



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - CB
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL – PPG-BA

LOYANA DOCIO SANTOS

**O QUE OS MORTOS PODEM CONTAR? ESPÍCULAS DE ESPONJAS
(PORIFERA) COMO FERRAMENTA PARA RECONSTITUIÇÃO
PALEOAMBIENTAL**

Recife

2020

LOYANA DOCIO SANTOS

**O QUE OS MORTOS PODEM CONTAR? ESPÍCULAS DE ESPONJAS
(PORIFERA) COMO FERRAMENTA PARA RECONSTITUIÇÃO
PALEOAMBIENTAL**

Tese apresentada à coordenação do programa de Pós-Graduação em Biologia Animal do Departamento de Zoologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para a obtenção do título de Doutor em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Animal.

Orientador: Dr. Ulisses dos Santos Pinheiro

Co-orientador: Dr. Mauro Parolin

Recife
2020

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Santos, Loyana Docio

O que os mortos podem contar? Espículas de esponjas (Porífera) como ferramenta para reconstituição paleomabiental / Loyana Docio Santos. - 2020.

188 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses dos Santos Pinheiro.

Coorientador: Prof. Dr. Mauro Parolin.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, Recife, 2020.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Esponja. 2. Paleobiologia. 3. Paleoecologia. I. Pinheiro, Ulisses dos Santos. II. Parolin, Mauro (coorientador). III. Título.

593

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2021-021

LOYANA DOCIO SANTOS

**O QUE OS MORTOS PODEM CONTAR? ESPÍCULAS DE ESPONJAS
(PORIFERA) COMO FERRAMENTA PARA RECONSTITUIÇÃO
PALEOAMBIENTAL**

Tese apresentada à coordenação do programa de Pós-Graduação em Biologia Animal do Departamento de Zoologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para a obtenção do título de Doutor em Biologia Animal.

Aprovada em: 30/10/2020

Banca Examinadora

Dr. Eduardo Hajdu
Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Dr. André Luiz Carvalho da Silva
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Dr. Emílio de Lanna Neto
Universidade Federal da Bahia.

Dr. Alexandre Oliveira de Almeida
Universidade Federal de Pernambuco.

Dr^a Ludimila Calheira Laurindo
Universidade Federal de Pernambuco.

À Anamaria de Lira Lima, que me mostrou a “máxima”: “Conhece-te a ti mesmo”
Sócrates (469 a.C. 399 d.C.).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Desejo exprimir meus agradecimentos a todos aqueles que possibilitaram direta e indiretamente que esta tese se concretizasse.

À minha família pelo apoio e fé depositados em mim, além de cuidar dos “meninos” (cão e gatos) durante esses quatro anos em curso;

À minha psicóloga Anamaria de Lira Lima e à psiquiatra Suzana Azoubel, pela empatia, pelo acompanhamento nessa caminhada de pós-graduação, durante os momentos críticos.

Aos meus orientadores Dr. Ulisses dos Santos Pinheiro, Dr. Mauro Parolin por todo apoio, ensinamentos, compreensão, estímulo e trocas;

Ao professor Dr. Ulisses dos Santos Pinheiro, você foi um dos estimuladores das conquistas acadêmicas de seus alunos mais antigos. Mesmo que agora seu posto de orientador tenha chegado ao fim, eu ainda vou te chamar, respeitosamente, de prof./orientador e amigo.

Ao professor Dr. André Luiz Carvalho da Silva, obrigada pelo humano, professor e pesquisador que você é! Obrigada por me lembrar que o processo de aprendizagem se faz também por meio do erro. Dito isso, sempre há uma segunda chance desde que “nossas almas não sejam pequenas”, parafraseando o Fernando Pessoa (1888-1935).

Ao senhor José Maria Avelino, quem nos conduziu como guia entre as várias lagoas do litoral sul do Rio Grande do Norte.

