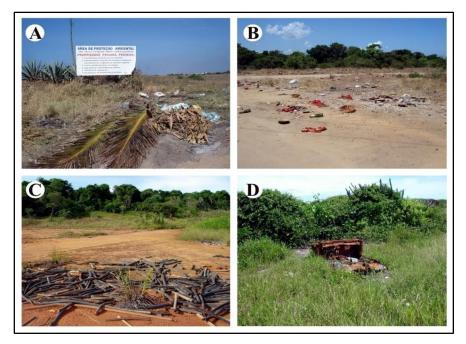


Figura 3: Descarte irregular de lixo (A, B, C) e carcaça de automóvel em meio a vegetação de restinga (D). Fotos: André Silva (2010).

Tabela 1 - Lista de espécies ameaçadas da Restinga de Maricá (Fonte: Barros *et al.*,2009).

	Nome científico	Grau de
		<u>ameaça</u>
APOCYNACEAE	Ditassa maricaensis Fontella & E. A.	EN
	Schwars	
ARECACEAE	Allagoptera arenaria (Gomes) Kuntze	VU
BROMELIACEAE	Aechmea nudicaulis (L.) Griseb.	VU
	Dyckia pseudococcinea L. B. Sm.	CR
	Edmundoa lindenii (Regel) Leme	EN
	Neoregelia compacta (Mez) L. B. Sm.	EN
	Neoregelia cruenta (Graham) L. B. Sm.	VU
	Tillandsia mallemontii Glaz. ex Mez	EN
	Tillandsia tenuifolia L.	VU
	Tillandsia usneoides (L.) L.	VU
	Vriesea neoglutinosa Mez	VU
CACTACEAE	Melocactus violaceus Pfeiff.	VU
	Rhipsalis maricensis Scheinvar	VU
MALVACEAE	Pavonia alnifolia A. StHil.	VU
RUBIACEAE	Melanopsidium nigrum Cels	VU
SAPOTACEAE	Pouteria psammophila (Mart.) Radlk.	EN

CR – criticamente ameaçada VU – vulnerável EM – em perigo

A planície costeira de Maricá exibe uma geomorfologia caracterizada pela presença de duas barreiras arenosas separadas por pequenas lagunas colmatadas e pelas Lagoas de Maricá, Barra, Padre e Guarapina (Figura 1 e 2). A barreira arenosa interna (Figura 2A e B) e, consequentemente, mais antiga, foi formada no Pleistoceno (SILVA et al., 2014a). Esta barreira está localizada a cerca de 300 metros da primeira e possui 7 a 9 metros de altura em relação ao nível médio do mar (SILVA et al., 2014b). A barreira arenosa externa localizada mais próxima do mar (Figura 2A e C) possui uma altura de cerca de 7 metros em relação ao nível médio do mar (SILVA et al., 2014b). Essa barreira formou-se durante a última transgressão marinha ocorrida no Holoceno, possibilitando a formação de pequenas lagoas à sua retaguarda (IRELAND, 1987; PEREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2014a). As comunidades vegetais que recobrem essas formações arenosas desenvolveram-se em diferentes contextos geocronológicos, considerando-se as diferenças de idades entre os sistemas barreira-laguna. O desenvolvimento da cobertura vegetal ao longo da planície costeira de Maricá foi influenciado por fases de transgressão e regressão marinha desde o Pleistoceno Tardio, cuja idade do sistema barreira-laguna interno corresponde a 50.000 anos AP aproximadamente, conforme Silva et al. (2014a).

O litoral de Maricá apresenta uma intensa dinâmica devido à exposição direta à incidência de ondas de tempestades (Figura 2D), que causam grandes variações morfológicas na praia e, eventualmente, problemas nas áreas com construções localizadas próximas a ela (LINS-DE-BARROS, 2005; SILVA *et al.*, 2008, 2014b). As variações diárias no nível do mar em resposta às oscilações de maré não ultrapassam 1,5 metro (DHN, 1979).

O clima da região de Maricá foi classificado como tropical quente, superúmido, com estação subseca (NIMER, 1989). Dados meteorológicos de Niterói, município vizinho a Maricá, registram uma temperatura média anual de 23,2°C, sendo a média das máximas do mês mais quente (fevereiro) 32,2°C e das mínimas do mês mais frio (julho) 15,1°C. A precipitação média anual é de 1.230,8 mm, com 69,2% ocorrendo entre novembro e abril (Departamento Nacional de Meteorologia, período de 1931 a 1968).

A flora presente na restinga no Município de Maricá é bem diversificada, como ressaltado por Oliveira e Silva (1989). Esses autores identificaram 379 espécies em 268 gêneros distribuídos em 84 famílias botânicas, sendo as mais representativas: Fabaceae (29 sp.), Asteraceae (22 sp.), Euphorbiaceae (21 sp.),

Orchidaceae (16 sp.), Bromeliaceae (15 sp.), Rubiaceae (15 sp.), Myrtaceae (14 sp.) e Cactaceae (13 sp.). Representantes de algumas famílias como Anacardiaceae, Cactaceae, Arecaceae, Malpighiaceae, Clusiaceae, também se destacam na paisagem litorânea. Qualitativamente, algumas espécies são expressivas do ponto de vista biológico, seja como alimento para a fauna ou para a própria comunidade vegetal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico sobre comunidades vegetais de restingas e, mais especificamente, sobre a Restinga de Maricá. Para esta pesquisa, foi adotada a classificação de Araújo e Henriques (1984), apresentada acima, com as adaptações necessárias para a planície costeira de Maricá.

Foram utilizados dados de topografia obtidos por Silva (2011), objetivando a caracterização morfológica dos ambientes (barreiras e lagoas) e subambientes (praias, dunas, margem lagunar) da planície costeira de Maricá. A partir dos dados préexistentes e de imagens de satélite disponibilizadas através do Google Earth foi feito o reconhecimento do local e a seleção dos pontos para a realização dos trabalhos de campo para identificação das comunidades vegetais da Restinga de Maricá. Cinco trabalhos de campo foram realizados (17 de abril de 2011, 2 de maio de 2011, 5 de agosto de 2011, 6 de julho de 2012 e 23 de novembro de 2012), o que permitiu o acompanhamento do período de floração e frutificação das espécies em todas as estações do ano, o que foi fundamental para a correta identificação das espécies. A identificação das espécies em campo foi devidamente catalogada e acompanhada de registro fotográfico. Espécies com identificação duvidosa foram coletadas e herborizadas, seguindo técnicas comumente empregadas em taxonomia vegetal (FIDALGO e BONONI, 1989), seguida de posterior identificação através de bibliografia especializada, consulta a especialistas e comparações com espécimes em herbários. Para a descrição das comunidades vegetais foram selecionadas as espécies com grande número de indivíduos ou de maior representatividade na paisagem. Consideraram-se também as variáveis relacionadas às condições ambientais presentes em cada uma, tais como: topografia, distância em relação ao mar e alcance do spray marinho, tipo de substrato, condições hidrológicas, ambiente de formação, etc.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A restinga de Maricá abriga várias espécies da flora ameaçadas de extinção e endêmicas: (GUERRA et al., 2010), como *Dyckia pseudococcinea* L.B.Sm. (Bromeliaceae), endêmica de Maricá e criticamente em perigo; *Schaueria calycotricha* (Link e Otto) Nees (Acanthaceae) e *Neoregelia compacta* (Mez) L.B.Sm. (Bromeliaceae), endêmicas do Rio de Janeiro; e *Cattleya harrisoniana* Batem. ex Lindl. (Orchidaceae), também ameaçada de extinção.

A morfologia variada ao longo da Restinga de Maricá promove a criação de vários microambientes facilitando o desenvolvimento de diversas formações vegetais que caracterizam este complexo ecossistema, apresentando perfis de vegetação no sentido mar-interior (OLIVEIRA e SILVA, 1989). Essas comunidades vegetais apresentam um padrão de distribuição perpendicular à linha de costa, fortemente influenciado pela variabilidade topográfica dos diversos ambientes geomorfológicos (praia, barreiras, dunas, planície lagunar, etc.), pelo alcance do spray marinho e da cunha salina, pela proximidade em relação ao lençol freático (que chega a aflorar na área da planície lagunar) e por condições edáficas (Figura 4).

Com base na classificação de Araújo e Henriques (1984), foram encontradas as seguintes comunidades vegetais: Halófila-psamófila, *Scrub*, Brejo herbáceo, *Slack*, e Floresta seca. Além dessas, foi identificada outra comunidade, que recebeu a denominação de Vegetação arbustiva, presente nas margens da lagoa (Figuras 4 e 5).

1) HALÓFILA-PSAMÓFILA: adaptada a um substrato arenoso, sob condições de salinidade e influência das oscilações de marés. Nesta comunidade predominam espécies herbáceas reptantes, como *Ipomoea pescaprae* (L.) R.Br., *Alternanthera littoralis* var. *maritima* (Mart.) Pedersen, *Remirea maritima* Aubl., além de *Panicum* sp. (Figuras 4, 5a e 5b). Oliveira e Silva (1989) também identificaram nessa comunidade *Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears, *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth e *Ipomoea littoralis* (L.)

Boiss. A comunidade halófila, em certas épocas do ano, é afetada pela maior incidência de ondas de tempestades, que promovem a diminuição da faixa de areia da praia e, consequentemente, o espaço físico das psamófilas fica reduzido, recompondo-se posteriormente. A área ocupada por esta comunidade no pós-praia, por vezes modifica-se pela ação dos ventos, justapondo-se à localizada na retaguarda da barreira ou ocupando a crista das dunas. Na área do pós-praia destacam-se: *Sophora tomentosa L., Eugenia uniflora L., Schinus terebinthifolius* Raddi e *Cereus fernambucensis* Lem., que ocorrem com porte bastante reduzido, sendo que a primeira é mais raramente observada em direção ao interior desta área (OLIVEIRA e SILVA, 1989).

- e 5) *SCRUB*: vegetação aberta com formação de moitas, onde predominam as espécies arbustivas *Clusia fluminensis* Planch. & Triana, *Byrsonima sericea* DC. e *Humiria balsamifera* (Aubl.) J.St.-Hil. e a bromeliácea *Neoregelia cruenta* (R.Graham) L.B.Sm., pioneira no processo de formação das moitas. São encontrados dois *scrubs*, um sobre a Barreira Holocênica (Figuras 4, 5c e 5d), onde predomina a vegetação arbórea, com altura média de 4 a 8 m, sob a qual se desenvolvem numerosas epífitas; e outro sobre a Barreira Pleistocênica (Figuras 4, 5e e 5f), em geral abrigado pelas dunas, apresentando uma vegetação densa em alguns trechos formados por um emaranhado de dificil penetração. Assim como na Barreira Holocênica, aí predomina a vegetação arbórea, também com altura média de 4 a 8 m, onde, além das espécies já citadas, são encontradas *Eugenia uniflora* L., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Clusia lanceolata* Cambess., sob a qual se desenvolvem numerosas epífitas, como a *Tillandsia stricta* Sol., além de espécies não arbóreas como *Cereus fernambucensis* Lem., *Allogoptera arenaria* (Gomes) Kuntze e *Neoregelia cruenta* (R.Graham) L.B.Sm. (OLIVEIRA e SILVA, 1989). Entre as barreiras predomina a "restinga aberta", onde se destacam as Bromeliaceae, particularmente *Neoregelia cruenta* (R.Graham) L.B.Sm. e *Vriesea neoglutinosa* Mez, contornando as áreas próximas às moitas, e *Tillandsia stricta* Sol, como epífita (OLIVEIRA e SILVA, 1989).
- e 6) **BREJO HERBÁCEO**: dois brejos foram encontrados na área de estudo, um localizado na depressão topográfica entre as duas barreiras arenosas, com predomínio das famílias Poaceae e Cyperaceae, além de *Sagittaria lancifolia* L. e a pterifófita *Blechnum* sp. (Figuras 4, 5g e 5h); outro próximo à lagoa de Maricá, onde também predominam espécies de Poaceae e Cyperaceae, além de *Typha domingensis* Pers., *Marcetia taxifolia* (A.St.-Hil.) DC. e *Ludwigia octovalvis* (Jacq.) P.H.Raven (Figuras 4, 5i e 5j). O brejo herbáceo aparece limitado por bolsões de umidade, com dimensões variáveis entre 2 e 10m de diâmetro, mantendo sua fase mais vigorosa em períodos chuvosos, quando o lençol freático se encontra mais elevado. Durante o ano, pode ocorrer uma sucessão de espécies de curta duração, inclusive com a presença de liquens (em especial *Cladonia* sp.). Periodicamente, o solo fica quase desnudo, com vestígios de uma vegetação que se renova por meio de estolões e rizomas (OLIVEIRA e SILVA, 1989).
- 4) **SLACK**: essa comunidade de plantas aparece em um trecho estreito (cerca de 30 a 50 metros), localizado entre a planície lagunar e a Barreira Pleistocênica, com vegetação reptante e ervas anuais composto por *Cuphea flava* Spreng., *Stachytarpheta* sp., além de gramíneas (Figuras 4, 5k e 5l).

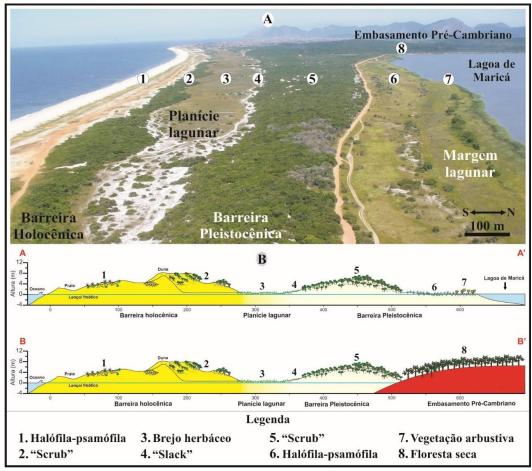


Figura 4: Distribuição das comunidades vegetais da APA de Maricá ao longo dos ambientes que compõem a planície costeira: (1) Halófila-psamófila, na praia; (2) *Scrub* sobre a Barreira Holocênica; (3) Brejo herbáceo, na planície lagunar; (4) *Slack*, na porção frontal da Barreira Pleistocênica; (5) *Scrub*, na crista da Barreira Pleistocênica; (6) Brejo herbáceo, na margem lagunar próxima à Lagoa de Maricá; (7) Vegetação arbustiva nas margens da Lagoa de Maricá; (8) Floresta seca, sobre o embasamento alterado.Foto A: Desirée Guichard (2009). Figura B modificada de Borrelli *et al.* (2014); Geomorfologia e sistemas deposicionais baseados em Silva *et al.* (2014a e 2014b).



Figura 5: Visão geral e em detalhe das comunidades vegetais da Restinga de Maricá: (A, B) Halófilapsamófila; (C, D) *Scrub* sobre a Barreira Holocênica; (E, F) *Scrub* sobre a Barreira Pleistocênica; (G, H) Brejo herbáceo na planície lagunar; (I, J) Brejo herbáceo próximo à Lagoa de Maricá; (K, L) *Slack*; (M, N) Vegetação arbustiva às margens da Lagoa de Maricá; (O, P) Floresta seca.

7) **VEGETAÇÃO ARBUSTIVA NAS MARGENS DA LAGOA DE MARICÁ**: com cerca de 4 metros de altura, formando uma linha contínua ao redor da margem da lagoa na APA de Maricá, é a área mais antropizada, com maior ocorrência de espécies invasoras como *Sansevieria trifasciata* Prain e *Euphorbia tirucalli* L. Entre as dominantes destacam-se: *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub., *Varronia curassavica* Jacq., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Hydrocotyle bonariensis* Lam. (Figuras 4, 5m e 5n). Nas áreas adjacentes externas à APA de Maricá esta comunidade vegetal não aparece com a mesma exuberância devido ao elevado grau de alteração resultante das construções e modificações introduzidas neste ambiente.

8) **FLORESTA SECA**: com estrutura arbórea bem desenvolvida, ocupa boa parte das áreas correspondentes ao embasamento alterado de idade Pré-Cambriana, representada pelo Morro do Mololô na sua quase totalidade. Essa comunidade não apresenta espécies dominantes. Porém, no sub-bosque encontram-se grandes populações de *Calathea* sp., *Bromelia antiacantha* Bertol. e *Astrocaryum aculeatissimum* (Schott) Burret (Figuras 4, 50 e 5p).

Os ecossistemas em questão estão ameaçados de destruição e descaracterização, pois está em curso na localidade à implantação do mega-empreendimento denominado Complexo Turístico-Residencial Fazenda de São Bento da Lagoa, do grupo empresarial luso-espanhol IDB-Brasil. A restinga de Maricá está inserida em uma propriedade privada, a Fazenda São Bento da Lagoa, e em Terras da União (Terrenos de Marinha, Acrescidos de Marinha e praias), num total de 844,16 hectares. O Decreto Estadual nº 7230/1984 não permitia o parcelamento de terras, fato que impediu a implantação de Planos Diretores ou Planos de Manejo, com respectivos zoneamentos, que dessem anuência para qualquer tipo de uso urbano. Tal norma garantiu por um bom tempo a proibição de implantação de loteamentos e condomínios na restinga e em toda

a Faixa Marginal de Proteção do Sistema lagunar de Maricá, possibilitando a preservação dos diversos ecossistemas associados à restinga.

No ano de 2007, dois meses após a apresentação do empreendimento na Feira Imobiliária de Madrid, com a presença de gestores estaduais e municipais, a Comissão Estadual do Controle Ambiental CECA da Secretaria Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro aprovou a primeira versão do zoneamento da APA de Maricá. Após ajustes, no mesmo ano, o governador aprovou o Plano de Manejo da APA de Maricá no Decreto nº 41048/2007. Este documento anulou o artigo que proibia o parcelamento de terras do Decreto de criação da APA e liberou para uso urbano, verticalizado inclusive, 50% da restinga e 80% do território da comunidade pesqueira de Zacarias.

A sociedade civil organizada de Maricá, que não foi consultada pelo órgão ambiental para a elaboração do zoneamento e aprovação pela CECA-SEA, ingressou com pedidos de ação nos Ministérios Públicos Estadual e Federal em 2008 contra o Decreto. No total, vinte e seis instituições civis participaram desta investida (FREIRE, 2013). A Associação de Proteção das Lagunas de Maricá - APALMA e a Associação de Cultura e Lazer dos Pescadores de Zacarias – ACCLAPEZ entraram em 2009 com uma ação na justiça pela anulação da mesma norma e com uma liminar que impede qualquer empreendimento na APA. Assim, o conflito territorial que já existia desde os anos de 1950 emerge novamente e retoma a intensa batalha judicial. Em 2010 o Grupo de Apoio Técnico do Ministério Público Estadual elabora um relatório detalhado e conclui que o "Plano de Manejo da APA de Maricá é um instrumento de destruição da restinga" (Informação Técnica, 116/2010). A segunda instância da Justiça Estadual aprova a Liminar da ação APALMA - ACCLAPEZ em 2013 e dá início a uma longa disputa de sua anulação e restabelecimento. Pesquisadores das universidades públicas no estado do Rio de Janeiro (FFP-UERJ, UFRJ e UFF) conseguiram que suas instâncias superiores aprovassem moções oficiais de reprovação de qualquer investimento que descaracterize a comunidade tradicional de Zacarias e o ambiente nativo presente. Após ser derrubada e revigorada diversas vezes a Liminar se encontra, atualmente, em vigor. Outra se soma a ela, referente à Ação Judicial ingressada na Justiça Federal pelo Ministério Público Federal em 2016, de mesmo teor. Desta forma, a Licença Prévia do projeto da empresa IDB Brasil concedida pelo INEA, nº IN030651 de 21 de maio de 2015, foi anulada em 20 de dezembro de 2016. Trata-se de decisões provisórias, até as ações principais serem julgadas. Logo, o conflito permanece em curso.

Consta no EIA-RIMA, aprovado pelo órgão ambiental estadual, o desmatamento de 148,43 hectares de vegetação nativa do Ecossistema de Restinga, logo Bioma Mata Atlântica, protegido por legislações federal e estadual. Estão previstos 52 prédios, milhares de casa, dois *shopping centers*, dois campos de golfe, centros comerciais, clubes, hotéis, hípica de porte internacional e enormes superficies destinadas à infraestrutura como estradas, centenas de ruas e calçadas, servidões, gramados, jardins e estacionamentos. O empreendimento possuía licença prévia com aval para destruir ecossistemas de restinga e floresta atlântica nativos, de alta biodiversidade, com mais de 400 tipos botânicos, 19 espécies endêmicas, várias espécies ameaçadas de extinção, locais de reprodução de aves, locais de pouso e invernada de aves migratórias nacionais e internacionais, dunas raras de areias grossas a médias, sítios históricos e arqueológicos. Inclui-se a possível mutilação do amplo Território da Comunidade pesqueira artesanal de Zacarias presente na localidade desde 1797, que realiza a genuína "pesca de galho" com recursos do ambiente supracitado. Tratase da restinga com o maior número de trabalhos científicos do país, um campus vicinal das universidades brasileiras mais renomadas e, ainda, Área Núcleo I da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (UNESCO / ONU) (CNRBMA, 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo possibilitou a caracterização de oito comunidades vegetais da Restinga de Maricá e as principais espécies vegetais que as constituem, assim como, as variáveis ambientais que atuam na distribuição geográfica destas. Essas comunidades estão distribuídas paralelamente ao litoral e no sentido sul-norte, em resposta: (1) a influência da topografia, que interfere no padrão de ventos locais e na

profundidade do nível freático; (2) a salinidade, que diminui progressivamente em direção ao interior do continente, devido à menor influência da cunha salina e do alcance do spray marinho; (3) e em função das características edáficas (textura, teor de umidade e matéria orgânica no solo, etc.).

A Restinga de Maricá é uma das mais bem preservadas e estudadas do litoral fluminense, permitindo a identificação de comunidades vegetais com plantas nativas e inúmeras espécies endêmicas. No momento, este remanescente de restinga e o território da comunidade pesqueira de Zacarias se encontram ameaçados de destruição e descaracterização, pelos zoneamentos governamentais que aprovaram o uso urbano, verticalizado inclusive, em locais com a vegetação de restinga nativa e em estágio avançado de regeneração. O projeto imobiliário-turístico, que já obteve Licença Prévia do órgão ambiental estadual - o INEA (Instituto Estadual do Ambiente), prevê a supressão de 148 hectares de vegetação de ecossistema nativo, de acordo com o respectivo Estudo de Impacto Ambiental. Assim, este tipo de pesquisa é importante para tornar pública a diversidade e riqueza ambiental ali presente, contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre o litoral brasileiro e cooperar na preservação deste ecossistema fundamental para a faixa costeira brasileira e, por conseguinte, do Bioma Mata Atlântica.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pela concessão do Auxílio à Pesquisa (Processo E26/111.722/2010) e da Bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, D. S. D., HENRIQUES, R. P. B. Análise florística das restingas do estado do Rio de Janeiro. In: LACERDA, L. D.; ARAUJO, D. S. D.; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B. (eds.). **Restingas: Origem, Estrutura e Processos**. CEUFF, Niterói, p.47-60, 1984.

BARROS, A. A.; SANTOS, M. G.; PINTO, L. J. S.; F.; D. G.; HOLZER, W. Restinga de Maricá: Ecossistema, comunidade tradicional e Unidade de Conservação. São Gonçalo: Faculdade de Formação de Professores/Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

BORRELLI, N. L., COE, HELOISA H. G., SOUSA, L. O. F., SANTOS, C. P., RAMOS, Y. B. M., SILVA, A. L. C., SILVESTRE, C. P. Reference Collections of Plant Communities from "Restinga" of the Coastal Plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. In: **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**.1 ed., Nova Science Publishers, New York, v.1, p. 29-47. 2014.

CNRBMA. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no do Estado do Rio de Janeiro. Caderno n 22. São Paulo, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 07 de 23 de julho de 1996 da CONAMA disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/1996 Res CONAMA 7.pdf. Acesso em 14/11/2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html. Acesso em 16/3/2014.

CORTE, J. Biomas de Restinga. Dez. Disponível em: http://www.pt.slideshare.net/ JadeCorte/biomarestinga. 2009. Acesso em 5/11/2014.

FARIA, C. P., BOHRER, C. B. A. As Unidades de Paisagem da APA Estadual de Maricá/RJ. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005. Anais. São Paulo, USP, p.2.947-2.953. 2005.

FIDALGO, O., BONONI, V. L. R. **Técnica de coleta, preservação e herborização de material botânico**. (Série Documentos) São Paulo. 62p. 1989.

FREIRE, D. G. Expansão Imobiliária e conflito ambiental, uma avaliação da disputa de uso na restinga de Maricá - RJ. **Anais do XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana**, 2013, Rio de Janeiro, UERJ, 2013.

INFORMAÇÃO TÉCNICA - 116/2010 Grupo de Apoio Técnico do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro. 2010.

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

LINS-DE-BARROS, F. M. Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). PPGG / UFRJ. Rio de Janeiro, 147p., 2005.

LOUREIRO, D. S.; MATIAS, M. L.; FREIRE, D. G. Avaliação do conflito sócioambiental na APA da restinga de Maricá-RJ. XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, pp. 10, 2010.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2 ed. IBGE. Rio de Janeiro. 1989.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, J. G. A Vegetação de Restinga no Município de Maricá-RJ (1). **Acta Botânica Brasileira**, 3(2): 1989, supl.

PEREIRA, A. J., GAMBÔA, L. A. P., SILVA, M. A. M., RODRIGUES, A. R., COSTA, A. A Utilização do Ground Penetraiting Radar (GPR) em Estudos de Estratigrafia na Praia de Itaipuaçú — Maricá (RJ). **Revista Brasileira de Geofísica**. EDUFF, Niterói, Vol 21 (2), p. 163-171, 2003.

SANTOS, M. G., BARROS, M. A., FREIRE, D. G, HOLZER, W. Valor científico da Restinga de Maricá. Manifesto dos pesquisadores. Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, A. L. C. Arquitetura Sedimentar e Evolução Geológica da Planície Costeira Central de Maricá (RJ) ao longo do Quaternário. Tese (Doutorado). Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 185 p., 2011.

SILVA, A. L. C., SILVA, M. A. M., SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçú (Maricá, RJ) nas últimas Três Décadas. **Revista Brasileira de Geológia**. Sociedade Brasileira de Geológia, 38 (1), p. 89-99, 2008.

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. **Brazilian Journal of Geology**, 44 (2): 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). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 15 (2): 231-249. 2014b.

5.2. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction

Artigo publicado na Brazilian Journal of Oceanography

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592015000300255

BJOCE Original article

Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction

Cátia Pereira dos Santos¹, Heloisa Helena Gomes Coe^{1,2}, Natalia Borrelli³, André Luiz Carvalho da Silva², Leandro de Oliveira Furtado de Sousa⁴, Yame Bronze Medina Ramos¹, Carolina Pereira Silvestre¹, Amanda Pacheco Seixas¹

- 1 Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Dept. de Geologia da UFF, Campus da Praia Vermelha(Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, CEP: 24.210-240, Brazil)
- ² Departamento de Geografia da Faculdade de Formação de Professores da UERJ

(Rua Dr. Francisco Portela, 1470, Patronato, São Gonçalo, RJ, CEP: 24435-005, Brazil)

Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNMdP

(Funes 3350, Mar del Plata, Argentina)

Departamento de Ciências Vegetais da UFERSA, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

(Av. Francisco Mota, 572, Presidente Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró, RN, Brazil)

*Corresponding author: catia-ps@hotmail.com

Financial Support: FAPERJ

ABSTRACT

The Maricá restinga, located in the eastern part of the Rio de Janeiro State (Brazil), corresponds to one of the few remaining preserved areas of the state's coastal plain. This paper reports on a study of the Maricá restinga plant communities and also presents an identification of the main plant species present in each community, with the objective of establishing reference collections, by the methods of the proxies opal phytoliths and stable carbon isotopes, for paleoenvironmental reconstructions of this coastal area during the Quaternary. Six plant communities, distributed perpendicularly to the coast line over sandy barriers, lagoonal plain, lagoon margin and weathered basement were identified: halophilepsamophile, scrub, herbaceous swamp, slack, shrubby vegetation and dry forest. In general, the plant species analyzed in each community presented low productivity of opal phytoliths, as only the Poaceae, Cyperaceae and Arecaceae families produce a great amount and diversity of morphotypes of opal phytoliths. The results of the analysis of stable carbon isotopes in sediments indicated a predominance of C3 or a mixture of C3 and C4 plants, presenting a close correlation with the results found in plants collected in each community. In conclusion, it was verified that the carbon isotope analysis associated with that of the opal phytoliths are good proxies for the reconstruction of vegetation in the study area.

Descriptors: Opal phytoliths, Carbon isotopes, Restinga, Plant communities, Maricá, Brazil.

http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592015086606303

RESUMO

A Restinga de Maricá, situada na porção leste do estado do Rio de Janeiro (Brasil), corresponde a uma das poucas áreas ainda preservadas na planície litorânea fluminense. Neste trabalho, apresentamos um estudo sobre as comunidades vegetais que compõem a restinga, bem como a identificação das principais espécies presentes em cada uma delas. O objetivo é estabelecer coleções de referência para reconstituições paleoambientais desse litoral durante o Quaternário. Para isso, utilizaram-se como métodos os indicadores fitólitos e isótopos estáveis de carbono. Foram identificadas seis comunidades vegetais distribuídas perpendicularmente à linha de costa sobre as barreiras arenosas, planície lagunar, margem lagunar e embasamento alterado: Halófila-psamófila, "Scrub", Brejo herbáceo, "Slack", Vegetação arbustiva e Floresta seca. As espécies de plantas analisadas em cada comunidade apresentaram em geral baixa produtividade de fitólitos. Somente as famílias Poaceae, Cyperaceae e Arecaceae produzem fitólitos em grandes quantidades e diversidade de morfotipos. Os resultados das análises de isótopos estáveis de carbono em sedimentos indicaram um predomínio de plantas C3 ou de mistura de plantas C3 e C4, apresentando uma boa correspondência com os resultados encontrados nas plantas coletadas sobre cada uma delas. Como conclusão, verificou-se que os isótopos de carbono associados às análises fitolíticas mostraramse bons indicadores para a reconstituição da vegetação na área estudada.

Descritores: Silicofitólitos, Isótopos de carbono, Restinga, Comunidades vegetais, Maricá, Brasil.

INTRODUCTION

This work aims to establish reference collections of modern plant opal phytoliths and carbon isotopes of sediments and plants in different plant communities of the Maricá *restinga*, in the state of Rio de Janeiro, for the paleobiogeoclimatic reconstruction of this coastline along the Quaternary.

The central portion of the coastal plain chosen for this study is represented by the Environmental Protection Area (EPA) of Maricá, also known as "Restinga de Maricá". This area has a typical geomorphology of sand barriers separated by lagoon systems parallel to the coast (SILVA, 2011). According to Conama (2002), restinga is "a sandy deposit parallel to the coastline, usually of elongated form, produced by sedimentation processes, where we can find different communities receiving marine influence, which may also be considered edaphic communities, because they depend more on the nature of the substrate than the climate. The vegetal cover in restingas occurs in mosaic and is found on beaches, sandy barriers, dunes and depressions, with (according to the successional stage) herbaceous, shrub and tree strata, the latter being more internalized". It can be seen that this definition of the concept of restinga involves both geomorphological aspect and the vegetal composition. Several studies (SUGUIO; TESSLER, 1984; SILVA; OLIVEIRA, 1989; VILLWOCK, 1994; SUGUIO, 2003; among others) provide a definition for the word restinga associated only with vegetation cover formed over coastal sand deposits located along the Brazilian coast; this latter is the concept adopted in this study.

Opal phytoliths, one of the proxies used in this study, are microscopic particles of amorphous silica, formed as a result of the uptake of silicic acid [Si (OH₄)] by the plants from the soil solution and which are incorporated into the soil from the decomposition of vegetal remains (PIPERNO, 1998). The choice of opal phytoliths is due, among other reasons, to the fact that this proxy is commonly found in different types of soil and/or sediments. The high degree of preservation of opal phytoliths, even under oxidative conditions, enables the specific and functional characterization of plants and paleoclimate inference, favors the understanding of the relationship between the evolution and degradation of soil and makes a better understanding of the biogeochemical cycle of silica (dissolution, preservation and transfer) possible (COE et al., 2012).

In addition, the data of stable carbon isotopes were used with the aim of complementing the phytolith results. The application of this proxy in environmental and paleoenvironmental studies is based on the fact that its isotopic composition varies in a predictable way, according to the cycle of the element in nature (ZAGATTO et al., 2010). In the case of plants, there is discrimination of carbon isotopes in the biological processes of the photosynthesis cycle and nitrogen 15N fixation (BERRIER; PROSSER, 1996). Therefore, the ratio between the stable carbon isotopes (δ 13C) favors the identification of the type of plant from which the material analyzed originated, since its values express the path the primary producer used to assimilate CO_2 and

also the preferentially assimilated isotope (KILLOPS; KILLOPS, 2005). For its part, the isotopic analysis of the soil's organic matter (SOM) used in this study, permits the identification of the vegetation type that it originated from as being of type C3 (mainly trees) or C4 (mainly grasses) (PESSENDA et al., 2005).

Although several studies have contributed to knowledge of the formation and evolution of the Maricá coastal plain (LAMEGO, 1940; MUEHE, 1984; MUEHE; CORRÊA, 1989; PERRIN, 1984; IRELAND, 1987; TURCQ et al., 1999; PEREIRA et al., 2003, 2009; SILVA et al., 2014a, b), the use of opal phytoliths integrated into the study of stable carbon isotopes represents a pioneering contribution, aiming to characterize environmental changes which occurred in the Quaternary along this coast. Thus the establishment of modern phytolith and carbon isotope reference collections present in different plant communities of the becomes essential for future restinga paleobiogeoclimatic reconstructions of the coast of Maricá.

Study area

The Maricá restinga is located in the central portion of the Maricá coastal plain situated on the eastern coast of the state of Rio de Janeiro, about 20 km from the entrance to Guanabara Bay (Figure 1). The Environmental Protection Area of Maricá is approximately 8 kilometers long and covers a total area of about 800 ha. It was transformed into a conservation area by Decree N° 7230 of January 23, 1984, although its Management Plan was established only in 2007. This part of the coastline of Maricá presents considerable biodiversity, with about 408 endemic species of flora and fauna that are threatened with extinction (LOUREIRO et al., 2010).

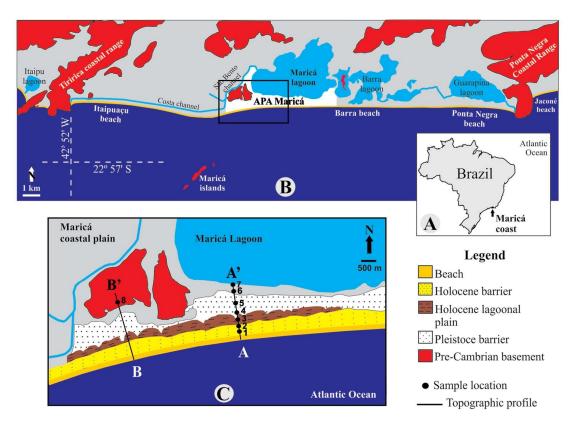


Figure 1. (A) Location of the study area in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil; (B) Coastline of Maricá, with the EPA in the central portion of the coastal plain. (C) Major geomorphological characteristics and sampling sites.

The coastline of Maricá is characterized by direct exposure to high-energy waves, which can reach over 2 meters high in the surf zone during violent storm events (SILVA et al., 2008). The geomorphology of the EPA of Maricá is characterized by the existence of two sandy barriers separated by a narrow elongated lagoon plain and the large lagoon of Maricá rearward (Figures 1 and 2). The internal barrier (furthest from the ocean) is older, and was formed in the Pleistocene (IRELAND, 1987; TURCQ et al., 1999; SILVA et al., 2014a). This barrier is located about 300 meters from the first and has a height of 7-9 meters above mean sea level (SILVA et al., 2014b). The external barrier (closest to the ocean) was formed in response to a significant event occurring during the Holocene transgression (PERRIN, 1984; IRELAND, 1987; TURCQ et al., 1999; PEREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2014a) and it has a height of about 7 meters in relation to mean sea level (SILVA et al., 2014b).

These sandy formations are covered by *restinga* vegetation (Figure 2), with the presence of cactus, bromeliads and various species of grasses and low-growing shrubs. In response to the influence of factors such as insolation, topography, greater or lesser wind exposure, salt water intrusion, storm wave action and reach of the marine spray, and lack of nutrients and water in the soil, among others, the vegetation of the *restinga* presents great variability, being subdivided into different plant communities (CORTE, 2009). Among the existing classifications, we give preference to that of ARAÚJO and HENRIQUES (1984), which identified the

following plant communities in *restingas*: Halophile, Psamophile-creeping plants, Slack of mobile dunes; Thicket; Scrub; herbaceous marsh; Seasonally flooded forest; Permanently flooded forest and Dry forest.

Although it is an EPA, this area is threatened as a consequence of haphazard occupation, which has been affecting the coastal ecosystems and artisanal fishing community of Maricá. A study of this coast by OLIVEIRA et al. (1955) had already raised a number of issues, such as problems related to flooding; frequent changes in the lagoon system, with the opening of channels and the release of raw sewage into the lagoons, causing a decrease in the fish population, as well as the problem of settlements resulting from increased land speculation at that time. The current situation in the region is one of abandonment, it being easy to find evidence of various aggressions to the environment, such as the illegal removal of sand, which is destroying the topography of the sand barriers; vehicles traversing the dunes and vegetated areas, destroying the local flora and fauna; illegal discharge of domestic waste; construction of houses and roads over restinga vegetation, causing deforestation; besides the constant action of criminals poaching wild animals (SILVA et al., 2014b).



Figure 2. Geomorphology and vegetal communities of the Maricá coastal plain (Photo: Guichard, 2009).

LEGEND

- 1. Halophile-psamophile
- 2. Scrub
- 3. Herbaceous swamp
- 4. Slack
- 5. Scrub
- 6. Herbaceous swamp
- 7. Shrubby vegetation
- 8. Dry forest

MATERIAL AND METHODS

Eight sampling sites were chosen based on the different plant communities of the Maricá *restinga*, in view of geomorphological and hydrological factors (Figures 1C and 2). At each sampling site, samples of the most representative species of each plant community and samples of surface sediments were collected for isotopic and phytolith analyses (a total of 32 plants).

MATERIALS

32 plants corresponding to different species present in the plant communities of the Maricá *restinga* were collected for phytolith and carbon isotope analysis (Table 1).

For the isotopic analysis 14 samples of surface sediments (below the litter) were also collected in each of the plant communities of the Maricá *restinga*. In the communities that present the highest diversity of plants and/or environmental conditions, more than one sample was collected (Table 2).

METHODS

PHYTOLITH EXTRACTION AND DESCRIPTION OF PLANTS

The opal phytoliths' extraction from the leaves of the vegetal samples was performed at the Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNdMP, Argentina.

For each species, leaves from at least two plants were sampled and opal phytoliths were extracted following a calcination technique (LABOURIAU, 1983). The leaves were first placed in an ultrasound bath for 15-20 min and washed with distilled water to remove mineral contaminants. The samples were dried at 56° C for 24 h, and charred at 200° C for 2 h. Later, they were boiled in a 5N HCl solution for 10 min, washed with distilled water and filtered with ashless filter paper, until no more chloride ions were detected. Finally, the samples were ignited at 760° C for 3 h. The ashes were mounted

with immersion oil and the phytolith morphotypes were observed and described with a Leitz Wetzlar D 35780 microscope at 400x magnification. Photographs were taken with a Kodak Easy Share CX7530 digital camera. Between 200 and 250 opal phytoliths were counted on each slide and the morphotypes were described according to the ICPN descriptors (MADELLA et al., 2005). Whenever possible, the relative frequency of each phytolith morphotype was also calculated.

STABLE ISOTOPE ANALYSES

Isotopic analyses of carbon were performed at the Laboratory of Isotope Ecology of CENA/USP. The samples were weighed in tin capsules using an analytical balance. The analyses of the elemental composition of organic matter concentrations were carried out in a Carlo Erba elemental analyzer model EA 1110 attached to a mass spectrometer Finigan Delta Plus, allowing the simultaneous determination of organic carbon concentration and isotope signatures. Results are expressed as $\delta 13C$ relative to PDB (Pee Dee Belemnite) defined as $\delta 13C$ (% - parts per thousand) = ([R sample/R standard] -1) x 1000. The samples were analyzed with a precision of 0.2‰. The limit of detection for C was 0.03%.

Table 1. Plants collected in each plant community of the Maricá

Community	Species collected
Halophile-psamophile	Ipomoea pes-caprae (L.) R. Br. (Convolvulaceae); Alternanthera littoralis P. Beauv. (Amaranthaceae); Remirea maritima Aubl. (Cyperaceae); Sporobolus virginicus (L.) Kunth. (Poaceae, Chloridoideae); Panicum racemosum (P. Beauv.) Spreng. (Poaceae, Panicoideae); Stenotaphrum secundatum (Walt.) Kuntze (Poaceae, Panicoideae).
Scrub	Clusia aff. fluminensis Planch. & Triana (Clusiaceae); Neoregelia cruenta (Graham) L. B. Sm. (Bromeliaceae); Anthurium sp. (Araceae); Allagoptera arenaria (Gomes) Kuntze (Arecaceae); spl (Ericaceae); Smilax spinosa Mill. (Smilacaceae); Heteropteris chrysophylla (Lam.) Kunth (Malpighiaceae); Clusia lanceolata Cambess. (Clusiaceae); Gaylussacia brasiliensis (Spreng.) Meisn. (Ericaceae); Stigmaphyllon paralias A. Juss. (Malpighiaceae); Myrciaria sp. (Myrtaceae).
Herbaceous swamp	Sagittaria lancifolia L. (Alismataceae); Typha domingensis Pers. (Thyphaceae); spl (Rubiaceae); Fuirena umbellata Rottb. (Cyperaceae); Eleocharis subariculata (Nees) Boeckler (Cyperaceae); Blechnum serrulatum (Blechnaceae)
Slack	Stachytarpheta sp. (Verbenaceae); sp2 (Rubiaceae); Erythroxylum ovalifolium Peyr. (Erythroxylaceae)
Shrubby vegetation	Hydrocotyle bonariensis Lam. (Apiaceae); Vernonia sp. (Asteraceae); Dalbergia ecastaphyllum (L.) Taub. (Fabaceae).
Dry forest	Calathea sp. (Maranthaceae); Bromelia antiacantha Bertoloni (Bromeliaceae); Astrocaryum aculeatissimum (Schott) Burret (Arecaceae), Clusia sp. (Clusiaceae).

Table 2. Surface sediments collected in the plant communities of the Maricá

Vegetal community	Characteristics of the sampling site	Geographical coordinates
Halophile-psamophile	Sample 1: On the beach, near the storm scarp. Sparse cover of grasses and other creeping plants. Sample 2: On the beach, near the storm scarp. More dense vegetation cover, presence of other types of grasses. Sample 3: Holocene barrier in the upper flat portion rearward of the storm scarp. Presence of other types of grasses and some cactus.	22°57'55.5" S 42°52'28.3" W
Scrub	Sample 1: Lagoonal plain, close to the reverse of the Holocene barrier. Sample 2: Top of Pleistocene barrier. Sample 3: Pleistocene barrier in the reverse area. Diversified vegetation. Sample 4: Pleistocene barrier in the reverse field. Under clumps of <i>Allagoptera arenaria</i>	22°57'45.6" S 42°51'43.8" W 22°57'41.07" S, 42°52'27.01" W
Herbaceous swamp	Sample 1: Lagoonal plain, in the most flooded area of the marsh. Sample 2: Lagoonal plain in the dry part of the marsh. Presence of other types of grasses. Sample 3: Plain between the reverse of the Pleistocene barrier and the Lagoon of Maricá.	22°57'49.6" S 42°52'27.6" W 22°57'51.1" S 42°52'47.4" W 22°57'34.5" S 42°51'41.1" W
Slack	Between the lagoonal plain and the front of the Pleistocene barrier.	22°57'47.8" S 42°52'27.5" W
Shrubby vegetation	Southern margin of the Lagoon of Maricá.	22°57'34.5" S 42°51'41.1" W
Dry forest	Sample 1: Weathered Pre-Cambrian basement. Diverse woody vegetation. Sample 2: Weathered Pre-Cambrian basement. Predominance of palm trees.	22°57'45.3" S 42°53'16.9" W

RESULTS AND DISCUSSION

PLANT COMMUNITIES OF THE MARICÁ RESTINGA

This study enabled us to identify the different plant communities that cover the sand barriers and the lagoonal plain in this preserved part of the coast of Maricá.

Thus, based on ARAÚJO and HENRIQUES (1984), the following plant communities were found: Halophilepsamophile, Scrub, Herbaceous marsh, Slack, Shrubby vegetation on the margin of Maricá lagoon and Dry forest (Figure 3). These communities present a pattern of distribution which is perpendicular to the coastline and is strongly influenced by the topographic variability of the various geomorphological environments existing in the area (beach, barriers, dunes, lagoonal depression, etc.), by the reach of the marine spray and saline wedge, the proximity to the water table, which reaches the surface in the area of the lagoonal plain, and various edaphic conditions.

- a) Halophile-psamophile (Figure 3): vegetation adapted to saline and sandy conditions under tidal influence, predominating herbaceous creeping species such Іротоеа pes-caprae (Convolvulaceae), Alternanthera littoralis (Amaranthaceae), Remirea maritima (Cyperaceae), in addition to grasses such as Panicum racemosum (Poaceae). In areas beyond the reach of the waves, Rhipsalis sp. (Cactaceae), which promotes densification of the surrounding vegetation, and Stenotaphrum secundatum (Poaceae) can be found (Figure 4A, 4B and 5.1).
- b) Scrub (Figure 3): open vegetation with thickets, where shrub species Clusia fluminensis (Clusiaceae), Heteropteris chrysophylla (Malpighiaceae), Erythroxylum ovalifolium (Erythroxylaceae) and some Ericaceae predominate. Among the herbaceous species, Neoregelia cruenta (Bromeliaceae) is dominant and also pioneers the process of thicket forming. Species such Selenicereus setaceus (Cactaceae), Anthurium sp. (Araceae) and many epiphytes like Tillansia stricta (Bromeliaceae) are also found. In the shrub layer, species like Tocoyena bullata (Rubiaceae), Ouratea cuspidata (Ochnaceae), Cereus fernambucensis (Cactaceae) and Myrciaria sp. (Myrtaceae) are common. Some thickets present the dominance of Hetropteris chysophylla (Malpighiaceae) and

- others were formed from *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) (Figure 4C, D, 5B, 5.2 and 5.3).
- c) Herbaceous swamp: two plant communities were located, one between the two sandy barriers (Figure 3) and the other near the Maricá lagoon (Figure 3), with a predominance of the Poaceae and Cyperaceae families, Sagittaria lancifolia (Alismataceae), Typha domingensis (Typhaceae), Marcetia taxifolia (Melastomataceae), Ludwigia octovalvis (Onagraceae) and Blechnum serrulatum (Blechnaceae) (Figure 4E-F, 4K-L, 6.1 and 6.2).
- d) Slack (Figure 3): narrow stretch with creeping vegetation composed of *Cuphea flava* (Lythraceae), *Stachytarpheta* sp. (Verbenaceae), and grasses (Figure 4G-H and 6.3).
- e) Shrubby vegetation on the margin of Maricá lagoon (Figure 3): these species form a continuous line around the lagoon of about 4 meters in height. It is a more disturbed area so there is a greater occurrence of invasive species such as Sansevieria trifasciata (Asparagaceae) and Euphorbia tirucalli (Euphorbiaceae). Among the dominant species are found Dalbergia ecastaphyllum (Fabaceae), Cordia verbenacea (Boraginaceae),
 - Schinus terebinthifolius (Anacardiaceae) and *Hydrocotyle bonariensis* (Apiaceae) (Figure 4M-N and 6.4).
- f) Dry Forest (Figure 3): community without a dominant tree species, while in the herbaceous layer large populations of *Calathea sp.* (Marantaceae), *Bromelia antiacantha* (Bromeliaceae) and *Astrocaryum aculeatissimum* (Arecaceae) dominate (Figure 4O-P and 6.5).

PHYTOLITHS FROM PLANTS

A) HALOPHILE-PSAMOPHILE COMMUNITY

Among the species analyzed in this community, only the specimens belonging to Poaceae and Cyperaceae families produced opal phytoliths. This is in agreement with the bibliography that defines the two plant families as the major producers of opal phytoliths (PIPERNO, 1988).

Ipomoea pes-caprae (Convolvulaceae) (Figure 5.1A): only the presence of cylindrical sulcate tracheids in trace amounts was observed. According to WALLIS (2003), PARR (2005) and PIPERNO (2006), the Convolvulaceae Family is a non-producer of opal

phytoliths. Some species were analyzed (*Ipomea aquatica*, *I. muelleri*, *I. batata*, *I congesta*, *Polymeria lanata*) in which no opal phytoliths were observed (WALLIS, 2003; PARR, 2005).

Sporobolus virginicus (Poaceae, Chloridoideae) (Figure 5.1B): the major morphotype of phytolith is horned tower (93.28%). Besides this, silica skeletons

were also observed, being composed of horned tower and elongate types (3.9%); elongate (2.26%); horned tower, hair cells and elongate (0.28%); and isolated hair cells (0.28%) (Figure 7.1A). MERCADER et al. (2010) have reported the presence of tower and saddle phytoliths as the major morphotypes along with bilobate, conical, cross and trapeziform crenate phytoliths in the Chloridoideae subfamily.

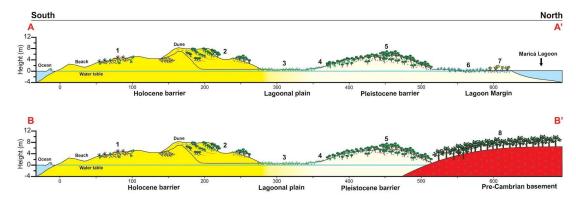


Figure 3. Plant communities of the EPA of Maricá (modified from Araújo; Henriques, 1984). Plant Communities: 1) Halophile-psamophile, 2) Holocene barrier scrub, 3) Herbaceous swamp, 4) Slack, 5) Pleistocene barrier scrub, 6) Herbaceous swamp near the Maricá lagoon, 7) Shrubby vegetation on the margin of Maricá lagoon, 8) Dry Forest. Geomorphology and depositional systems based on Silva et al. (2014a).

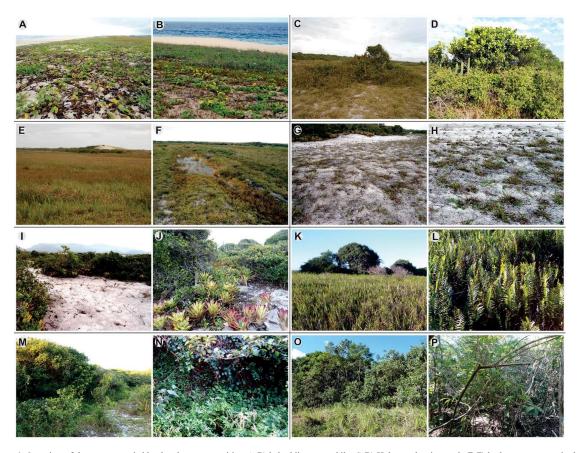


Figure 4. Overview of the areas occupied by the plant communities: A-B) halophile-psamophile; C-D) Holocene barrier scrub; E-F) herbaceous swamp in the lagoon plain; G-H) slack; I-J) Pleistocene barrier scrub; K-L) herbaceous swamp next to the Maricá lagoon; M-N) shrubby vegetation on the margin of Maricá lagoon; O-P) dry forest community on the weathered Pre-Cambrian basement. For each community the first photo is an overview and the second shows the detail of the predominant plants.

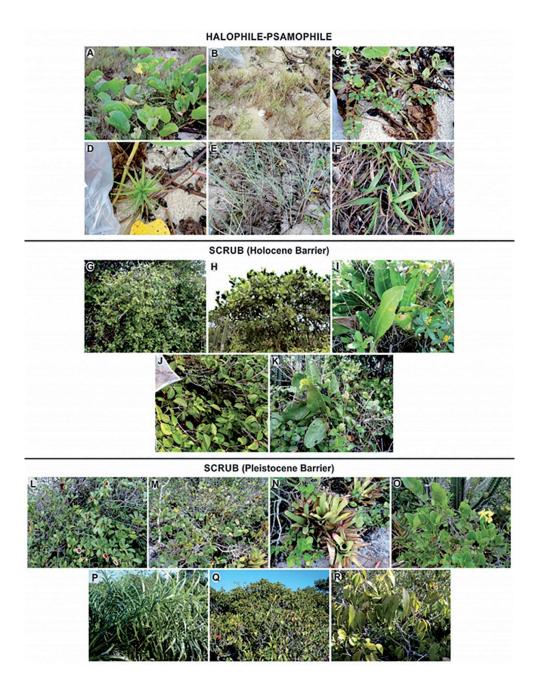


Figure 5. Detail of the collected plant species in: 1) the halophile-psamophile community: A) Ipomoea pes-caprae, B) Sporobolus virginicus, C) Alternanthera littoralis, D) Remirea maritima, E) Panicum racemosum, F) Stenotaphrum secundatum; 2) the Holocene barrier scrub community: G) Gaylussacia brasiliensis, H) Clusia aff. fluminensis, I) Anthurium sp, J) Heteropteris chrysophylla, K) Smilax spinosa, 3) the Pleistocene barrier scrub community: L) Clusia lanceolata, M) Heteropteris chrysophylla, N) Neoregelia cruenta, O) Stigmaphyllon paralias, P) Allagoptera arenaria, Q) Ericaceae sp1, R) Myrciaria sp.

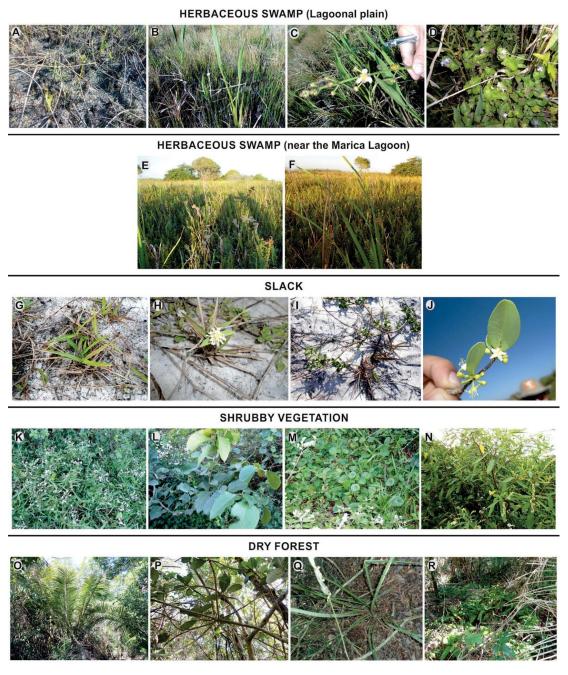


Figure 6. Detail of the collected plant species in: 1) the herbaceous swamp community on the lagoonal plain: A) Blechnum serrulatum, B) Eleocharis subarticulata, C) Sagittaria lancifolia, D) Rubiaceae sp1; 2) the herbaceous swamp community near the Maricá lagoon: E-F) Fuirena umbellata; 3) the slack community: G) Stenotaphrum secundatum, H) Rubiaceae sp2, I) Stachytarpheta sp, J) Erythroxylum ovalifolium; 4) the shrubby vegetation on the margin of Maricá lagoon: K) Asteraceae sp1, L) Fabaceae Dalbergia ecastaphyllum, M) Hydrocotyle bonariensis, N) Schinus terebinthyfolius; 5) the dry forest community: O) Astrocaryum aculeatissimum, P) Clusia sp., Q) Bromelia antiacantha, R) Calathea sp.

HALOPHILE-PSAMOPHILE COMMUNITY Sporobolus virginicus Horned Tower Remirea maritima Cone Shape Stenotaphrum secundatum Cross **SCRUB COMMUNITY** Stomate Polyhedral Clusia lanceolata Globular Psilate Gaylussacia cf. brasiliensis Globular Echinate Cylindric Sulcate Stomate Allagoptera arenaria Stigmaphyllon paralias Tracheid DRY FOREST COMMUNITY Astrocaryum aculeatissimum Clusia sp. Globular Quadrangular Cone Shape Psilate

Figure 7. Dominant opal phytolith morphotypes in the opal phytolith producer species of the: 1) halophile-psamophile community: A) Sporobolus virginicus, B) Remirea maritima, C) Stenotaphrum secundatum; 2) scrub community: D) Gaylussacia brasiliensis, E) Clusia lanceolata, F) Allagoptera arenaria, G) Stigmaphyllon paralias; 3) dry forest: H) Astrocaryum aculeatissimum, I) Clusia sp.

Generally, the production of opal phytoliths in different species of genus *Sporobolus* has been cited, but more specifically, the production of horned tower, saddle, cross and bilobate morphotypes has been reported in *S. cryptandrus*, *S. airoides* and *S. consimilis* (PIPERNO, 1988; MORRIS, 2009; MERCADER et al., 2010).

Alternanthera littoralis (Amaranthaceae) (Figure 5.1C): no opal phytoliths were observed, in agreement with previous reports. Amaranthaceae family has been defined as a nonproducer of opal phytoliths (WALLIS, 2003; PIPERNO, 2006). A few species of this family were analyzed (Acyranthes aspera, Aerva javanica, Althernanthera philoxeroides, Amaranthus retroflexus. Gomphrena canescens, Ptilotus corymbosus, P. exaltus, P. fusiformis, P. lanatus) without observing any phytolith production or only cylindrical sulcate tracheids in trace amounts (MULLHOLAND; RAPP, 1992; WALLIS, 2003; BORRELLI et al., 2011).

Remirea maritima (Cyperaceae) (Figure 5.1D): the main morphotype is the cone, typically of the Cyperaceae family, with a square base of about 12.5 µm width and 2.5-5 tall. Generally, we observed a large proportion of articulated (76.65%) and isolated cones (9.8%). In addition, silica skeletons were also observed, being composed of cone and elongate phytoliths (6.1%), psilate elongate phytoliths (2.8%), stellate cells (0.9%), stomatal complexes and paralellepipedal psilate cells (0.9%), subepidermal cells (0.5%); and isolated stomatal complexes (2.35%) (Figure 7.1B). This description is in agreement with previous reports on the Cyperaceae family, in which it is classified as a silica accumulator (PIPERNO, 1988), and the cones are described as the phytolith diagnostic morphotype at family level (PIPERNO, 1988; FERNÁNDEZ HONAINE et al., 2009).

Stenotaphrum secundatum (Poaceae, Panicoideae) (Figure 5.1F): the dominant phytolith morphotypes are panicoid bilobate (29.63%) and cross (18.5%) in concordance with other species of subfamily (FERNÁNDEZ the Panicoideae HONAINE et al., 2006). Moreover, silica skeletons were also found, being composed of panicoid bilobate (15.74%), panicoid bilobate and stomatal complexes (6.5%), crenate elongate (2.77%), panicoid bilobate and cross (2.3%), polylobate (1.39%), psilate elongate (0.93%), stomatal complexes (0.93%), long cells with silicified cell wall and panicoid bilobate (1.39%) and cross phytoliths (0.93%).Among the isolated morphotypes psilate elongate (4.1%), polylobate (4.63%) and jug-shaped cells (25 µm tall, 20 µm base width and 10 µm top width) (9.26%) were observed (Figure 7.1C).

B) SCRUB COMMUNITY

Among the 8 plant species analyzed in this community, only four species produce opal phytoliths but in very low amounts, so the different morphotypes could not be quantified.

Gaylussacia brasiliensis (Ericaceae) (Figure 5.2G): a low degree of silicification was observed, only the presence of silica skeletons composed of the silicification of the cell wall of polyhedral epidermal cells and stomatal complexes; and isolated stomatal complexes being noted (Figure 7.2D). There are previous reports on the production of opal phytoliths in different species of the Ericaceae family. In leaves, wood and branches of Arctostaphylos uva-ursi, Calluna vulgaris, procumbens, Loiseleuria Rhododendron ferrugineum, Vaccinium myrtillus, V. vitis-idaea, the silicification of the stomatal complexes, trichomes and elongate crenate cells was observed (CARNELLI et al., 2004). BUJAN (2013) observed the production of polyhedral phytoliths in leaves in Calluna vulgaris, in agreement with our study. In Dracophyllum longifolium and D. scoparium the presence of rondel and elongate phytoliths was reported.

Clusia aff. fluminensis (Clusiaceae) (Figure 5.2H): no opal phytoliths were observed.

Clusia lanceolata (Clusiaceae) (Figure 5.3L): the presence of globular psilate phytoliths of about 2.5-5 um diameter was observed in trace amounts (Figure 7.2E). It was reported that the phytolith production in the Clusiaceae family varies considerably among subfamilies and tribes; and that the diagnostic morphotypes are very scarce (PIPERNO, 2006). KEALHOFFER and PIPERNO (1998) had analyzed some genera and species of the family with differing results. Cratoxylon sp., Hypericum sp. (both genera currently in Hipericaceae) and Clusia rosea produce no opal phytoliths. Only cylindrical sulcate tracheids were observed in Garcinia sp. Calophyllum sp. produces tracheids and rugulose spheres of about 20-24 µm diameter and Mammea siamensis tiny spheres of 4 µm diameter. In accordance with our results, MERCADER et al. (2009) reported the production of globular psilate phytoliths in leaves, but not in the stems of the Clusiaceae family.

Heteropteris chrysophylla (Malpighiaceae) (Figure 5.2J):no opal phytoliths were observed.

Stigmaphyllon paralias (Malpighiaceae) (Figure 5.3O): a very low production of opal phytoliths was registered, with only some cylindrical sulcate tracheids and silica skeletons composed of stomatal complexes and epidermal cells. The production of opal phytoliths in the Malpighiaceae family is very rare or not common (PIPERNO, 2006). There is a report of the presence of silica in the fruit of Bunchosia armeniaca, but

not of diagnostic morphotypes (CHANDLER-EZELL et al., 2006) (Figure 7.2G).

Smilax spinosa (Smilacaceae) (Figure 5.2K). No opal phytoliths were observed, in agreement with previous reports that describe the Smilaceae family as very rare or as a non-producer of opal phytoliths (PIPERNO, 2006).

Neoregelia cruenta (Bromeliaceae) (Figure 5.3N): although it is reported that the production of globular echinate opal phytoliths in the Bromeliaceae family is possible (PIPERNO, 2006), no opal phytoliths were observed in this species.

Allagoptera arenaria (Arecaceae) (Figure 5c): the production of globular echinate phytoliths of about 5-7.5 μm diameter was observed (Figure 7.2F). The Arecaceae family is one of the greatest phytolith producers along with Poaceae and Cyperaceae. The diagnostic morphotype is globular echinate, but it is also possible to observe conical and hat-shaped phytoliths (KEALHOFFER; PIPERNO, 1998; WALLIS, 2003; PIPERNO, 2006).

c) SLACK COMMUNITY

In this plant community, only *Stenotaphrum secundatum* (Poaceae, Panicoideae) was collected (Figure 6.3G). This species is also common in the halophile-psamophile community, so its phytolith production is described and illustrated in that item (Figure 7.1C).

D) SHRUB VEGETATION ON THE MARGINS OF MARICÁ LAGOON COMMUNITY

In this plant community, only *Hydrocotyle bonariensis* (Apiaceae) was analyzed (Figure 6.4M), and no opal phytoliths were observed. The Apiales order has been described as a non-producer of diagnostic morphotypes (KEALHOFFER; PIPERNO, 1998). Some species were studied and the results are variable. MERCADER et al. (2009) observed the presence of globular granulate opal phytoliths in species of the family; and bilobate, polylobate, rondel and elongate phytoliths were observed in *Anisotome antipoda*, *A. latifolia* and *Stilbocarpa polaris* (THORN, 2004). Furthermore, WALLIS (2003) found no opal phytoliths in *Trachymene didiscoides* and *T. oleracea*.

E) DRY FOREST

Astrocaryum aculeatissimum (Arecaceae) (Figure 6.50): this species produces conical

phytoliths as its major morphotype (78%). This morphology has a circular to eliptic base of 4-5 μm diameter and 1.5 μm high. Besides this, we also observed elongated phytoliths, probably silicified fibers, associated with conical phytoliths (15%) and square epidermal cells with their cell walls silicified (5%) (Figure 7.3H). These results are in agreement with the previous studies of the Arecaceae family, in which the production of globular echinate and conical phytoliths as common morphotypes has been described (KEALHOFFER; PIPERNO, 1998; PIPERNO, 2006).

Clusia sp. (Clusiaceae) (Figure 6.5P): the presence of globular psilate phytoliths of about 2.5-4 μm diameter was observed in trace amounts (Figure 7.3I). As previously cited, the phytolith production in the Clusiaceae family varies considerably between subfamilies and tribes, and the diagnostic morphotypes are very scarce (PIPERNO, 2006). Among all the reports analyzed, the results obtained by MERCADER (2009) are in agreement with our results, as the production of globular psilate phytoliths has been reported in leaves of the species of the Clusiaceae Family.

STABLE CARBON ISOTOPES

For the stable carbon isotopes proxy, plants and surface sediments from each of the plant communities in the Maricá *restinga* were analyzed. The results are shown in Table 3 and described below.

In Brazil, especially in Rio de Janeiro State, there are few studies of vegetation reconstruction using the carbon isotopes proxy, as observed by BUSO et al. (2013). For *restinga* plants, these studies are even more rare. Because these plants can also be present in other ecosystems, we have tried to relate, wherever possible, the results obtained in this study to those of other authors such as KRULL et al. (2005), BOUTTON et al. (1998) and VIDOTTO et al. (2007).

A) HALOPHILE-PSAMOPHILE COMMUNITY

δ13C values obtained for the sediment samples 1 and 2 were -22.84 and -22.37, respectively, indicating the predominance of C3 plants, in this case not woody, such as Convolvulaceae *Ipomoea pes-caprae* (-25.93) and Amaranthaceae *Alternanthera littoralis* (-26.42), we also noticed the presence of C4

Table 3. Results of stable carbon isotopes of sediments and plants of the Maricá *restinga* (Sample number indicated in parenthesis).

S	Vegetal community	δ13C of the sediment	Family	Species	δ13C
h			Convolvulaceae	Ipomoea pes-caprae (L.) R. Br.	-25.93
_		-22.60(1)	Amaranthaceae	Alternanthera littoralis P. Beauv.	-26.42
ıc		22.00(1)	Cyperaceae	Remirea maritima Aubl.	-12.18
		-22.37 (2)	Poaceae	Sporobolus virginicus (L.) Kunth	-14.75
r	Halophile-	. ,	Poaceae Panicoideae	Panicum racemosum (P. Beauv.) Spreng.	-12.8
ol	psamophile	-18.43 (3)	Poaceae Panicoideae	Stenotaphrum secundatum (Walt.) Kuntze	-11.51
i			Clusiaceae	Clusia aff. fluminensis Planch. & Triana	-26.59
!			Bromeliaceae	Neoregelia cruenta (Graham) L. B. Sm.	-12.68
_			Araceae	` ,	-28.34
		-26.35(1)	Arecaceae	Anthurium sp.	-26.68
		20.55 (1)	Ericaceae	Allagoptera arenaria (Gomes) O. Kuntze	-27.99
		-22.25 (2)	Smilacaceae	sp1	-25.93
		22.23 (2)	Malpighiaceae	Smilax spinosa Mill.	-29.11
		-26.62 (3)	Clusiaceae	Heteropteris chrysophylla (Lam.) Kunth Clusia lanceolata Camb.	-28.16
	Scrub	-25.03 (4)			
	Scrub	-23.03 (4)	Ericaceae	Gaylussacia brasiliensis (Spreng.) Meisn.	-28.56
			Malpighiaceae	Stigmaphyllon paralias Juss.	-28.63
			Myrtaceae	Myrciaria sp.	-29.74
S		-26.14(1)	Alismataceae	Sagittaria lancifolia L.	-25.52
		20.11(1)	Thyphaceae	Typha domingensis Pers.	-29.49
		-21.84(2)	Rubiaceae		-26.72
	Herbaceous	-21.04(2)	Cyperaceae	spl <i>Fuirena umbellata</i> Rottb.	-27.33
	marsh	-27.84 (3)		Turena umbenata Kotto.	
			Cyperaceae	Eleocharis subaruculata (Nees) Boeckler	-26.43
			Verbenaceae	Stachytarpheta sp.	-29.26
	Slack	-22.41	Rubiaceae	sp2	-15.2
			Erythroxylaceae	Erythroxylum ovalifolium Peyr.	-27.17
	CI II		Apiaceae	Hydrocotyle bonariensis Lam.	-31.87
	Shrubby vegetation	-28.47	Asteraceae	Vernonia sp.	-30.37
			Fabaceae	Dalbergia ecastaphyllum (L.) Taub.	-29.93
			Maranthaceae	Calathea sp.	-31
i		-24.3 (1)	Bromeliaceae	Bromelia antiacantha Bertoloni	-14.95
	Dry forest	-26.61 (2)	Arecaceae	Astrocaryum aculeatissimum (Schott) Burret	-31.18
	Diy lolest	-20.01 (2)	Clusiaceae	Clusia sp.	-32.52
				41	:1:

values were found by VIDOTTO et al. (2007) in southern Amazonas for other species of C4 grasses of the Poaceae family: Andropogon bicornis (leucostachyus 13.1), Andropogon Andropogon sp. (-11.7), Andropogon sp 2 (-12.6); as well as some species of Cyperaceae: Cyperus sp (-12.4), Fimbristylis sp. (-12.7), Kyllinga sp (-11.8).. Krull et al. (2005), in a study conducted in Queensland, Australia, found similar values for some species of Poaceae such as Sporobolus actinocladus (-14.3), Sporobolus caroli (-13.0) and Panicum decompositum (-14.0). Similarly, the data presented by Boutton et al. (1998) for plants of subtropical savanna showed very close results for the species *Panicum hallii* var. *filipes* (Scribn.) Waller (- 14.4).

For sediment sample 3, the value was -18.43, indicating a mixture of C3 plants (the same as samples 1 and 2), but with the presence of C4 grasses, such as the Poaceae *Stenotaphrum secundatum* (-11.51) and some CAM plants (Cactaceae).

B) "SCRUB" COMMUNITY OVER THE HOLOCENE BARRIER

 $\delta 13C$ analysis of the sediment sample presented the value of -26.35, indicating a predominance of C3 plants, in this case woody, such as Araceae *Anthurium* sp. (-28.34),

Malpighiaceae Heteropteris chrysophylla (-29.11), Ericaceae Gaylussacia brasiliensis (-28.56), Clusiaceae Clusia aff. fluminensis (-26.59) and Smilacaceae Smilax spinosa (-25.93). These values are compatible with those found by Vidotto et al. (2007) for the plants: Malpighiaceae Byrsonima sp 1 (-27.8), Clusiaceae Caraipa savannarum (-28.8), Myrtaceae Eugenia sp. (-33.1), Clusiaceae Vismia guianensis (-30.9), Arecaceae Mauritiella armata (-29.3) and Bromeliaceae Ananas ananassoides (-16.1). In this community C4 grasses, such as Poaceae Stenotaphrum secundatum (-11.51) can also be found.

c) HERBACEOUS SWAMP COMMUNITY BETWEEN THE TWO SANDY BARRIERS

The δ13C value obtained for the first sediment sample was -26.14 and -21.84 for the second sample. These values indicate a predominance of non-woody C3 plants like Alismataceae Sagittaria lancifolia (-25.52), Rubiaceae sp1 (-26.72) and Cyperaceae Eleocharis subariculata (-26.43). In southern Amazonas, other species of Rubiaceae and Cyperaceae families presented very close values, such as those of Alibertia edulis (-30.6) and Rhynchospora sp. (-28.5), respectively (VIDOTTO et al., 2007).

D) SLACK COMMUNITY

The δ13C value obtained for the sediment sample was -22.41, indicating the occurrence of a mixture of C3 plants such as Verbenaceae *Stachytarpheta* sp. (-29.26) and Erythroxylaceae *Erythroxylum ovalifolium* (-27.17), but with a predominance of C4 plants like Poaceae *Stenotaphrum secundatum* (-11.51) and Rubiaceae sp 2 (-15.2).

e) "SCRUB" COMMUNITY OVER THE PLEISTOCENE BARRIER

For sediment sample 1 the $\delta 13C$ value was -22.25. For sample 2 it was -26.62 and for the third sample -25.03. Similarly to the scrub over the Holocene barrier, these values indicate a predominance of C3 plants, in this case woody, such as Ericaceae sp 1 (-27.99), Clusiaceae Clusia lanceolata (-28.16), Malpighiaceae Heteropteris chrysophylla (-29.11),Malpighiaceae Stigmaphyllon paralias (-28.63), Arecaceae Allagoptera arenaria (-26.68) and Myrtaceae Myrciaria (-29.74) and the facultative CAM Bromeliaceae Neoregelia cruenta (-12.68). Vidotto et al. (2007) found similar values for other species of the Arecaceae family: Mauritiella armata (-29.3), Oenocarpus bacaba (-31.4), Oenocarpus bataua (-31.3) and Socratea exorrhiza (-31.4). Approximate values were also found by the same

authors for the plant *Ananas ananassoides* (-16.1) of the Bromeliaceae family.

F) HERBACEOUS MARSH COMMUNITY TO THE REAR OF THE PLEISTOCENE BARRIER

The $\delta 13C$ value of the sediment sample collected in this community was -27.84, indicating a predominance of C3 plants, in this case non-woody, such as Cyperaceae *Fuirena umbellata* (-27.33) and Thyphaceae *Typha domingensis* (-29.49).

G) SHRUBBY VEGETATION COMMUNITY ON THE BANKS OF MARICÁ LAGOON

In this sample the value of $\delta 13C$ obtained was -28.47, indicating a predominance of C3 plants, in this case woody, such as Asteraceae *Vernonia* sp.(-30.37) and Fabaceae *Dalbergia ecastaphyllum* (-29.93) and non-woody plants like Apiaceae *Hydrocotyle bonariensis* (-31.87).

H) DRY FOREST COMMUNITY

δ13C values obtained for sediment samples 1 and 2 were -24.3 and -26.61, respectively, indicating the predominance of C3 plants, woody in this case, such as Arecaceae Astrocaryum aculeatissimum (-31.18), Clusiaceae Clusia sp. (-32.52), Maranthaceae Calathea sp. (-31) and some CAM plants such as Bromeliaceae Bromelia antiacantha Bertoloni (-14.95). Vidotto et al. (2007) obtained a similar δ13C value for Marantaceae Monotagma sp. (-29.6).

CONCLUSION

Generally, the species that form the plant communities on the Maricá coastal plain, Rio de Janeiro, Brazil, produce no or only very low amounts of opal phytoliths. Only the species belonging to the Poaceae, Cyperaceae and Arecaceae families produce opal phytoliths in large amounts with diversity of morphotypes, besides the characteristic diagnostic opal phytoliths. Except for the Arecaceae family, where the major opal phytoliths produced are associated with fibers, the morphotypes observed in other producing species are associated with epidermal tissue. In species where trace amounts of opal phytoliths are produced, the other tissue involved in the silicification process is vascular tissue.

The isotopic results of sediment samples demonstrated a good correspondence with the results from plants collected in each community, indicating that isotopes are good proxies for the vegetation reconstruction in the area. In the case of fossil samples, the phytolith studies may

complement the isotopic ones, distinguishing, in the case of C3 plants, if they are woody or not.

The Maricá coastal plain has been undergoing a haphazard urbanization process, affecting ecosystems and modifying its landscape. We hope that studies on vegetation dynamics and the evolution of the region will contribute to its sustainable development. In the paleoenvironmental reconstruction studies, the starting point must be the knowledge of the current ecosystem. We believe, therefore, in the importance of this study for the construction of a basis for further paleoenvironmental studies in the Maricá restinga.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Brazilian funding agency FAPERJ, the Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Ministerio de Ciencia y Técnica (PICT 2036-2010, PICT 1871-2010) and Universidad Nacional de Mar del Plata (EXA 643/13) for their financial support.

REFERENCES

- ARAUJO, D. S. D.; HENRIQUES, R. P. B. Análise florística das restingas do Estado do Rio de Janeiro. In: Lacerda, L. D.; CERQUEIRA, R., TURCQ, B. (Eds.). Restingas: origens, estrutura, processos. Niterói: CEUFF, 19984. p. 159-193.
- BORRELLI, N.; FERNÁNDEZ, H M.; ALTAMIRANO, S. M., OSTERRIETH, M. Calcium and silica biomineralization in leaves of eleven aquatic species of the Pampean Plain, Argentina. Aquat. Bot., v. 94, n. 1, p. 29-36, 2011.
- BERRIER, A.; PROSSER, J. S. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. I. (Ed.). Mass spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-17.
- BOUTTON, T. W.; ARCHER, S. R.; MIDWOOD, A. J.; ZITZER, S. F.; BOL, R. δ13C values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem. Geoderma, v. 82, n. 1/3, p. 5-41, 1998.
- BUJÁN, E. Elemental composition of phytoliths in modern plants (Ericaceae). Quat. Int., v. 287, p. 114-120, 2013.
- BUSO JUNIOR, A. A.; PESSENDA, L. C. R.; OLIVEIRA, P.
 - E. D.; GIANNINI, P. C. F.; COHEN, M. C. L.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, S. M. B.; ROSSETTI, D. F.;
 - LORENTE, F. L.; FILHO, M. A. B.; SCHIAVO, J. A.; BENDASSOLLI, J. A.; FRANÇA, M. C.; GUIMARÃES, J. T. F.;

- SIQUEIRA, G. S. Late Pleistocene and Holocene Vegetation, Climate Dynamics, and Amazonian Taxa in the Atlantic Forest, Linhares, SE Brazil. Radiocarbon, v. 55, n. 2/3, p. 17471762, 2013.
- CARNELLI, A. L.; THEURRILAT, J. P.; MADELLA, M. Phytolith types and typefrequencies in subalpine-alpine plant species of the European Alps. Rev. Palaeobot. Palynol., v. 129, n. 1/2, p. 39-65, 2004.
- CHANDLER-EZELL, K.; PEARSALL, D. M.; ZEIDLER, J. A. Root and tuber phytoliths and starch grains document manioc (Manihot esculenta), arrowroot (Maranta arundinacea), and llerén (Calathea sp.) at the Real Alto Site, Ecuador. Econ. Bot., v. 60, n. 2, p. 103-120, 2006.
- 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. Quat. Int., v. 2, p. 1-10, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002. Available at: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30 302.html>. Accessed on: 16 Mar. 2014.
- CORTE, J. Biomas de Restinga. Dez. 2009. Available at: http://www.pt.slideshare.net/JadeCorte/bioma-restinga>. Accessed on: 5 Feb. 2014.
- FERNÁNDEZ- HONAINE, M.; ZUCOL, A. F.; OSTERRIETH,
 - M. Phytolith Assemblages and Systematic Associations in Grassland Species of the South-Eastern Pampean Plains, Argentina. Ann. Bot., v. 98, n. 6, p. 1155-1165, 2006.
- FERNÁNDEZ- HONAINE, M.; ZUCOL, A. F.; OSTERRIETH, M. Phytolith analysis of Cyperaceae from the Pampean Region, Argentina. Austr. J. Bot., v. 57, p. 512-523, 2009.
- KEALHOFER, L.; PIPERNO, D. R. Opal Phytoliths in Southeast Asian Flora. Smithsonian Contributions to Botany, v. 88, p. 1-39, 1998.
- KILLOPS, S.; KILLOPS, V. Introduction to organic geochemistry. Malden: Blackwell, 2005. 393 p.
- KRULL, E. S.; SKJEMSTAD, J. O.; BURROWS, W. H.; BRAY,
 - S. G.; WYNND, J. G.; BOLE, R.; SPOUNCERA, L.; HARMSB, B. Recent vegetation changes in central Queensland, Australia: Evidence from d13C and 14C

- analyses of soil organic matter. Geoderma, v. 126, p. 241-259, 2005.
- IRELAND, S. The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil. In: Sea Level Changes. TOOLEY, M.; SHENNAM, I. (Eds.). Oxford: Brazil Blackwell Ltd, 1987. p. 25-66.
- LABOURIAU, L. G. Phytolith work in Brazil: a minireview. Phytolitharien Newsletter, v. 2, n. 6-10, 1983.
- LAMEGO, A. R. Restingas na Costa do Brasil. Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim DNPM, v. 96, p. 63, 1940.
- LAMEGO, A. R. Ciclo Evolutivo das Lagunas Fluminenses. Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim DNPM, v, 118, p. 47, 1945.
- LOUREIRO, D. S.; MATIAS, M. L.; FREIRE, D. G. Avaliação do conflito sócio-ambiental na APA da restinga de Maricá-RJ. XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, 2010. 10 p.
- MADELA, M.; ALEXANDRE, A; BAL, T. International code for phytolith nomenclature 1.0. Ann. Bot., v. 96, p. 253-260, 2005.
- MERCADER, J.; BENETT, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. Phytoliths in woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. Ann. Bot., v. 104, n. 1, p. 91-113, 2009.
- MERCADER, ASTUDILLO, F.: J.; BARKWORTH. M.; T.; BENETT, C.; ESSELMONT, KINYANJUI, R.: GROSSMAN, D. L.; SIMPSON, S.; WALDE. D. Poaceae phytoliths from the Niassa Rift, Mozambique. J. Archaeol. Sci., v. 37, n. 8, p. 1953-1967, 2010.
- MORRIS, L.; BAKER, F.; MORRIS, C.; RYEL, R. Phytolith types and type-frequencies in native and introduced species of the sagebrush steppe and pinyon-juniper woodlands of the Great Basin, USA. Rev. Palaeob. Palynol., v. 157, n. 3/4, p. 339-357, 2009.
- MUEHE, D. C. E. H. Evidências de recuo dos cordões litorâneos em direção ao continente no litoral do Rio de Janeiro.
 - In: LACERDA, L. D.; ARAUJO, D. S. D.; CERQUEIRA,
 - R.; TURCQ, B. (Ed.). Restingas: origem, estruturas e processos. Anais do Simpósio sobre Restingas Brasileiras. Niterói: CEUFF, 1984. p.75-80.
- MUEHE, D. C. E. H.; CORRÊA, C. H. T. The Coastline Between Rio de Janeiro and Cabo Frio. Coastlines of Brazil. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. p. 110-123.