Ao prof. Dr. Marcelo Caxambu (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, unidade de Campo Mourão-PR), pela identificação do material vegetal do entorno das lagoas pesquisadas neste estudo;

Ao Dr. Ênio Wocyli (Universidade Estadual da Paraíba –UEPB) e Dr. Leonardo Versieux (Universidade Federal do Rio Grande do Norte –UFRN) pela identificação da macrófita aquática da Lagoa Arituba;

À estadunidense Luann Rita Goldschalx pela amizade, pelos ensinamentos, pela visão clínica e reta na revisão do inglês, além da conversa sempre agradável.

Aos amigos, Dr^a Ludimila Calheira, Dr. George Garcia Santos, MSc Daniele Mariz, MSc. Elielton Nascimento, Dr. Leomir Campos pela convivência destes quatro anos;

Ao colega da pós-graduação, Dr. Edivaldo Lima Gomes Jr., em nome do Laboratório de Biologia da Conservação, pelo auxílio na utilização de equipamentos.

À Dr^a Giliane Géssica Rasbold, por ter sido minha professora prática e uma querida amiga. Obrigada também pelo apoio logístico no Paraná, conversas sobre os textos e tudo mais. Meus sinceros desejos de sucesso em todos os setores de sua vida.

À MSc. Fernando Villwock e Dr. Leandro Luz por toda atenção fornecidas para o trabalho de campo e trocas de ideias sobre artigos. Fernando, obrigada pelo acolhimento no Paraná, pela companhia na terceira ida a campo, por me ajudar com as imagens de altimetria que eu nem sabia aonde ir. A sacada da vida é que podemos aprender muito uns com os outros e a colaboração é o meio mais prazeroso de se obter sucesso!

À Universidade do Estado da Bahia - UNEB, por conceder o afastamento para o curso de doutoramento;

Aos colegas/amigos da UNEB: Dr^a Nelma Arônia, Dr^a Marilde Queiroz, Dr. Thiago França, Dr. Tayron Sousa Amaral; Dr^a. Viviany Teixeira; Dr^a. Daniela Stefanelo; Dr. Reginaldo Cerqueira; MSc. Erica Neitzke; MSc. Genivaldo Cruz Santos e todos os colegas que mantiveram contato durante esse tempo de afastamento e ajudaram-me em muitos momentos pessoais;

Ao Lepafe – Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam, UNESPAR, Campo Mourão PR.; em nome de Eduarda Couto Adam, Tainá Pepino, Anne Karolyna de Freitas da Silva e Dener Cibotto;

Ao Labdin – Laboratório de Dinâmica da Natureza, UERJ, São Gonçalo, RJ em nome do professor Dr. André Carvalho da Silva; Doutoranda Ana Beatriz Pinheiro; Mestrando Lucas Ferreira Correia; Ms. Valéria Cristina Silva Pinto pela análise morfooscópica dos grãos de areia;

Ao Labpor – Laboratório de Porifera da Universidade Federal de Pernambuco, em nome dos colegas MSc Alan Dias; Leonardo Mendes, Thales Almeida Barros, por todos os campos compartilhados, dias de laboratório e saídas para comer sonhos.

Ao CNPq pelos sete meses de bolsa de doutorado - PROTAX-CNPQ (Proc. 440620/2015-5);

Ao Programa de Pós-Graduação e Biologia Animal (PPGBA) da UFPE, em nome do corpo docente e demais pessoas/setores universitários não listados e que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste estudo.

Obrigada!

“Uma vez perdido na selva escura, um homem [ou mulher] só poderá escapar se, através do uso da razão e do intelecto, descer de forma que veja o seu pecado não como um obstáculo externo (as feras), mas como vontade de caos e morte dentro de si (Inferno)”. (ALIGIHERI,1998. nota.54 por Sayers).

Colchetes inseridos pela autora da tese.