- MULHOLAND, S. C.; RAPP, G. A morphological classification of grass silica-bodies. In: RAPP, G.; MULHOLAND, S. C. (Eds.). Phytolith systematics. New York: Plenum Press, 1992. p. 65-89.
- OLIVEIRA, L.; NASCIMENTO, R.; KRAU, L.; MIRANDA, A. Observações biogeográficas e hidrobiológicas sobre a lagoa de Maricá. Mem Inst Oswaldo Cruz, v. 53, p. 171-227, 1955.
- PARR, J. F.; SULLIVAN, L. A. Soil carbon sequestration in phytoliths. Soil. Biol. Bioch., v. 37, n. 1, p. 117-124, 2005.
- PEREIRA, A. J.; GAMBÔA, 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 Iataipuaçú Maricá (RJ). Rev. Bras. Geof., v. 21, n. 2, p. 163-171, 2003.
- PERRIN, P. Evolução da Costa Fluminense entre as Pontas de Itacoatiara e Negra, preenchimentos e restingas. In: Restingas, origens, processos. LACERDA, L. D.; ARAUJO, D. S. D.; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B. (Eds.). Niterói: CEUFF, 1984. p. 65-74.
- PIPERNO, D. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective. New York: Academic Press, 1988.
- PIPERNO, D. Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. Oxford: AltaMira Press, 2006.
- SILVA, J. G.; OLIVEIRA, A. S. A vegetação de restinga no município de Maricá RJ. Acta Bot. Bras., v. 3, supl. 2, p. 253272, 1989.
- SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçú (Maricá, RJ) nas últimas Três Décadas. Rev. Bras. Geoci., v. 38, n. 1, p. 89-99, 2008a.
- SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; GAMBÔA, 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., v. 44, n. 2, p. 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. Geomorf., v. 15, n. 2, p. 231-249, 2014b.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Planícies de cordões litorâneos do Brasil: origem e nomeclatura. In: LACERDA, L. D. (Org.). Restingas: origens, estruturas e processos. Niterói: CEUFF, 1984. p. 195-216.
- SUGUIO, K. Geologia sedimentar. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2003. 400 p.

- THORN, C. C. Phytoliths from subantarctic Campbell Island: plant production and soil surface spectra. Rev. Palaeob. Palynol., v. 132, n. 1/2, p. 37-59, 2004.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.; TASAYCO-ORTEGA, L. Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio,
 - State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B.; BIDONE, E. D.; ABRAO, J. J. (Eds.). Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems. Série Geoquímica Ambiental 6, Rio de Janeiro, Brazil. Niterói: UFF/FINEP, 1999. p. 25-46.
- VIDOTTO, E.; PESSENDA, L. C. R.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A.; BENDASSOLLI, J. A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de

- estudos isotópicos e fitossociológicos. Acta Amazônica, v. 37, n. 3, p. 385-400. 2007.
- VILLWOCK, J. A. A costa brasileira: geologia e evolução. Anais III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira - Subsídios a um Gerenciamento Ambiental, Publ. ACIESP, São Paulo, v. 3, n. 87, p. 1-15, 1994.
- WALLIS, L. An overview of leaf phytolith production patterns in selected northwest Australian flora. Rev. Palaeob. Palynol., v. 125, n. 3/4, p. 201-248, 2003.
- ZAGATTO, E. C. A., CALHEIROS, D. F. S. Isótopos de Carbono em Estudos Ambientais. 15 p. 2000. Disponível em: http://web.cena.usp.br/apostilas/Zagatto/FAN2-CarbonoAmbiente. doc>. Acesso em: 13 de Jun 2009.

5.3. Sedimentação e biomineralizações de sílica na planície costeira de Itaipuaçú

Primeiramente serão apresentadas as características dos sedimentos (granulometria, selecionamento, cor, teor de matéria orgânica e de carbonatos) das três sondagens estudadas. Em seguida, serão apresentados os resultados das análises das biomineralizações de sílica amorfa (espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e fitólitos) de cada uma das sondagens realizadas na planície costeira de Itaipuaçu. As biomineralizações serão apresentadas nesta ordem com o objetivo de primeiro abordar os bioindicadores que têm uma abrangência mais ampla (registram informações mais regionais como espículas de esponja e frústulas de diatomáceas) e depois os de abrangência mais específica (registram informações mais locais como os fitólitos); por último são apresentados os resultados das datações por ¹⁴C-AMS. No final de cada sondagem os indicadores apresentados são integrados, objetivando o entendimento das condições paleoambientais que marcaram a evolução da área de estudo.

5.3.1. Sondagem 1

A Sondagem 1 encontra-se a cerca de 0,92km ao norte da linha d'água (Figura 5.1). Nesta sondagem foi feita a coleta de sedimentos até a profundidade de 6 metros numa área localizada à retaguarda da barreira arenosa holocênica (Figura 5.1). Foram analisadas as amostras referentes às seguintes profundidades: 5,90-6,0m; 5,25-5,35m; 4,80-4,90m; 4,0-4,10m; 3,10-3,20m; 2,40-2,50m; 2,0-2,10m e 1,0-1,10m

Características textural e composicional dos sedimentos

A caracterização preliminar dos materiais obtidos na Sondagem 1 permitiu observar mudanças na cor dos sedimentos (Figuras 5.2, 5.3), que variou de cinza (desde 6 até 2 metros de profundidade) a marrom (de 1,1 metro de profundidade até a superfície). As amostras correspondentes às profundidades de 4,90-4,80m; 2,10-2,0m e 1,10-1,0m apresentaram pedaços de madeira na sua composição (Figura 5.2). Nas profundidades de 6,0-5,90m e 4,90-4,80m registrou-se a presença discreta de feldspato (Figura 5.2). Conchas e fragmentos de conchas aparecem nas seguintes profundidades: 4,10-4,0m; 3,20-3,10m e 2,50-2,40m (Tabela 5.1). De modo geral, as cores observadas em campo coincidiram com as obtidas a partir da Carta de Munsell (Tabelas 5.1, 5.2 e Figuras 5.2, 5.3). O material coletado na sondagem 1 apresentou uma textura variada, alternando gradativamente de areia (na base) para lama

arenosa (em direção à superficie). A Sondagem 1 foi a que apresentou a maior quantidade de areia (Tabela 5.2 e Figura 5.3).

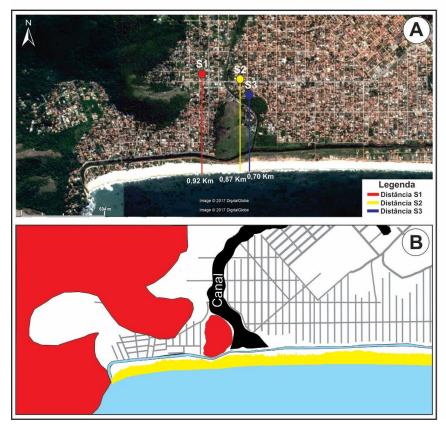


Figura 5.1 – Localização e distância das sondagens 1, 2 e 3 em relação ao mar.

Tabela 5.1 – Principais características sedimentares da sondagem 1 (observadas em campo).

Prof.	Corchas			Fragmentos					
(m)	Cor	Inteiras	Fragmentos	Raízes	de madeira	Observações			
1,0-1,1	Marrom escuro	-	-	-	Sim	-			
2,0-2,1	Cinza escuro	-	-	-	Sim	-			
2,4-2,5	Cinza escuro	Alguma s	Muitos	-	-	-			
3,1-3,2	Cinza	-	Alguns	-	-	-			
4,0-4,1	Cinza mais claro	-	Poucos			Concreções de lama no meio da areia			
4,8-4,9	Cinza claro	-	-	-	Sim	Presença de feldspato Areia bastante heterogênea com presença de cascalhos angulosos a bem arredondados			
5,25-5,35	Cinza azulado	-	-	-	-	-			
5,9-6,0	Cinza azulado	-	-	-	-	Presença de feldspato			

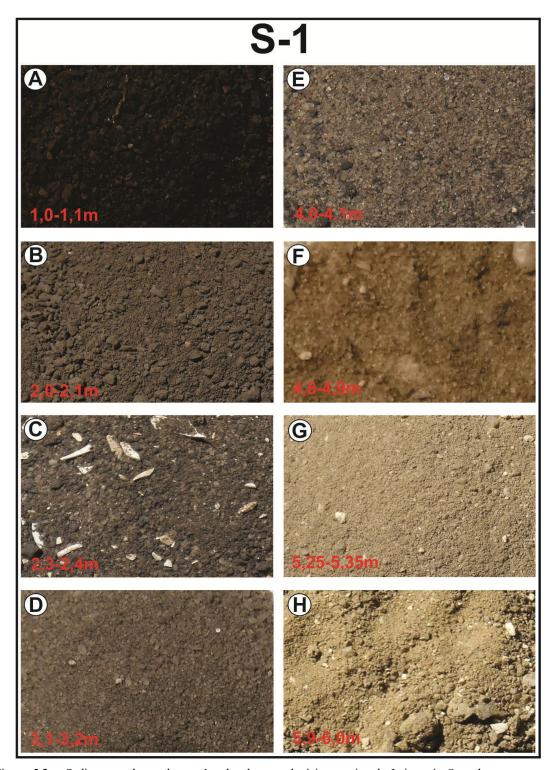


Figura 5.2 – Sedimentos da sondagem 1 coletados na planície costeira de Itaipuaçú. Os valores em metros indicam a profundidade.

Tabela 5.2 – Resultados das análises de sedimentos coletados na Sondagem 1 na planície costeira de Itaipuaçú.

Prof.	Cor	Cas.	Areia		Ar	eia (%)		Lama			Lama	a (%)		Classificação	Granulometria		
(m)	(Carta de Munsell) *1	(%)	(%)	AMG	AG	AM	AF	AMF	(%)	SMG	SG	SM	SF	SMF	ARG	textural	predominante	namento
1,0-1,1	10YR 2/2 Very dark brown	3,8	46,1	22,5	19,8	2,7	0,5	0,5	50,1	13,75	13,3	8,45	6,5	4,5	3,5	Lama arenosa	Areia muito grossa	PS
2,0-2,1	5Y 4/1 Dark gray	0	6,18	0	2,1	2,5	0,1	1,5	93,82	10,6	17,7	17,1	17,3	15,6	15,5	Lama	Silte grosso	MPS
2,4-2,5	5Y 4/1 Dark gray	0	12,5	0	2,2	4,3	1,9	4,1	87,5	28,4	19,89	12,54	10,4	8,5	7,8	Lama arenosa	Silte muito grosso	MPS
3,1-3,2	5Y 5/2 Olive gray	2	59,1	7,3	37,1	14,7	0,1	0	38,9	14,8	7,6	5,4	4,3	3,4	3,4	Areia lamosa	Silte muito grosso	PS
4,0-4,1	5Y 5/1 Gray	0,8	29,6	2	18,4	9	0,1	0,1	69,60	11,2	16,3	14,4	11,4	8,7	7,6	Lama arenosa	Areia grossa	PS
4,8-4,9	2.5Y 6/2 Light brownish gray	11,5	48,9	12,3	32,9	3,2	0,1	0,3	39,6	10,1	7,4	7,4	5,5	4,6	4,6	Areia lamosa	Areia grossa	MS
5,25-5,35	2.5Y 6/1 <i>Gray</i>	0	35,54	0	2,5	7,2	11,1	14,7	64,46	29,7	14,2	7,3	4,8	4,2	4,2	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
5,9-6,0	5Y 6/2 Light olive gray	7,6	48,5	16,8	16	5,6	5,3	4,8	43,9	2,1	5	7,4	11	11,6	6,8	Areia lamosa	Areia muito grossa	PS

^{*1} A cor das amostras foi observada depois secas.

Cas. - Cascalho, AMG – Areia muito grossa, AG – Areia grossa, AM – Areia média, AF – Areia fina, AMF – Areia muito fina, SMG – Silte muito grosso, SG – Silte grosso, SM – Silte médio, SF – Silte fino, SMF – Silte muito fino, ARG – Argila.

PS – Pobremente selecionado, MPS – Muito pobremente selecionado, MS – Moderadamente selecionado

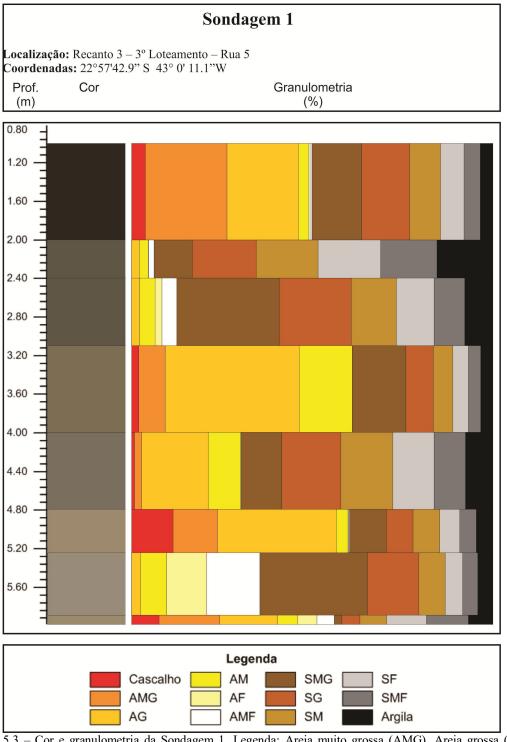


Figura 5.3 – Cor e granulometria da Sondagem 1. Legenda: Areia muito grossa (AMG), Areia grossa (AG), Areia média (AM), Areia fina (AF), Areia muito fina (AMF), Silte muito grosso (SMG), Silte grosso (SG), Silte médio (SM), Silte fino (SF), Silte muito fino SMF).

Os sedimentos coletados na base da sondagem (6,0-5,90m) apresentaram uma distribuição muito semelhante entre areia (48,5%) e lama (43,9%), com presença de 7,6% de cascalhos (Tabela 5.2, Figuras 5.2 e 5.3). Essa variação no tamanho dos grãos aponta para um mau selecionamento nesta profundidade da Sondagem 1, que conta com o predomínio da fração areia muito grossa (16,9%) (Tabela 5.2, Figuras 5.2 e 5.3). No intervalo entre 5,35 e 5,25m constatou-se um aumento na proporção de sedimentos lamosos (64,46%), seguida da de areia (35,54%), evidenciando um momento de menor energia (Tabela 5.2, Figura 5.2 e 5.3). Entre 4,90 e 4,80 metros de profundidade foi verificada a presença de areia (48,9%), lama (39,6%), além de cascalhos (11,5%) predominantemente angulosos (entre os cascalhos um pouco maiores alguns se apresentaram arredondados) (Tabela 5.2, Figuras e 5.4). Na profundidade entre 4,1 e 4,0 metros notou-se um aumento no teor de finos (69,6%), com redução no percentual de areias (29,6%) e de cascalhos (0,8%), o que sugere um momento de menor energia. A amostra correspondente à profundidade de 3,2 a 3,1 metros apresenta um percentual de areia bem elevado (59,1%), com presença de lama (38,9%) e cascalhos em pouca quantidade (2%) (Tabela 5.2, Figura 5.2). Os elevados percentuais de lama presentes nas amostras seguintes, 2,50-2,40m e 2,1-2,0m (com 87,5 e 93,82%, respectivamente), apontam para uma significativa redução na energia do ambiente (Tabela 5.2, Figura 5.2). A profundidade de 1,10-1,0m apresentou 50,1% de sedimentos lamosos e 49,9% de sedimentos grossos, dos quais 3,8% são cascalhos (Tabela 5.2, Figuras 5.2 e 5.4). A alternância entre camadas com predominância de areia (com presença de cascalhos) e lama, assim como o mau selecionamento evidenciado ao longo de quase toda a Sondagem 1, aponta para um ambiente deposicional marcado por constantes mudanças no grau de energia. A presença de sedimentos grossos (cascalhos e areias) neste local sugere uma deposição caracterizada por eventos esporádicos de alta energia. Esses momentos ocorreram possivelmente associados à incidência de ondas de tempestades, que ultrapassam a barreira arenosa (por overwash) e alcançam as áreas à retaguarda da mesma, conforme apontado na área de estudo por Silva et al. (2008b). Canais de maré também podem se formar neste litoral permitindo a entrada de ondas de alta energia nos ambientes à retaguarda da barreira, possibilitando a deposição de areias e cascalhos em meio aos materiais mais finos (silte e argila). Esses canais de maré estiveram presentes ao longo da evolução geológica da planície costeira de Itaipuaçú, conforme mapeamento geofísico realizado por Pereira (2009). A presença de cascalhos, tanto angulosos quanto arredondados (Figura 5.4), sugere uma contribuição de fontes distintas, possivelmente marinha, fluvial ou de afloramentos locais.

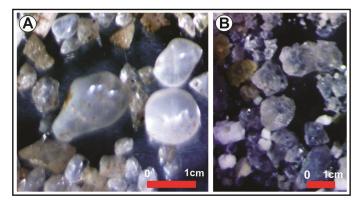


Figura 5.4 – Sedimentos grossos presentes na Sondagem 1: A, profundidade de 4,80-4,90m B, profundidade de 5,90-6,00m.

Teor de carbono orgânico total (COT) e de carbonatos de cálcio (CaCO3) nos sedimentos

O teor de carbono orgânico total (COT) na Sondagem 1 apresentou percentuais entre 0,19% e 31,91% (Tabela 5.3 e Figura 5.5A). Em geral, os valores de COT estiveram abaixo de 2%, desde 6 m (base da sondagem) até a profundidade em torno de 2,4 metros (Tabela 5.3 e Figura 5.5A), chegando a atingir percentuais abaixo de 1% nas profundidades de 4,90-4,80m (0,47%) e 3,20-3,10m (0,19%). As maiores concentrações de carbono orgânico total foram verificadas nos intervalos mais superficiais, nas profundidades de 2,10-2,0m (6,47%) e 1,10-1,0m (31,91%) (Tabela 5.3 e Figura 5.5A). De modo geral, constatou-se uma tendência de aumento gradual no teor de COT dos intervalos mais profundos em direção à superfície (Tabela 5.3 e Figura 5.5A), apesar das mudanças nas características granulométricas ao longo do poço, intercalando maiores concentrações de areia e lama em diferentes níveis de profundidade.

O teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) apresentou percentuais entre 0,99% e 15,84% (Tabela 5.3 e Figura 5.5B). As profundidades que apresentam o menor percentual de carbonatos são as mesmas onde o teor de COT também é menor, ou seja, 4,90-4,80m (0,99 7%) e 3,20-3,10m (1,47%) (Tabela 5.3 e Figura 5.5B). Assim como ocorre com o COT, as profundidades que apresentam maior teor de carbonatos correspondem às situadas mais próximas à superfície, onde os percentuais passam de 10%: 2,50-2,40 m (10,19%); 2,10-2,00 m (15,46%) e 1,10-1,00m (15,84%) (Tabela 5.3 e Figura 5.5B). Desta forma, evidenciou-se um aumento gradual do teor de carbonato de cálcio da base para o topo da Sondagem 1, tal como verificado para o teor de COT (Tabela 5.3 e Figura 5.5B).

Tabela 5.3 – Percentual de carbono orgânico (COT) e de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 1.

Prof. (m)	% COT	% CaCO ₃
1,00-1,10	31,91	15,84
2,00-2,10	6,47	15,46
2,40-2,50	1,79	10,19
3,10-3,20	0,19	1,47
4,00-4,10	1,22	2,99
4,80-4,90	0,47	0,99
5,25-5,35	1,41	6,25
5,90-6,00	1,69	4,85

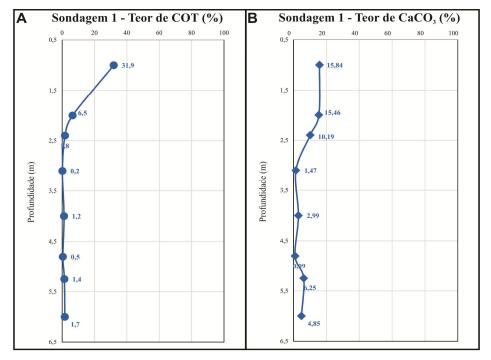


Figura 5.5 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 1.

Biomineralizações de sílica amorfa

Espículas de esponjas

As espículas de esponjas na Sondagem 1 variaram em quantidade desde nenhum registro até o máximo de 81 (2,50-2,40m de profundidade), dos quais 78 eram fragmentos de megascleras (Tabela 5.4, Figura 5.6). A maior parte das espículas de esponjas da Sondagem 1 se encontra fragmentada, sendo observadas megascleras e gemoscleras inteiras somente nas profundidades de 2,50-2,40m e de 1,10-1,0m (Tabela 5.4, Figura 5.6).

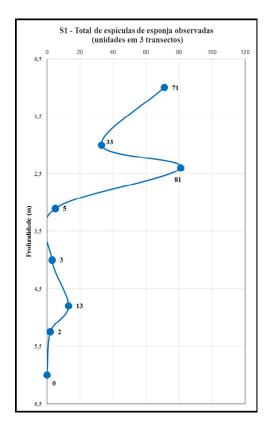


Figura 5.6 – Total de espículas de esponja observadas na Sondagem 1

Da base (6,00-5,90m) até 3,20-3,10m, a ocorrência de espículas de esponja na Sondagem 1 variou de 0 a 13 unidades (Tabela 5.4, Figura 5.6). Na profundidade de 2,50-2,40m, onde foi registrada a maior quantidade de espículas de esponjas (81 registros), 98% correspondem a fragmentos. Aí também foi registrada a presença de um fragmento de gemosclera birrotulada, cuja espécie provavelmente pertence ao gênero *Corvoheteromeyenia* sp., de um fragmento de espícula de esponja marinha, possivelmente do tipo tilóstilo, além de megascleras inteiras e fragmentadas (Tabela 5.4, Figuras 5.8B, 5,8C e 5.8D). Na profundidade de 2,10-2,00m, a quantidade de espículas de esponjas (todas megascleras) caiu consideravelmente passando para 33 unidades. Na amostra correspondente ao topo (1,10-1,00m) o registro de espículas voltou a aumentar (71 unidades), apresentando um percentual de intactas bem maior (64,7% do total), possivelmente por corresponder a uma profundidade mais próxima ao topo (Tabela 5.4 e Figura 5.7). Nesta profundidade foram observadas ainda gemoscleras inteiras e fragmentadas de *Corvoheteromeyenia* sp, além da presença de 8 registros de espículas marinhas inteiras (Tabela 5.4, Figura 5.8A).

.

Tabela 5.4 – Resultados da contagem e classificação das biomineralizações de sílica da Sondagem 1.

		FITÓLITOS												ESPÍCULAS DE ESPONJA						FRÚSTULAS DE							
	Tipos (%)												<u></u>	Índi	ces	(unidades)							DIATOMÁCEAS				
0	Bullį	form	(Globula	r							pi	îed	(Unid.)			(unidades)								(unidades)		
Profundidade (m)	Parallelepipedal	Cuneiform	Granulate	Psilate	Echinate	Elongate	Acicular	Bilobate	Others (tracheid + polyhedral)		Trape <u>zi</u> form	Fitólitos classified (Unid.)	Fitólitos unclassified (Unid.)	S	Índice D/P*	Índice Bi (%)**	Megasscleras (Inteiras)	Megascleras (Fragmentadas)	Gemoscleras (Inteiras)	Gemoscleras (Fragmentadas)	Marinhas (Inteiras)	Marinhas (Fragmentadas)	Totais	Inteiras	Fragmentadas	Totais	
1,00-1,10	18,3	9,3	29,1	0	4,2	13,5	12,5	2,1	0	0	11,1	289	66	355	0,55	52	36	20	2	5	8	0	71	4	27	31	
2,00-2,10	33,9	8,9	15,3	0	5,6	31,0	3,6	0	0	0	1,6	248	66	314	0,32	89	0	33	0	0	0	0	33	6	17	23	
2,40-2,50	2,8	2,8	42,7	0,9	11,0	16,5	0,9	7,8	1,4	2,3	11,0	436	264	700	1,55	20	1	78	1	0	0	1	81	27	150	177	
3,10-3,20	19,0	1,2	36,9	0	1,2	6,0	35,7	0	0	0	0	84	48	132	0,66	36	0	5	0	0	0	0	5	1	3	4	
4,00-4,10	7,1	4,1	48,5	14,6	1,0	9,8	14,2	0,3	0	0	0,3	295	225	520	1,86	43	0	3	0	0	0	0	3	0	2	2	
4,80-4,90	20,3	6,3	65,8	0	0	5,1	2,5	0	0	0	0	237	147	384	2,26	91	0	12	0	0	0	1	13	6	30	36	
5,25-5,35	19,1	39,8	12,2	0,6	0,6	24,8	2,2	0	0	0	0,6	319	253	572	0,20	95	0	2	0	0	0	0	2	2	4	6	
5,90-6,00	0	6,1	51,5	0	3,0	12,1	27,3	0	0	0	0	33	170	203	1,55	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

^{*}Índice $D/P = [globular\ granulate\ /\ (short\ cells\ +\ acicular\ +bulliform)]$ **Índice $Bi\ (\%) = [(Bulliform\ parallelepipedal\ +\ bulliform\ cuneiform)\ /\ (short\ cells\ +\ acicular\ +\ bulliform\ parallelepipedal\ +\ bulliform\ cuneiform)]\ x\ 100$

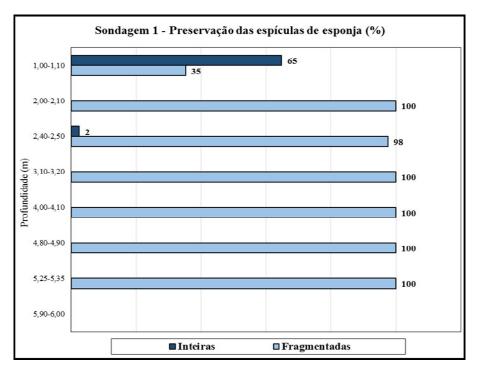


Figura 5.7 – Percentual de preservação das espículas de esponja na Sondagem 1.

Frústulas de Diatomáceas

A presença de frústulas de diatomáceas nos sedimentos da Sondagem 1 também foi bastante reduzida. A profundidade que apresentou a maior quantidade foi a de 2,50-2,40m, com 177 unidades (Tabela 5.4 e Figura 5.9). A maior parte das frústulas de diatomáceas encontra-se pouco preservada, com um percentual acima de 67% de fragmentação em todas as profundidades: 83,3% (4,90-4,80m); 84,74% (3,20-3,10m); 73,9% (2,10-2,00m) e 87,1% (1,10-1,00m) (Tabela 5.4 e Figura 5.10).

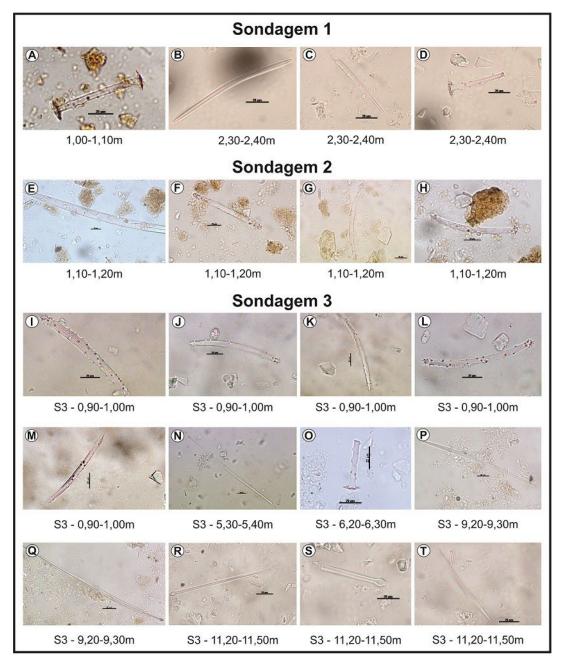


Figura 5.8 – Espículas de esponja encontradas nas Sondagens 1, 2 e 3: (A) gemosclera de *Corvoheteromeyenia* sp. (B) megasclera inteira; (C) fragmento de megasclera; (D) fragmento de gemosclera birrotulada, provavelmente *Corvoheteromeyenia* sp.; (E) megasclera inteira; (F, G, H) gemoscleras de *Anhetereomeenya* sp.; (I, J, K,,L,M) gemoscleras de *Anhetereomeenya* sp.; (N, Q, R) espículas marinhas: tilóstilos intactos; (O) fragmento de gemosclera birrotulada – provavelmente de *Corvoheteromeyenia* sp.; (O) megasclera de esponja intacta; (S) fragmento de espículas marinhas (tipo tilóstilo); (P, T) megascleras intactas.

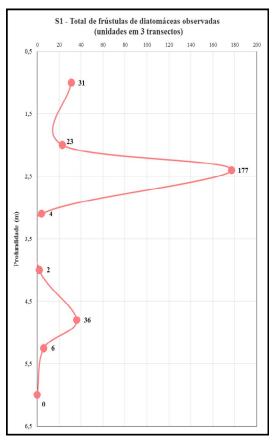


Figura 5.9 – Total de frústulas de diatomáceas observados na Sondagem 1.

Foram encontradas frústulas das seguintes espécies de diatomáceas (Tabela 5.5): Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (Figura 5.11D), na profundidade de 5,35-5,25m; Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs, em 4,90-4,80m de profundidade; Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs e Terpsinoë americana (Bailey) (Figura 5.11C), entre 2,50 e 2,40m de profundidade; Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (Figura 5.11B) e Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs (Figura 5.11A) em 2,10-2,00m abaixo da superficie. A Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve também foi encontrada na profundidade de 1,10-1,00m. Na profundidade 6,00-5,90 não foram encontradas frústulas de diatomáceas e nas profundidades 4,10-4,00m e 3,20-3,10m o grau de fragmentação das frústulas de diatomáceas não permitiu a sua identificação (Tabelas 5.4 e 5.5 e Figura 5.10).

Tabela 5.5– Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 1 e suas características ambientais.

Prof.	Nome do gênero / espécie	Características ambientais
(m)	D 1: 1 (TI 1) (I	
1,0-1,10	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
2,0-2,10	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina*
2,40-2,50	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina*
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinha, litorânea, eurihalina*
3,10-3,20	1 penada não identificada devido ao grau	-
	de fragmentação	
4,0-4,10	2 fragmentos cuja identificação não foi	-
	possível	
4,80-4,90	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina*
5,25-5,35	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
5,90-6,0	Nada foi encontrado	-

^{*} Eurihalina – espécies adaptadas a variações de salinidade.

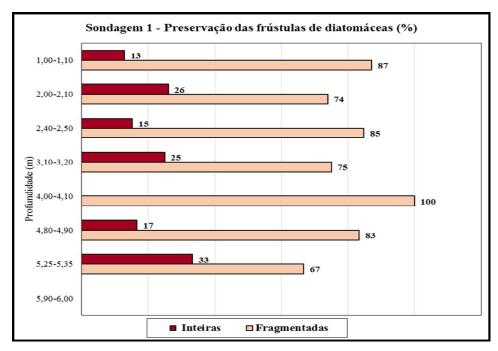


Figura 5.10 – Percentual de preservação das frústulas de diatomáceas na Sondagem 1.

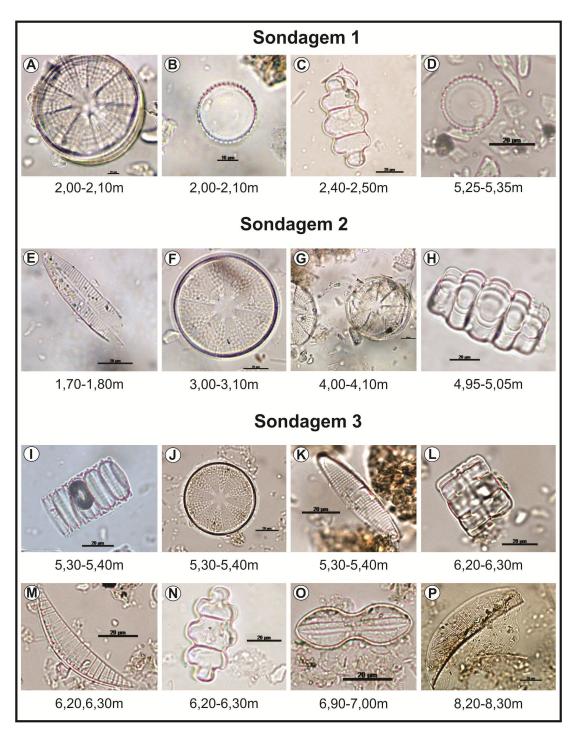


Figura 5.11 – Frústulas de diatomáceas encontradas nas Sondagens 1, 2 e 3: (A) Espécie Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs; (B, D) Espécie Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve; (C) Espécie Terpsinoë americana (Bailey); (E) Espécie Navicula peregrina (Ehrenberg) Kützing; (F, G) Espécie Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs; (H) Espécie Terpsinoë americana (Bailey); (I) colônia da espécie Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve; (J) Espécie Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs; (K) Espécie Plagiogramma staurophorum; (L, N) Espécie Terpsinoë americana (Bailey) (M) Espécie pertencente ao gênero Rhopalodia; (O) Espécie pertencente ao gênero Diploneis; (P) Espécie Entomoneis alata Ehrenberg.

A *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, encontrada nas profundidades 5,35-5,25m, 2,10-2,00m e 1,10-1,00m, corresponde a uma espécie marinha e cosmopolita que ocorre principalmente em áreas litorâneas de mares calmos e tropicais (Tabela 5.5 e Figura 5.11 B e D). A espécie *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, identificada em 4,90-4,80m, 2,50-2,40m e 2,10-2,00m de profundidade, é marinha, ocorrendo em ambientes litorâneos de característica eurihalina (locais com ampla variação de salinidade) (Tabela 5.5 e Figura 5.11A). A espécie *Terpsinoë americana* (Bailey), encontrada apenas na profundidade de 2,5-2,4 m, também ocorre em ambiente litoral marinho e é eurihalina (Tabela 5.5 e Figura 5.11C).

<u>Fitólitos</u>

Na Sondagem 1, a maior concentração de fitólitos foi encontrada na profundidade 2,50-2,40m (700 fitólitos). Outras profundidades que também apresentaram grandes concentrações de fitólitos foram 5,35-5,25m e 4,10-4,00m (572 e 520 fitólitos, respectivamente). As profundidades com menor ocorrência de fitólitos foram a de 6,00-5,90m (base da sondagem) e a de 3,20-3,10m (203 e 132 respectivamente) (Figura 5.12). Nas profundidades de 5,00-4,90m, 2,10-2,00m e 1,10-1,00m o estoque de fitólitos ficou abaixo de 400 registros. A quantidade mais reduzida de fitólitos na base é esperada pelo fato de se tratar de uma amostra mais profunda, onde os fitólitos possuem maior tempo de deposição. Já a redução ocorrida no intervalo de 3,20-3,10m em relação às maiores profundidades, pode estar associada a uma mudança na vegetação e/ou à granulometria mais arenosa desse intervalo, que facilitaria a percolação dos fitólitos para as camadas subjacentes (Figura 5.12).

O percentual de preservação dos fitólitos é relativamente alto na Sondagem 1, onde a proporção de *classified* é superior a 50% na maioria das amostras analisadas, com exceção apenas da amostra correspondente à base, cujo percentual de *classified* representa apenas 16% do total, o que é esperado em amostras mais antigas (Tabela 5.4 e Figura 5.13). As profundidades que apresentaram o maior percentual de preservação foram as de 2,1-2,00m e 1,10-1,00m, com 79% e 81%, respectivamente (Tabela 5.4 e Figura 5.13). Esse elevado grau de preservação sugere a presença de um ambiente de dinâmica relativamente calma, no qual os sedimentos teriam sofrido pouco retrabalhamento.

Os morfotipos que ocorrem com mais frequência na Sondagem 1 são: *globular granulate* (principalmente nas amostras que correspondem à base e ao topo, além do intervalo entre 4,90-4,80m e 2,50-2,40m), *bulliform parallelepipedal* e *cuneiform* (em especial nas profundidades de 5,35-5,25m e de 2,10-2,00m) e acicular (Tabela 5.4 e Figuras 5.14 e 5.15). Outros morfotipos também registrados foram o globular *psilate* (na profundidade 4,10-4,0m)

e *echinate* (na base e no topo e nas profundidades 4,10-4,0m; 3,20-3,10m; 2,50-2,40m e 2,10-2,0m) e os *short cells* (com destaque nas profundidades 2,50-2,40m; 2,10-2,0m e 1,10-1,0m) (Tabela 5.4 e Figuras 5.14 e 5.15).

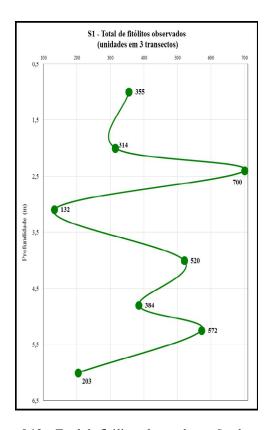


Figura 5.12 – Total de fitólitos observados na Sondagem S1.

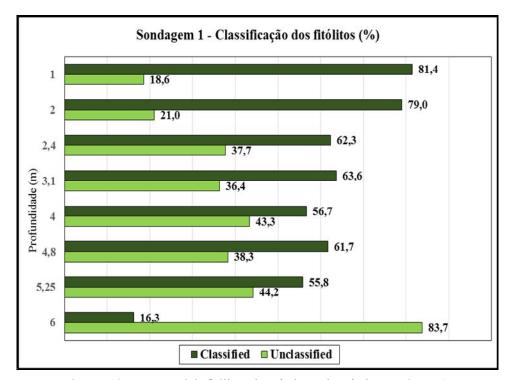


Figura 5.13 – Percentual de fitólitos classified e unclassified na Sondagem 1.

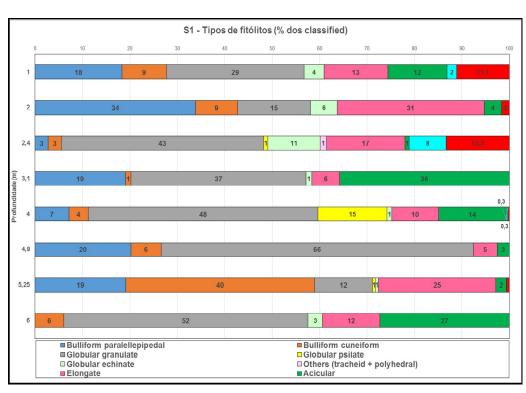


Figura 5.14 – Morfotipos de fitólitos encontrados na Sondagem 1.

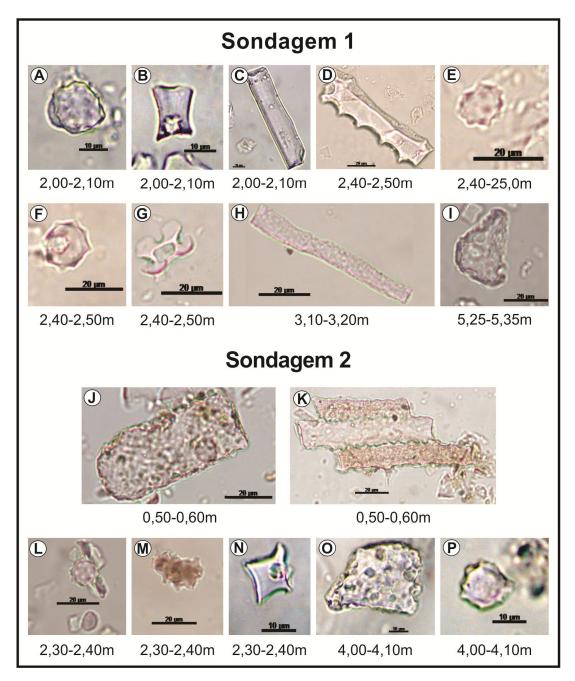


Figura 5.15 – Fitólitos encontrados na Sondagem 1 e 2: (A) globular granulate; (B) trapeziform; (C) elongate psilate; (D) elongate echinate one side; (E) globular echinate; (F) globular echinate; (G) cross; (H) elongate psilate; (I) bulliform cuneiform; (J) bulliform parallelepipedal; (K) elongates articulados, (L) globular echinate; (M) globulares granulate articulados; (N) trapeziform; (O) bulliform cuneiform; (P) globular granulate.