RESUMO

Espículas de esponjas de ambientes límnico e marinho, em sedimentos quaternários, têm utilidade como ferramentas de reconstituição paleoambiental. Esta ação é possível devido à continuidade entre espécies viventes e seus restos fósseis/subfósseis. Assim, restos de espécies estenotópicas podem apontar estágios de sucessão de paisagens em determinado tempo e espaço. Porém, contribuições taxonômicas recentes mostraram que há espécies continentais consideradas estenotópicas ocorrendo em ambientes diversos, o que as classificam agora como euritópicas. No capítulo 1, buscou-se dados ecológicos das espécies continentais da região Neotropical e os contrapôs as suas informações ecológicas utilizadas por estudos paleoambientais dessa região. Os dados ecológicos das esponjas e os estudos paleoambientais foram levantados por meio de pesquisa bibliográfica. Informações ecológicas de 77 espécies foram compiladas em tabela, visando subsidiar futuras reconstituições paleoambientais. Enquanto isso, 33 artigos de reconstituição foram analisados. Embora existissem incongruências na utilização dos dados ecológicos das espécies pelas reconstituições, elas não afetaram as interpretações paleoambientais feitas, pois os estudos utilizaram análise multi-proxy ou dados de pesquisas anteriores. No capítulo 2, buscou-se contrastar as respostas das espículas com as de outros dados *proxies* (fitólitos, análises sedimentares; isotópicas δC^{13} , δN^{15} e radiocarbono). Para tanto, foi realizada uma reconstituição paleoambiental em área próxima às margens do Rio Trairí, no Rio Grande do Norte. Dentre sete espécies de esponjas identificadas por restos de espículas, apenas *D. pydanieli* e *H. fistula* corroboraram a descrição pretérita dos outros dados. O ambiente passado se apresentava como lagoa de fundo arenoso coberto por macrófitas e sujeito a colmatção. No capítulo 3, buscou-se identificar influência marinha em lagoa costeira dulciaquícola, utilizando espículas e análise *multi-proxy*. Comprovou-se conexão entre a lagoa e o mar diante da transição entre espículas de esponjas marinhas e dulciaquícolas. O estudo mostrou que espículas encontradas no sedimento podem fornecer informações mais detalhadas sobre o ambiente quando identificadas ao menor nível taxonômico, se tratando de espécies estenotópicas, ou integrada a outros dados *proxie*, considerando as euritópicas.

Palavras-chave: Dados ecológicos. Reconstituições Paleoambientais. Porifera. Quaternário.

ABSTRACT

Sponge spicules from inland and marine environments, when present in quaternary sediments, may be used as a paleoenvironmental tool to make inferences about the past and carry out paleoenvironmental reconstruction. The ecological knowledge on living species and their continuity in fossil/subfossil records are the explanation behind this use. Remains of stenotopic species indicate landscape succession in time and space. However, recent taxonomy contributions have introduced the existence of freshwater species considered stenotopic as occurring in a wide range of environments. As a result, they are now classified as eurytopic species. Therefore, Chapter 1 brings ecological data of inland sponge species from a Neotropical Region. These data are contrasted with ecological information on sponges that are used in Paleoenvironmental studies carried out in the same Biogeographic Region. A database of ecological information and paleoreconstruction studies was built through bibliographic research. Ecological information on 77 species was compiled in a table, aiming to support future paleoenvironmental reconstructions. A total of 33 articles on paleoenvironmental reconstruction were also analyzed. Although there are incongruities in the use of ecological data of species in the paleoenvironmental studies, they do not affect the previous interpretations of reconstructed environments, as these studies used other proxy data or previous research. In chapter 2, the responses of the spicules were contrasted with those of other proxies (phytoliths, sedimentary analysis; isotopic $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and radiocarbon). As such, a paleoenvironmental reconstitution was carried out in an area close to the banks of the Trairí River, in the state of Rio Grande do Norte. Among the seven species of sponges identified by spicule remains, only *D. pydanieli* and *H. fistula* corroborated the past description of the other data. The past environment was presented as a sandy bottom lagoon covered by macrophytes and subject to filling. In chapter 3, marine influence was identified in a freshwater coastal lagoon, using sponge spicules and multi-proxy analysis. The study showed that spicules found in the sediment can provide more detailed information about the environment in events: 1) when identified at the lowest taxonomic ranking, in the case of stenotopic species; or 2) integrated with other proxy data, considering eurytopic species.

Keywords: Ecological data. Paleoenvironmental Reconstruction. Porifera. Quaternary.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 <i>Geral</i>	19
1.1.2 <i>Específicos</i>	19
2.0 METODOLOGIA.....	20
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	20
2.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR.....	26
2.2.1 <i>Sondagem à percussão com auxílio de marreta</i>	26
2.2.2 <i>Granulometria</i>	27
2.2.3 <i>Morfoscopia</i>	29
2.2.4 <i>Matéria Orgânica do Solo</i>	31
2.2.5 <i>Isótopos e análises $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$, datação por ^{14}C</i>	33
2.2.6 <i>Biomíneralizações</i>	39
3 A CONTRIBUTION TO ADEQUATE USE OF FRESHWATER SPONGES AS A PROXY IN PALEOENVIRONMENTAL STUDIES.....	43
4 AN ASSESSMENT OF THE WEALTH OF INFORMATION GIVEN BY SPONGE SPICULES AS A PALEOENVIRONMENTAL TOOL: THE CASE OF TWO LAKES IN NORTHEAST (BRAZIL).....	95
5 INFLUENCIA MARINHA INTERPRETADA POR DADOS PROXIES: A HISTÓRIA PALEOAMBIENTAL DE ARITUBA.....	135
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165
7. REFERÊNCIAS GERAIS.....	167
APÊNDICE 1 SEDIMENTOLOGIA DA SONDADE LUR COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCOPIA.....	177
APÊNDICE 2 SEDIMENTOLOGIA DA SONDADE LFU COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCÓPICA.....	178
APÊNDICE 3 SEDIMENTOLOGIA DA SONDADE LAR1 COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCÓPICA.....	179

APÊNDICE 4 CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO FUMO, AGOSTO, 2017, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. (ESPÍCULAS DE ESPONJAS E FITÓLITOS).....	180
APÊNDICE 5 CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO URTIGA, AGOSTO, 2017, RN, BRASI (ESPÍCULAS DE ESPONJAS E FITÓLITOS).....	181
APÊNDICE 6 CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO ARITUBA, AGOSTO, 2017, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. (ESPICULAS DE ESPONJAS E FITÓLITOS).....	183
APÊNDICE 7 MÉDIA MICROMÉTRICA DE ESPÍCULAS INTEIRAS RECUPERADAS DAS SONDAGENS LAR1, LUR E LFU POR ESPÉCIE E TIPO ESPICULAR. COMPRIMENTO/LARGURA/DIÂMETRO DAS RÓTULAS.....	185
ANEXOS A NORMAS DO PERIODICO CIENTÍFICO ZOOTAXA.....	186
ANEXOS B NORMAS DO PERIODICO CIENTÍFICO JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCE.....	188

1 INTRODUÇÃO

A Paleontologia é uma área do conhecimento interdisciplinar e transdisciplinar (BERGQVIST; PRESTES, 2014). Dessa forma, necessita dos conhecimentos de outras áreas da ciência para elucidar questões. Os estudos paleontológicos fornecem contribuições preciosas à compreensão de eventos geológicos, evolutivos e mesmo climáticos. Não diferente de outras áreas da ciência, a Paleontologia apresenta subáreas, a exemplo da Micropaleontologia, que se ocupa do estudo de microfósseis.

Os microfósseis ou subfósseis estudados pela Micropaleontologia, a exemplo de biomineralizações como fitólitos e espículas de esponjas, podem ser utilizados como ferramenta paleoambiental, da mesma forma que dados sedimentares, restos de organismos vivos (matéria orgânica do solo) e elementos químicos isotópicos (^{14}C , ^{13}C , ^{15}N). Cada um destes exemplos fornece indícios (“pistas”) sobre o que existiu em certo tempo e espaço sendo por isso denominado “dado *proxy*” (pl. *proxies*) (KALINOVSKI et al., 2016B).