A quantidade de globulares *granulate* volta a aumentar bastante na profundidade de 4,90-4,80m, representando 65,8% do total de fitólitos classificáveis. A quantidade de *bulliform parallelipedal* não sofre alteração em relação à profundidade anterior, em contrapartida o total de fitólitos dos morfotipos *bulliform cuneiform* e *elongate* tem forte

redução, caindo para 6,3% e 5,1%, respectivamente (Tabela 5.4 e Figura 5.14). O predomínio do morfotipo globular granulate se mantém na profundidade entre 4,10-4,00m, registrando-se também a presença mais expressiva do morfotipo globular psilate (15%); a quantidade de fitólitos dos tipos elongate e acicular aumenta (14,2% e 14,6%, respectivamente), enquanto que a de bulliform se reduziu mais ainda, caindo para 11,2% (bulliform parallelepidal – 7,1% e bulliform cuneiform – 4,1%). Na profundidade de 3,20-3,10m ainda é marcante a presença do morfotipo globular granulate (37%), no entanto cresce bastante a quantidade de acicular (36%), volta a aumentar também o morfotipo bulliform parallelepipedal (19%), enquanto que se reduz a presença de fitólitos do tipo elongate (Tabela 5.4 e Figura 5.14). Na profundidade de 2,50-2,40m, mantém-se alta a proporção de globular granulate (42,7%) e começa a se observar a presença do morfotipo globular echinate com maior expressão (11%); o morfotipo elongate também ocorre com maior frequência passando a corresponder a 17% do total; a presença de fitólitos do morfotipo bulliform apresenta um percentual de apenas 6%; por outro lado, os morfotipos short cells, que até então estavam ausentes ou eram muito raros, aparecem com maior destaque, correspondendo a 21,3% do total de classified (dos quais 8% são de bilobate). A profundidade de 2,10-2,00m apresenta grande concentração de fitólitos do tipo elongate (31%) e do tipo bulliform (42,8%, somando parallelepipedal e cuneiform) sendo 34% de parallelepipedal e 9% de cuneiform; a quantidade de globular granulate reduz bastante, passando a representar apenas 15,3% do total de classified nesta amostra; também sofreu redução a quantidade de globular echinate, caindo para 5,6%. O percentual de globular granulate voltou a subir na profundidade seguinte (1,10-1,00m), correspondendo a 29%, já a de globular echinate manteve-se pequeno, com apenas 4,2% do total; o percentual de fitólitos do tipo bulliform cuneiform teve pouca alteração mantendo-se em torno dos 9%, porém diminuiu a de bulliform parallelepipedal (caindo para 18,3%), caiu também a quantidade de fitólitos do tipo elongate (passando de 31 para 13,5%), enquanto que o percentual de short cells (que tinha reduzido para menos de 2% na profundidade anterior (2,10-2, 0m) voltou a aumentar, totalizando 13,1% (Tabela 5.4 e Figura 5.14).

Índices Fitolíticos

Índice D/P (Dicotiledôneas / Poaceae)

Na Sondagem 1, o índice de densidade de cobertura arbórea variou de 0,20 na profundidade 4,90-4,80m, valor característico de uma vegetação aberta a 2,26 na

profundidade 4,10-4,0m, valor que indica a presença de uma vegetação predominantemente arbustiva-arbórea (Tabela 5.4 e Figura 5.16A).

Índice Bi% (Estresse hídrico)

Na Sondagem 1, o índice Bi% apresentou forte variação, com valores muito elevados, ultrapassando 80% nas profundidades de 5,35-5,25m (95%), 4,90-4,80m (91%) e 2,10-2,0m (89%). Em outras profundidades, porém, este índice se apresentou bem abaixo dos 50%: 18% (6,0-5,90m) e 20% (2,50-2,40m), respectivamente, indicando que as plantas aí presentes sofreram menor estresse hídrico, provavelmente por estarem submetidas a um ambiente com maior disponibilidade permanente de água (Tabela 5.4 e Figura 5.16B).

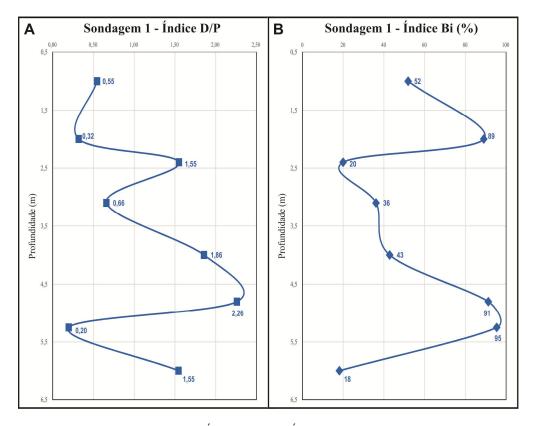


Figura 5.16 – (A) Índice D/P e (B) Índice Bi da Sondagem 1.

Datações

Na Sondagem 1 foi datada a matéria orgânica da amostra correspondente à profundidade de 4,90-4,80 m que apresentou a idade de 6280-5990 anos cal AP (Tabela 5.6 e Figura 5.17).

Identificação da	a amostra	Idad	le ¹⁴ C	Idade Calibrada (anos cal AP)							
Profundidade (m)	Tipo de amostra	Idade (anos)	Incerteza (anos)	Idade máxima	Idade mínima	Certeza (%)					
4,80-4,90	МО	5393	40	6.280	5.990	95.4					

Tabela 5.6 – Sondagem 1 – Resultados da datação por radiocarbono.

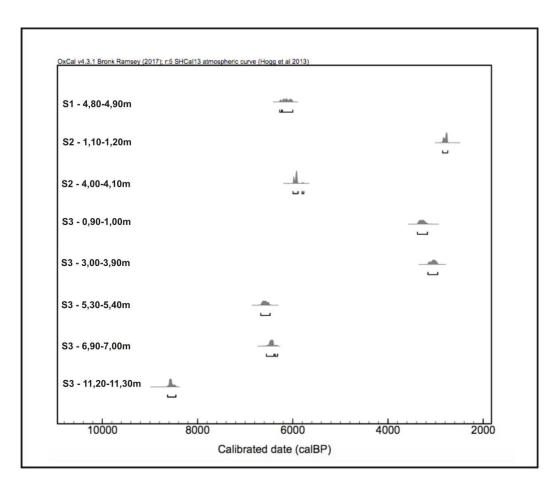


Figura 5.17 – Idades calibradas de radiocarbono das Sondagens 1, 2 e 3.

5.3.2. Sondagem 2

A Sondagem 2 está localizada a cerca de 0,87 km ao norte da linha d'água (Figura 5.1). Foram analisadas amostras de sedimentos das seguintes profundidades: 5,90-5,80m; 5,05-4,95m; 4,10-4, 0; 3,20-3,10; 2,40-2,30m; 1,80-1,70m; 1,20-1,10m; 0,60-0,50m.

Esta sondagem permitiu a coleta de sedimentos até a profundidade de 5,9 metros, numa área de turfeira localizada na margem leste de um antigo canal próximo à retaguarda da barreira arenosa holocênica (Figura 5.1).

Características textural e composicional dos sedimentos

A caracterização preliminar dos materiais durante a realização da Sondagem 2 permitiu observar que a cor dos sedimentos (Figuras 5.18, 5.19) variou de cinza claro (desde 5,9 até 4 metros de profundidade) a cinza escuro (3,20 a 1,10 m de profundidade) e preto (0,60 a 0,50 m) (Tabelas 5.7, 5.8 e Figuras 5.18, 5.19). De modo geral, as cores observadas em campo coincidiram com as obtidas a partir da Carta de Munsell (Tabelas 5.7, 5.8 e Figuras 5.18, 5.19). As cores mais escuras (cinza escuro e preto) na Sondagem 2 sugerem a existência de condição ambiental predominantemente oxidante. Nas profundidades 1,20-1,10m e 0,60-0,50m, o cheiro forte foi uma característica marcante que pode estar associada, por exemplo, à maior decomposição de matéria orgânica (raízes, fragmentos de madeira, folhas, etc.).

Tabela 5.7 – Sondagem 2 - Características morfológicas das amostras observadas em campo.

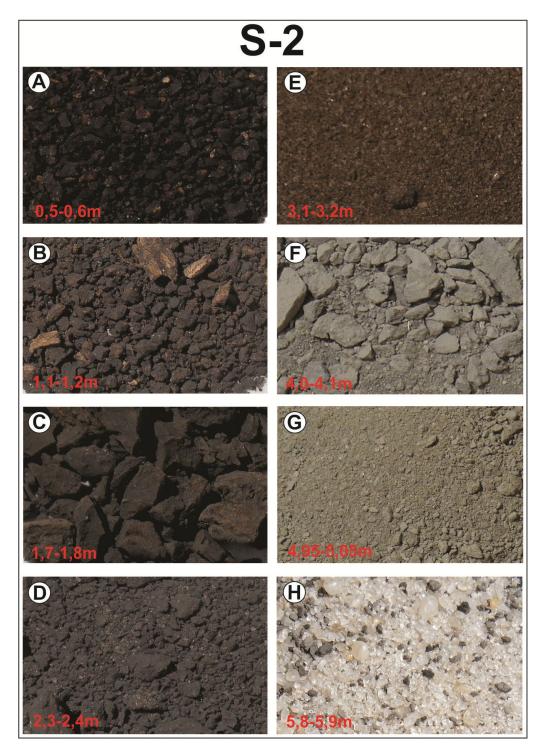
Prof.	~	Co	nchas	- ·	Fragmentos	
(m)	Cor	Inteiras	Fragmentos	Raízes	de madeira	Observações
0,5-0,6	Cinza bem escuro / Preto	-	-	Sim	-	Cheiro forte de decomposição
1,1-1,2	Cinza escuro	-	-	Muitas raízes	Muitos fragmentos	Cheiro forte de decomposição
1,7-1,8	Cinza escuro	-	-	1	Sim	-
2,3-2,4	Cinza escuro	-	-	-	-	-
3,1-3,2	Cinza escuro	-	-	-	-	Maior presença de areia
4,0-4,1	Cinza claro	-	-	-	Sim	Material muito consolidado
4,95-5,05	Cinza claro	-	-	-	-	Material menos consolidado
5,8-5,9	Cinza muito claro	-	-	-	-	Material menos consolidado

Tabela 5.8 – Resultados das análises de sedimentos coletados na Sondagem 2 na planície costeira de Itaipuaçú.

Prof. (m)	Cor	Cas.	Areia		A	reia (%))		Lama (%)			Lama	(%)			Classificação textural	Granulometria predominante	Seleciona- mento
	(Carta de Munsell)*1	(%)	(%)	AMG	AG	AM	AF	AMF	(78)	SMG	SG	SM	SF	SMF	ARG	textur ur	predominante	
0,5-0,6	10YR 2/1 Black	19,6	71,59	25	15	4,6	4	3,4	28,41	5,8	7,6	5,4	4,1	3,1	2,4	Areia lamosa	Areia muito grossa	PS
1,1-1,2	2.5YR 2.5/1 Reddish black	11,3	65,49	24	16,6	6,3	4	3,3	34,51	11,9	7,8	4,8	4	3,1	2,9	Areia lamosa	Areia muito grossa	PS
1,7-1,8	7.5YR 3/1 Very dark gray	1,1	30,48	8,2	8,3	4,8	3,7	4,3	69,52	23,4	20,6	14,2	11,8	10	9,1	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
2,3-2,4	7.5YR 2.5/1 Black	0	23,13	0	2,8	11,3	7,3	1,7	76,87	14,5	16,4	12,9	12,8	10,9	9,4	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
3,1-3,2	2.5YR 4/1 Dark reddish gray	1,3	46	0,4	20	21,9	1,9	0,5	54	10,8	14,7	10,2	8	5,7	4,6	Areia lamosa	Areia média	MS
4,0-4,1	2.5Y 5/1 Gray	0	2,62	0	0,5	0,5	0	1,6	97,38	15,7	22,7	20,1	16	12,2	10,7	Lama	Silte grosso	PS
4,95-5,05	2.5Y 4/1 Dark gray	0	6,04	0	0,4	0,6	0,3	4,7	93,96	26,3	20,2	15,6	13,2	10,1	8,5	Lama	Silte muito grosso	PS
5,8-5,9	5Y 7/1 Light gray	0	9,35	0,3	2,3	3,3	2,2	1,2	90,65	25	19,3	14	12,8	10,6	9	Lama	Silte muito grosso	PS

^{*&}lt;sup>1</sup>A cor das amostras foi observada depois de secas.

Cas. – Cascalho, AMG – Areia muito grossa, AG – Areia grossa, AM – Areia média, AF – Areia fina, AMF – Areia muito fina, SMG – Silte muito grosso, SG – Silte grosso, SM – Silte médio, SF – Silte fino, SMF – Silte muito fino, ARG – Argila. PS – Pobremente selecionado, MPS – Muito pobremente selecionado. MS – Moderadamente selecionado



 $Figura\ 5.18-Sedimentos\ coletados\ na\ sondagem\ 2\ na\ planície \ costeira\ de\ Maricá.\ Os\ valores\ em\ metros\ indicam\ a\ profundidade.$

Os sedimentos da Sondagem 2 são predominantemente lamosos, com presenca de areias em alguns níveis de profundidade (Tabela 5.8). As amostras mais próximas da base (5,90-5,80m e 5,05-4,95m) apresentaram um material menos consolidado, mais plástico, seguido por um nível com sedimentos mais consolidados, bem argilosos. Esta observação de campo se confirmou na análise granulométrica. Da base para o topo, foram encontrados os seguintes resultados para a análise granulométrica (Tabela 5.8): entre 5,90-5,80m e 4,10-4,0m há o predomínio de sedimentos lamosos (90,65% e 97,38%, respectivamente); na profundidade de 3,20-3,10m observou-se uma mudança significativa com aumento no teor de areias (46%), sobretudo da fração areia média, e com a presença discreta de cascalhos (1,3%) (Figura 5.19). Essa mudança no padrão de sedimentação identificada na camada em torno de 3 metros de profundidade evidencia um aumento na energia do ambiente. Nas profundidades de 2,40-2,30m e 1,80-1,70m, a quantidade de lama nos sedimentos aumenta (para 76,87% e 69,52%, respectivamente), com concomitante diminuição na quantidade de areias (23,13% e 30,48%, para as mesmas profundidades) (Figura 5.19). Essa mudança sugere uma diminuição na energia hidrodinâmica do ambiente. Desde a profundidade de 1,20-1,10m até a superfície predominam areias (65,49-71,59%) sobre os sedimentos lamosos (34,51-28,41%), com aumento expressivo no percentual de cascalhos (11,3-19,6%) (Tabela 5.8 e Figura 5.18). Essa mudança em relação à camada subjacente sugere um forte incremento na energia do ambiente. Os cascalhos em geral apresentaram grau de arredondamento variando entre subarredondado e anguloso (Figura 5.20).

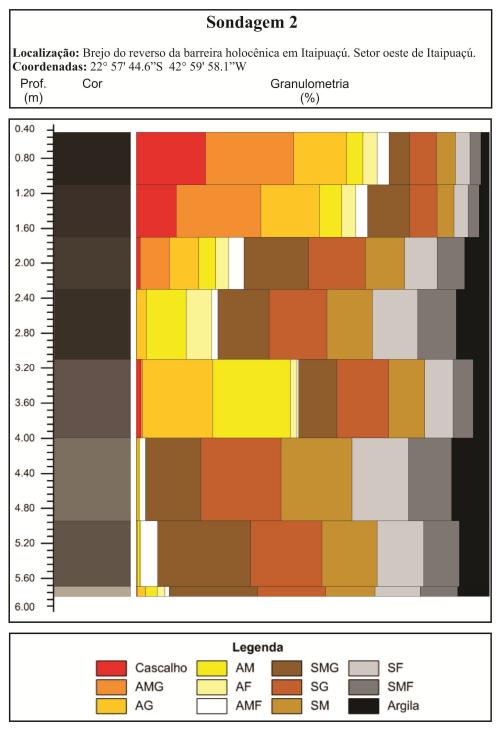


Figura 5.19 – Cor e granulometria dos sedimentos da Sondagem 2. Legenda: Areia muito grossa (AMG), Areia grossa (AG), Areia média (AM), Areia fina (AF), Areia muito fina (AMF), Silte muito grosso (SMG), Silte grosso (SG), Silte médio (SM), Silte fino (SF), Silte muito fino SMF).

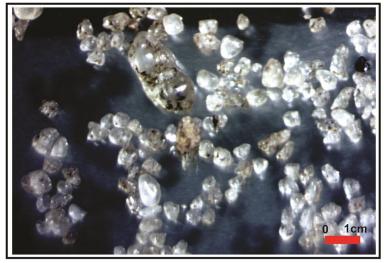


Figura 5.20 – Sedimentos grossos da Sondagem 2. Prof. 3,10-3,20m (subarredondados, arredondados e alguns bem arredondados).

Teor de carbono orgânico total (COT) e de carbonatos de cálcio (CaCO3) nos sedimentos

O teor de carbono orgânico total (COT) na Sondagem 2 apresentou percentuais entre 1,20% e 81,24% (Tabela 5.9). Os valores de COT variaram bastante de 5 m até a profundidade em torno de 0,5 metro (Tabela 5.9). As maiores concentrações de carbono orgânico total foram verificadas nas profundidades em torno de 5m (61,80%), 1,1m (62,13%) e 0,5 m (81,24%) (Tabela 5.9 e Figura 5.21A). Os resultados do COT para a Sondagem 2 são mais elevados quando comparados à sondagem 1 (Tabela 5.3 e Figura 5.4). Não foi observada uma tendência gradual de aumento no teor de COT em direção ao topo, ao contrário, os valores variaram bastante (Tabela 5.9 e Figura 5.21A). Essa variação perece estar diretamente relacionada com as mudanças na granulometria dos sedimentos da sondagem 2 (Tabela 5.8). O menor valor de COT (1,2%), observado na profundidade de 3 metros, corresponde exatamente à camada com a maior concentração de areias (46%) (Tabela 5.8). Na camada superior (entre 1,1 e 0,5 m), apesar da grande quantidade de areias e cascalhos (Tabela 5.8), o elevado teor de COT (62,13-81,24%) pode estar relacionado à matéria orgânica moderna (Tabela 5.9 e Figura 5.21A). As amostras da Sondagem 2, com predomínio de sedimentos de granulometria fina, não apresentaram um padrão constante de diminuição do teor de COT conforme o aumento da profundidade, embora tenha havido redução se comparado com as amostras até aproximadamente 1m (Tabela 5.9 e Figura 5.21A).

O teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) apresentou percentuais entre o mínimo de 1,96% e 16,26% (Tabela 5.9 e Figura 5.21B). O menor percentual de carbonato de cálcio foi observado na profundidade de 3,1 metros, coincidindo com o menor teor de COT (Tabela 5.9

e Figura 5.21B). A profundidade onde o teor de carbonatos foi maior correspondeu à de 1,20-1,10m, mais próxima ao topo (Tabela 5.9 e Figura 5.21B). Desta forma, evidenciou-se uma distribuição relativamente homogênea no teor de carbonato de cálcio (em torno de 10%) na Sondagem 2, com variações para mais ou para menos em resposta à granulometria (em 3 metros) e à proximidade com a superfície (em torno de 1 metro) (Tabela 5.9 e Figura 5.21B).

Tabela 5.9 – Percentual de carbono orgânico total (COT) e de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 2.

Prof. (m)	% COT	% CaCO ₃
0,5-0,6	81,24	13,66
1,1-1,2	62,13	16,26
1,7-1,8	10,60	12,94
2,3-2,4	7,78	7,96
3,1-3,2	1,20	1,96
4,0-4,1	11,98	10,29
4,95-5,05	61,80	10,34
5,8-5,9	8,98	*

*Análise não realizada

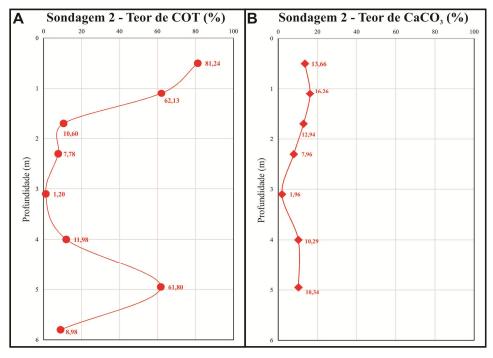


Figura 5.21 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 2.

Biomineralizações de sílica amorfa

Espículas de esponja

A quantidade de espículas de esponjas na Sondagem 2 variou entre 1 e o máximo de 113 unidades (Tabela 5.10 e Figura 5.22). A quantidade de espículas de esponja na amostra correspondente à base (5,90-5,80m de profundidade) foi de apenas 8 espiculas; com aumento na profundidade seguinte (5,05-4,95m), onde foram registradas 49 espiculas (Tabela 5.10 e Figura 5.22). Entre 5,0 e 1,70 metros de profundidade, verificou-se um decréscimo gradual na quantidade de espículas de esponja de 49 para 18 espiculas (Tabela 5.10 e Figura 5.22). Na profundidade em torno de 1,10m houve um forte aumento no total de espículas de esponja (subindo para 113 registros), apresentando a maior concentração de espículas da Sondagem 2 (Tabela 5.10 e Figura 5.22). Esse quantitativo se reduziu para apenas 1 espícula de esponja na amostra correspondente ao topo (0,60-0,50m) (Tabela 5.10 e Figura 5.22).

Em geral, as espículas de esponja não apresentaram um elevado percentual de preservação na Sondagem 2 (Figura 5.23). As megascleras, exceto em 0,60-0,50m de profundidade, encontravam-se bastante fragmentadas, havendo registro de megasclera intacta somente nas profundidades de 1,20-1,10m e 0,60-0,50m (Tabela 5.10 e Figura 5.23). Esse elevado grau de fragmentação sugere um ambiente de energia hidrodinâmica mais intensa.

Na Sondagem 2, com exceção da profundidade próxima ao topo, foram encontradas megascleras de esponja em todas as amostras analisadas (Tabela 5.10). A profundidade de 5,80-5,70m (que corresponde à base) apresentou somente 8 fragmentos de megascleras (Tabela 5.10). Essa quantidade aumentou para 48 fragmentos na profundidade seguinte (5,05-4,95m). Ainda nesta profundidade foi observado 1 fragmento de espícula de esponja marinha, possivelmente tilóstilo. No intervalo de 4,10-4,00m não houve mudança significativa na distribuição das espículas em relação à profundidade anterior. A quantidade continuou pouco abundante, também com registro de 1 espícula de esponja de origem marinha, porém inteira. A partir do intervalo 3,20-3,10m até 1,80-1,70m, a quantidade de megascleras manteve-se pequena, com apenas dois fragmentos de espículas de esponja marinha. Na profundidade de 1,20-1,10m, a quantidade de espículas de esponja subiu, passando para 113 registros, dos quais 6 correspondem a gemoscleras intactas e 7 fragmentos de espécies pertencentes ao gênero *Anhetereomeenya* sp (Tabela 5.10 e Figura 5.8F, G, H); também foram encontrados 17 registros de megascleras intactas (Tabela 5.10 e Figura 5.8E). Na profundidade de 0,60-0,50m o registro de espículas tornou-se raríssimo, verificando-se apenas uma megasclera intacta.

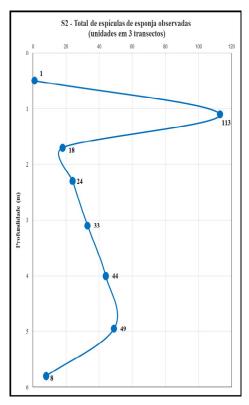


Figura 5.22 – Total de espículas de esponja observadas na Sondagem 2.

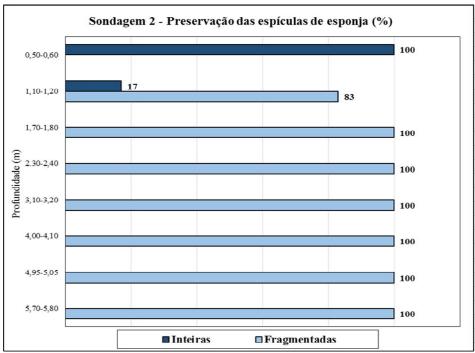


Figura 5.23 – Percentual de preservação das espículas de esponjas na Sondagem 2.

Tabela 5.10 – Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da Sondagem 2.

							FIT	ÓLIT	OS								ECD	ícu /	AC DE	ESPO	NITA		FRÚ	STUL	AS DE
	D 11:			21 1 1	Tipos	s (%)						р		Índi	ces		ESF		AS DE nidade		NJA			TOMÁ unidad	
ade	Bullį	form	(Globula	r						fied	ssified	itos		<u>.</u>								,	umuau	les)
Profundidade (m)	Parallelepipedal	Cuneiform	Granulate	Psilate	Echinate	Elongate	Acicular	Bilobate	Others short cells (rondel + cross)	Trapez <u>i</u> form	Fitólitos classified (Unid.)	Fitólitos unclass (Unid.)	Totais deFitólitos (Unid.)	Índice D/P*	Índice Bi (%) **	Megasscleras (Inteiras)	Megascleras (Fragmentadas)	Gemoscleras (Inteiras)	Gemoscleras (Fragmentadas)	Marinhas (Inteiras)	Marinhas (Fragmentadas)	Totais	Inteiras	Fragmentadas	Totais
0,50-0,60	5,8	0,6	48,4	5,8	27,1	6,5	3,9	1,9	0,0	0,0	465	90	555	3,95	53	1	0	0	0	0	0	1	3	6	9
1,10-1,20	11,1	0,0	65,1	0,0	11,1	3,2	7,9	1,6	0,0	0,0	189	123	312	3,15	54	17	83	6	7	0	0	113	0	3	3
1,70-1,80	22,9	8,6	15,7	0,0	11,4	17,1	8,6	2,9	2,9	10,0	70	19	89	0,28	56	0	16	0	0	0	2	18	1	9	10
2,30-2,40	12,6	1,6	65,8	0,0	10,5	6,3	3,2	0,0	0,0	0,0	570	360	930	3,79	82	0	24	0	0	0	0	24	114	165	279
3,10-3,20	25,2	17,3	14,0	0,0	7,0	15,9	9,0	2,3	1,3	8,0	301	94	395	0,22	67	0	33	0	0	0	0	33	2	3	5
4,00-4,10	23,9	20,0	20,3	0,0	7,1	14,8	6,1	0,0	0,0	7,7	310	56	366	0,35	76	0	43	0	0	1	0	44	64	38	102
4,95-5,05	13,6	3,4	52,5	0,0	13,6	8,5	8,5	0,0	0,0	0,0	177	90	267	2,07	67	0	48	0	0	0	1	49	51	63	114
5,80-5,90	29,8	6,9	28,7	0,0	8,7	5,8	6,9	1,5	1,1	10,5	275	59	334	0,51	65	0	8	0	0	0	0	8	21	44	65

^{*}Índice $D/P = [globular\ granulate\ /\ (short\ cells\ +\ acicular\ +bulliform)]$

^{**}Índice Bi (%) = [(Bulliform parallelepipedal + bulliform cuneiform) / (short cells + acicular + bulliform parallelepipedal + bulliform cuneiform)] x 100

Frústulas de diatomáceas

A presença de frústulas de diatomáceas na base da sondagem (5,9 m de profundidade) corresponde a 65 unidades, considerando-se as inteiras e fragmentadas (Tabela 5.10 e Figura 5.24). Nas profundidades de 5,05-4,95m e 4,10-4,00m ocorre um aumento na quantidade de frústulas de diatomáceas, com 114 e 102 unidades, respectivamente (Tabela 5.10 e Figura 5.24). Em 3,20-3,10m de profundidade houve uma forte redução no número de frústulas de diatomáceas para apenas 5 unidades (Tabela 5.10 e Figura 5.24). Na profundidade de 2,40-2,30m foi observado um aumento bem marcante da quantidade frústulas de diatomáceas em comparação com as demais profundidades, alcançando um total de 279 registros (Tabela 5.10 e Figura 5.24). Nas amostras seguintes (1,80-1,70m, 1,20-1,10m e 0,60-0,50m) houve novamente forte redução na quantidade de frústulas de diatomáceas para apenas 10, 3 e 9 unidades, respectivamente (Tabela 5.10 e Figura 5.24).

As frústulas de diatomáceas apresentaram em geral um baixo percentual de preservação. No entanto, encontram-se mais preservadas do que as espículas de esponja. excetuando-se a profundidade 1,20-1,10m, onde as 3 frústulas encontradas estavam fragmentadas. Nas demais profundidades, o menor percentual de frústulas intactas foi de 13% (1,80-1,70m); somente na profundidade de 4,10-4,0m o percentual de frústulas inteiras (63%) foi superior ao de fragmentadas. (Tabela 5.10 e Figura 5.25). As frústulas de diatomáceas apresentaram um grau de fragmentação menor que o das espículas de esponjas, devido a sua natureza menos frágil. O maior grau de preservação das frústulas de diatomáceas observado na Sondagem 2 (Figura 5.25), em comparação à Sondagem 1 (Figura 5.10), pode estar relacionado não só à existência de um ambiente calmo, mas também ao predomínio de sedimentos finos, que favorecem a conservação dos bioindicadores.

As frústulas de diatomáceas encontradas correspondem às seguintes espécies: *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Terpsinoë americana* (Bailey) (Figura 5.11H) e *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing, na profundidade 5,90-5,80m; *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, na profundidade 5,05-4,95m; *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs (Figura 5.11G) e espécie do gênero *Cyclotella*, podendo ser *C. striata* ou *C. stylorum*, na profundidade 4,10-4,00m; *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs (Figura 5.11F), na profundidade 3,20-3,10m; espécie do gênero *Cyclotella striata* ou *C. stylorum*, na profundidade 2,40-2,30m; *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs e *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing (Figura 5.11E), na profundidade 1,80-1,70m; *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, na profundidade 0,60-0,50m (Tabela

5.11). Na profundidade de 1,20-1,10m as frústulas de diatomáceas encontravam-se bem fragmentadas, o que não permitiu sua identificação.

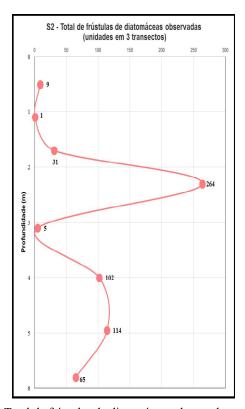


Figura 5.24 – Total de frústulas de diatomáceas observadas na Sondagem 2.

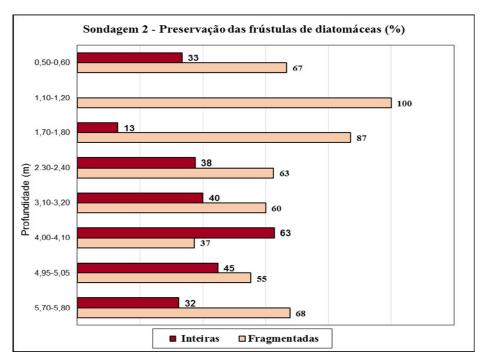


Figura 5.25 – Percentual de preservação das frústulas de diatomáceas na Sondagem 2.

Tabela 5.11 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 2 e suas características ambientais.

Prof. (m)	Nome do gênero / espécie	Características ambientais
0,50-0,60	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina
1,10-1,20	Só fragmentos	-
1 =0 1 00	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
1,70-1,80	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina
	Navicula peregrina (Ehrenberg) Kützing	Bentônica de água salobra
2,30-2,40	Cyclotella striata ou C. stylorum.	Marinha, litorânea, eurihalina
3,10-3,20	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina
4,00-4,10	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina
4,00-4,10	Cyclotella striata ou C. stylorum	Marinha, litorânea, eurihalina
4,95-5,05	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea, eurihalina
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
5,80-5,90	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinho, litorânea, eurihalina
	Navicula peregrina (Ehrenberg) Kützing	Bentônica de água salobra

Fitólitos

O estoque de fitólitos na Sondagem 2 apresentou valores entre 267 e 395 registros da base até a profundidade de 3,20-3,10m, sendo que grande parte corresponde ao morfotipo *bulliform* (Tabela 5.10 e Figura 5.26). Na profundidade de 2,40-2,30m, porém, o estoque de fitólitos mais que dobrou em relação à profundidade anterior, apresentando a maior concentração de fitólitos desta sondagem, com 930 unidades. Esse valor tão expressivo está provavelmente associado ao aumento da biomassa, visto que a subida do índice D/P, de 0,22 (na profundidade 3,10-3,20m) para 3,79 (na profundidade 2,30-2,40m), indicou uma mudança significativa na formação vegetal, de predominantemente herbácea para predominantemente arbustiva/arbórea (Tabela 5.10).

O total de fitólitos sofreu uma forte diminuição na profundidade de 1,80-1,70m (caindo para somente 89 fitólitos), momento em que foi observada nova redução no índice D/P. Nas profundidades seguintes, o estoque de fitólitos voltou a apresentar aumento para 312 registros (1,20-1,10m) e 555 registros (0,60-0,50m) (Tabela 5.10 e Figura 5.26), estando este aumento provavelmente relacionado ao fato de se tratar de material mais moderno.

Os fitólitos apresentaram um elevado grau de preservação na Sondagem 2 (Tabela 5.10 e Figura 5.27). Em todas as amostras analisadas o percentual de *classified* foi maior que

o de *unclassified* e esteve sempre acima de 60%, ultrapassando 80% nas profundidades de 5,90-5,80m, 4,10-4,00m e 0,60-0,50m (Tabela 5.10 e Figura 5.27).

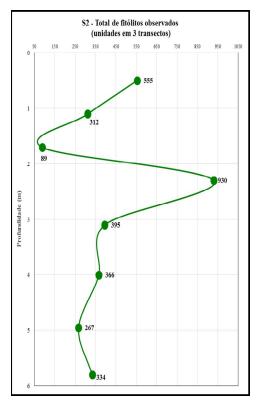


Figura 5.26 – Total de fitólitos observados na Sondagem 2.

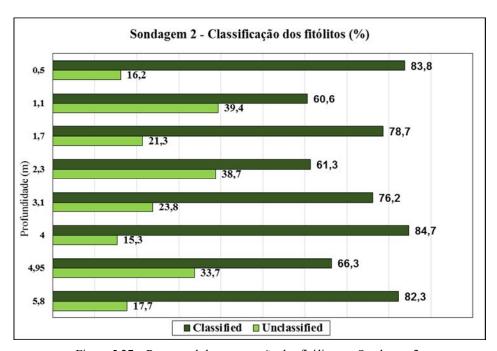


Figura 5.27 – Percentual de preservação dos fitólitos na Sondagem 2.

Os morfotipos de fitólitos mais frequentes na sondagem 2 são (Figuras 5.15 J a P e 5.26): na profundidade de 5,80-5,70m o bulliform parallelepipedal (29,8%) e os globulares (28,7% granulate e 8,7% echinate); a quantidade de trapeziform corresponde a 11% do total. Na profundidade de 5,05-4,95m o morfotipo globular granulate é dominante, correspondendo a mais da metade de fitólitos classified na amostra. Em menor proporção, os outros morfotipos mais encontrados são o bulliform parallelepipedal (13,6%) e o globular echinate (13,6%). Os morfotipos elongate e acicular representam juntos apenas 16% do total. Na profundidade de 4,10-4,00m notou-se o predomínio do morfotipo bulliform parallelepipedal (23,9%) e bulliform cuneiform (20%) uma acentuada redução na quantidade de globular granulate em relação à amostra anterior, que cai para 20,3% e aumento na quantidade do morfotipo elongate, passando a representar 14,8% do total de classified. A presença do morfotipo trapeziform, ausente na amostra anterior, volta a acontecer, correspondendo a 8% dos classified. A profundidade de 3,20-3,10m apresenta um padrão de distribuição de morfotipos muito semelhante à profundidade anterior, observando-se o mesmo predomínio de bulliform parallelepipedal (25,2% do total de classified). Reduz ainda mais a quantidade de globular granulate, que cai para 14% e a proporção de elongate e trapeziform mantém-se praticamente a mesma. (Tabela 5.10 e Figuras 5.28). Na profundidade de 2,40-2,30m, o predomínio do morfotipo globular é marcante: o percentual de globular granulate sobe de 14% para 66% e o de globular echinate passa de 7% para 11%, perfazendo 77% do total de classified da amostra. Em contrapartida os percentuais de bulliform, elongate e acicular sofrem redução. A profundidade 1,80-1,70m apresenta uma forte redução no morfotipo globular granulate, baixando para 15,7% do total de classified; aumenta o percentual de bulliform (22.9%), de elongate (17.1%) e de acicular (8.6%); o morfotipo trapeziform volta a aparecer nesta amostra, representando 10% dos fitólitos classified. Na profundidade de 1,20-1,10m, o morfotipo globular granulate voltou a apresentar um aumento acentuado, com 65,1%; os morfotipos bulliform e elongate sofreram redução e a presença de short cells correspondeu a 1,6% de bilobate. Na profundidade de 0,60-0,50m manteve-se elevada a quantidade de fitólitos do morfotipo globular granulate (48,4%); observou-se também o aumento bem expressivo na quantidade do morfotipo globular echinate (27,1%). O percentual dos morfotipos bulliform e elongate permaneceram pequenos: 6,4% (parallelepipedal e *cuneiform*) e 6,5%, respectivamente (Tabela 5.10).

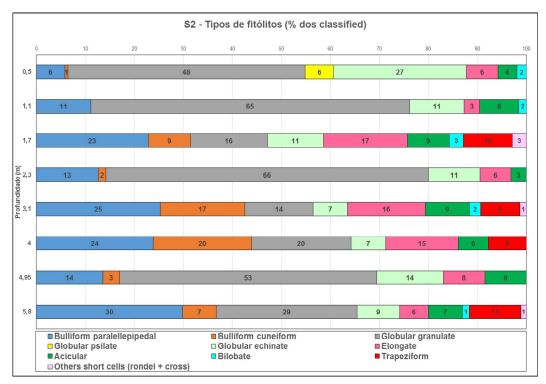


Figura 5.28 – Morfotipos de fitólitos encontrados na Sondagem 2.

Índices Fitolíticos

Índice D/P (Dicotiledôneas / Poaceae)

Na Sondagem 2, o índice D/P variou entre 0,2 e 3,9. Os maiores valores foram encontrados nas profundidades de 5,05-4,95m (2,07), 2,40-2,30m (3,79), 1,20-1,10m (3,15) e 0,60-0,50m (3,95) (Tabela 5.10 Figura 5.29A). Comparada à Sondagem 1 (Tabela 5.4 e Figura 5.16A), a Sondagem 2 apresentou índices D/P mais elevados, sugerindo a presença mais constante de uma cobertura arbustiva/arbórea mais densa no entorno.

Índice Bi% (Estresse hídrico)

Na Sondagem 2, o índice Bi% apresentou valores em torno dos 70%, desde a base até a profundidade de 3,20-3,10m (Tabela 5.10 Figura 5.29A). Na profundidade de 2,40-2,30m este índice subiu para 82% (o mais alto em toda a sondagem), diminuindo nas profundidades seguintes. A partir dos 2,10-2,0m ficou em torno dos 50% (Tabela 5.10 Figura 5.29A). De modo geral, o estresse hídrico sofrido pelas plantas nesta sondagem foi menor do que o da Sondagem 1 (Tabela 5.4 e Figura 5.29B).

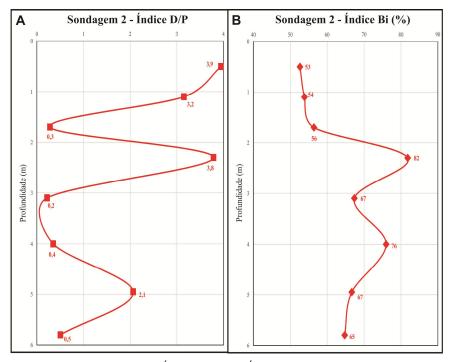


Figura 5.29 – (A) Índice D/P e (B) Índice Bi da Sondagem S2.

Datação

As amostras datadas na sondagem 2 correspondem às profundidades de 4,1-4,0m e 1,2-1,1m. O material utilizado na datação corresponde à matéria orgânica presente nos sedimentos. As idades do radiocarbono indicadas foram: 5995-5768 anos cal AP (4,10-4,0m) e 2860-2740 anos cal AP (1,10-1,0m), respectivamente (Tabela 5.12 e Figura 5.17).

Identificação	da amostra	Ida	de ¹⁴ C	Idade Cal	librada (anos	cal AP)
Profundidade (m)	Tipo de amostra	Idade (anos)	Incerteza (anos)	Idade máxima	Idade mínima	Certeza (%)
1,10-1,20	МО	2720	32	2860	2740	95.4
4,00-4,10	MO	5211	26	5995	5768	95.4

Tabela 5.12 – Resultados da datação por radiocarbono na Sondagem 2.

5.3.3. Sondagem 3

A Sondagem 3 está localizada a cerca de 0,70 km ao norte da linha d'água (Figura 5.1). Esta sondagem permitiu a coleta de sedimentos até a profundidade de 12 metros, numa área de turfeira localizada na margem leste de um antigo canal próximo à retaguarda da barreira arenosa holocênica (Figura 5.1). Foram analisadas as amostras de sedimentos das seguintes

profundidades: 11,50-11,20m; 10,50-10,40m; 9,30-9,20m; 8,40-8,30m; 7,70-7,60; 7,0-6,90m; 6,30-6,20m; 5,40-5,30m, 5,0-4,90m; 4,0-3,90m; 3,0-2,90m; 2,0-1,90m; 1,0-0,90m; 0,10-0,0m.

Características textural e composicional dos sedimentos

A caracterização preliminar dos materiais durante a realização da Sondagem 3 permitiu observar que a cor dos sedimentos é predominantemente cinza, com pouca variação ao longo dos 12 metros de poço perfurado (Tabela 5.13 e Figuras 5.30, 5.31). De modo geral, as cores verificadas em campo coincidiram com as observadas em laboratório a partir da Carta de Munsell (Tabelas 5.13, 5.14 e Figuras 5.30, 5.31). As cores mais escuras (cinza escuro e preto) na Sondagem 3 sugerem a existência de condição ambiental predominantemente oxidante. O forte cheiro de decomposição observado durante a perfuração, mais evidente entre as profundidades de 1,00-0,90m e 3,00-2,90m, aponta para a presença expressiva de matéria orgânica (raízes, fragmentos de madeira, folhas, etc.) em meio aos sedimentos na área da Sondagem 3. Foram encontradas conchas intactas de bivalves da espécie *Anomalocardia brasiliana* em algumas profundidades (11,50-11,20m; 9,30-9,20m; 7,00-6,90m; 6,30-6,20m; 5,40-5,30m), bem como fragmentos dessa mesma espécie nas amostras citadas e também nas profundidades de 10,50-10,40m; 7,70-7,60m; 5,00-4,90m e 4,00-3,90m (Tabela 5.13 e Figura 5.32). Este bivalve é comumente encontrado em ambiente lagunar (águas rasas) e em praias próximas de estuários (SOUZA, 2011).

Os sedimentos da Sondagem 3 são predominantemente lamosos com presença de areias em alguns níveis de profundidade (Tabela 5.14 e Figura 5.31). Da base para o topo, foram encontrados os seguintes resultados para a análise granulométrica (Tabela 5.14): entre 11,50-11,20m e 2,00-1,90m há o predomínio de sedimentos lamosos (acima de 80% em todas as amostras), sugerindo um ambiente deposicional de baixa energia hidrodinâmica. Em 1,00-0,90m, verificou-se aumento no teor de areias (56,39%), com destaque para as frações areia grossa e muito grossa, além da presença expressiva de cascalhos (23,71%) angulosos e subangulosos. Essa mudança no padrão de sedimentação em relação às camadas subjacentes sugere um forte incremento na energia do ambiente. Na superfície (entre 0,10 e 0,0m), a quantidade de sedimentos finos volta a aumentar (99%), sugerindo um retorno às condições de baixa energia observadas anteriormente (Figura 5.31).

Tabela 5.13 – Sondagem 3 - Características das amostras observadas em campo.

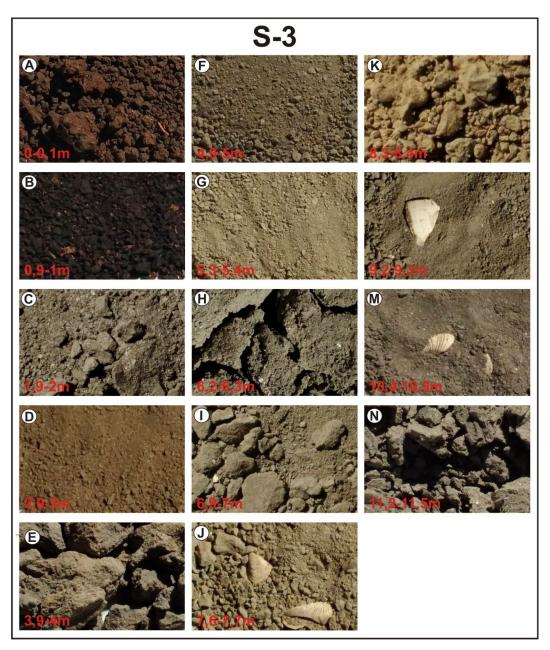
140014	0.15 50	Conchas			Fragment	dads em eamps.
Prof. (m)	Cor	Inteiras	Fragmentos	Raízes	os de madeira	Observações
0 - 0,1	Marrom escuro	Não	Não	Sim	Não	-
0,9 - 1,0	Preto	Não	Não	Não	Sim Pedaços grandes	Cheiro bem forte de matéria orgânica decomposta
1,9-2,0	Cinza escuro	Não	Não	Cheiro forte de matéria orgânica decomposta		
2,9-3,0	Cinza claro	Não Não Não Não				Cheiro forte de matéria orgânica decomposta
3,9-4,0	Cinza claro	Não	Sim	Não	Não	-
4,9-5,0	Cinza claro	Não	Sim	Não	Não	-
5,3-5,4	Cinza claro	3 bivalves intactas da espécie Anomalacardia brasiliana	Sim	Não	Não	-
6,2-6,3	Cinza claro	bivalves intactas da espécie Anomalacardia brasiliana	Sim	Não	Não	-
6,9-7,0	Cinza claro	bivalves intactas da espécie Anomalacardia brasiliana	Sim	Não	Não	-
7,6-7,7	Cinza claro	Não	Muitos	Não	Não	-
8,3-8,4	Cinza escuro	Não	Não	Não	Não	Amostra com muita água
9,2-9,3	Cinza claro	bivalves intactas da espécie Anomalacardia brasiliana	Sim	Não	Não	-
10,4-10,5	Cinza claro	Não	Sim	Não	Não	-
11,2-11,5	Cinza claro	bivalves intactas da espécie Anomalacardia brasiliana	Não	Não	Não	Material menos consolidado

Tabela 5.14 – Resultados das análises de sedimentos coletados na Sondagem 3 na planície costeira de Itaipuaçú.

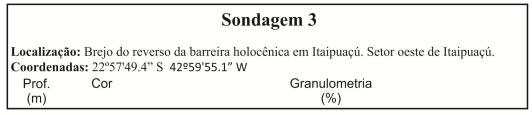
Prof.	Cor	Cas.	Areia		Aı	eia (%)		Lama			Lama	a (%)			Classificação textural	Granulometria	Seleciona
(m)	(Carta de Munsell)* ¹	(%)	(%)	AMG	AG	AM	AF	AMF	(%)	SMG	SG	SM	SF	SMF	ARG	(Folk, 1954 apud McLane, 1995)	predominante	mento
0 - 0,1	10YR 2/2 Very dark brown	0	1	0	0	0	0	1	99	38,3	23,6	15	11,1	6,8	4,2	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
0,9-1,0	10YR 2/1 <i>Black</i>	23,71	56,39	27,76	16,7	6,45	3,47	2,01	19,9	5,54	5	3	2,54	1,87	1,93	Areia	AMG	PS
1,9-2,0	2.5Y 4/1 Dark gray	0	17,4	0	4	5,6	0,4	7,4	82,6	16,1	19,7	14,7	13,3	10,3	8,5	Lama	Silte grosso	PS
2,9-3,0	5Y 5/1 Gray	0	6,14	0	0,6	0,9	0,1	4,5	93,86	20,5	19	15	14,6	12,5	12,3	Lama	Silte muito grosso	MPS
3,9-4,0	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	11,64	0	1	1,6	0,1	8,9	88,36	18,7	19,8	15	13,3	11	10,5	Lama	Silte grosso	PS
4,9-5,0	2.5Y 4/1 <i>Dark gray</i>	0	9,54	0	1	1,7	0	6,8	90,46	20	18,8	13,5	13,3	12,2	12,7	Lama	Silte muito grosso	PS
5,3-5,4	2.5Y 6/1 <i>Gray</i>	0	4,14	0	0,3	0,5	0	3,3	95,86	20,7	19,3	15,2	15,3	12,8	12,5	Lama	Silte muito grosso	PS
6,2-6,3	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	7,8	0	0,5	0,9	0,6	5,8	92,2	23,7	17,2	14,1	14	12,1	11,1	Lama arenosa	Silte muito grosso	MPS
6,9-7,0	2.5Y 5/1 Gray	0	9,24	0	0,8	1,7	1,1	5,7	90,76	18,2	19,4	15,5	15,1	11,9	10,6	Lama	Silte grosso	PS
7,6-7,7	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	11,4	0	0,8	1,8	0,9	7,9	88,6	21,2	19,1	14,9	13,2	10,7	9,5	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
8,3-8,4	2.5Y 4/1 Dark gray	0	3,68	0	0,3	0,5	0	2,9	96,32	23,8	22,7	16,3	14,2	10,3	9	Lama	Silte muito grosso	PS
9,2-9,3	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	13,12	0	0,1	0,7	0,3	0	86,88	24,7	20,9	14,2	11,7	8,7	6,7	Lama arenosa	Silte muito grosso	PS
10,4-10,5	5Y 5/1 Gray	0	18,79	0	2,9	3,9	0	12	81,21	16,5	20,4	15	11,9	9,3	8,1	Lama	Silte grosso	PS
11,2-11,5	5Y 5/1 <i>Gray</i>	0	7,19	0	0,6	0,8	0,3	5,5	92,81	17,6	21,2	17,8	15,1	11,3	9,8	Lama	Silte grosso	PS

^{*1} A cor das amostras foi observada quando as mesmas foram coletadas, ainda molhadas.

Cas. - Cascalho, AMG – Areia muito grossa, AG – Areia grossa, AM – Areia média, AF – Areia fina, AMF – Areia muito fina, SMG – Silte muito grosso, SG – Silte grosso, SM – Silte médio, SF – Silte fino, SMF – Silte muito fino, ARG – Argila. PS – Pobremente selecionado, MPS – Muito pobremente selecionado.



 $\mbox{Figura 5.30 - Sedimentos coletados na Sondagem 3 na planície costeira de Maricá. Os valores em metros indicam a profundidade. }$



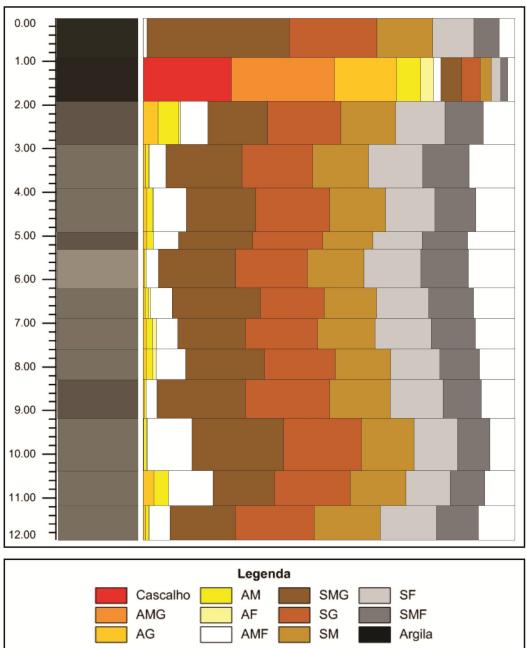


Figura 5.31 – Cor e granulometria dos sedimentos da Sondagem 3. Legenda: Areia muito grossa (AMG), Areia grossa (AG), Areia média (AM), Areia fina (AF), Areia muito fina (AMF), Silte muito grosso (SMG), Silte grosso (SG), Silte médio (SM), Silte fino (SF), Silte muito fino SMF).

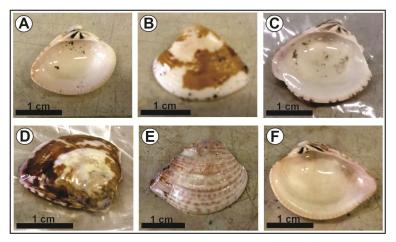


Figura 5.32 – Carapaças de concha da espécie *Anomalocardia brasiliana* encontradas na Sondagem 3: (A, B) Profundidade de 5,30-5,40m; (C, D) Profundidade de 6,20-6,30m; (E, F) Profundidade de 11,20-11,50m.

Teor de carbono orgânico total (COT) e de carbonatos de cálcio (CaCO3) nos sedimentos

O teor de carbono orgânico total (COT) na Sondagem 3 apresentou percentuais entre 3,76% e 34,59%, variando bastante desde a base até o topo (Tabela 5.15). Há um aumento gradual no percentual de COT entre a base e a profundidade de 8,40-8,30m, quando atinge 14,29% (Tabela 5.15). A partir desta profundidade o teor de COT diminui, mantendo-se em torno de 5% até a profundidade de 1 metro, quando aumenta significativamente para 26,36%. Esse aumento é também observado na superfície (0,10-0m), que apresenta teor de COT de 34,59% (Tabela 5.15 e Figura 5.33A). Apesar da grande quantidade de areias e cascalhos (Tabela 5.15) entre 1 metro de profundidade e a superfície, o teor de COT se apresentou mais elevado (26,36-34,59%), o que pode estar relacionado à matéria orgânica moderna (Tabela 5.15 e Figura 5.33A). Os resultados do COT para a Sondagem 3 são menos elevados quando comparados à Sondagem 2 (Tabela 5.9 e Figura 5.21A). Da mesma forma que na Sondagem 2, não foi observada uma tendência gradual de aumento no teor de COT em direção ao topo, ao contrário, os valores também variaram bastante (Tabela 5.15 e Figura 5.33A). Essa variação foi bem expressiva da base até cerca de 2m de profundidade. Neste intervalo, o maior percentual de COT foi observado na profundidade 8,40-8,30m (14,29%). O fato desta amostra, apesar de mais profunda, apresentar um percentual superior a outras mais próximas da superficie pode estar relacionado a dois fatores: a maior quantidade de biomassa e a grande concentração de sedimentos finos (96,32%) (Tabela 5.14). Entre 1m e o topo da sondagem, o aumento nos percentuais de COT pode ser decorrente do fato destas amostras receberem uma contribuição da matéria orgânica moderna maior, proveniente da vegetação que ainda ocupa a área amostrada.

A/ COT	
% COT	% CaCO ₃
34,59	40,69
26,36	4,41
5,82	9,85
8,82	14,85
3,76	6,34
6,11	9,95
3,95	9,45
5,45	13,17
3,76	8,37
4,78	13,24
14,29	15,20
	34,59 26,36 5,82 8,82 3,76 6,11 3,95 5,45 3,76 4,78

6,00

5,08

4,04

17,73

8,21

10,4-10,5

11,2-11,5

Tabela 5.15 – Percentual de carbono orgânico total (COT) e de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 3.

Da base até cerca de 1m de profundidade da Sondagem 3, a distribuição do teor de carbonato de cálcio apresentou valores que variaram entre 4,41% (na profundidade 1,00-0,90m, onde ocorreu o menor teor de COT) e 19,1%. O maior percentual de carbonato de cálcio foi observado no topo (40,69%), possivelmente por se tratar de sedimentos modernos (Tabela 5.15 e Figura 5.33B).

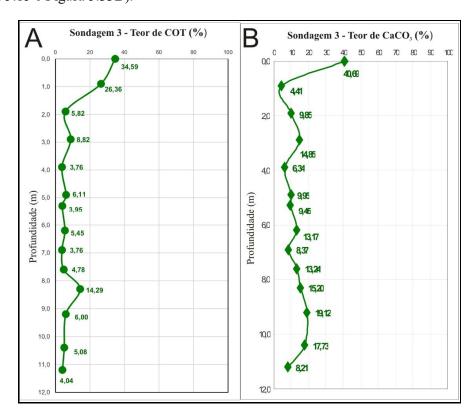


Figura 5.33 – (A) Percentual de carbono orgânico total (COT) e (B) de carbonato de cálcio (CaCO₃) na Sondagem 3.

Biomineralizações de sílica amorfa

Espículas de esponja

A quantidade de espículas de esponjas na Sondagem 3 variou entre o mínimo de 6 e o máximo de 460 unidades (Tabela 5.16 e Figura 5.34). As maiores concentrações de espículas de esponja foram observadas nas profundidades de 11,50-11,20m e 1,0-0,90m, com 452 e 460 unidades, respectivamente (Tabela 5.16 e Figura 5.34). Nas demais profundidades, a quantidade de espículas de esponjas ficou abaixo de 56 unidades (Tabela 5.16 e Figura 5.34 e). Na profundidade de 3,0-2,90m foi verificada a menor quantidade de espículas de esponjas, com apenas 6 unidades contabilizadas (Tabela 5.16 e Figura 5.34).

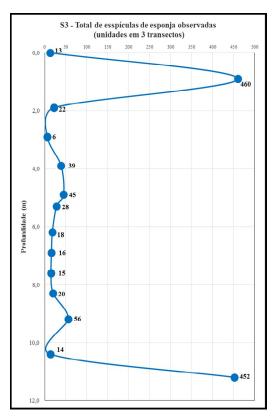


Figura 5.34 – Totais de espículas de esponja na Sondagem 3.

Tabela 5.16– Resultados da contagem das biomineralizações de sílica da Sondagem 3.

								FITÓI	LITOS	1								ESPÍ	CULA	S DE 1	ESPO	NJA			STULA	
<u>e</u>	Bulli	iform	(Globula		Tipos (°	<u>%) </u>					ied		tos	Índi					idade		- 19			FOMÁ(midade	
Profundidade (m)	Paralellepipe dal	Cuneiform	Granulate	Psilate "	Echinate	Elongate	Acicular	Bilobate	Rondel	Others short cells (saddle +	Trape <u>zi</u> form	Fitólitos <i>classified</i> (Unid.)	Fitólitos unclassified	Totais deFitólitos (Unid.)	Índice D/P*	Índice Bi (%)**	Megasscleras (Inteiras)	Megascleras (Fragmentadas)	Gemoscleras (Inteiras)	Gemoscleras (Fragmentadas)	Marinhas (Inteiras)	Marinhas (Fragmentadas)	Totais	Inteiras	Fragmentadas	Totais
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	38	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	62	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	75	4	17	1	0	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	7	0	6	0	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	45	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	70	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	84	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	53	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	47	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	51	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	44	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	35	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	40	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	65	0	450	0	0	1	1	452	534	126	660

^{*}Índice $D/P = [globular\ granulate\ /\ (short\ cells\ +\ acicular\ +bulliform)]$ **Índice $Bi\ (\%) = [(Bulliform\ parallelepipedal\ +\ bulliform\ cuneiform)/\ (short\ cells\ +\ acicular\ +\ bulliform\ parallelepipedal\ +\ bulliform\ cuneiform)]\ x\ 100$

De modo geral, na Sondagem 3, as espículas de esponja não apresentaram um percentual de preservação muito elevado (Figura 5.35). As megascleras apresentaram-se predominantemente fragmentadas. Na profundidade de 1,00m foi registrada a maior quantidade (126 de 460 unidades) de espículas de esponjas intactas, incluindo megascleras (71 unidades), gemoscleras (54 unidades) além de 1 espícula marinha (Tabela 5.16 e Figura 5.35).

Na Sondagem 3, foram encontradas megascleras de esponja em todas as amostras analisadas (Tabela 5.16 e Figura 5.8P e T). A amostra que apresentou a maior quantidade de megascleras (450 unidades) foi a de 11,50-11,20m, no entanto todas se encontravam fragmentadas, possivelmente em consequência do maior tempo de deposição (Tabela 5.16). Apesar de serem compostas por sílica e, consequentemente, resistente às alterações químicas, a morfologia das espículas de esponjas lhes confere certa fragilidade às alterações físicas (efeito abrasivo, fragmentação), que tende a aumentar com a profundidade e compactação dos sedimentos. Isso pode explicar o alto grau de fragmentação das espículas de esponjas nas amostras mais profundas. Foi encontrado registro de espículas de esponja marinha (Figura 5.7N, Q, R e S) na maioria das amostras, com exceção de algumas profundidades, o mesmo ocorrendo em relação aos registros de gemoscleras. As gemoscleras intactas que foram identificadas pertencem ao gênero Anhetereomeenya (profundidades 9,30-9,20m; 8,40-8,30m; 2,00-1,90m e 1,00-0,90m) (Figura 5.8I a M) e ao Corvoheteromeyenia (6,30-6,20m). Nas profundidades 10,50-10,40m, 6,30-6,20m, 5,0-4,90m e 4,0-3,90m as gemoscleras encontradas estavam fragmentadas (Figura 5.8O), o que dificultou a identificação da espécie da esponja (Tabela 5.16).

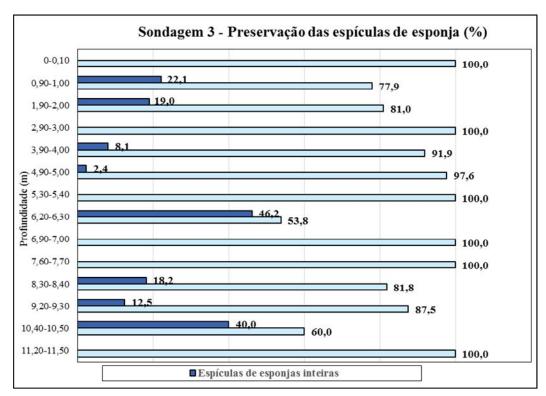


Figura 5.35 – Percentual de preservação das espículas de esponja na Sondagem 3.

Frústulas de diatomáceas

A quantidade de frústulas de diatomáceas observadas na Sondagem 3 variou bastante, desde a total ausência (superfície) até o máximo de 2.730 unidades (7,00-6,90m) (Tabela 5.16 e Figura 5.36). De modo geral, da base até cerca dos 7m a quantidade de frústulas manteve-se alta, sofrendo uma queda na profundidade 6,30-6,20m. A partir daí observa-se uma oscilação maior na quantidade de frústulas (Tabela 5.16 e Figura 5.36). A Sondagem 3 (Tabela 5.16 e Figura 5.36) foi a que apresentou a maior quantidade de frústulas de diatomáceas, quando comparada às outras duas (Tabelas 5.4 e 5.10; Figuras 5.9 e 5.24). Nas sondagens 1 e 2, o máximo de frústulas de diatomáceas encontradas foi de 177 e 264 unidades, respectivamente (Tabela 5.4 e 5.10; Figuras 5.9 e 5.24). A menor quantidade de frústulas (13 unidades) na Sondagem 3 foi registrada na profundidade de 1,00-0,90m, que corresponde exatamente àquela onde foi encontrado o maior quantitativo de espículas de esponja (incluindo gemoscleras), o que sugere a existência de um corpo d'água proeminente (com volume expressivo de água), que teria limitado o desenvolvimento das diatomáceas.

De modo geral, as frústulas de diatomáceas encontram-se relativamente bem preservadas na Sondagem 3. As amostras situadas da base (11,50-11,20m) até a profundidade

5,00-4,90m apresentaram um percentual de frústulas inteiras superior ao de fragmentadas, excetuando-se somente a amostra correspondente a 8,40-8,30m, na qual os percentuais atingem praticamente 50%. A única amostra que não apresentou registro de frústulas foi a referente ao topo (0,10-0,00m) (Tabela 5.16 e Figuras 5.36). Comparada às sondagens 1 (Figura 5.10) e 2 (Figura 5.25), a Sondagem 3 é a que apresenta maior preservação dos bioindicadores analisados neste estudo (Figura 5.37). A preservação das frústulas de diatomáceas sugere deposição em um ambiente calmo e com pouca competência para o retrabalhamento dos materiais depositados.

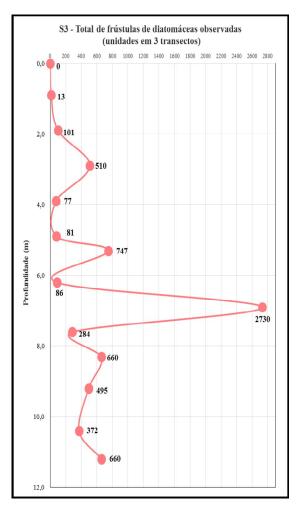


Figura 5.36 – Totais de frústulas de diatomáceas na Sondagem 3.

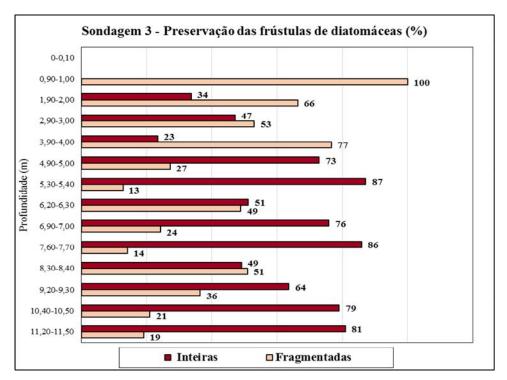


Figura 5.37 – Percentual de preservação das frústulas de diatomáceas na Sondagem 3.

As frústulas de diatomáceas encontradas correspondem às seguintes espécies (Tabela 5.17): espécie do gênero Cyclotella, além de colônias de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, na profundidade de 11,50-11,20; espécies dos gêneros Rhopalodia, Cyclotella, Amphora (?), Staurosira e Staurosirella, além da espécie Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs, na profundidade de 10,50-10,40m; Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve e espécie do gênero Rhopalodia, na profundidade de 9,30-9,20m; espécies Entomoneis alata (Ehrenberg) Ehrenberg (Figura 5.11P) e *Plagiogramma staurophorum* e espécies dos gêneros *Cyclotella*, Amphora, Paralia, Rhopalodia e Navicula, na profundidade de 8,40-8,30m; Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, Plagiogramma staurophorum, além de espécies dos gêneros Cyclotella e Navicula, em 7,70-7,60m de profundidade; espécie Terpsinoë americana (Bailey) e espécies dos gêneros Dimeregramma, Diploneis (Figura 5.110), Rhopalodia profundidade de 7,00-6,90m; espécie Terpsinoë americana (Bailey) (Figura 5.11L e N), algumas colônias de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve e dos gêneros Cyclotella e Rhopalodia (Figura 5.11M), na profundidade 6,30-6,20m; muitas colônias de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (Figura 5.11I), espécies *Plagiogramma Staurophorum* (Figura 5.11K), Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs (Figura 5.11J); gêneros Diploneis, Cyclotella e Navicula, na profundidade 5,40-5,30m; Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs, Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, Plagiogramma Staurophorum, Terpsinoë americana (Bailey) e espécies dos gêneros Cyclotela, Navicula e Rhopalodia, na profundidade 5,00-4,90m; espécies Terpsinoë americana (Bailey), Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs e Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, inclusive em colônias, além de espécies dos gêneros Navicula e Cyclotella, na profundidade de 4,00-3,90m; Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve e espécies dos gêneros Cyclotella, Navicula e Rhopalodia, na profundidade 3,00-2,90m; Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs, Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, Terpsinoë americana (Bailey), além de espécies dos gêneros Cyclotella e Diploneis, na profundidade 2,00-1,90m. Em 1,00-0,90m, o grau de fragmentação das frústulas de diatomáceas dificultou sua identificação; no topo (0,10-0,0m) não foram encontradas frústulas de diatomáceas (Tabela 5.17 e Figura 5.37).

Tabela 5.17 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 3 e suas características ambientais.

Prof. (m)	Nome do gênero / espécie	Características ambientais
0,0-0,10	-	-
0,90-1,00	Só fragmentos	-
	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea e eurihalina
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
1,90-2,00	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Diploneis	Representantes predominantemente marinhos
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
2,90-3,00	Gênero Rhopalodia	Bentônica e de águas salobras
2,90-3,00	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
3,90-4,00	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (colônias)	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinha, litorânea e eurihalina
	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
4,90-5,00	Gênero Rhopalodia	Bentônica e de águas salobras
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Plagiogramma staurophorum	Marinha
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinho, litorânea e eurihalina
	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
5,30-5,40	Gênero Diploneis	Representantes predominantemente marinhos
3,30-3,40	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (colônias)	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Plagiogramma Staurophorum	Marinha
	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
6,20-6,30	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinha, litorânea e e eurihalina

Tabela 5.17 – Identificação das frústulas de diatomáceas encontradas na Sondagem 3 e suas características ambientais (continuação).

Prof. (m)	Nome do gênero / espécie	Características ambientais
6,90-7,00	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Dimeregramma	Ambientes marinho, litoral, principalmente associadas aos sedimentos ou grãos de areia
	Gênero Diploneis	Representantes predominantemente marinhos
	Gênero Rhopalodia	Bentônica e de águas salobras
	Terpsinoë americana (Bailey)	Marinha, litorânea e eurihalina
7,60-7,70	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Plagiogramma staurophorum	Marinha
8,30-8,40	Entomoneis alata	Ambiente de águas marinhas e salobras)
	Gênero Amphora	Ambiente marinho
	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Navicula	Bentônica de água salobra
	Gênero Paralia	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
	Gênero Rhopalodia	Bentônica e de águas salobras
	Plagiogramma staurophorum	Marinha
9,20-9,30	Gênero <i>Rhopaldia</i>	Bentônica e de águas salobras
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais
10,40- 10,50	Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Amphora (?)	Ambiente marinho
	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Gênero Rhopalodia	Bentônica e de águas salobras
	Gêneros Staurosira e Staurosirella	Água doce e ambos os gêneros
		vivem anexados aos grãos de areia
11,20- 11,50	Gênero Cyclotella	Marinha, litorânea e eurihalina
	Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (colônias)	Marinha, litoral de mares calmos e tropicais

<u>Fitólitos</u>

As maiores quantidades de fitólitos na Sondagem 3 foram encontradas nas profundidades 11,50-11,20m (2232 unidades) e 10,50-10,40m (1668 unidades). Na profundidade de 9,30-9,20m houve uma forte redução no estoque de fitólitos (213 unidades). A partir daí, a quantidade de fitólitos manteve-se entre 213 e 681 unidades, apresentando redução mais acentuada nas profundidades 5,00-4,90m (134 unidades) e 2,00-1,90m (88 unidades), a qual apresenta a menor quantidade de fitólitos de toda a sondagem. Em direção ao topo, as profundidades 1,00-0,90m e 0,10-0,00m voltaram a apresentar uma quantidade de fitólitos abundante, com 408 e 358, respectivamente (Tabela 5.16 e Figura 5.38). Se

comparado às sondagens 1 (Figura 5.12) e 2 (Figura 5.26), os estoques de fitólitos encontrados na base e na profundidade de 10,50-10,40m apresentaram totais bem elevados, sobretudo por se tratar de amostras bem mais profundas e, consequentemente, mais antigas. O alto grau de preservação destes indicadores sugere a existência de um ambiente de deposição com condições muito calmas. Além disso, a granulometria com elevado teor de sedimentos finos (92,81% e 81,21% de lama, respectivamente) teria favorecido a preservação.

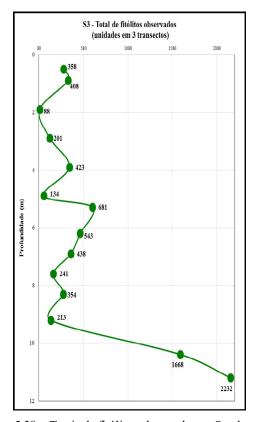


Figura 5.38 – Totais de fitólitos observados na Sondagem 3.

Os fitólitos apresentaram um elevado grau de preservação na Sondagem 3 (Tabela 5.16 e Figura 5.39). Em todas as amostras analisadas o percentual de *classified* foi maior que o de *unclassified* e se manteve sempre acima de 50%, ultrapassando os 70% nas profundidades de 10,40-10,30m; 9,30-9,20m; 8,40-8,30m; 7,70-7,60m; 5,00-4,90m; 4,00-3,90m; 2,00-1,90m; 1,00-0,90m e 0,60-0,50m. A profundidade que apresentou o menor percentual de *classified* foi a de 5,40-5,30m (58%) e a que apresentou o maior percentual de *classified* (85%) foi a correspondente ao topo (0,10-0,00m) (Tabela 5.16 e Figura 5.39).

O morfotipo de fitólito mais frequente na Sondagem 3 foi o globular *granulate*. Outros morfotipos que ocorrem com relativa frequência são *bulliform* (*parallelepipedal* e *cuneiform*), globular *echinate*, *elongate* e *acicular* (Figuras 5.40). Dentre os fitólitos *short cells*, destacamse os morfotipos *trapeziform* e *bilobate* (Tabela 5.16 e Figura 5.40).

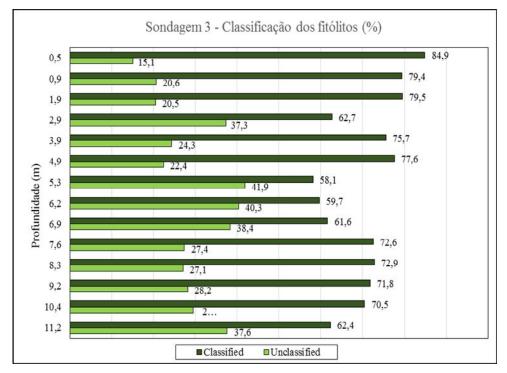


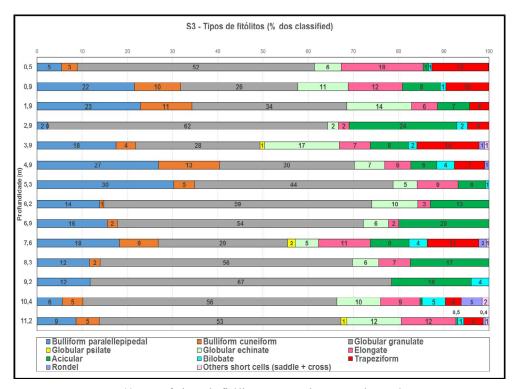
Figura 5.39 – Percentual de preservação dos fitólitos na Sondagem 3.

Os morfotipos de fitólitos predominantes na sondagem 3 foram (Tabela 5.16, Figuras 5.40 e 5.41A a W): na profundidade de 11,50-11,20m, globular granulate (53%), globular echinate e elongate (ambos com 12%) e o bulliform parallelepipedal e cuneiform (somados correspondem a 14%). A profundidade de 10,50-10,40m apresenta um padrão de distribuição de morfotipos de fitólitos muito semelhante à profundidade anterior, mantendo-se o predomínio de globular granulate (56%). Na profundidade de 9,30-9,20m ainda se observa predomínio do morfotipo globular granulate (67%); nota-se, porém, que o percentual de acicular aumenta enquanto que os de globular echinate e elongate desaparecem. Dos short cells, registrou-se a presença apenas do morfotipo bilobate. Na profundidade de 8,40-8,30m, houve uma leve redução no percentual de globular granulate, porém este morfotipo ainda continua dominante; os morfotipos bulliform e acicular mantém quase a mesma proporção que na amostra anterior; o globular echinate e o elongate voltam a aparecer (representando 6% e 7% do total, respectivamente) e não foi observada a presença de short cells. Na

profundidade de 7,70-7,60m observou-se a redução na quantidade de fitólitos do tipo globular granulate. Este morfotipo que, nas profundidades anteriores, esteve acima de 50% dos fitólitos classified, reduziu para 29%. Em contrapartida, houve aumento no número de bulliform, o de elongate teve um pequeno acréscimo e o de trapeziform, que não havia sido registrado na amostra anterior, representa 11% do total de classified. A profundidade de 7,00-6,90m volta a apresentar uma elevação na concentração de fitólitos do tipo globular granulate (54% dos *classified*); aumenta também a quantidade de *acicular* (passando de 9% para 20%) e a de bulliform reduz um pouco. O predomínio do morfotipo globular granulate ocorre também na profundidade de 6,30-6,20m; o morfotipo globular granulate somado ao globular echinate, corresponde a 69% de total de classified na amostra. Diminuiu a quantidade de acicular e de bulliform. Na profundidade seguinte, 5,40-5,30m, observou-se uma pequena redução do domínio do morfotipo globular granulate e o aumento dos fitólitos bulliform, maior participação do morfotipo elongate e menor ocorrência dos morfotipos globular echinate e acicular em comparação com a amostra anterior. Na profundidade de 5,00-4,90m, o percentual de globular granulate se reduz para 30%, já do de bulliform sobe para 40%. Foi observada a presença de alguns fitólitos short cells dos tipos bilobate e trapeziform. A profundidade de 4,00-3,90m foi a que apresentou a maior proporção do morfotipo globular echinate nesta sondagem; a quantidade de globular granulate não sofreu fortes alterações. Por outro lado, a de bulliform reduz para pouco mais da metade, em comparação à amostra anterior. O morfotipo trapeziform dobra em relação ao que foi observado na profundidade anterior. Outros morfotipos como acicular e elongate mantêm uma semelhança muito grande com o que foi visto na distribuição da amostra anterior. Em 3,00-2,90m de profundidade, o morfotipo de fitólito globular granulate volta a se tornar predominante e o globular echinate praticamente desaparece. O segundo morfotipo predominante nesta profundidade foi o acicular. Somados, correspondem a 86% do total de fitólitos classified da amostra. Na profundidade de 2,00-1,90m, a quantidade de fitólitos do tipo globular granulate reduziu para quase a metade e a de bulliform voltou a aumentar, o morfotipo globular echinate subiu para 14% do total de classified e o morfotipo acicular caiu para quase 1/3 do total. O padrão observado na profundidade 1,00-0,90m é bem semelhante ao da profundidade anterior; os morfotipos predominantes continuam sendo: bulliform, globular granulate e globular echinate. O morfotipo elongate subiu de 6 para 12%, e o trapeziform de 4 para 10%. Na profundidade de 0,10-0,0m, os morfotipos de fitólitos que ocorrem com mais frequência são,

respectivamente, o globular *granulate*, *elongate* e *trapeziform* (Tabela 5.16, Figuras 5.40 e 5.41A a W).

A alternância entre os morfotipos de fitólitos identificados na Sondagem 3, ora com o predomínio dos tipos característicos de gramíneas (bulliform, elongate, acicular), ora com os de dicotiledôneas lenhosas (globulares granulate), sugere mudanças no tipo da formação vegetal, associado a condições de maior ou menor umidade no ambiente em decorrência da variação nos índices pluviométricos.



5.40 – Morfotipos de fitólitos encontrados na Sondagem 3.

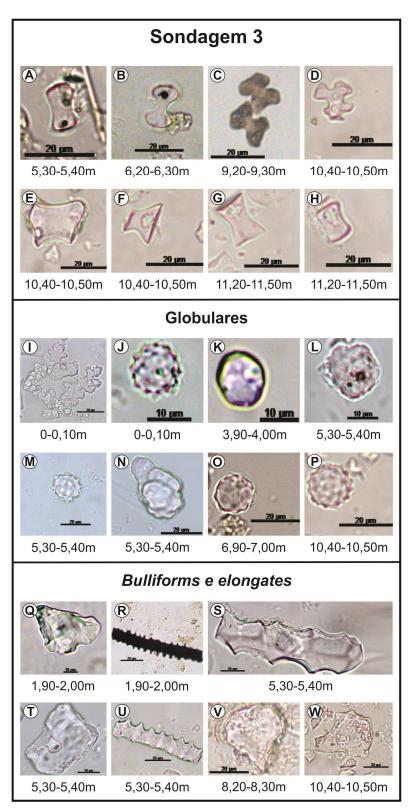


Figura 5.41 – Morfotipos de fitólitos encontrados na Sondagem 3: (A, E, H) sadlle; (B, C) bilobate; (D) cross; (F) rondel; (G) trapeziform; (I, N) globulares granulates articulados; (J, M, P) globular echinate; (K) globular psilate; (L, O) globular granulate; (Q, V, W) bulliform cuneiform; (R) Elongate echinate both side brown; (S) Elongate echinate both side; (T) bulliform parallelepipedal; (U) Elongate echinate one side.