Os *proxies* fornecem respostas diferentes que, quando interligadas por meio de análise *multi-proxy*, conferem maior robustez às hipóteses de reconstituição de paisagens. Assim, os dados sedimentares são provenientes de partículas, derivadas de processos erosivos e selecionadas durante o transporte, por meio eólico ou aquoso (VELICHKO et al., 2011). Cada tipo de transporte imprime sobre a superfície dos grãos (principalmente os de quartzo) características que auxiliam a identificação das áreas de onde eram provenientes (DIAS, 2004), podendo indicar modificações geocronológicas e geoambientais da paisagem.

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por partículas parcialmente decompostas e moléculas químicas originadas da decomposição de elementos da biosfera. A ela também se incluem os produtos das atividades metabólicas de organismos e micro-organismos (STEVENSON, 1994; ROSCOE; MACHADO, 2002). Sua presença é indicativa de um reservatório de carbono orgânico que está em equilíbrio com a entrada e a saída de carbono para a atmosfera, e que podem fornecer indícios sobre circunstância em que foram preservadas (POST et al., 1982).

Os isótopos estáveis são átomos de um mesmo elemento químico que diferem em número de massa atômica estável. Enquanto os radioativos possuem massa atômica instável, podendo se tornar outro elemento conforme taxa de tempo constante, que varia

de segundos a milhões de anos (OWENS, 1988; SALGADO-LABORIAU, 1994). Os isótopos estáveis e instáveis são assimilados pelos seres vivos através das interações tróficas, por meio das quais terminam estruturando moléculas proteicas e lipídicas (SALGADO-LABORIAU, 1994). Estes vestígios atômicos são utilizados para datações geocronológicas, bem como para distinguir organismos autótrofos fontes, como plantas pertencentes aos ciclos fotossintetizantes C_3 , C_4 e CAM (PESSENDA et al., 2005).

As biomineralizações procedentes de vegetais recebem o nome de “fitólito”. Etimologicamente, esse termo descende do grego “*φυτό*, fito + *λίτο*, lito”, que significa pedras de plantas. Ele se refere tanto às drusas de oxalato de cálcio (CaC_2O_4) como às concreções polimórficas de dióxido de sílica (SiO_2), ambos microscópicos e presentes nos tecidos vegetais (PIPERNO, 2006). Neste estudo, o termo é utilizado para tratar das concreções vegetais formadas por SiO_2 .

Os estudos de fitólitos foram iniciados em 1835, mas dificuldades sobre a compreensão da morfologia e da produção pelos vegetais fizeram com que fossem esquecidos por um longo período (PIPERNO, 2006). Apenas a partir de 1970, eles voltaram a ser estudados, devido à potencialidade para a arqueobotânica (TWISS, 1969; ROVNER, 1971, PIPERNO, 2006). No Brasil, a utilização dos fitólitos em reconstituições paleoambientais começa a partir dos trabalhos de Piperno & Becker (1996).

A assembléia fitolítica passada permite aos pesquisadores inferirem as características da comunidade vegetal que existiu em determinado intervalo de tempo (COE et al., 2013). Embora algumas formas possam identificar até o menor nível taxonômico (espécie) (PIPERNO, 2006), a maior parte do conjunto fitolítico é capaz de identificar vegetais até o nível de família, ou subfamília (TWISS, 1969; PIPERNO, 2006). Saber quais fitólitos são produzidos diante de condições de estresse hídrico também é um meio de inferir condições paleoclimáticas (ALEXANDRE et al., 1997; BREMOND, 2003; BREMOND et al., 2005). Uma abordagem sobre os tipos de análises empregados para a interpretação dos *proxies* citados acima é fornecido na sessão Metodologia.