Índices Fitolíticos

Índice D/P

Na Sondagem 3, o índice D/P variou entre 0,5 e 2,5 (Tabela 5.16 e Figura 5.42A). Os maiores valores (igual ou superior a 2) foram encontrados nas profundidades situadas próximo à base (11,50-11,20m; 10,50-10,40m e 9,30-9,20m) e ainda em 6,30-6,20m de profundidade (Tabela 5.16 e Figura 5.42A). As profundidades que apresentaram os índices mais baixos (perto de 0,5) foram: 7,70-7,60m; 5,0-4,90m; 4,0-3,90m e 2,0-1,90m (Tabela 5.16 e Figura 5.42A). Na Sondagem 3, os índices D/P foram mais baixos do que os observados na Sondagem 2. Mesmo nas profundidades da sondagem 3 que apresentaram índices D/P elevados, estes ficaram abaixo dos calculados na Sondagem 2, onde foram encontrados índices acima de 3,0.

Índice Bi

Na Sondagem 3, o índice Bi% variou entre 7 e 84% (Tabela 5.16 e Figura 5.42B). As profundidades onde estes valores se mostraram mais elevados foram: 5,40-5,30m (84%), 5,0-4,90m (70%) e 2,0-1,90m (75%) (Tabela 5.16 e Figura 5.42B). O índice Bi da maior parte das amostras ficou numa faixa entre 45 e 50%. O menor índice Bi (7%) foi encontrado na profundidade de 3,0-2,90m, o que sugere que a vegetação presente no entorno sofreu pouco estresse hídrico. Na Sondagem 3, os valores do índice Bi (acima de 45%) encontrados para a maioria das amostras indica que houve o predomínio de vegetação com maior desenvolvimento das células buliformes (Poaceae e Cyperaceae) possivelmente em consequência de estar sujeita a maior estresse hídrico, seja por uma pluviosidade menor, seja por variações no lençol freático.

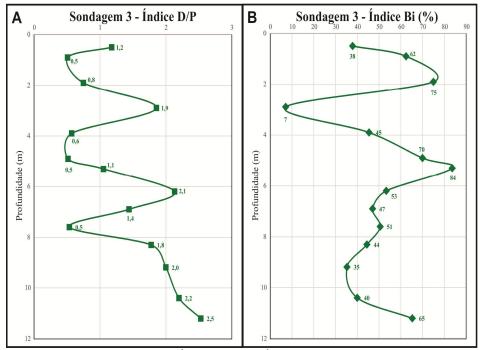


Figura 5.42 – (A) Índice D/P e (B) Índice Bi da Sondagem 3.

Datações

6,90-7,00

11,20-11,50

MO

MO

As amostras datadas na Sondagem 3 correspondem às profundidades de 11,5-11,2m; 7,0-6,9m; 5,4-5,3m; 4,0-3,9m e 1,1-0,9m. As idades do radiocarbono indicadas correspondem a: 8630-8450 anos cal AP (11,5-11,2m), 6560-6320 anos cal AP (7,0-6,9m), 6680-6470 cal AP (5,4-5,3m), 3160-2955 anos cal AP (4,0-3,9m) e 3380-3170 anos cal AP (1,1-0,9m) (Tabela 5.18 e Figura 5.17).

Identificação da amostra Idade 14C Idade Calibrada (anos cal AP) Profundidade Incerteza Idade Certeza Tipo de amostra Idade (anos) Idade máxima (m) (anos) mínima (%) 0,90-1,00 MO 3118 38 3380 3170 95.4 3,90-4,00 MO 2951 25 3160 2955 95.4 5,30-5,40 5825 34 6680 6470 95.4 MO

32

29

6560

8630

6320

8450

95.4

95.4

5710

7826

Tabela 5.18 – Resultados da datação por radiocarbono na Sondagem 3.

5.4. Evolução paleoambiental da planície costeira de Maricá no Holoceno

Após uma análise integrada dos diferentes indicadores selecionados para o desenvolvimento desse estudo, buscou-se identificar as principais características relacionadas às condições ambientais que marcaram a evolução da planície costeira de Maricá ao longo dos últimos 9.000 anos cal AP. A partir de então, foi possível identificar três fases com características paleoambientais distintas e que influenciaram na evolução deste trecho do litoral do Estado do Rio de Janeiro (Tabelas 5.19, 5.20, 5.21 e Figuras 5.43, 5.44, 5.45 e 5.46). Para a individualização e delimitação das fases foram considerados os resultados de estoque de fitólitos, de frústulas de diatomáceas e espículas de esponjas e o índice D/P. Foi analisada a distribuição e estado de conservação dos bioindicadores, associado à variação no índice D/P, no caso dos fitólitos, que permitiu a identificação de períodos de maior ou menor umidade e as consequentes modificações na cobertura vegetal. Foram considerados também a granulometria dos sedimentos, a origem dos *proxies* aquáticos (marinhos ou continentais) e os morfotipos dos fitólitos.

Fase 1

A fase 1 aparece nas sondagens 1 e 3 entre as profundidades 6,0m a 4,0m (Sondagem 1) e 11,5m a 5,3m (Sondagem 3) (Figuras 5.43 e 5.45) e corresponde ao intervalo entre aproximadamente 8500 e 6500 anos cal AP.

Esta fase é marcada pela deposição predominante de sedimentos lamosos (Tabelas 5.19, 5.21 e Figuras 5.43, 5.45), evidenciando um ambiente de baixa energia hidrodinâmica; por um número elevado de espículas de esponjas (Tabela 5.22) e uma grande quantidade de frústulas de diatomáceas (6056 registros no total das sondagens 1 e 3), das quais 74% encontravam-se preservadas (Tabela 5.22). Neste intervalo a preservação das espículas de esponjas foi baixa (Tabela 5.22), ao contrário do que ocorreu com as frústulas de diatomáceas (Tabela 5.22). Esta fase também é marcada por uma grande quantidade de fitólitos (7949 registros no total das sondagens 1 e 3), em geral bem preservados (63,3% do total) (Tabela 5.22). O predomínio do morfotipo globular *granulate* (característico das dicotiledôneas lenhosas), com índices D/P elevados para a fase 1 (Tabelas 5.19, 5.21 e Figuras 5.43, 5.45), evidencia a presença de uma formação vegetal mais desenvolvida, com espécies arbustivas/arbóreas (Figura 5.46, Fase1). Tal característica sugere um ambiente com altos índices pluviométricos, caracterizando esta fase como um período mais úmido, no qual predominou uma formação vegetal arbustiva/arbórea densa.

Tabela 5.19 – Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das biomineralizações e datação da Sondagem 1.

	Granulometria			Espículas de esponjas			Frústulas de diatomáceas				Fitó				
Prof. (m)	Cas. (%)	Areia (%)	Lama (%)	Total	Int. %	Frag.	Total	Int. %	Frag. %	Total	Int. %	Frag. %	Índi ce D/P *	Datação	Fases
1,0-1,1	3,8	46,16	50,04	71	65	35	31	13	87	355	81	1	0,55	-	
2,0-2,1	0	6,18	93,82	33	0	100	23	26	74	314	79	21	0,32	-	2
2,4-2,5	0	12,5	87,5	81	2	98	177	15	85	700	62	38	1,55	-	L
3,1-3,2	2	59,1	38,9	5	0	100	4	25	75	132	64	36	0,66	-	
4,0-4,1	0,8	30,30	69,62	3	0	100	2	0	100	520	57	43	1,86	-	
4,8-4,9	11,5	48,84	39,66	13	0	100	14	17	83	384	62	38	2,26	6.130 anos cal A.P.	1
5,25-5,35	0	35,54	64,46	2	0	100	6	33	67	572	56	44	0,20	-	•
5,9-6,0	7,6	48,48	43,92	0	0	0	0	0	0	103	16	84	1,55	-	

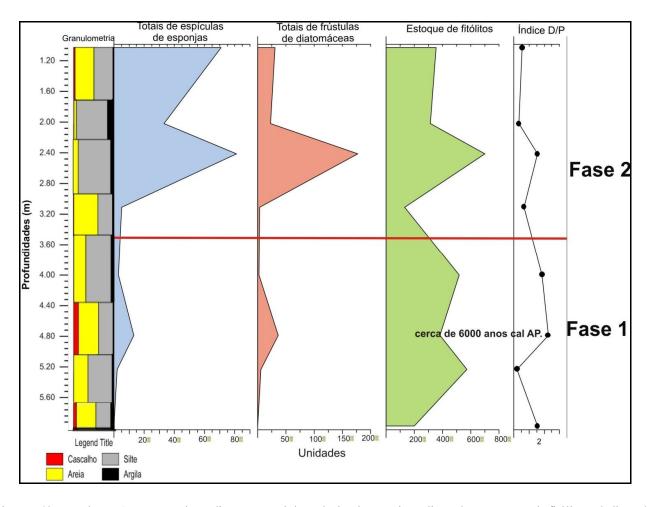


Figura 5.43 – Sondagem 1 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/P.

Tabela 5.20 – Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das biomineralizações e datação da Sondagem 2.

Prof. (m)	Granulometria			Espículas de esponjas			Frústulas de diatomáceas				Fitô	litos			
	Cas. (%)	Areia (%)	Lama (%)	Total	Int. %	Frag.	Total	Int. %	Frag.	Total	Int. %	Frag.	Índi ce D/P *	Datação	Fases
0,5-0,6	19,6	51,99	28,41	1	100	0	9	33	67	555	84	16	3,95	-	
1,1-1,2	11,3	54,19	34,51	113	17	83	3	0	100	312	61	39	3,15	2860-2740 anos cal A.P.	3
1,7-1,8	1,1	29,38	69,52	18	0	100	10	13	87	89	79	21	0,28	-	3
2,3-2,4	0	23,13	76,87	24	0	100	279	38	63	930	61	39	3,79	-	
3,1-3,2	1,3	44,7	54	33	0	100	5	40	60	395	76	24	0,22	-	
4,0-4,1	0	2,62	97,38	44	2	98	102	63	37	366	85	15	0,35	5995-5768 anos cal A.P.	2
4,95-5,05	0	6,04	93,96	49	0	100	114	45	55	267	66	34	2,07	-	L
5,8-5,9	0	9,35	90,65	8	0	100	65	32	68	334	82	18	0,51	-	

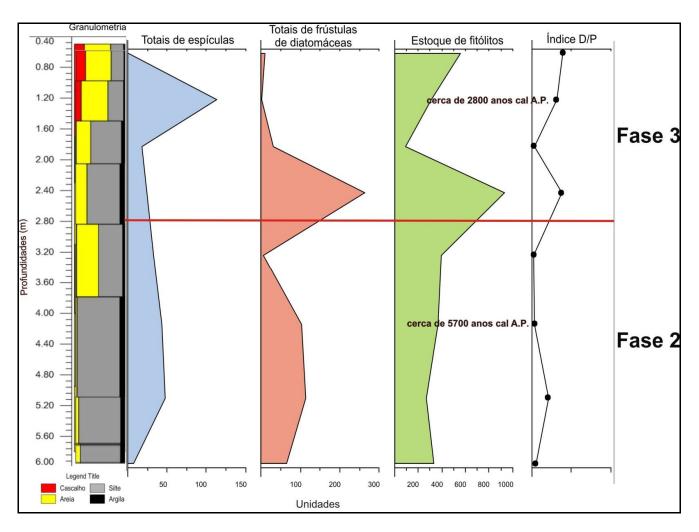


Figura 5.44 – Sondagem 2 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/P.

Tabela 5.21 – Síntese da caracterização morfológica, granulométrica, químicas, das biomineralizações e datação da Sondagem 3.

	Gr	Granulometria			Espículas de esponjas			ústulas itomáci		Fitólitos					
Prof. (m)	Cas. (%)	Areia (%)	Lama (%)	Total	Int. %	Frag. %	Total	Int. %	Frag.	Total	Int. %	Frag. %	Índice D/P*	Datação	Fases
0 - 0,1	0	1	99	13	0	100	0	0	0	358	84,9	15,1	1,18	-	3
0,9 - 1,0	23,71	56,39	19,88	460	27,4	72,6	13	0	100	408	79,4	20,6	0,51	3380-3170 anos cal A.P.	
1,9-2,0	0	17,4	82,6	22	22,7	77,3	101	33,7	66,3	88	79,5	20,5	0,75	-	
2,9-3,0	0	6,14	93,86	6	0	100	510	47,1	52,9	201	62,7	37,3	1,86	-	2
3,9-4,0	0	11,64	88,36	39	7,7	92,3	77	23,4	76,6	423	75,7	24,3	0,57	3160-2955 anos cal A.P.	
4,9-5,0	0	9,54	90,46	45	2,2	97,8	81	72,8	27,2	134	77,6	22,4	0,52	-	
5,3-5,4	0	4,14	95,86	28	3,6	96,4	747	87,1	12,9	681	58,1	41,9	1,05	6680-6470 anos cal A.P.	
6,2-6,3	0	7,8	92,2	18	38,9	61,1	86	51,2	48,8	543	59,7	40,3	2,13	-	
6,9-7,0	0	9,24	90,76	16	0	100	2730	75,8	24,2	438	61,6	38,4	1,44	6560-6320 anos cal A.P.	
7,6-7,7	0	11,4	88,6	15	0	100	284	85,9	14,1	241	72,6	27,4	0,54	-	1
8,3-8,4	0	3,68	96,32	20	40	60	660	49,1	50,9	354	72,9	27,1	1,78	-	1
9,2-9,3	0	13,12	86,88	56	14,3	85,7	495	63,6	36,4	213	71,8	28,2	2,00	-	
10,4-10,5	0	18,79	81,21	8	57,1	42,9	372	79	21	1668	70,5	29,5	2,20	-	
11,2-11,5	0	7,19	92,81	452	0,2	99,8	660	80,9	19,1	2232	62,4	37,6	2,53	8630-8450 anos cal A.P.	

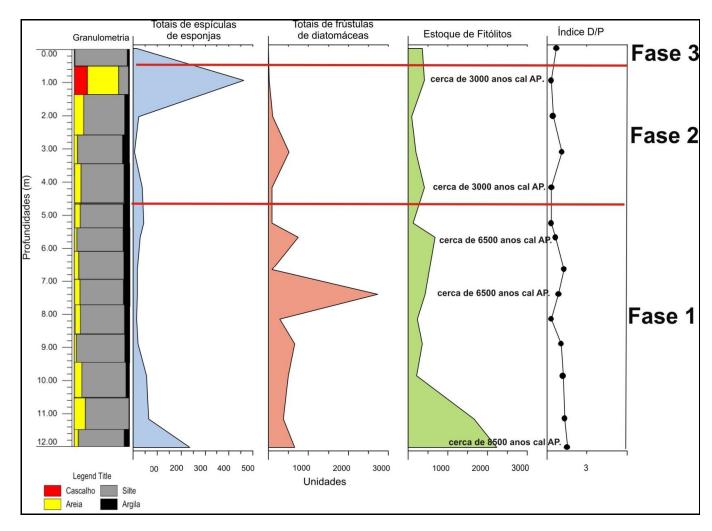


Figura 5.45 – Sondagem 3 – Textura dos sedimentos, total de espículas de esponjas e diatomáceas, estoque de fitólitos e índice D/

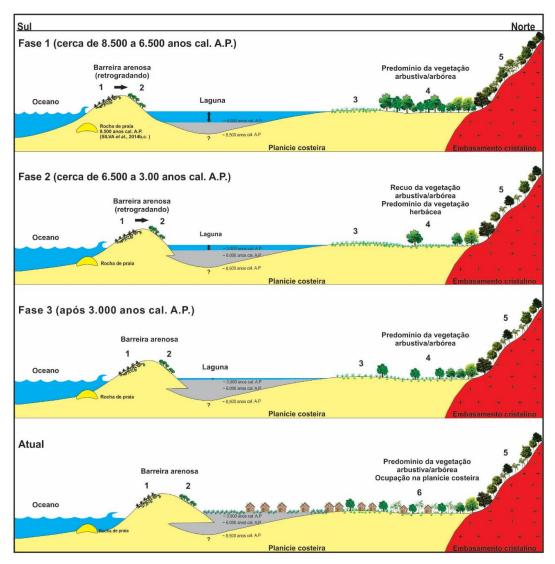


Figura 5.46 – Modelo evolutivo das condições paleoambientais na planície costeira de Maricá. 1) Vegetação halófila-pasmófila; 2) S*crub*; 3) Vegetação herbácea; 4) Mata de transição; 5) Mata de encosta; 6) Vegetação antropizada

Tabela 5.22 – Total* de bioindicadores (absoluto e percentual) em cada fase

	Espículas	s de espo	njas	Frústulas o	le diaton	náceas	Fitólitos			
Fases	Totais absolutos	Int. Frag. (%)		Totais absolutos	Int. (%)	Frag. (%)	Totais absolutos	Int. (%)	Frag.	
Fase 3	169	14,2	85,8	301	1	99	2244	71,2	28,8	
Fase 2	896	23,2	76,8	1303	40,4	50,6	4117	74,4	25,6	
Fase 1	631	4,3	95,7	6056	74	26	7949	63,3	36,7	

^{*}Os totais correspondem ao somatório, por fase, dos bioindicadores das três sondagens

A granulometria dos sedimentos, com teor acima de 70% de sedimentos finos (Tabelas 5.19, 5.21 e Figuras 5.43, 5.45) nesta fase, constituiu uma evidência de um ambiente de baixa energia, sujeito à influência de processos deposicionais de pouca intensidade, tanto costeiros (influência da maré), quanto continentais (aporte fluvial). Tais características ofereceram condições tranquilas para a sedimentação e teriam contribuído para a retenção dos fitólitos e das frústulas de diatomáceas. O predomínio de sedimentos finos contribuiu também para que os bioindicadores não sofressem muita degradação em virtude do retrabalhamento, resultando, assim, no elevado estado de conservação das frústulas de diatomáceas e dos fitólitos. Frústulas de diatomáceas de espécies/gêneros características de ambientes marinhos calmos foram encontradas nesta fase, como, por exemplo a Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, ou ainda de outras espécies bentônicas próprias de águas salobras (espécie Entomoneis alata e outras associadas aos gêneros Navicula e Rhopalodia) (Tabelas 5.11 e 5.17). O fato de muitas frústulas de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve terem permanecido em forma de colônias (Figura 5.47 I, J, K e L) também corrobora essa hipótese. A presença de frústulas desta diatomácea foi anteriormente identificada por Ireland (1987), em um estudo realizado no litoral de Maricá com base em sondagens geológicas numa área de turfeira. O referido autor também identificou um período de baixa energia hidrodinâmica em torno de 6800 ± 110 anos AP (idade não calibrada). Da mesma forma, a preservação dos fitólitos é mais eficaz em áreas de brejo, tal como foi constatado na assembleia moderna AM3, localizada na depressão entre as barreiras arenosas (com 83% de fitólitos classified) (RAMOS, 2014; COE et al., 2017a). Exceção se faz apenas no caso das espículas de esponjas, que apresentaram elevado percentual de fragmentação (Tabelas 5.19, 5.21), possivelmente associado à maior fragilidade destes indicadores e ao aumento da profundidade. No entanto, embora o grau de preservação dos bioindicadores (sobretudo dos fitólitos) seja relativamente alto (Figuras 5.47 A e G), pode-se observar que em alguns casos, estes bioindicadores se encontram bastante alterados quimicamente (Figura 5.47 D, E e F).

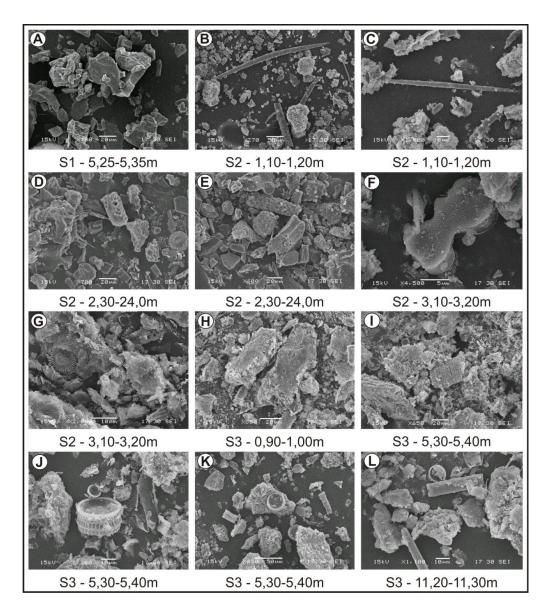


Figura 5.47 - Biomineralizações de sílica identificadas nas Sondagens 1, 2 e 3. (A) Morfotipo de fitólito bulliform cuneiform (centro da foto) bem preservado a 5 m de profundidade; (B) megasclera de esponja intacta (alto da foto), fragmento de gemosclera e fitólito elongate (centro da parte inferior da foto); (D) megasclera de esponja intacta (centro da foto), fragmento de gemosclera (parte inferior da foto); (E) morfotipos de fitólitos bulliform parallelepipedal e cuneiform deteriorados, frústula de diatomácea cêntrica (canto direito inferior da foto); (F) fitólito elongate deteriorado, globular granulate; (G) fitólito bilobate bem preservado em torno de 3m de profundidade; (H) frústula de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve; (I) morfotipo de fitólito bulliform parallelepipedal (centro da foto); (J, K) colônia de frústulas de Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve; (L) frústula de diatomácea cêntrica articulada a um fitólito bulliform; (M) fitólitos do tipo elongate.

O comportamento dos bioindicadores marinhos (espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas) indicou que esse ambiente de deposição aquoso correspondia provavelmente a uma pequena laguna rasa, cuja conexão com o mar se dava através de um canal de maré sujeito a uma dinâmica de abertura e fechamento que, ora favorecia ora restringia, a entrada de organismos marinhos. Bivalves da espécie Anomalocardia brasiliana (Tabela 5.15 e Figura 5.32), que vive em áreas de águas pouco profundas, lagoas rasas ou próximas a estuários (SOUZA, 2011), estão entre os organismos identificados. Esse bivalve também foi identificado por Pereira (2009) na planície costeira de Maricá, próximo ao Pontal de Itaipuaçú em diferentes poços de sondagem com textura bastante variada: lamo-argiloso; areno-lamoso, argilo-arenosa/lama-arenosa etc. Gemoscleras⁸ de *Anhetereomeenva* sp. (Figura 5.8 I a L), gênero de esponja de água doce, também foram encontradas neste intervalo e, conforme Buso Jr. et al. (2012), é indicativa de lagoas rasas. A origem dessa laguna pode estar relacionada 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), favorecendo o aparecimento de um sistema barreira-laguna, conforme Turcq et al. (1999) e Silva et al. (2014a, 2014b).

A dinâmica dos canais estava sujeita à ocorrência de chuvas torrenciais que elevavam o nível da lagoa promovendo o rompimento do canal de maré que posteriormente era fechado em função da dinâmica de ondas e da deriva litorânea. Enquanto o canal permanecia aberto, os organismos marinhos se deslocavam para o interior da laguna. Provavelmente pelo fato de terem uma estrutura mais resistente do que as espículas de esponjas, as frústulas de diatomáceas se mantiveram em maior quantidade após a morte dos indivíduos.

A maior concentração de frústulas de diatomáceas registrada ao longo de todo o período (2.730 registros, Sondagem 3) foi em torno de 6.500 anos cal AP, num momento em que o nível do mar estava se elevando (MARTIN *et al.*, 1998; ANGULO *et al.*, 2006). Este fato pode estar associado à transposição de ondas e/ou a um evento de rompimento do canal, o que teria favorecido o transporte de grande quantidade de diatomáceas marinhas para dentro da laguna (Tabela 5.21 e Figura 5.45). Desse modo, a dinâmica de abertura e fechamento de

⁸ Espículas que revestem as gêmulas das esponjas de água doce. Critério morfológico mais importante na definição da sistemática do grupo (VOLKMER-RIBEIRO, 1981).

canal de maré pode ajudar a esclarecer a presença, ora mais ora menos frequente, de espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas.

Canais de maré são comuns em litorais de sistemas barreira-laguna e muitos foram mapeados em subsuperfície por Pereira (2003 e 2009), Pereira *et al.* (2003), Silva (2011) e Silvestre (2013). Na barreira holocênica, no trecho correspondente ao Pontal de Itaipuaçú, foi identificada uma sequência de paleocanais medindo profundidades entre 8 e 12m (PEREIRA *et al.*, 2003). No reverso da barreira holocênica, no trecho correspondente à APA de Maricá, foram mapeados três paleocanais com profundidades em torno de 10 a 15m (SILVA, 2011). Outro mapeamento realizado na barreira holocênica evidenciou a presença de 5 paleocanais, com profundidades que variaram de 3 a 6m (SILVESTRE, 2013). Canais de maré são comuns num sistema barreira-laguna e têm o papel de favorecer a troca de água e sedimentos entre o mar e os subambientes que se encontram na retaguarda da barreira (SILVA, 2011). Desse modo, o mapeamento desses paleocanais na planície costeira de Maricá, em especial no trecho referente a Itaipuaçú, reforça a existência de um ambiente pretérito formado por um sistema barreira-laguna, cortado por uma sequência de canais de maré (PEREIRA *et al.*, 2003).

A fase 1 apresentou um grande acúmulo de fitólitos (7.949 registros somando as Sondagens 1 e 3) em relação às demais (Tabela 5.22), superior mesmo ao da fase 3 (2244 registros no somatório das sondagens), que está mais próxima à superfície e corresponde a um período mais recente. Este resultado indica a presença de uma vegetação bastante densa, que teria sido responsável pela produção de elevada biomassa, que foi sendo acumulada nesse ambiente de deposição, em torno dos 8500/8000 anos cal AP. Vale ressaltar que a quantidade de fitólitos recuperada corresponde à vegetação do entorno, incluindo a mata de encosta, que ocupava as vertentes, e a mata de transição entre a restinga e a encosta (Figura 5.46, Fase 1). Além da quantidade, a variedade de morfotipos de fitólitos encontrada nos sedimentos é mais um indicativo de que este ambiente correspondia a uma área de deposição onde foram sendo acumulados os resíduos vegetais provenientes do entorno da planície costeira e das vertentes. Tal variação reforça o papel da topografía no processo de transporte e sedimentação desses resíduos nesse ambiente de deposição. Se compararmos, por exemplo, os fitólitos encontrados nas assembleias modernas coletadas na Área de Proteção Ambiental (SANTOS et al., 2017; COE et al., 2017a e RAMOS, 2014), observa-se que também foram encontrados morfotipos que não tinham uma relação direta com a vegetação existente sobre o ponto de coleta (o que aconteceu por exemplo na AM 3 e AM 6). Pelo fato das assembleias modernas terem sido coletadas numa área bem mais afastada das encostas, nelas a contribuição do material proveniente da vegetação das vertentes foi pequena se comparada à das assembleias fósseis.

A fase 1, portanto, se caracteriza pela existência de um ambiente lagunar de baixa energia, com conexão intermitente com o mar através de canal. Corresponde a um período de grande umidade em virtude da pluviosidade, sujeito a chuvas torrenciais que promoviam o rompimento esporádico do canal a partir do transbordamento da lagoa, que era posteriormente fechado devido à ação da deriva litorânea. Os trabalhos de Silva (2011) e Silva *et al.* (2014a) identificaram a existência de rochas praiais formadas por volta de 8100 anos AP (SILVA, 2011) e 8500 anos cal A.P. (SILVA *et al.*, 2014a), onde atualmente se encontra o arenito submerso de Itaipuaçú. Os resultados destes trabalhos apontam para a existência de um ambiente lagunar represado à retaguarda da antiga barreira holocênica. Mansur *et al.*(2011) também encontrou idade em torno de 8000 anos cal A.P. para o arenito localizado em Jaconé (a leste da área de estudo) e que estaria relacionado a uma barreira arenosa formada na mesma época e, portanto, corroborando o modelo proposto por Silva *et al.* (2014a).

Fase 2

A fase 2 aparece nas 3 sondagens entre as profundidades 3,20 a 1,0m (Sondagem 1); 5,90 a 3,10m (Sondagem 2) e 5,0m a 0,90m (Sondagem 3) (Figuras 5.43, 5.44 e 5.45) e corresponde ao intervalo entre cerca de 6500 e 3000 anos cal AP.

Esta fase também é marcada pela deposição predominante de sedimentos lamosos (Tabelas 5.19, 5.20, 5.21 e Figuras 5.43, 5.44, 5.45).

O número total de registros espículas de esponjas foi de 896 registros, dos quais 23% encontram-se inteiros (Tabela 5.22). Desse total, 460 registros (Sondagem 3) estão concentrados em torno de 1m de profundidade, onde foi observado grande acúmulo de gemoscleras de *Anhetereomeenya* sp. (138 registros). A forte presença de gemoscleras aponta para as seguintes hipóteses: a primeira é que elas poderiam ter sido trazidas pelos rios, porém, neste caso, o grau de fragmentação seria alto. No entanto, apesar de haver muitos fragmentos (Tabela 5.16), foi registrada a presença de 71 megascleras que de 54 gemoscleras intactas (Tabela 5.16). Vale ressaltar que a gemosclera, corresponde a uma espícula diminuta e sensível do esqueleto das esponjas e que se degrada facilmente quando submetida a processos de transporte (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, 2010). A segunda, e mais provável, é que elas tenham se desenvolvido no próprio ambiente, o que justifica o seu bom estado de

_

⁹ Parte mais resistente do esqueleto presente em todas as espículas (marinhas ou continentais).

conservação. Porém, para que isso tenha ocorrido, as condições de salinidade do ambiente lagunar têm que ter diminuído consideravelmente, visto que o desenvolvimento de tais organismos continentais requer a existência de um ambiente menos salino. Isto sugere que, neste período, a conexão com o mar tenha sido interrompida de forma permanente, em consequência do fechamento por um período prolongado do canal de maré, o que pode ter ocorrido em decorrência de um período mais seco sem ocorrência de chuvas torrenciais, não favorecendo o rompimento do canal. Com o fechamento do canal, aumenta significativamente a contribuição do *input* de água doce dentro da lagoa, fazendo com que a mesma possa ter se tornado oligohalina¹⁰ ou mesohalina¹¹. Os índices D/P mais baixos (Tabelas 5.19, 5.20, 5.21) corroboram a ideia de um período mais seco. Essa hipótese também é reforçada pelo fato de que, quando submetidas a períodos de escassez de água, as esponjas aumentam sua produção de gêmulas¹² como estratégia para garantir sua reprodução (PAROLIN *et al.*, 2010), o que explicaria a quantidade abundante de gemoscleras encontradas.

A quantidade total de frústulas de diatomáceas na fase 2 apresentou uma forte redução em comparação com a fase anterior, caindo de 6.056 para 1.303 registros, considerando a soma dos três poços de sondagem (Tabela 5.22 e Figuras 5.43, 5.44 e 5.45). Essa diminuição pode ser explicada em decorrência do desaparecimento do canal de maré, que teria limitado a entrada desses bioindicadores marinhos por um período prolongado. Por outro lado, o fato de ainda serem encontradas frústulas de diatomáceas de origem marinha se justifica por esta área estar mais susceptível à ocorrência de *overwash* durante este período correspondente à fase 2 (entre 6.500 e 3.000 anos cal AP). Possivelmente, isso ocorreu devido a existência de um nível do mar acima do atual, cujo máximo ocorreu em torno dos 5000 anos AP (MARTIN *et al.*, 1998; ANGULO *et al.*, 2006). Neste momento, principalmente, as condições eram mais favoráveis aos eventos de transposição de ondas (*overwash*) por sobre a barreira, levando material para o interior da laguna, corroborando os modelos apresentados por Silva (2011); Silva et al. (20014b) e Silvestre (2013). Com a elevação do nível do mar, a barreira arenosa começou a retrogradar promovendo, assim, o assoreamento do canal e, posteriormente, da laguna.

A composição dos morfotipos de fitólitos mostrou predomínio de gramíneas (Tabelas 5.19, 5.20, 5.21). Os principais tipos encontrados correspondem aos *bulliform*

¹⁰ Quando o teor de salinidade varia de 0,5% a 5%.

¹¹ Quando o teor de salinidade da água varia de 5 a 18‰.

¹²Elementos de reprodução assexuada, individualizados por um revestimento protetor não celular contendo uma incrustação de gemoscleras (VOLKMER-RIBEIRO, 1981).

parallelepipedal e bulliform cuneiform (Tabelas 5.10 e 5.16). Essa mudança no padrão dos morfotipos de fitólitos aonta para a presença predominante de uma cobertura vegetal menos densa, mais herbácea, evidenciando o recuo da vegetação arbórea/arbustiva (Figura 5.46 Fase 2). Tal mudança no padrão e na densidade da vegetação são indicadores de um ambiente de precipitação pluviométrica bem menor, comparado à fase anterior, o que teria restringido o desenvolvimento da vegetação arbustiva. O estoque de fitólitos observado nas assembleias modernas (AM1, AM2, AM3, AM4 e AM5), também apresentou predomínio de fitólitos de gramíneas, destacando-se os morfotipos bulliform parallelepipedal e cuneiform, além de acicular (RAMOS, 2014 e COE et al., 2017a).

Fase 3

A fase 3 aparece nas sondagens 2 e 3 entre as profundidades 2,4m a 0,5m (Sondagem 2) e 0,10m a 0,00m (Sondagem 3) (Figuras 5.44 e 5.45) e corresponde ao intervalo entre 3.000 anos cal AP e o presente.

Na fase 3, o total de espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas (no somatório das duas sondagens) corresponde a 169 e 301 registros, respectivamente (Tabela 5.22). Esses valores representam uma redução na quantidade dos bioindicadores marinhos em relação à anterior (fase 2). Essa diminuição sugere uma menor presença de água marinha nesse período, provavelmente em resposta a um recuo do nível do mar. Esse evento regressivo é reconhecido para grande parte do litoral brasileiro, conforme Martin *et al.* (1998) e Angulo *et al.* (2006).

Houve redução significativa também no total de fitólitos, diminuindo de 4.117 (fase 2) para 2.244 (fase 3). O índice D/P, no entanto, apresentou aumento (Tabelas 5.19, 5.20, 5.21), indicando a presença de vegetação predominantemente arbustiva/arbórea, como verificado na fase 1. Porém, somando-se os resultados das sondagens, a fase 3 (2.244 registros) teve um estoque de fitólitos mais reduzido do que a fase 1 (7.949 registros). Isso nos remete ao fato de que, na fase 3, apesar da formação vegetal arbustiva/arbórea ter avançado novamente (Figura 5.46 Fase 3), a densidade da vegetação não atingiu o mesmo patamar encontrado na fase 1. Ambas as fases 1 e 3 são dominadas pela vegetação arbustiva/arbórea, no entanto, esperava-se que o estoque de fitólitos fosse maior na fase 3, por ser esta a mais recente, o que não ocorreu.

Essas condições, caracterizadas por uma fase úmida e com cobertura vegetal densa, assemelham-se às encontradas no litoral da Ilha Grande por Ramos (2016). A autora desenvolveu um estudo com base na análise de fitólitos e concluiu que nos últimos 4.000 anos

cal AP as condições paloambientais permaneceram as mesmas em relação à atual, com o predomínio da vegetação mais arbustiva/arbórea neste período.

Outro elemento que pode justificar o menor estoque de fitólitos na fase 3 é a maior concentração de sedimentos grossos, desde areia muito fina até muito grossa, incluindo grande percentual de cascalhos angulosos (S2 1,20-1,10m e 0,60-0,50m) (Tabelas 5.8, 5.14 e 5.20). O aumento no teor de areia pode estar associado ao preenchimento da laguna, cujo processo de colmatação teria iniciado na fase anterior, em decorrência da retrogradação da barreira arenosa em resposta a transgressão ocorrida até por volta de 5.000 anos AP, conforme ressaltado por Silva (2011) e Silva et al. (2014a). A continuidade do processo de migração da barreira arenosa (Figura 5.46 Fase 3) promoveu uma redução ainda maior do espelho e da lâmina d'água da laguna. Esse processo teria sido responsável pela deposição de boa parte dos sedimentos arenosos dentro da laguna, que vai, assim, sendo progressivamente colmatada. A diminuição da lâmina d'água foi tornando a laguna ainda mais rasa favorecendo a maior intensidade da ação dos ventos sobre a laguna e a formação de ondas na superfície lagunar. O aumento dessa dinâmica teria sido responsável pelo aumento na fragmentação das espículas de esponjas e das frústulas de diatomáceas (Tabelas 5.20, 5.21).

Além de registros de *Anhetereomeenya* sp. (Figura 5.8 I a L), também encontrada na fase anterior, a constatação de que esta laguna correspondia a um corpo aquoso raso é mais uma vez confirmada pela presença de gemosclera de *Corvoheteromeyenia* sp. (Figura 5.8A), gênero de esponja vive incrustada a substratos rochosos em ambiente lagunar raso (EZCURRA de DRAGO, 1979). Estudos realizados em diversos locais na costa da América do Sul, sobretudo no Brasil, associam a gemosclera de *Corvoheteromeyenia* sp. a um bioindicador de ambiente lagunar raso (VOLKMER-RIBEIRO e MACHADO, 2007). A presença de megascleras bem preservadas é um indicativo de condições de sedimentação tranquilas nesta fase (Figuras 5.8E e 5.47B e C).

As fases de evolução ambiental da planície costeira de Maricá apresentaram características distintas no que diz respeito ao tipo de vegetação, condições de umidade, dinâmica de canais de maré, influência marinha, etc. (Tabela 5.23). As principais características, que permitiram individualizar três momentos no processo de evolução ambiental dessa planície ao longo do Quaternário, foram sintetizadas na Tabela 5.23.

Tabela 5.23- Síntese da evolução paleoambiental da planície costeira de Itaipuaçú durante o Holoceno

Fases	Características do ambiente	Vegetação predominante	Idades
1	 Período mais úmido Evidências: ✓ Alta produção de biomassa pela vegetação ✓ Grande quantidade de fitólitos, sobretudo de dicotiledôneas lenhosas Ambiente aquoso de baixa energia hidrodinâmica Evidências: ✓ Granulometria predominantemente lamosa, com percentuais acima de 80% de lama ✓ Elevado grau de preservação dos fitólitos e das frústulas de diatomáceas Presença de uma laguna rasa conectada com o mar por um canal de maré Evidências: ✓ Presença de carapaças de bivalve e frústulas de diatomáceas específicos de ambientes calmos e rasos. ✓ Alternância na quantidade de bioindicadores marinhos 	Arbustiva/ arbórea	Entre 8500 e 6500 anos cal AP
2	 Período menos úmido Evidências: ✓ Amplo predomínio de fitólitos de gramíneas ✓ Presença marcante de gemosclera de Anheteromeyenia (S3, 0,90-1,0m), indicando uma larga produção de gêmulas pelas esponjas. Ambiente aquoso de baixa energia hidrodinâmica, porém um pouco maior que da fase precedente Granulometria ainda predominantemente lamosa, porém com maior teor da fração areia. Bom estado de preservação dos fitólitos e das frústulas de diatomáceas Presença de uma laguna rasa sem conexão com o mar Evidências: ✓ Redução na quantidade de bioindicadores marinhos (frústulas de diatomáceas) Maior ocorrência de eventos de overwash Evidências: ✓ Aumento no grau de fragmentação dos bioindicadores marinhos Início do processo de colmatação da laguna 	Herbácea	Entre cerca de 6500 e 3000 anos cal AP
3	 Período mais úmido Evidências: ✓ Amplo predomínio de fitólitos de dicotiledôneas lenhosas Ambiente aquoso com maior redução da lâmina d'água Evidências: ✓ Elevado grau de fragmentação dos bioindicadores marinhos ✓ Redução na quantidade de bioindicadores aquáticos Aumento nos percentuais de sedimentos da fração areia Redução da influência marinha Evidências: ✓ Diminuição nos totais de bioindicadores marinhos Intensificação do processo de colmatação da laguna 	Arbustiva/ arbórea.	Após 3000 anos cal AP até os dias atuais

As condições ambientes atuais correspondem a um período úmido, com a presença da vegetação arbustiva/arbórea, sobretudo nas encostas. A vegetação arbustiva ainda está

presente tanto nas encostas quanto na planície costeira. No entanto, em algumas áreas restaram apenas resquícios desa vegetação. Boa parte da planície costeira e uma parte significativa das áreas de encostas se encontra alterada em decorrência do processo de expansão urbana que vem se intensificando principalmente nas últimas décadas (Figura 5.46, Fase atual).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo sobre a reconstituição do litoral de Maricá durante o Holoceno proporcionou melhor conhecimento a respeito das condições ambientais atuais e pretéritas dessa área. A utilização de bioindicadores marinhos e terrestre foi importante na medida em que contribuiu com informações sobre as condições paleoambientais, possibilitando a compreensão das transformações ocorridas na composição vegetal, nas condições de umidade e na hidrodinâmica relativa à paleolaguna localizada à retaguarda da barreira holocênica em Itaipuaçú.