As biomineralizações oriundas de animais que são tratadas nesse estudo pertencem, ao Filo Porifera. As esponjas (poríferos) são animais sésseis bentônicos, cuja constituição corporal é bastante simples, composta por um sistema de canais aquíferos intimamente ligados às funções fisiológicas, reprodutivas e alimentares (por filtração de partículas da água). A origem do grupo (Filo Porifera) remonta aos mares pré-cambrianos (DUNBAR,

1976), com registros fósseis na fauna de Ediacara datados do Cambriano (CHANG et al., 2017). Assim, estes organismos estão entre os animais multicelulares mais antigos e ainda vivos do planeta, com cerca de 8850 espécies vivas e 5.000 táxons fósseis (PRONZATO et al., 2017). Representantes do filo possuem uma diversificada variedade de esqueletos, que inclui esqueletos escleroprotéticos (espongina) e esqueletos formados por elementos calcáreos ou siliciosos em variados graus de fusionamento (HAJDU et al., 2011). Os restos desses esqueletos preservados como fósseis ou subfósseis em recifes ou mesmo em fundos de lagos, lagoas e rios podem fornecer dados sobre as características pretéritas do ambiente em que habitavam no tempo em que estavam vivos (JAMES; BOURQUE, 1992; KAANDORP et al., 1999; BELL et al., 2000; PAROLIN et al., 2007; 2008; SÁNCHEZ-BERISTAIN; REITER, 2012). Apesar da possibilidade de as esponjas marinhas serem utilizadas como dado *proxy* para ambientes marinhos e costeiros, o presente estudo enfatiza as esponjas de águas continentais. Esta escolha deliberada se deve às aplicabilidades paleontológicas possíveis, como por exemplo, a compreensão de mudanças climáticas a partir da modificação de áreas úmidas em secas, bem como a possibilidade de identificação precisa das espécies a partir dos restos espiculares. Além disso, o grupo possui maior especialização pelo ambiente de ocorrência entre suas espécies, característica que lhes confere qualidade como *proxy paleoambiental*, mesmo que existam espécies euritópicas (generalistas).

A irradiação adaptativa de esponjas para águas continentais ocorreu ao fim do Paleozóico (PISERA; SAÉZ, 2003) e originou o grupo adaptado às águas interiores, a Ordem Spongillida. A maioria dos esqueletos fossilizados de esponjas continentais data do Mioceno. Os fósseis são encontrados na América do Sul, na Ásia, na África e na Europa (PRONZATO et al., 2017). O esqueleto desses animais é formado por estruturas microscópicas de diferentes tamanhos e funções, e são classificadas como megascleras, microscleras e gemoscleras (VOLKMER-RIBEIRO; PAULS, 2000). As megascleras são relativamente grandes e frequentemente possuem função estrutural no esqueleto coanossomal (câmaras aquíferas, ou coanocitárias do interior das esponjas) e ectossomal (região superficial do esqueleto das esponjas e que não possui as câmaras coanocitárias) (HAJDU et al., 2011). As microscleras são relativamente pequenas e frequentemente não possuem uma função estrutural (HAJDU et al., 2011). Elas podem estar ausentes em algumas espécies como por exemplo, *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro e Maciel, 1983.

As gemoscleras são espículas que estruturam as gêmulas das espécies de esponjas que as produzem. Notadamente, há famílias de esponjas de águas continentais que não produzem gêmulas como Lubomirskiidae, Malawispongiidae, Metschnikowiidae (MANCONI; PRONZATO, 2007). Gêmulas também podem não apresentar gemoscleras, por isso, sendo chamadas de “gêmulas nuas”. Ao invés de espículas, elas possuem uma camada simples de espongina, como ocorre em *Nudospongilla coggini* (Annandale, 1910) e *Spongilla lacustris* (Linnaeus, 1959) (MANCONI; PRONZATO, 2002). As gemoscleras são pacotes de células totipotentes que garantem a reprodução assexuada e dispersão de espécies entre os corpos hídricos (MANCONI; PRONZATO, 1994; 2007). As gêmulas podem ser produzidas em condições normais ou ainda quando a esponja é submetida a condições de estresse ambiental, como seca ou congelamento (VOLKMER-RIBEIRO; PAULS, 2000). Elas também podem re-estabelecer o corpo da esponja parental, quando condições ambientais favoráveis retornam (FROST, 1991).