O estudo das comunidades vegetais e das assembleias fitolíticas modernas constatou uma grande diversidade de formações vegetais, desde as formadas por espécies herbáceas até as caracterizadas por diferentes espécies arbustivas e arbóreas. Essas comunidades estão distribuídas paralelamente ao litoral e no sentido sul-norte, em resposta: (1) à influência da topografia, que interfere no padrão de ventos locais e na profundidade do nível freático; (2) à salinidade, que diminui progressivamente em direção ao interior do continente, devido à menor influência da cunha salina e do alcance do spray marinho; (3) e em função das características edáficas (textura, teor de umidade e matéria orgânica no solo, etc.).

Os resultados das sondagens permitiram a identificação de 3 fases relacionadas à evolução ambiental dessa área. Na fase 1, entre 8.500 e 6.500 anos cal A.P., o padrão da vegetação era predominantemente arbustivo/arbóreo com a presença de uma cobertura vegetal mais densa que a atual, que provavelmente ocupava as encostas e a planície costeira, associada a um período de maior umidade; além da existência de um corpo aquoso, possivelmente uma laguna rasa, conectada com o mar através de um canal de maré sujeito a uma dinâmica de abertura e fechamento, em um ambiente de baixa energia hidrodinâmica.

Na fase 2, por volta de 6500 até cerca de 3000 anos cal A.P., houve uma mudança no padrão da vegetação, que passou a ser predominantemente herbácea, possivelmente associado a um período de menor umidade. Apesar de ainda apresentar uma granulometria predominantemente lamosa, a elevação no teor da fração areia indica aumento da energia hidrodinâmica, o que pode ter ocasionado maior frequência de eventos de transposição de ondas. Ao longo desta fase provavelmente teve início o processo de colmatação da laguna.

A fase 3, após 3000 anos cal A.P., é marcada pelo retorno à formação vegetal arbustiva/arbórea, porém com uma densidade menor do que a constatada na fase 1. O ambiente continua apresentando baixa energia hidrodinâmica. A diminuição da quantidade de

bioindicadores aquáticos evidencia a redução da lâmina d'água da laguna, com a intensificação do processo de colmatação da mesma. Este processo culminou, mais recentemente, com intervenções antrópicas para a expansão urbana em parte da planície costeira.

Estudos de reconstituição paleoambiental, desenvolvidos em áreas litorâneas como Maricá, são importantes na medida em que contribuem para o maior conhecimento das condições relacionadas à dinâmica e evolução dos ambientes deposicionais e de sua complexidade. O conhecimento do passado é importante para que se possa melhor compreender os processos atuais e, assim, contribuir para o gerenciamento e ordenamento do uso e ocupação, de forma a garantir a manutenção e preservação desses ambientes e sua biodiversidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA-SANTOS, J.C. *Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí, PR*. Maringá: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá. 83p. 2013.
- ALEXANDRE, A., MEUNIER, J.D, LÉZINE, A. M, VINCENS, A. SCHWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.136, n.1-4, 213-229, 1997.
- ALEXANDRE, A., MEUNIER, J. D., MARIOTTI, A., SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research*, v 51, 187–194, 1999.
- ALMEIDA, A. C. S.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; VARAJÃO, A. F. D. C.; GOMES, N. S.; VARAJÃO, C. A. C. Espículas de esponjas continentais nos sedimentos cenozóicos do noroeste de Minas Gerais, como indicadores paleoambientais. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 12, n. 2, 123-138, 2009.
- ANGULO, R.J. e LESSA, G.C. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, 140, 141-166, 1997.
- 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, 486-506, 2006.
- ANGULO, R.J e SOUZA, M.C. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 05(2), 01-32, 2014.
- ANGULO, R.J., GIANNINI, P.C.F., SOUZA, M.C., LESSA, G.C. Holocene paleo-sea level changes along the coast of Rio de Janeiro, southern Brazil: Comment on Castro et al. (2014). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(4): 2105-2111, 2016.
- ARAUJO, D.S.D. e HENRIQUES, R.P.B. Análise florística das restingas do estado do Rio de Janeiro. *In*: LACERDA, L.D., ARAUJO, D.S.D., CERQUEIRA, R., TURCQ, B. (eds.). *Restingas: Origem, Estrutura e Processos*. Niterói, CEUFF, p.47-60, 1984.
- ARMSTRONG, H. e BRASIER M. Microfossils. Oxford: Blackwell Publishing. 296 p. 2005.
- ARS, J.A. Diatomeas y Silicoflagelados. In: MOLINA, E. (Ed.). *Micropaleontologia*. 2^a ed. Zaragoza, 341-395p. 2004.
- ARZHANNIKOV, S.G., IVANOV, A.V., ARZHANNIKOVA, A.V., DEMONTEROVA E.I., JOLIVET, M., VORONIN, V.I., BUYANTUEV, V.A., OSKOLKOV, V.A. Age of the Jombolok lava field (East Sayan): evidence from dendrochronology and radiocarbon dating. *Russian Geology and Geophysics* 58, 20–36, 2017.
- ASIOLI, F., MEDIOLI, F.S., PATTERSON, R.T. The camoebians as a tool for reconstruction of paleoenvironments in some Italian lakes in the foothills of the southern Alps. *Journal of Foraminferal Research*, v. 26, n°. 3, 248-263. July 1996.
- 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: relief, processus, environnement.* n° 4, 56-76, 2014.

- BARBONI, D., BONNEFILLE, R., ALEXANDRE, A., MEUNIER, J.D. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.152, p.87–100. 1999.
- BARBONI, D., BREMOND, L., BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.246, 454-470, 2007.
- BARRON, E.J. e MOORE, G.T. Climate model application in paleoenvironmental analysis. Short Course, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists* (SEPM), v. 33, 1-339, 1994.
- BARROS, I.B. Estudos químicos de aproveitamento do cauxi, esponja de água doce da Amazônia. Tese de Doutorado: UFAM, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013. 188 p.
- 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, 71 88, 2016.
- BATISTA, G.N. *Taxonomia de esponjas de águas continentais do Estado de Pernambuco*. Dissertação de Mestrado. UFPE, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- BENÍCIO, M.C.S. Reconstrução ambiental do Holoceno da Lagoa Juparanã, Linhares, ES, Brasil, com base no registro fóssil de algas diatomáceas. Dissertação de Mestrado. UNG. Universidade de Guarulhos, 2010. 68p.
- BIRD, E.C.F. Coastal Geomorphology: An Introduction. John Wiley & Sons Ltd. England, 411p. 2008.
- BLINNIKOV, M., BUSACCA, A., WHITLOCK, C. Reconstruction of the late Pleistocene grassland of the Columbia basin, Washington, USA, based on phytolith records in loess. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 177, 77-101, 2002.
- BLONDEL, F., CABANIS, M., GIRARDCLOS, O., GRENOUILLET-PARADIS, S. Impact of carbonization on growth rings: Dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites. *Quaternary International*, 1-14, 2017.
- BONETTO, A. A. e EZCURRA DE DRAGO, I. Aportes al conocimiento de las esponjas del Orinoco. *Physis*, v. 32, n. 84, p. 19-27, 1973.
- BORBA-ROSCHEL M., ALEXANDRE A., VARAJÃO A.F.D.C., MEUNIER J.-D., VARAJÃO C.A.C., COLIN F. Phytoliths as Indicators of Pedogenesis and Paleoenvironmental Changes in the Brazilian Cerrado. *Journal of Geochemical Exploration*, 88(1), 172-176, 2006.
- BORRELLI, N., OSTERRIETH, M., MARCOVECCHIO, E.J. Interrelations of vegetal cover, silicophytolith content and pedogenesis of Typical Argiudolls of the Pampean Plain, Argentina. *Catena*, 75(2), 146-153, 2008.
- BORRELLI, N., COE, H.H.G., SOUSA, L.O.F., SANTOS, C.P., RAMOS, Y.B., SILVA A.L.C., SILVESTRE, C.P. Reference Collections of Plant Communities from "Restinga" of the Coastal Plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. *In* COE, H.H.G. e OSTERRIETH, M.L.

- (editors). Synthesis of some phytolith studies in South America (Brazil and Argentina). New York: Nova Science Publishers, 2014.
- BOYD, M. Phytoliths as paleoenvironmental indicators in a dune field on the northern Great Plains. *Journal of Arid Environments*, 61, 357–375, 2005.
- BREMOND, L. Calibration des fonctions de transfert entre assemblages phytolithiques, structures des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT, Université Aix-Marseille III, 2003.
- BREMOND, L., ALEXANDRE, A., VÉLA, E., GUIOT, J. Advantages and disadvantages of phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean vegetation: an assessment based on modern phytolith, pollen and botanical data (Luberon, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 129, 213–228, 2004.
- BREMOND, L., ALEXANDRE, A., PEYRON, O., GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, v.32, 311-327, 2005.
- BREMOND, L., ALEXANDRE, A., WOOLLER, M. J., HÉLY, C., WILLIAMSON, D., SCHÄFER, P. A., MAJULE, A., GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change*, v.61, p.209–224, 2008.
- BRUNO, R. L. M. Reconstrução paleoambiental da Laguna de Maricá, RJ, com base em foraminíferos bentônicos. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 40 (3), 259-273, set./dez. 2013a.
- BRUNO, R.L.M. Aplicabilidade dos foraminíferos bentônicos na restituição paleoambiental e no impacto antrópico da Laguna de Saquarema, Rio de Janeiro. *Revista de Geologia*, v. 26, nº 1, 89 101, 2013b. www.revistadegeologia.ufc.br.
- BUSO JUNIOR, A.A., VOLKMER-RIBEIRO, C., PESSENDA, L. C. R., MACHADO, V. S. *Anheteromeyenia vitrea* (Porifera: Demospongiae) new species of continental sponge in Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, **7**(3), 148-157, september-december, 2012.
- CALEGARI, M.R. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos. Tese de Doutorado: ESALQ. USP, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 259p., 2008.
- CALEGARI, M.R., MADELLA, M., BUSO Jr., A.A., OSTERRIETH, M., LORENTE, F.L., 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(1), 01-10, 2015.
- CÂNDIDO, J. L., VOLKMER-RIBEIRO, C.; SIMÕES FILHO, F. L.; TURCQ, B. J.; DESJARDINS, T.; CHAUVEL, A. Microsclere variations of *Dosilia pydanieli* (Porifera, Spongillidae) in Caracaranã lake (Roraima Brazil): Palaeoenvironmental implication. *Biociências*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 77-92, 2000.
- CARBONEL, P., COLIN, J.P., DANIELOPOL, D. L., LOFFLER, H., NEUSTRUEVA, I. Paleoecology of limnic ostracodes: a review of some major topics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 62, 413-461, 1988.
- CASTRO, J.W.A., SUGUIO, K., SEOANE, J.C.S, CUNHA, A.M., DIAS, F.F. Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(2), 671-683, 2014.

- CASTRO, D.F., OLIVEIRA, P.E., ROSSETTI, D.F. Reconstituição da paisagem quaternária na margem leste da Ilha de Marajó, Pará, Brasil. In: *XIII Congresso da ABEQUA*. Anais. 2011.
- CHUENG K. F. 2012. Inferência da cobertura vegetal e das condições climáticas no espinhaço meridional, MG, durante o Quaternário através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono. Trabalho de conclusão de curso (Monografia): UERJ FFP, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores, 2012.
- CHUENG, K.F. Reconstituição paleoclimática da geodinâmica quaternária na Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono. Dissertação de Mestrado: UFF, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- COE, H.H.G. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. Tese de Doutorado: UFF, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.
- COE, H.H.G., CHUENG, K., GOMES, J.G. Reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas através da utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono exemplos de estudos no Brasil. *Revista Geonorte*, v.1, 248-261, 2012a.
- COE, H.H.G., SANTOS, C.P., RAMOS, Y.B.M., PIRES, G.S.S., SEIXAS, A.P., SILVESTRE, C.P. Estudos de biomineralizações de sílica em sedimentos coletados na planície costeira de Maricá (RJ). *Seminário de Dinâmicas das Paisagens* Faculdade de Formação de Professores da UERJ, 2012b.
- 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.2, 1-10, 2012.
- COE, H.H.G., GOMES. J.G., CHUENG. K.F. Exemplos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas no Estado do Rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (fitólitos) e isótopos de carbono. *Revista Tamoios*, São Gonçalo (RJ), ano 09, n. 1, 86-106, jan/jun. 2013.
- COE, H.H.G; OSTERRIETH, M.L.; HONAINE, M.F. Phytoliths and their Applications. In: COE, H. H. G. e OSTERRIETH, M. L. (editors). *Synthesis of some phytolith studies in South America (Brazil and Argentina)*. New York: Nova Science Publishers, 2014a.
- 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, 59 68, 2014b.
- COE, H.H.G., RAMOS, Y.B.M., SANTOS, C.P., SILVA, A.L.C, SILVESTRE, C.P., BORRELLI, N., SOUSA, L.O.F. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Marica, Rio De Janeiro, Brazil. *Quaternary International*, 434, 58-69, 2017a.
- 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 das 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 NETO, R., FROIDEFOND, J. M. & TURCQ, B. Geomorphologie et chronologie relative des depots sedimentaires recents du litoral bresilien a l'est de Rio de Janeiro. *Bull. Inst. Geól. Bassin d'Aquitaine*, Bourdeaux, 40, 67-83, 1986.
- CORDEIRO, R. C., TURCQ, B., SUGUIO, K., VOLKMER-RIBEIRO, C., SILVA, A. O., SIFEDDINE, A., MARTIN, L. Holocene environmental changes in Carajás Region (Pará, Brazil) recorded by lacustrine deposits. *Verh International Verein Limnology*, Stuttgart, v. 26, p. 814-817, 1997.
- CORTE, J. Biomas de Restinga. Dez. Disponível em: http://www.pt.slideshare.net/JadeCorte/bioma-restinga. 2009. Acesso em 5/11/2014.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press. 2010.
- DAVIS Jr., A.R. Coastal Sedimentary Environments. Springer-Verlag. 716p. 1985.
- DAVIS Jr., A.R. e FITZGERALD, D.M. Beaches and Coasts. Blackwell Publishing. 2004.
- DELHON, C., ALEXANDRE, A., BERGER, J.F., THIÉBAULT, S., BROCHIER, J.L., MEUNIER, J.D. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation. *Quaternary Research*, v. 59, 48–60, 2003.
- DELOR, L.D. Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators. *Canadian Journal of Earth Sciences*. v. 6, 1471-1476, 1969.
- DIAS, F.F., CASTRO, J. W.A., SEOANE, J.C.S., CAMARGO, L.H.R. Indicadores de mudanças climáticas e de variações do nível do mar na costa do Rio de Janeiro: Aquecimento ou Resfriamento? *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, v.1, n.1, 21-32, jan. 2009.
- ENGSTROM, D.R. e NELSON, S.R. Paleosalinity from trace metals in fossil ostracodes compared with observational records at Devils Lake, North Dakota, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*,83: 295-312, 1991.
- EZCURRA DE DRAGO, I. Un nuevo genero sudamericano de esponjas: *Corvoheteromeyenia* gen. nov. (Porifera Spongillidae). *Neotropica*, v. 25, n. 74, p. 109-118, 1979.
- FARIA, C.P. e BOHRER, C.B.A. As Unidades de Paisagem da APA Estadual de Maricá/RJ. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, USP, 2.947-2.953, 2005.
- FORESTER, R.M. Determination of the dissolved anion composition of ancient lakes from fossil ostracodes. *Geology*, v. 14, 796-798, September 1986.
- FREITAS, M.C. Lagunas costeiras: ambientes em evolução. Comunicação apresentada no *Seminário sobre lagunas costeiras e ilhas-barreira da zona costeira de Portugal*, Associação Eurocoast de Portugal, Aveiro, Outubro de 1996. Disponível em http://www.geopor.pt/GPref/Gec/CFreitas.html
- FREDLUND, G. e TIESZEN, L. Phytolith and Carbon Isotope Evidence for Late Quaternary Vegetation and Climate Change in the Southern Black Hills, South Dakota. *Quaternary Research*, 47, 206–217, 1997.

- FROST, T.M. Porifera. In: THORP, J.H.; COVICH, A.P. (Eds.). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. New York: Academic Press, p. 95-124, 1991.
- GOMES J. G. Contribuição para a compreensão da gênese e evolução de solos na bacia do rio São João, RJ, através de análises fitolíticas. Monografia de conclusão de curso. UERJ, Univ. Est. Rio de Janeiro. 137 p., 2012.
- GOMES J. G. Reconstituições paleoambientais do uso do solo e da cobertura vegetal nas bacias dos rios Macacu e Caceribu, RJ, através de biomineralizações de sílica. Dissertação de Mestrado, UFF, Universidade Federal Fluminense, 2013.
- GUERREIRO, R. L., STEVAUX, J. C., PAROLIN, M., ASSINE, M. L. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments in ponds and alluvial sediments of upper Paraná river, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 16, n. 1, p. 39-46, 2013.
- GEBREKIRSTOS, A., BRÄUNING, A., SASS-KLASSEN, U., MBOW, C. Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6:48–53, 2014.
- GHOSH, R., NASKAR, M., BERA, S. Phytolith assemblages of grasses from the Sunderbans, India and their implications for the reconstruction of deltaic environments. *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*, 311, 93–102, 2011.
- GROSS, M. G. Carbon determination. In: CARVER, R. E. *Procedures in Sedimentary*. New York: Wiley-Interscience, 573-596, 1971.
- HALL, B. V., HERRMANN, S. J. Paleolimnology of three species of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae) from a sediment core of a Colorado semidrainage mountain lake. *Transactions of the American Microscopical Society*, Lawrence, v. 99, n. 1, 93-100, 1980.
- HARPER Jr., H.E. e KNOLL, A.H. Silica, diatoms, and Cenozoic radiolarian evolution. *Geology*, n°3, 175-177, 1975.
- HARRISON, F. W. Utilization of freshwater sponges in paleolimnological studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, v. 62, p. 387-397, 1988.
- HARRISON, F.W., GLEASON, P.J., STONE, P.A. Paleolimnology of lake Okeechobee, Florida: an analysis utilizing spicular components of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Not. Nat.*, Philadelphia, 454: 1-6, 1979.
- HERMANY, G. Paleoecologia do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas, Holoceno da Bacia de Pelotas, RS, Brasil Uma abordagem focada na utilização de diatomáceas (Bacillariophyta) como descritores paleoambientais. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. 207p.
- HINKE, S.M.G., RÜDIGER, F., WIENHAUS, O. Analytical methods for the characterization of leaf surfaces: a contribution to understand the processes of biomineralization. *Applied Surface Science*, 252: 113–116, 2005.
- HOLDSWORTH, B.K. e JONES, D.L. Preliminary radiolarian zonation for Late Devonian through Permian time. *Geology*, v. 8, 281-285, June 1980.
- HOOPER, J.N.A. & van SOEST, R.W.M. (Eds.). *Systema Porifera: A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 1–1101, 1103–1706 (2 volumes). 2002a.

- HUNT, G. e ROY, K. Climate change, body size evolution, and Cope's Rule in deep-sea ostracodes. *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), vol. 103, nº 5, 1347–1352, 2006.
- JAHREN, A.H. How and why do phytoliths form? Biomineralization: The Phytolitharien. *Bulletin of the Society for Phytolith Research*, 9, 2–10, 1996.
- 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.
- JESUS, P.B., DIAS, F.F., MUNIZ, R.A., MACÁRIO, K.C.D., SEOANE, J.C.S., QUATTROCIOCCHI, D.G.S., CASSAB, R.C.T., AGUILERA, O., SOUZA, R.C.C.L., ALVEZ, E.Q., CHANCA, I.S., CARVALHO, C.R.A., ARAÚJO, J.C. Holocene paleo-sea level in southeastern Brazil: an approach based on vermetids shells. *Journal of Sedimentary Environments*, v. 2, edição 1, 35-48. 2017.
- KALINOVSKI, E.C.Z., PAROLIN, M., FILHO, E.E.S. Espículas de esponjas em sedimentos turfosos na planície do rio Iapó indicam mudanças paleoambientais desde 1.870 anos. *Paleo PR/SC* Resumos expandidos, v.1, 2013.
- KALINOVSKI, E.C.Z. Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá: UEM. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, 117 p., 2015.
- KALINOVSKI, E.C.Z; PAROLIN, M., FILHO, E.E.S. Esponjas de água doce na América do Sul: o estado da arte da produção científica no Brasil. Unicamp: *TERRÆ DIDATICA*, v.12, edição 1, 4-18, 2016.
- KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. Estuarine variability. Academic Press Inc., 1986.
- KJERFVE, B. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.). Coastal Lagoon Processes. Amsterdam: *Elsevier Oceanography Series*, 1-8. 1994.
- KJERFVE, B., MAGILL, K.E. Geographic and Hydrodynamic Chacacteristics of Shallow Coastal Lagoons. Amsterdam: *Marine Geology. Elsevier Science Publishers B.V.*, 187-199. 1989.
- KROMER, Bernd. Radiocarbon and dendrochronology. *Dendrochronologia*, 27, 15–19, 2009.
- KUERTEN, S., PAROLIN, M., ASSINE, M.L. Espículas de esponjas continentais preservadas em sedimentos arenosos quaternários do Pantanal. In: *XIII Congresso da ABEQUA*. Anais. 2011.
- LABOREL, J., LABOREL-DEGUEN, F. Biological indicators of relative sea-level variation and of co-seismic displacements in the Mediterranean area. *Journal of Coastal Research*, 10 (2), 395-415, 1994.
- LABOREL, J. Vermetids 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, 281-310, 1986.
- LABOREL, J., LABOREL-DEGUEN, F. Biological indicators of Holocene sea-level and climatic variations on rocky coasts of tropical and subtropical regions. *France Quaternary International*, 31, 53-60, 1996.

- LABOURIAU, L.G. Phytolith work in Brazil: a mini review. *The Phytolitharien Newsletter*, 2 (2): 6-10, 1983.
- LAMEGO, A.R. Restingas na Costa do Brasil. *Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim* nº 96, DNPM, 63p., 1940.
- LAMEGO, A.R. Ciclo Evolutivo das Lagunas Fluminenses. Divisão de Geologia e Mineralogia. *Boletim nº 118, DNPM*, 47p., 1945.
- LASLANDES, B. Reconstitution de la variabilité climatique du littoral fluminense (Rio de Janeiro, Brésil) au cours de l'Holocène par l'étude de bio-indicateurs (diatomées, coccolithophoridés). Thèse de Doctorat. Laboratoire des Bio-indicateurs actuels etfossiles, Université d'Angers, Angers, France. 2007.
- LEANDRINI, J.A., CAVALCANTI, A.V., RODRIGUES, L. Diatomáceas. *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, 105-130, 2010.
- LESSA, G.C.; ANGULO, R.J. A framework for the stratigraphy and evolution of the Paranaguá coastal plain—Parana, Brazil. *Proc. Fifth Cong. Braz. Ass. of Quat. Studies* (ABEQUA), Niterói, Brazil, pp. 92–98. 1995.
- LOUREIRO, D.S., MATIAS, M.L.; FREIRE, D.G. Avaliação do conflito sócio-ambiental na APA da restinga de Maricá-RJ. *XVI Encontro Nacional dos Geógrafos*. Porto Alegre, pp. 10, 2010.
- LOWENSTAN, H.A. Minerals formed by organisms. Science, 211: 1126-1131. 1981.
- MACHADO, V.S. *Espongofauna do Paleolago Cemitério, Catalão, GO*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- MACHADO, R.R., ALBUQUERQUE, A.L.S., GOMES, D.F., TURCQ, B.J., SIFEDDINE, A., BICUDO, D.C. Distribuição de diatomáceas em sedimentos superficiais de lagos do nordeste visando a elaboração de modelos de função de transferência para aplicação em estudos paleoambientais. In: *XIII Congresso da ABEQUA*. Anais. 2011.
- MADELLA, M., ALEXANDRE, A., BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, v. 96, 253-260, 2005.
- MAIA, M.C.A., MARTIN, L., FLEXOR, J.M. Evolução holocênica da planície costeira de Jacarepaguá (RJ). *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, 105-118, 1984.
- MANSUR, K.L.; RAMOS, R.R.C.; GODOY, J.M.O. & NASCIMENTO, V.M.R. Beachrock de Jaconé, Maricá e Saquarema RJ: importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 41 (2): p. 290 303. 2011.
- MANTOVANI, W. A degradação dos biomas brasileiros. In: RIBEIRO, W.C. (ed.). *Patrimônio ambiental brasileiro*. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, São Paulo. 367-439. 2003.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FOURNIER, M., MOUGUIART, P., SIFEDDINE, A., VOLKMER-RIBEIRO, C. Some climatic alterations recorded in South America during the

- last 7000 years may be expounded by long-term El Niño like conditions. *Paleo Enso Records*, Lima, 187-192. 1992.
- MARTIN, L., BITTENCOURT, A. C. S. P., DOMINGUEZ, J. M. L., FLEXOR, J. M., SUGUIO, K. Oscillations or not oscillations, that is the question: Comment on Angulo, R.J. and Lessa, G.C. "The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions" [Marine Geology. 140, 141–166]. Marine Geology, 150, p.179 187. 1998.
- MARTIN, L., DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P. Fluctuating Holocene sea levels is eastern and southeastern Brazil: evidence from a multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research*, v 19, 101–124, 2003.
- McLUNG de TAPIA, E., CABADAS-BÁEZ, H., VALLEJO GÓMEZ, E., GAMA-CASTRO, J., SOLLEIRO-REBOLLEDO, E., SEDOV, S. Phytoliths as Indicators of Paleosols and Grassland Vegetation in the Teotihuacan Valley, Mexico. In: KORSTANJE, M.A. e BABOT, M. (Org.) *Matices Interdisciplinarios em Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. British Archaeological Reports International Series 1870. Oxford: British Archaeological Reports, 67-76. 2008.
- McQUOID, M.R., HOBSON, L.A. Assessment of palaeoenvironmental conditions on southern Vancouver island, Bristish Columbia, Canada, using the marine Tychoplankter *Paralia Sulcata*. *Diatom Research*, (2), 311-321. 1998.
- McQUOID, M.R., NORDBERG, K. The diatom Paralia sulcata as an environmental indicator species in coastal sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 56, 339–354, 2003.
- MEDEANIC, S., CORRÊA, I.C.S., WESCHENFELDER, J. Palinomorfos nos sedimentos de fundo da laguna dos Patos-RS: aplicação nas reconstruções paleoambientais. Porto Alegre: *Gravel*, nº 5, 2007.
- MEDEANIC, S., CORDAZZO, C.V., CORRÊA, I.C.S., MIRLEAN, N. Os fitólitos em gramíneas de dunas do extremo sul do Brasil: variabilidade morfológica e importância nas reconstruções paleoambientais costeiras. Porto Alegre: *Gravel*, v. 6, nº 2, 2008.
- MEDIOLI, F.S. e SCOTT, D.B. Lacustrine the camoebians (mainly arcellaceans) as potential tools for palaeolimnological interpretations *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*, 62:361-386, 1988.
- MONTEIRO, M.R., PAROLIN, M., GUERREIRO, R.L. Primeiras considerações paleoambientais com análise de fitólitos em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná. In: *Cong. Abequa, 13*, 2011. Res. Expand., Ass. Bras. Estudos Quaternário, Búzios, RJ. 2011.
- MONTEIRO, M. R., PEREIRA, J. S. R., RASBOLD, G.G., PAROLIN, M., CAXAMBÚ, M.G. Morfologia de Fitólitos Característicos de duas Espécies de Arecaceae do Bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. *Rev. Biol. Neotr.*, 9(1):10-18, 2012.
- MUEHE, D.C.E. H. e CORRÊA, C.H.T. The Coastline Between Rio de Janeiro and Cabo Frio. *Coastlines of Brazil*. American Society of Civil Engineers. New York, p. 110-123, 1989.

- MUEHE, D. Evidence of landward translation of beach barriers east of Guanabara bay. In: Latin American Regional Conference. Rio de Janeiro. Abstracts. *International Geographical Union*. 1982.
- MURICY, G., LOPES, D.A., HAJDU, E., CARVALHO, M.S., MORAES, F.C., KLAUTAU, M., MENEGOLA, C., PINHEIRO, U. *Catalogue of Brazilian Porifera* / Guilherme Muricy [et al.]. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2011. 300 p. (Série Livros; 46)
- NEUMANN, K., FAHMY, A., LESPEZ, L., BALLOUCHE, A., HUYSECOM, E. The Early Holocene palaeoenvironment of Ounjougou (Mali): Phytoliths in a multiproxy context. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 276, 87–106, 2009.
- OLIVEIRA, L., NASCIMENTO, R., KRAU, L., MIRANDA, A. Observações biogeográficas e hidrobiológicas sobre a lagoa de Maricá. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 53, 171-227, 1955.
- OLIVEIRA, P.E., SANTIAGO-HUSSEIN, M.C., FERNANDES, R.S., SUGUIO, K., FRANCA-BARRETI, A.M., BEZERRA, F.H. Reconstrução paleoambiental do Holoceno da Lagoa Olho D'água (Recife, PE) através de análises diatomológica e palinológica. *Anais do IX Congresso da ABEQUA*. PE: Recife, 2003.
- OLIVEIRA, A.S., SILVA, J.G. A Vegetação de Restinga no Município de Maricá-RJ (1). *Acta Botânica Brasileira*, 3(2), 1989 supl.
- OSTERRIETH, M.L. Pirita framboidal en secuencias sedimentarias del Holoceno tardío en Mar Chiquita, Buenos Aires, Argentina. *Actas IV Reunión Arg. de Sedimentología*, 2: 73-80, 1992.
- OSTERRIETH, M.L. Biomineralizaciones de hierro y calcio, su rol en procesos biogeoquímicos de secuencias sedimentarias del sudeste bonaerense. *Actas XVI Congreso Geológico Argentino*, III: 255-262, 2005.
- OSTERRIETH, M.L. Ciclo biogeoquimico del Silicio: Biomineralizaciones silíceas. J. Gallardo Lancho Ed. T(II): *Medioambiente en Iberoamérica*: 583-590, 2006.
- OSTERRIETH, M. Rol y importância del estudio de las biomineralizaciones en Biología, Geología y Arqueología. Curso ministrado no 7th International Meeting on Phytolith Research, Mar del Plata., 2008.
- PAISANI, S.D.L.; PAISANI, J.C.; OSTERRIETH, M., PONTELLI, M.E. Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem superfície de Palmas Água Doce (Sul do Brasil). São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 35, n. 3, 426-442, 2016.
- PAROLIN, M. e STEVAUX, J. C. Clima Seco e Formação de Dunas Eólicas durante o Holoceno Médio em Taquaruçu, Mato Grosso do Sul. *Pesquisas em Geociências* (UFRGS). Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 233-243, 2001.
- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J. C. Caracterização paleoambiental a partir de espículas silicosas de esponjas em sedimentos lagunares na região de Taquaruçu MS. Paleo 2003 Reunião Regional de Paleontologia. *Paleontologia em Destaque*, Porto Alegre, v. 44, p. 18, 2003.
- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J.C. Mudanças ambientais durante o Holoceno e final do Pleistoceno indicadas por espongofacies na região de Taquarussu/MS Brasil. In: *X Congresso da ABEQUA*. Anais, 2005.

- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J.C. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná River, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, 17-26, 2007.
- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J.C. Use of Spongofacies as a Proxy for River-Lake Paleohydrology in Quaternary Deposits of Central-Western Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 11(3):187-198, Setembro/Dezembro 2008.
- PAROLIN, M., DOMICILIANO, R.T., GUERREIRO, R.L., CAXAMBÚ, M.G. Primeiras considerações palinológicas e paleoclimáticas do Pleistoceno Tardio na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil. In: *XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*. Anais, 2010.
- PAROLIN, M., RASBOLD, G.G., PESSENDA, L.C.R. Primeiras considerações palinológicas e paleoclimáticas do Pleistoceno Tardio na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil. In: *Cong. Abequa, 13*, 2011. Res. Expand., Búzios, RJ, Ass. Bras. Est.do Quaternário, 2011.
- PAROLIN, M., SILVA, K.C., BISSA. W.M. Espículas de esponjas vs. variações do nível relativo do mar na região de Iguape, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 15(3): 319-326, Setembro/Dezembro, 2012.
- 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.
- PATTERSON, R.T., MACKINNON, K.D.D., SCOTT, B., MEDIOLI, F.S. Arcellaceans ("thecamoebians") in small lakes of New Brunswick and Nova Scotia: modern distribution ad Holocene stratigraphic changes. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 15, no. 2, 114-137, pl. 1-4, April 1985.
- PAULA, L.M.A., SILVA, P.C. A formação do mineral opala biogênica nos solos dos cerradões de Uberlândia. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Res. Expand., Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- PEREIRA, A. J. Investigação da Estratigrafia da Região Costeira de Maricá —Praia de Itaipuaçú (RJ) Através do Ground Penetration Radar (GPR). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. 93p., 2001.
- 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 Itaipuaçú Maricá (RJ). *Revista Brasileira de Geofisica*. EDUFF, Niterói, v. 21 (2), 163-171, 2003.
- PEREIRA, A.J. Caracterização estratigráfica da planície costeira de Itaipuaçú (Maricá) Rio de Janeiro, durante o Quaternário. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. 388p. 2009.
- PERRIN, P. Evolução da Costa Fluminense entre as Pontas de Itacoatiara e Negra, preenchimentos e restingas. In: *Restingas, origens, processos*. LACERDA, L. D., ARAÚJO, D. S. D., CERQUEIRA, R., TURCQ, B. (Eds). CEUFF, Niterói. pp. 65-74, 1984.
- PINHEIRO U., SILVA, C., CALHEIRA, L. 2015. Sanidaster in freshwater sponges: an unexpected spicule for the birotuled *Genus Corvoheteromeyenia* Ezcurra de Drago. *Zoosystema* 37 (3): 449-456, 1979. Disponível em http://dx.doi.org/10.5252/z2015n3a2.

- PIPERNO, D. R. *Phytoliths Analysis: an archaelogical and geological perspective*. San Diego: Academic Press, 1988.
- PIPERNO, R. D., BECKER, P. Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils. *QuaternaryResearch*, v. 45, 202–209, 1996.
- PIPERNO, D. R. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists.* New York: Altamira press, 2006.
- PRONZATO, R. e MANCONI, R. Mediterranean commercial sponges: over 5000 years of natural history and cultural heritage. *Marine Ecology*, 146-166, 2008.
- RACEK, A. A. Spicular remains of freshwater sponges. *Memoirs of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, New Haven, v. 17, 78-23, 1966.
- RAMOS, Y.B.M. Coleções de referência de assembleias fitolíticas modernas na restinga da planície costeira de Maricá, RJ, para fins de reconstituições paleoambientais. Monografia de Graduação. Departamento de Geografia FFP//UERJ, 2014.
- RAMOS, Y.B.M. Reconstituição paleoambiental na Ilha Grande através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2016.
- RASBOLD, G.G., PAROLIN, M., CAXAMBÚ, M.G. Avaliação das formas de fitólitos presentes em *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae). *Anais do V Encontro de Produção Científica e Tecnológica*. Outubro, 2010.
- RASBOLD, G.G., MONTEIRO, M.R., PAROLIN, M., CAXAMBÚ, M.G.I., PESSENDA, L.C.R. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). *IHERINGIA*, *Série Botânica*, Porto Alegre, v. 66, n.2, p. 265-270, Dez. 2011.
- RASBOLD, G.G., PAROLIN, M., CAXAMBÚ, M. G. Avaliação e quantificação dos fitólitos presentes em *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman (*Chloridoideae*). *IHERINGIA*, *Série Botânica*, Porto Alegre, v. 67, n.2, p. 137-148, Dez. 2012.
- RASBOLD, G.G., RAIFUR, I., PAROLIN, M., STEVAUX, J.C., LELI, I.T. Espículas de esponja preservadas em sedimento da Ilha Grande, alto rio Paraná. *Paleo PR/SC Resumos expandidos*, v.2, 2014.
- RASBOLD, G.G., PAROLIN, M., CAXAMBU, M.G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises *nultiproxy*, Turvo, Estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(2):315-324, Maio/Agosto 2016.
- REZENDE, A. B. Espículas de esponja em sedimentos de lagoa como indicador paleoambiental no NW do Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado em Análise Geoambiental CEPPE, Universidade de Guarulhos, Guarulhos-SP, 2010.
- RIBEIRO, F.C.P. Palinomorfos Aquáticos (Diatomáceas) em Sedimentos Lamosos de Intermaré da Praia de Itupanema, Município de Barcarena-Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, 2007. 100p.
- RIBEIRO, F.C.P., SENNA, C.S.F. O uso de diatomáceas como bioindicadores paleoambientais na costa brasileira. In: *Congresso da ABEQUA*. Anais, 2005.

- RICARDO, S. D. F. Caracterização de fitólitos de plantas e solos superficiais da Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional. Monografia de conclusão de curso, UERJ/FFP, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2016.
- RICKETTS, R.D., JOHNSON, T.C., ERIK, T.B., RASMUSSEN, K.A., ROMANOVSKY, V.V. The Holocene paleolimnology of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan: trace element and stable isotope composition of ostracodes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176, 207-227, 2001.
- ROCHA, A. P. Reconstituição Paleobiogeoclimática da Depressão de Gouveia (Minas Gerais) no Quaternário através de Análises de Fitólitos e Isótopos de Carbono. Monografia de conclusão de curso, UERJ/FFP, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.
- RUPPERT, E.E., BARNES, R. D. Zoologia dos Invertebrados. 6. ed. São Paulo: Editora Roca, 1996. 1028 p.
- SAIA, S.L.M.G. Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no vale do Ribeira (sul do Estado de São Paulo). Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP). Piracicaba, 2006.
- SANTOS, C.P., COE, H.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. *Rev. Tamoios*, São Gonçalo (RJ), ano 13, n. 1, 121-135, 2017.
- 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.B. Assembleias de diatomáceas em sedimentos holocênicos no extremo sul do Brasil: reconstruções paleoambientais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2011. 120p.
- SANTOS, G.B., CASTRO, P.T.A., PAROLIN, M., DOCIO, L., COSTA, D.H. Análise de espículas de esponjas como indicadores paleoambientais em sedimentos lacustres no oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 19(3): 439-448, Setembro/Dezembro 2016.
- 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.
- SCHWARTZ M.L. The multiple causality of barrier island. *Journal of Geology*, 79:91-94. 1971.
- SEIXAS, A. P. Reconstituição paleobiogeoclimática de registros sedimentares fluviais no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, através de análises fitolíticas e de isótopos de carbono. Monografia de conclusão de curso, UERJ/FFP, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.
- SEIXAS, A.P. Condições paleoambientais associadas à ocorrência de Stone-lines em latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2017.

- SHEPARD, F. P. Sedimentation rates in Texas estuaries and lagoons. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 37, 8, 1919-1934, 1953.
- SIFEDDINE, A., FROHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIÈS, F., TURCQ, B., SUGUIO, K., VOLKMER-RIBEIRO, C. La sedimentation lacustre indicateur de changements des paleoenvironments aucours des 300.000 derniere annees Carajás Amazonie, Brésil. *C R Académie Des Sciences*, Paris, v. 318, n. 2, p. 1645-1652, 1994.
- SILVA, A.L.C. Arquitetura Sedimentar e Evolução Geológica da Planície Costeira Central de Maricá (RJ) ao longo do Quaternário. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 185 p., 2011.
- SILVA, A.L.C., SILVA, M. A.M., SANTOS, C.L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçú (Maricá, RJ) nas últimas Três Décadas. *Revista Brasileira de Geociências*. Sociedade Brasileira de Geologia, 38 (1), 89-99, 2008.
- SILVA, A.L.C., SILVA, M.A.M., GAMBOA, L.A.P., RODRIGUES, A.R., PEREIRA, A.J., GAMBOA, L.A.P. Depositional sequences in the central coast of Maricá (RJ) identified through ground penetrating radar (GPR) investigation. *Eleventh International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. Salvador, Brazil. p. 1 5. 2009.
- 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. *Brazilian Journal of Geology*, 44(2): 191-206, (Jun) 2014a.
- SILVA, A.L.C.; SILVA, M.A.M., SOUZA, R.S., PINTO, M.L.V. The role of beachrocks on the evolution of the Holocene barrier systems in Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue., 70, 170-175. 2014b.
- 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). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.2, (Abr-Jun), 231-249, 2014c.
- SILVA, K.C., PAROLIN, M., BISSA, W.M. Espículas de esponjas em turfeira no baixo curso do rio Ribeira de Iguape (SP) indicam variações do nível relativo do mar durante o Holoceno médio. In: *XIII Congresso da ABEQUA*. Anais. 2011.
- SILVA, K. C., PAROLIN, M., BISSA, W. M. Espículas de esponjas vs. variações do nível relativo do mar na região de Iguape, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 15, n. 3, p. 319-326, 2012.
- SILVA, S.M. *Diagnóstico das Restingas no Brasil*. Departamento de botânica-setor de ciências biológicas. Universidade Federal do Paraná. 1999.
- SILVESTRE, C.P. Estrutura interna da barreira holocênica e seus condicionantes geológicos (Maricá-RJ). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, 2013.
- SILVESTRE, C.P., SILVA, A.L.C., SILVA, M.A.M., BAPTISTA NETO, J.A., VASCONCELOS, S.C. Geomorfologia, sedimentação e processos atuantes na Lagoa de Maricá. Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18, 237-256, 2017.
- SMOL, J.P. e STOERMER, E.F. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Second Edition, University Press, Cambridge, UK, 667 pp, 2010.
- SOMMER, M., KACZOREK, D., KUZYAKOV, Y., BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169: 310–329, 2006.