Os restos siliciosos das esponjas de águas continentais têm boas qualidades como dados *proxy*, devido a algumas particularidades do grupo. Assim, a maioria das espécies pode ser identificada com base principal em suas gemoscleras, mesmo que existam exceções, como a apresentada por *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974), cujo principal caráter que a distingue de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto e Ezcurra de Drago, 1966) é a microsclera acantóxea (CALHEIRA; PINHEIRO, 2016). Estes restos siliciosos são resistentes à decomposição, conservando-se melhor que palinórfos (pólen e esporos, por exemplo) em sedimentos abrasivos, como frações de areia fina (PAROLIN et al., 2008).

As espículas que jazem como restos no solo são usadas como dado de inferência paleoambiental para o Quaternário. Isto é justificado pelo acúmulo de conhecimento ecológico sobre espécies entre mais três premissas: I) A maior parte das espécies presentes no registro fóssil do quaternário ocorre na atualidade; II) existência de uma estrutura sistemática bem organizada e disponível para que não espongiólogos possam identificar seu material; III) esponjas têm preferências ambientais com parâmetros físico-químicos que podem ser conhecidos (HARRISON, 1988).

Nesse sentido, espículas de esponjas de águas continentais deveriam ser os *proxies* mais confiáveis e utilizados para os estudos de reconstituição paleoambiental, se não existissem alguns percalços:

1) O número de pesquisadores taxonomistas e ecólogos que se dedicam ao grupo ainda é pequeno, ainda que tenha aumentado a partir da década de 1980. Dados coletados no *World Porifera Data Base* mostram que há 475 cientistas dedicados ao filo atualmente. Deste montante, apenas 0,25% estudam as esponjas de águas continentais (SCHÖNBERG, 2020). Isto restringe a “mão de obra” para a descoberta de novas espécies, assim como, para acréscimos de conhecimentos biológicos diversos, os quais possam ter aplicabilidade tanto em ações de manejo ecológico (BATISTA et al., 2003) como em interpretações paleoambientais (VOLKMER-RIBEIRO et al., 2005).

2) Áreas ainda pouco amostradas. Se tomar como base o Brasil, país com a maior biodiversidade do grupo na Região Neotropical, com aproximadamente 60 (NICÁCIO et al., 2011; NICÁCIO; PINHEIRO, 2015; PINHEIRO et al., 2015a, b; CALHEIRA et al., 2016; Calheira et al., 2018), das 77 espécies registradas (GÓMES et al., 2019; PINHEIRO E CALHEIRA, 2020), ainda há áreas parcamente amostradas (PISERA et al., 2003; NICÁCIO; PINHEIRO, 2015).

3) Ampliação das áreas de ocorrência de espécies já conhecidas. Apenas no Nordeste do Brasil, onde o Dr. Ulisses Pinheiro lidera um grupo de espongiólogos, foi ampliado o conhecimento sobre a distribuição de 12 espécies, entre os anos de 2011 e 2019. A ampliação também mostrou que espécies reconhecidas como estenotópicas, isto é, específicas para certas condições ambientais, na realidade, são euritópicas ou generalistas para estas mesmas condições.

4) O pressuposto adotado sobre que espécies com tamanhos diminutos ou incrustantes não estão bem adaptadas às condições do ambiente onde foram encontradas (BATISTA et al., 2003; TAVARES et al., 2003). Esponjas, como por exemplo, as da espécie *Corvospongilla seckti* Bonetto e Ezcurra de Drago, 1966, foram amplamente classificadas como especialistas de bentos rochosos de rios (BATISTA, 2003; TAVARES et al., 2003), ainda que sua presença em ambientes lênticos e lóticos, bem como o crescimento sobre macrófitas aquáticas fossem conhecidos (DE ROSA BARBOSA, 1984; BATISTA, 2003; TAVARES et al., 2003). Espécime incrustante de *C. seckti* com 2 mm de espessura e 168 cm² de corpo total, foi encontrada em ambiente lêntico, próximo a período de estiagem. Seu tamanho indica boa adaptação mesmo que incrustante (PINHEIRO et al., 2013).