- SOUZA, C.R.G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.S., OLIVEIRA, P.E. *Quaternário do Brasil.* Holos Editora, Ribeirão Preto, São Paulo, p.382, 2005.
- SOUZA, G.S., KOENING, M.L., LEÇA, E.E., COÊLHO, M.P.C.A. Diatomáceas indicadoras de paleoambientes do Quaternário de Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. *Acta bot. bras.*, 21(3): 521-529, 2007.
- SOUZA, R.C.C.L., LIMA, T.A., SILVA, E.P.. *Conchas marinhas de sambaquis do Brasil.* 1. ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 1. 2011. 254p.
- STEVAUX, J.C. Upper Paraná River (Brazil) Geomorphology and Paleoclimatology. *Quaternary International*, n. 21, 143-161, 1994a.
- STEVAUX, J. C. Geomorfologia, Sedimentologia e Paleoclimatologia do Alto Curso do Rio Paraná (Porto Rico-PR). *Boletim Paranaense de Geociências*. Curitiba: Editora da UFPR, n. 42, 97-112, 1994b.
- STEVAUX, J.C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. *Quaternary International*, n. 72, p. 73-85, 2000.
- SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Passado+Presente=Futuro? São Paulo: Paulo's Comunicações e Artes Gráficas. 366 p., 1999.
- SUGUIO, K. Geologia do quaternário e mudanças ambientais. São Paulo: Oficina de textos. 2010.
- SUGUIO, K.: MARTIN, L; BI'ITENCOURT, C.S.P.; DOMINGUEZ, J. M.L; FLEXOR, J.M. e AZEVEDO A.E.G. 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(4): 273-286, 1985.
- TOLEDO, M. B. Evolução ambiental da Lagoa Salgada, sudeste do Brasil, com base em estudos palinológicos. Rio de Janeiro. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências* V, 156-159, 1998.
- TURCQ, B.; SUGUIO K.; VOLKMER-RIBEIRO, C. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironments aucours dos 300.000 dernières années (Carajás Amazonie, Brésil). Comptes Rendus de L'académie des Sciences de Paris, 318:1645-1652, 1994.
- TURCQ, B., SUGUIO, K., MARTIN, L., FLEXOR, J.M. Registros milenares nos sedimentos dos lagos da serra de Carajás. *Ciência Hoje*, 16 (93): 31-35, 1998.
- TURCQ, B., MARTIN, L., FLEXOR, J. M., SUGUIO, K., PIERRE, C. & TASAYACO ORTEGA, L. Origin and Evolution of the Quaternary Coastal Plain Between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems. Rio de Janeiro, Brazil série *Geoquímica Ambiental*, 6, 25-46, 1999.
- VOLKMER-RIBEIRO, C. Porifera. *In*: HULBERT, S. H.; RODRÍGUEZ, G.; SANTOS, N.D. (Eds.). Aquatic biota of tropical South America: being a compilation of taxonomic bibliographies for the fauna and flora of inland waters of the tropical portion of South America. San Diego: San Diego State University, Anartrophoda, v. 2, p. 86-95, 1981.
- VOLKMER-RIBEIRO, C. Esponjas de água doce. In: Sociedade Brasileira de Zoologia (Org.). Manual de técnicas para preparação de coleções zoológicas, São Paulo, v. 3, p. 01-06, 1985.

- VOLKMER-RIBEIRO, C., DE ROSA-BARBOSA, R. Neotropical freshwater sponges of the Family Potamolepidae Brien, 1967. In: LEVI, C., BOURY-ESNAULT, N. (Eds.). Biologie des Spongiaires. Colloques Internationaux du C. N. R. S. n° 291. Paris: *Centre National de la Recherche Scientifique*, p. 503-511, 1979.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., GROSSER, K. M. Gut contents of Leporinus obtusidens "sensu" Von Ihering (pisces, Characoidei) used in a survey for freshwater sponges. *Revista Brasileirade Biologia*, Rio de Janeiro, v. 41, n. 1, p. 175-183, 1981.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., MOTTA, J.F.M. Esponjas formadoras de espongilitos em lagoas no Triângulo Mineiro e adjacências, com indicação de preservação de habitat. *Biociências*, v.3, n. 2, 145-169, 1995.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., MANSUR, M.C.D., MERA, P.A.S., ROSS, S.M. Biological Indicators in the Aquatic Habitats of the Ilha de Maracá, Roraima, Brazil. In: MILIKEN, W., RATTER, J. A. (Eds.). *Maracá: The biodiversity and environment of an Amazonian rainforest*. New York: John Wiley & Sons, 403-414, 1998.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., PAULS, S. M. Esponjas de agua dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, v. 20, n. 1, p. 1-28, 2000.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., SIFEDDINE, A., ALBUQUERQUE, A. L. Avaliação ambiental indicada por espículas silicosas de esponja nos sedimentos atuais e sub- fósseis do lago do Caçô, MA. In: *VIII Congresso da ABEQUA*. Boletim de resumos, Imbé, 333-335, 2001b.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., TURCQ, B. SEM analysis of silicious spicules of a freshwater sponge indicate paleoenvironmental changes. *Acta Microscópica*, Rio de Janeiro, v. 5, 186-187, Suplemento B, 1996.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., MARQUES, D.M., ROSA-BARBOSA, R., MACHADO, V.S. Sponge spicules in sediments indicate evolution of coastal freshwater bodies. *Journal of Coastal Research*, v. 39, 469-472, 2004.
- VOLKMER-RIBEIRO C., MARQUES D. M., DE ROSA-BARBOSA R., MACHADO V. S. Sponge spicules insediments indicate evolution of coastal freshwaterbodies. Journal of Coastal Research, 39: 469-472. 2006.
- VOLKMER-RIBEIRO C., MACHADO V. S. Freshwater sponges (Porifera, Demospongiae) indicators of some coastal habitats in South America: redescriptions and key to identification. *Iheringia, Ser. Zool.*, Porto Alegre, 97(2): 157-167. 2007.
- VOLKMER-RIBEIRO, C., PAROLIN, M. As esponjas. *In*: PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., LEANDRINI, J. A. (Orgs.). Abordagem ambiental interdisciplinar embacias hidrográficas no Estado do Paraná. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, p. 105-130, 2010.
- WEINER S., DOVE P.M. An overview of biomineralization processes and the problem of the vital effect. *Rev Mineral Geochem* 54:1-29. 2003.
- WESOLOWSKI V., SOUZA S.M.F.M., REINHARD K. Grânulos de amido e fitólitos em cálculos dentários humanos: contribuição ao estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos do litoral sul do Brasil. *Rev. Mus. Arq. Etn.*, 17:191-210, 2007.
- WIGHTMAN, W.G., SCOTT, D.B., MEDIOLI, F.S. and GIBLING, M.R. Agglutinated foraminifera and the camoebians from the Late Carboniferous Sydney coalfield, Nova Scotia: paleoecology, paleoenvironments and paleogeographical implications. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoecology,* 106:187 202, 1994.

ZHANG, J., TOMCZAK, M., LI, C., WITKOWSKI, A., QIU, Y., CHEN, H., GAO, H. Significance of the Paralia sulcata fossil record in palaeoenvironmental reconstructions of the SE Asia marginal seas over the Last Glacial Cycle. In: Clift, P. D., Harff, J., Wu, J. & Yan, Q. (eds) *River-Dominated Shelf Sediments of East Asian Seas*. Geological Society, London, Special Publications, 429. 2015. http://doi.org/10.1144/SP429.11.

ZONG, Y. Implications of Paralia Sulcata abundance in Scottish isolation basins. *Diatom Research*, 12 (l), 125-150. 1997.

APÊNDICES

8.1.RELAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS, CARACTERÍSTICAS IDENTIFICADAS EM CAMPO E AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ANÁLISES DE BIOMINERALIZAÇÕES, GRANULOMETRIA, DATAÇÃO E ISÓTOPOS DE CARBONO – SONDAGEM 1

			Sondagem 1			
		Localização: Recanto 3 – 3º Loteamento		Coordenadas: 22 ⁰ 57' 42.9" S / 43 ⁰ 0' 11.1" O		
Prof.		Características observadas em campo				
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	14C	Granul.
1	Marrom escuro	Marrom escuro Lama Presença de Madeira (turfa)		X	X	X
1,30	Marrom escuro	Lama	Cheiro forte			
1,50	Cinza	Lama		X		
1,60	Cinza	Lama				
1,70	Cinza	Muito lamosa				
2	Cinza		Presença de Fragmentos de madeira	X		X
2,25	Cinza		Presença de Fragmentos de concha			
2,40	Cinza	Lama arenosa	Algumas conchas inteiras e muitos fragmentos de concha	X		X
2,70	Cinza	Lama arenosa	Presença de concha			
2,85	Cinza	Areia com muita matéria orgânica	Presença de Fragmentos de concha			
2,90	Cinza	Areia lamosa	Presença de Fragmentos de concha			
3	Cinza	Areia lamosa	Presença de Fragmentos de concha			
3,10	Cinza	Areia lamosa	Presença de Fragmentos de concha	X	X	X
3,25	Cinza	Menos arenosa / lama arenosa ou areia lamosa (?)	Presença de Fragmentos de concha A consistência da amostra ficou mais dura			
4	Cinza um pouco mais clara	Concreções de lama no meio da areia	Poucos fragmentos de concha, diminuiu bastante. Essa amostra não foi extraída com sonda. A partir daqui passou a usar a sonda. Muita areia lavada.	X		X
4,5		Areia, baixo teor de lama	A partir daqui já foi com a sonda, Fragmentos (só fragmentos)			
4,75		<u>Mudança</u> : Areia grossa com presença de cascalho anguloso; também presença de feldspato				

		Sonda	gem 1 (Continuação)				
		Localização:		Coordenadas:			
		Recanto 3 – 3º Loteament	o – Rua 5	22 ⁰ 57' 42.9" S / 43 ⁰ 0' 11.1" C			
Prof.		rvadas em campo					
	Cor	Fração	Observações	Bimineralizaçõe	14C	Granul.	
				S			
				de Sílica			
4,80		Areia bastante heterogênea com presença de	Pedaço grande de madeira				
		cascalho anguloso e cascalhos maiores bem		X	X	X	
		arredondados e angulosos (foto: quartzo).	Presença de feldspato.				
5	Cinza claro	Lama arenosa					
5,25	Cinza azulado	Lama arenosa		X		X	
5,50		Mudança: areia grossa / lama arenosa com					
		cascalho bem anguloso					
5,70	Cinza	Lama arenosa /					
		Presença de cascalhos, quartzo e feldspato.					
5,85	Cinza	Lama arenosa	Material bem firme, "colmatado"				
		Presença de feldspato	Material anguloso				
6	Cinza azulado	Lama arenosa		X	X	Х	
		Presença de feldspato		Λ	Λ	Λ	

8.1. <u>RELAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS, CARACTERÍSTICAS IDENTIFICADAS EM CAMPO E AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ANÁLISES DE BIOMINERALIZAÇÕES, GRANULOMETRIA, DATAÇÃO E ISÓTOPOS DE CARBONO – SONDAGEM 2</u>

			Sondagem 2				
	Localização: Brejo do reverso da barreira holocênica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.				Coordenadas: 22° 57' 44.6" S / 42° 59' 58.1" O		
Prof.		Cara	cterísticas observadas em campo	Aná	Análises		
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	¹⁴ C	Granul.	
0,50	Marrom bem escuro	Lama	Cheiro forte Fragmentos orgânicos (raízes)	X		X	
0,60	Marrom bem escuro	Lama	Cheiro forte Fragmentos orgânicos (raízes)				
0,70	Marrom bem escuro	Lama	Turfeira / Cheiro forte Fragmentos orgânicos (raízes)				
0,90	Marrom escuro	Lama	Turfeira / Cheiro mais forte Presença de muita madeira				
1,10	Marrom escuro	Lama	Turfeira Cheiro bem mais forte Cheio de madeira / Bastante raízes	X	X	X	
1,40	Marrom escuro	Lama	Turfeira Cheiro bem mais forte / bastante raízes				
1,50	Marrom indo para cinza		Turfeira				
1,60	Mudança na coloração: bem cinza		Continua tendo pedaços de madeira				
1,70	Cinza	Lama	Ainda tem madeira	X		X	
1,80	Cinza		Ainda tem madeira				
1,95	Cinza	Lama	Não tem madeira				
2,05	Cinza						
2,15	Cinza						

			Sondagem 2 (continuação)				
	Brejo	Localiza do reverso da barreira holocênica e		Coordo 22° 57' 44.6" S	enadas: / 42° 59' 58.1	." O	
Prof.			s observadas em campo	Análises			
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	Granul.	¹⁴ C	
2,30	Cinza para cinza "amarronzada"	Lama		X		X	
2,50	Cinza	Lama					
2,70	Cinza	Lama					
2,85	Cinza	Lama					
3,00	Cinza	Lama bem argilosa					
3,10	Cinza	Lama bem argilosa		X	X	X	
3,20	Cinza	Lama bem argilosa					
3,40	Cinza	Lama bem argilosa					
3,60	Cinza	Material muito consolidado					
3,80	Cinza	Material muito consolidado					
4,00	Cinza	Material muito consolidado	Pedaço de madeira	X	X	X	
4,20	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)				
4,50	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)				
4,70	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)				
4,80	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)				
4,95	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)	X	X	X	
5,80	Cinza	Lama	Material menos consolidado (mais "mole" com mais água)	X	X	X	

8.1. <u>RELAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS, CARACTERÍSTICAS IDENTIFICADAS EM CAMPO E AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ANÁLISES DE BIOMINERALIZAÇÕES, GRANULOMETRIA, DATAÇÃO E ISÓTOPOS DE CARBONO – SONDAGEM 3</u>

			Sondagem 3			
	Bre		Localização: ocênica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.	Coor 22°57'49.4" S	denadas: S / 42°59'55.1	l" O
Prof.		Carac	terísticas observadas em campo	Aı	nálises	
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	Granul.	¹⁴ C
0,0-0,10	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha.	X	X	
0,10-0,20	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha			
0,20-0,30	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha			
0,30-0,40	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha			
0,40-0,50	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha. Amostra mais úmida			
0,50-0,60	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha. Amostra mais úmida			
0,60-0,70	Marrom escuro	Lama	Presença de matéria orgânica, incluindo pedaços raízes, sem odor, ausência de concha e/ou fragmentos de concha. Amostra mais úmida e com pedaços de madeira			
0,70-0,80	Marrom escuro	Lama	Amostra bem mais úmida e com odor. Nesta profundidade foi atingido o lençol freático. Presença de pedaços maiores de raízes			
0,80-0,90	Marrom escuro	Lama	Amostra bem mais úmida e com odor. Presença de pedaços maiores de raízes			
0,90-1,00	Cinza esverdeado	Lama	Amostra bem mais úmida e com odor mais forte. Presença de pedaços grandes de madeira	X	X	X
1,00-,1,10	Cinza	Lama	Amostra bastante úmida, com presença de MO e com forte odor			
1,10-1,20	Cinza	Lama	Amostra bastante úmida, com presença de MO e com forte odor			
1,20-1,30	Cinza	Lama	Amostra bastante úmida, com presença de MO e com forte odor			·

			Sondagem 3 (continuação)			
			Localização:	Coor	denadas:	
	Bre	jo do reverso da barreira ho	olocênica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.	22°57'49.4" S	S / 42°59'55.1	" O
Prof.			acterísticas observadas em campo	Análises		
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações	Granul.	¹⁴ C
()	001	Tinguo	Observações	de Sílica	Granar.	Č
1,30-1,40	Cinza	Lama	Amostra bastante úmida, com presença de MO e com forte odor	00 511100		
1,40-1,50	Cinza	Lama	Amostra com MO, grande quantidade de água e com forte odor			
1,50-1,60	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
1,60-1,70	Cinza	Lama com um pouco de areia	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
1,70-1,80	Cinza	Lama + areia	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
1,80-1,90	Cinza	Lama + areia	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
1,90-2,00	Cinza	Lama + areia	Amostra úmida, com presença de MO e com cheiro forte	X	X	
2,10-2,20	Cinza	Lama + areia	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,20-2,30	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,30-2,40	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,40-2,50	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,50-2,60	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,60-2,70	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor mais forte			
2,70-2,80	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,80-2,90	Cinza mais forte	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
2,90-3,00	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor	X	X	X
3,00-3,10	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,10-3,20	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,20-3,30	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,30-3,40	Cinza mais escuro	Lama	Amostra com MO, grande quantidade de água e com odor			
3,40-3,50	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,50-3,60	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,60-3,70	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,70-3,80	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,80-3,90	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO e com odor			
3,90-4,00	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor	X	X	
4,00-4,10	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,10-4,20	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,20-4,30	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			

			Sondagem 3 (continuação)			
			enadas:			
	В		a holocênica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.	22°57'49.4" S / 42°59'55.1" O		
Prof.	rof. Características observadas em campo		Aná	llises		
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	Granul.	¹⁴ C
4,30-4,40	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,40-4,50	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,50-4,60	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,60-4,70	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,70-4,80	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,80-4,90	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
4,90-5,00	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor	X	X	
5,00-5,10	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor			
5,10-5,20	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, fragmentos de concha e com odor. Presença de raízes e de madeira			
5,20-5,30	Cinza	Lama	Amostra úmida, com presença de MO, raízes e fragmentos de concha e com odor			
5,30-5,40	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas (bivalves) e fragmentos de concha	X	X	X
5,40-5,50	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas (bivalves) e fragmentos de concha			
5,50-5,60	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha de diversos tamanhos			
5,60-5,70	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha			
5,70-5,80	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha de diversos tamanhos			
5,80-5,90	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha de diversos tamanhos			
5,90-6,00	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha de diversos tamanhos			
6,00-6,10	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e fragmentos de concha de diversos tamanhos			
6,10-6,20	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO e de conchase inteiras			
6,20-6,30	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas (bivalves) e fragmentos de concha	X	X	
6,30-6,40	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas (bivalves) e fragmentos de concha			

			Sondagem 3 (continuação)				
			Localização:	Coord	enadas:		
	H	Brejo do reverso da barrei:	ra holocênica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.	22°57'49.4" S / 42°59'55.1" O			
Prof.		(Características observadas em campo	Ana	álises		
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	Granul.	¹⁴ C	
6,40-6,50	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, e fragmentos de concha				
6,50-6,60	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, e fragmentos de concha				
6,60-6,70	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, e fragmentos de concha				
6,70-6,80	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor, presença de MO, e fragmentos de concha				
6,80-6,90	Cinza	Lama	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas e fragmentos de concha				
6,90-7,00	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor, presença de MO, conchas intactas (bivalves) e fragmentos de concha (bivalve)	X	X	X	
7,00-7,10	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO				
7,10-7,20	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO				
7,20-7,30	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO e fragmento de concha				
7,30-7,40	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO e poucos fragmentos de concha				
7,40-7,50	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO e poucos fragmentos de concha				
7,50-7,60	Cinza	Lama com areia	Amostra menos úmida (menos enxargada), com odor e presença de MO				
7,60-7,70	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO e muitos fragmentos de concha				
7,70-7,80	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO				
7,80-7,90	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida, com odor e presença de MO				
7,90-8,00	Cinza	Lama com areia	Amostra muito úmida (com água), com odor mais forte				
8,00-8,10	Cinza	Lama	Amostra úmida com consistência muito mole				
8,10-8,20	Cinza	Lama	Grande quantidade de água na amostra				
8,20-8,30	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor mais fraco, com muita água				
8,30-8,40	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, com muita água	X	X		
8,40-8,50	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, com muita água				
8,50-8,60	Cinza	Lama com areia	Amostra úmida com odor, muito úmida				
8,60-8,70	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
8,70-8,80	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
8,80-8,90	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				

			Sondagem 3 (continuação)				
		Loc	calização:	Coorde	enadas:		
	Brejo do	reverso da barreira holocên	ica em Itaipuaçú. Setor oeste de Itaipuaçú.	22°57'49.4" S / 42°59'55.1" O			
Prof.			erísticas observadas em campo	Análises			
(m)	Cor	Fração	Observações	Bimineralizações de Sílica	Granul.	¹⁴ C	
8.90-9,00	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,00-9,10	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,10-9,20	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,20-9,30	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de fragmento de concha e uma concha inteira	X	X		
9,30-9,40	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,40-9,50	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,50-9,60	Cinza	Lama com um pouco de areia	Amostra úmida com odor				
9,60-9,70	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de fragmento de concha				
9,70-9,80	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, poucos fragmentos de concha				
9,80-9,90	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
9,90-10,00	Cinza	Lama com areia fina	Amostra úmida com odor, poucos e pequenos fragmentos de concha				
10,00-10,10	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
10,10-10,20	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
10,20-10,30	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
10,30-10,40	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
10,40-10,50	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de fragmento de concha	X	X	X	
10,50-10,60	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de fragmento de concha				
10,60-10,70	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor	<u> </u>			
10,70-10,80	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
10,80-11,00	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				
11,00-11,10	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de fragmento de concha e de madeira				
11,10-11,20	Cinza bem forte	Lama	Amostra úmida com odor				
11,20-11,50	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor, presença de concha inteira. Material muito "mole"	X	X	X	
11,50-12,00	Cinza	Lama	Amostra úmida com odor				

8.2. PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE ESPÍCULAS DE ESPONJA DE SOLO E SEDIMENTOS (adaptado do Lepafe, UNESPAR)

O tipo de amostra deve ser levado em consideração. Amostras com alto teor de MO (de turfeira, brejo, solos orgânicos, manguezais) exigem um tratamento mais forte (ácido nítrico + ácido sulfúrico) que aquelas sem muita MO, que podem ser tratadas só com ácido nítrico). Amostras sem muitos óxidos de ferro não precisam ter tratamento especial para eliminar o ferro, ao contrário de outras, em que essa etapa é fundamental. É importante que o mesmo protocolo seja utilizado para todas as amostras de um mesmo perfil /testemunho.

A fim de conhecer a amostra a ser trabalhada (para escolher o protocolo a ser usado) e para se ter uma primeira (e rápida) ideia do que a mesma contém (fitólitos, espículas, diatomáceas, etc..), pode-se começar com uma primeira extração "exploratória", usando-se o mesmo protocolo de extração de espículas:

- 1- Queimar a MO com ácido nítrico 65% usando uma lamparina
- 2- Colocar a amostra (2 a 3 g) num tubo de ensaio
- 3- Pegar o tubo com um pregador de madeira
- 4- Colocar o dobro do volume da amostra de ácido nítrico
- 5- Aquecer o tubo sobre a lamparina. Deixar até a fumaça ficar mais branca, mas não pode deixar secar. Se secar, colocar mais ácido nítrico
- 6- Deixar esfriar um pouco e colocar algumas gotas de peróxido 130
- 7- Passar para um falcon com água destilada
- 8- Centrifugar por 3 minutos a 1500 rpm, 3 vezes com água e 3 vezes com álcool 70%
- 9- Da última vez não tirar todo o álcool, misturar bem e fazer a lâmina
- 11- Pegar com uma pipeta o material não muito da superfície, pegar do meio do falcon e colocar na lâmina
- 12- Colocar a lâmina na placa aquecedora para secar
- 13- Quando secar deixar esfriar. Nunca colocar Entelan em lâmina quente
- 14- Colocar 2 gotas de Entelan. Se tiver alguma bolha, estourar antes de colocar a lamínula

8.3. PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS DE SOLO E SEDIMENTOS (adaptado do Lepafe, UNESPAR)

Protocolo para a extração mais apurada dos fitólitos:

1ª Etapa: Preparação inicial

- 1- Secar todas as amostras na estufa durante 24h a 110°.
- 2- Peneirar a seco algumas dezenas de gramas de solo com uma peneira de 2mm, para finalmente se obter 20g de solo seco < 2mm.
- 3- Macerar ligeiramente.
- 4- Pesar 20g de material

2ª Etapa: Fase de descarbonatação (nem sempre necessária)

- Acrescentar 30 ml de ácido clorídrico diluído a 1N.
- Agitar (agitador mecânico) por 1 hora.
- Se houver reação e, portanto, presença de carbonatos, obtêm-se uma volatilização e um "psss" na abertura do tubo.
- Rinsar: acrescentar água destilada e algumas gotas de Cloreto de Cálcio CaCl2 (floculante) e centrifugar (5 minutos a cerca de 4000 rpm); extrair o sobrenadante.
- Recomeçar a operação até que não haja mais volatilização e rinsar 2 vezes

3ª Etapa: Fase de oxidação da matéria orgânica

A) Amostras com grande quantidade de MO

- 1- Colocar 5 gramas de amostra num erlenmeyer
- 2- Fazer uma solução de ácido nítrico 65% e ácido sulfúrico (PA concentrado) numa proporção de 1 parte de nítrico para 4 partes de sulfúrico. Colocar sempre primeiro o ácido nítrico (por exemplo, 50 ml de nítrico + 200 ml de sulfúrico). Usar máscara, óculos e luvas
- 3- Colocar a solução aos poucos, até cobrir a amostra
- 4- Colocar o erlenmeyer na placa aquecedora e cobrir com um vidro de relógio com a parte côncava para baixo
- 5- Deixar 3 horas na placa aquecedora. Se precisar (estiver muito escuro), colocar mais um pouco da solução de ácidos
- 6- Deixar esfriar (não colocar o peróxido na amostra quente)
- 7- Colocar cerca de 10 a 20 ml de H₂O₂, aos poucos. Colocar até a fumaça sair branca e deixar esfriar
- 8- Passar para falcons de 50 ml

9- Rinsar por 3 minutos a 1500 rpm 5 vezes com água e 1 vez com álcool

B) Amostras sem grande quantidade de MO

Seguir o mesmo protocolo de extração rápida (só com ácido nítrico)

- 1- Queimar a MO com ácido nítrico 65% usando uma lamparina
- 2- Colocar a amostra (5 g) num tubo de ensaio
- 3- Pegar o tubo com um pregador de madeira
- 4- Colocar o dobro do volume da amostra de ácido nítrico
- 5- Aquecer o tubo sobre a lamparina. Deixar até a fumaça ficar mais branca, mas não pode deixar secar. Se secar, colocar mais ácido nítrico
- 6- Deixar esfriar um pouco e colocar algumas gotas de peróxido 130
- 7- Passar para um falcon com água destilada
- 8- Centrifugar por 3 minutos a 1500 rpm, 3 vezes com água e 1 vez com álcool 70% Se a amostra não tiver muito ferro pode-se passar direto para a peneiragem.
- **4ª Etapa:** Adição de Branqueador (bom para acelerar o processo, sobretudo na remoção do ferro) (nem sempre necessária)
 - 1- Colocar a amostra num becher de 500ml. Usar a colher para macerar um pouco a amostra no becher
 - 2- Colocar Branqueador (Hipoclorito de Sódio 6%) o suficiente para cobrir os sedimentos, misturar, cobrir com um vidro de relógio. Deixar de 1 a 3 dias no máximo (pode dissolver os fitólitos, sobretudo em pH altos, de 10 a 12)
 - 3- Observar a reação durante o primeiro dia. Se não tiver mais reação, acrescentar mais um pouco e observar.

5ª Etapa: Rinsagem do Branqueador (nem sempre necessária)

1- Quando não tiver mais reação, tem que rinsar o branqueador: completar o becher com água quente, deixar decantar por 2 horas e depois rinsar (entornar o excesso de líquido, com cuidado para não perder amostra, e depois completar com água quente). Quando entornar a água, tem que pegar o becher e levar até a pia com cuidado para não rodar nem balançar e entornar de uma vez só, se parar os sedimentos se misturam de novo. Quando começar a ver sedimentos tem que parar de entornar, para não perder amostra. Se a água estiver mais turva, jogar menos água fora porque não dá para ver bem os sedimentos

6ª Etapa: Solubilização do Ferro (nem sempre necessária)

- 1. Acrescentar 20 ml de água destilada.
- 2. Acrescentar 20 ml de Citrato de Sódio a 88,4g/l.
- 3. Aquecer em banho-maria ou banho de areia a 80°C.
- Quando o solo + citrato estiverem a 80°C, acrescentar 1g de Diotinito de Sódio.
 Remexer bem durante alguns minutos. A cor marrom-vermelho (Fe³⁺ na forma de óxido) se ameniza.
- 5. Rinsar.
- 6. Repetir a operação até que a amostra esteja cinza-verde (Fe²⁺ na forma dissolvida) e rinsar 2 vezes.

7ª Etapa: Remoção de argilas (nem sempre necessária)

- 1 Acrescentar 20ml de Hexametafosfato, mistura (sacode o becher ou mexe com a varinha) e completar o becher com água quente
- 2- Deixar decantar por 2 horas e rinsar (jogar fora o excesso de água, misturar e completar com água quente) pelo menos 4 vezes. No 1º dia (que colocou o hexamet.), não deixar passar a noite se não tiver rinsado pelo menos 3 vezes
- 3- Anotar o horário que colocou o hexametafosfato. Repetir esse registro a cada vez que rinsar.
- 4- A cada 2 horas tem que jogar a água fora, misturar e completar com água quente e deixar decantar
- 5- No final de cada dia retira o excesso de água e não completa porque no dia seguinte vai colocar mais Hexametafosfato e continuar o processo, sempre tirando o excesso de água à noite e não completando com água
- 6- Quando a água ficar limpa, acrescentar 20ml de EDTA (defloculante), misturar, completar com água e deixar decantar, rinsando a cada 2 horas (mesmo processo anterior), sempre tirando o excesso de água à noite e não completando com água
- 7- Se necessário, repetir a operação de acrescentar 20ml de EDTA
- 8- Quando a água estiver bem límpida, transvasar para tubos de centrífuga. Se der vários tubos, pode fazer um short spin, joga o excesso fora, depois junta tudo em um só tubo.

8ª Etapa: Peneiragem e secagem

- 1- Pegar mais bechers de 500ml (1 para cada amostra) e colocar um funil e uma peneira de 250 μm (só vai passar silte e argila) feita com um tubo de PVC 4" de 11cm de diâmetro
- 2- Transvasar a amostra para a peneira, borrifando água com a pissete para não perder nada da amostra
- 3- Pulverizar o que ficou na peneira com água quente, protegendo com a mão ou inclinando um pouco a peneira para não espirrar para fora
- 4- Rinsar o funil por dentro e por fora para aproveitar toda a amostra
- 5- Jogar o resto do sedimento que ficou na peneira fora (areias) e lava bem o filtro (primeiro com jato d'água da torneira, depois na mistura com detergente e bleach
- 6- Transvasar do becher para tubos de centrífuga. Se der vários tubos, pode fazer um short spin, joga o excesso fora, depois junta tudo em um só tubo. Short spins: centrifugar por períodos muito curtos de tempo (usado apenas com amostras pequenas). Misturar no Vortex, encher de água e centrifugar por alguns segundos (cerca de 30 segundos). Ligar a centrífuga e ficar olhando. Assim que começar a rodar para o outro lado (quando atingir 3000rpm), desligar e despejar toda a água (pode virar completamente)
- 7- Passar de 2 tubos para 1 só: mistura no Vortex (se estiver muito grudado pode botar um pouco d'água, ou ajudar dando uns tapinhas no fundo do tubo)
- 8- Se for secar no Vacuum Dryer, primeiro coloca tampas furadas, mas com papel toalha antes da tampa (afunda um pouquinho o papel)
- 9- Colocar no freezer e depois no Vacuum Dryer (ou Freezer Dryer under Vacuum ou Liofizador). Deixar toda a noite (até o vácuo retirar toda a umidade da amostra
- 10- Se não tiver Vacuum Dryer, colocar no banho de areia ou estufa para secar sem tampa tampa (se não tiver banho de areia, colocar bechers cheios de areia em cima de uma placa aquecedora e enfiar os tubos na areia)

9ª Etapa: Separação densimétrica

- 1- Preparar o <u>Líquido Denso</u>: <u>300ml de água + 680g de SPT</u> (Politungstato de Sódio em pó marca TC–Tungsten Compounds; 50lbs) (densidade=2,31g/ml)
- 2- Colocar 300ml de água num becher sobre um stirrer (magnetic stirrer plate) (misturador), e colocar uma barra magnética dentro

- 3- Colocar metade das 680g de SPT; quando a água estiver clara, colocar o resto e esperar misturar de novo
- 4- Colocar o SPT nas amostras (pode ser com uma pipeta, mas pode espirrar e perder amostra, é melhor com uma proveta). Não há uma medida exata de quanto colocar, normalmente até cobrir bem a amostra (como tinha cerca de 20ml de amostra, colocou até 40ml)
- 5- Misturar bem no Vortex
- 6- Colocar no banho de ultra som (Ultrasonic Water Bath ou Sonication) por 5 minutos, para separar melhor as partículas. Se não tiver o Ultrasonic, gastar mais tempo no Vortex para misturar melhor
- 7- Tirar os tubos do Ultrasonic, enxugar e misturar mais uma vez no Vortex
- 8- Centrifugar por 10min a 5000rpm
- 9- Tirar da centrífuga, com cuidado para não balançar e misturar os fitólitos com os sedimentos do fundo do tubo. A película sobrenadante são os fitólitos (*mas pode ter outras coisas também*).
- 10-Transvasar o líquido para um outro tubo de 50ml, com cuidado para não passar sedimentos do fundo do tubo junto
- 11- Para garantir que vai pegar todos os fitólitos, repetir o processo mais 2 vezes: adicionar no tubo com os sedimentos mais 5ml de heavy liquid, misturar o Vortex, 5min no Ultrasonic, misturar no Vortex, centrifugar 10min a 5000rpm, transvasar o líquido para o tubo só com líquido
- 12-Depois das 3 vezes, centrifugar só os tubos com o líquido por mais 10min a 5000rpm, mas não precisa Vortex nem Ultrasonic
- 13-Guardar por um tempo os sedimentos que sobraram, caso haja algum problema e tenha que repetir
- 14- Se tiver material no fundo dos tubos com líquido, transvasar o líquido para tubos novos
- 15-Diluir com água para rinsar e fazer os fitólitos (que com a adição de água terão maior densidade que o líquido) mergulharem para o fundo do tubo: colocar o dobro do volume do heavy liquid de água (ou encher o tubo), colocar tampa, sacudir ou misturar no Vortex e centrifugar por 10min a 3000rpm
- 16-Entornar (mas não tudo, para não perder fitólitos, pode parar em 5ml do tubo) em becher com um funil onde foi colocado um filtro (pode ser filtro de café). Este SPT será reciclado: colocar o becher sobre uma placa aquecedora para evaporar a água e

ficar só o SPT. Pode demorar muito para atingir a densidade 2,3. Como para pólen é só 1.8, às vezes deixam só até 1.8 e depois adicionam mais SPTA.

Separação densimétrica com Cloreto de Zinco

- 1- Colocar num falcon a amostra e o dobro do volume de Cloreto de Zinco já na densidade de
- 2,3. Misturar com bastão de vidro e equilibrar o peso (para a centrífuga) com o ZnCl₂
- 2- Centrifugar por 5 minutos a 1000 rpm
- 3- Passar o líquido para um becher e completar com água
- 4- Colocar 2 a 3 ml de ácido muriático (comum, comprar em mercado), para ajudar na limpeza do ZnCl₂. Repetir a operação até limpar (não ter mais o branco do fundo).

PREPARAÇÃO DO ZnCl₂ PARA SEPARAÇÃO DENSIMÉTRICA

- 1- Usar máscara e luvas
- 2- Colocar num frasco de 500 gramas ZnCl₂, um pouco de água destilada e sacudir o frasco (como um barman)
- 3- Colocar num becher e colocar sobre a placa aquecedora para esquentar e acelerar o processo
- 4- Medir a densidade com um densímetro

10^a Etapa: Retirada da água

- 1- Misturar no Vortex o que sobrou no fundo dos tubos de 50ml (os fitólitos). Se tiver alguns agregados, normalmente argila, tentar dissolver com a varetinha), encher os tubos com água.
- 2- Centrifugar por 5min a 3000rpm.
- 3- Entornar toda a água (pode virar completamente o tubo, a amostra no fundo não cai)
- 4- Repetir a operação mais 2 vezes (3 vezes no total)

11ª Etapa: Armazenamento e pesagem das amostras

- 1- Pesar os *eppendorfs* vazios onde serão armazenadas as amostras e anotar o peso (*pode escrever no próprio potinho*).
- 2- Passar as amostras para os potinhos menores onde serão armazenadas: misturar no Vortex, pegar com uma pipeta (primeiro pegar o material do fundo e espirrar nos lados para tudo ir para o fundo), rinsar os lados do tubo com um pouco de álcool e pipetar até pegar tudo. Para terminar, lavar a pipeta com um pouco de álcool para dentro do potinho, para não perder nada.
- 3- Colocar para secar na estufa.

- 4- Pesar novamente os *eppendorfs* cheios, anotar o peso e calcular a diferença (*eppendorf* cheio *eppendorf* vazio = peso dos fitólitos).
- 5- Tampar os eppendorfs e guardar na caixa.
- 6- As amostras podem ser conservadas úmidas em álcool (melhor para fazer as lâminas) ou secas.

12ª Etapa: Confecção das lâminas

- 1. Lâminas Semi-Permanentes (permitem girar os fitólitos)
 - Colocar 3 gotas de óleo de cravo (natural, comprado em farmácia de manipulação), óleo de imersão ou Glicerina na lâmina
 - Colocar um pouco da amostra e misturar
 - Cobrir com a lamínula e etiquetar
 - Passar cola de silicone em volta da lamínula e deixar secar
 - Guardar de preferência na horizontal, em bandejas. Se tiver que transportar em caixas, deixar sempre a caixa em pé, se deitar o óleo escorre.

2. Lâminas Permanentes

• Mesmo procedimento das lâminas semi-permanentes, mas usando Entellan.

Reciclagem do SPT

- 1) Despejar o STP diluído através de algum tipo de papel de filtro (dois filtros de café) em um béquer de 1000 ml
- 2) Colocar o béquer com SPT diluído e filtrado sobre uma placa de aquecimento durante algumas horas. Vai começar a ver algumas partículas do tamanho de argila se agregando e indo para o fundo do béquer
- 3) Retire da placa aquecedora e deixe esfriar. Decantar o SPT diluído em um novo béquer de 1000ml. Descartar o líquido "sujo" com as partículas de tamanho de argila precipitadas no fundo do béquer

Centrifugar o SPT enquanto não estiver muito denso, a fim de retirar qualquer sílica ou fitólitos restantes, que irão para o fundo e serão descartados.

- 4) Verter o SPT decantado para tubos de centrifugação de 50 ml e centrifugar a 3000 rpm durante 15 ou 20 minutos. Isto irá forçar as partículas de argila restantes para a parte inferior do tubo de centrifugação.
- 5) Verter de volta o sobrenadante de cada tubo de centrífuga de 50 ml para um béquer de 1000 ml e colocar de novo sobre a placa de aquecimento.

Evaporar o líquido até parecer espesso - não totalmente seco, pois é muito difícil de misturar novamente

6) Aquecer o SPT diluído por várias horas para evaporar mais água. Para acelerar a evaporação, coloque a placa com o béquer dentro de um exaustor (capela) e ligue o ar. O movimento de ar sobre o copo de 1000 ml irá acelerar a evaporação.

Pode-se medir a densidade em um cilindro graduado, tomando o peso do cilindro seco e vazio, em seguida adicionando SPT e pesando o cilindro de novo. Subtrair o peso original do cilindro do peso do cilindro contendo o SPT, em seguida, dividir esse número pela quantidade em ml de SPT no cilindro, o que dá a densidade.

7) Para verificar o progresso, retirar o copo de 1000 ml placa de aquecimento e deixar esfriar (o SPT quente não vai dar uma densidade exata). Colocar um cilindro graduado de 100 ml vazio em uma balança e tarar a 0 g. Em seguida, verter 100 ml de SPT reciclado para a proveta graduada de 100 ml e verificar o peso. Se for menos que 2,3 g terá de ser evaporado por mais tempo. Se tiver evaporado demais (estiver mais pesado que 2,3g), basta adicionar água para voltar a 2,3.