5) Paleontólogos carecem de uma laboriosa síntese do conhecimento ecológico das espécies de águas continentais, que os direcionem de forma sistemática aos estudos ecológicos e taxonômicos feitos sobre o grupo até o momento.

Estas observações conduziram a alguns questionamentos com relação ao papel das esponjas como *proxy*:

1) Os conhecimentos ecológicos dispersos e descobertas de novos locais de ocorrências para espécies conhecidas afetaram interpretações paleoambientais da região Neotropical, utilizando espículas de esponjas como *proxy*?

2) Espículas de esponjas como único dado *proxy* são capazes de fornecer indícios inequívocos sobre o ambiente pretérito?

Para responder as perguntas elencadas, este estudo verificou e concentrou informações ecológicas das 77 espécies de esponjas continentais conhecidas até o momento para a região Neotropical (HERNÁNDEZ; BARREAT 2017; GÓMES et al. 2019; PINHEIRO; CALHEIRA, 2020). Esta ação facilita o acesso e o uso das informações sobre a ecologia das espécies por parte de não espongiólogos, principalmente paleontólogos especializados em reconstituições paleoambientais quaternárias. Além disso, faz uma revisão da utilização das informações ecológicas do grupo em estudos de reconstituições paleoambientais da região Neotropical (veja cap. 1).

A segunda pergunta foi respondida frente a uma investigação de caráter empírico, realizada em lagoas formadas às margens do Rio Trairi, cerca de 30 km da costa, no Estado do Rio Grande do Norte. Esta localidade foi escolhida por apresentar registros de espécies subfósseis (VOLKMER-RIBEIRO et al., 1998) e nenhuma reconstituição paleoambiental utilizando espículas de esponjas de águas continentais. A eficácia da leitura paleoambiental das espículas foi contrastada a partir de respostas integradas aos seguintes *proxies*: sedimentologia, fitólitos, dados isotópicos - ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ - e matéria orgânica preservada no solo (veja cap. 2).

O capítulo 3 aborda a utilização de espículas de esponjas em análise *multi-proxy* para verificar se houve influência marinha pretérita em uma Lagoa Costeira, também no Rio Grande do Norte, que possui indícios geomorfológicos de ligação com o mar.

Diante disso, o presente estudo é o primeiro a concentrar informações ecológicas sobre as espécies atualmente conhecidas de esponjas de águas continentais da região Neotropical; bem como, o primeiro a realizar reconstituições paleoambientais no Rio

Grande do Norte, considerando análise *multi-proxy* utilizando espículas de esponjas marinhas e continentais, bem como fitólitos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O estudo verificou a utilidade de poríferos, a partir do conhecimento ecológico das espécies ainda viventes, como subsídio às interpretações paleoambientais realizadas na região Neotropical.

1.1.2 Específicos

- Registrou-se dados ecológicos das espécies de esponjas de águas continentais da região Neotropical com ênfase em novas ocorrências, de forma a auxiliar pesquisas paleoambientais considerando o grupo.

- Verificou-se reconstituições paleoambientais de áreas situadas na região Neotropical com o intuito de averiguar vieses decorrentes de espécies generalistas (euritópicas) antes classificadas como especialistas (estenotópicas).

- Contrastou-se a eficácia da leitura paleoambiental dos restos espiculares às respostas integradas aos seguintes *proxies*: sedimentologia, fitólitos, dados isotópicos - ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ - e matéria orgânica preservada no solo, com fins de verificar o alcance das leituras paleoambientais feitas por meio de espículas como dado proxy.

- Realizou-se reconstituição paleoambiental em lagoa costeira dulciaquícola com fins de verificar influência marinha pretérita.

2.0 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO.

O Estado do Rio Grande do Norte está situado na Região Nordeste do Brasil. A sua área sedimentar costeira se estende por 410 km, constituídos de praias arenosas e falésias ativas, sendo dividida em dois setores: (1) o Litoral Oriental e (2) o Litoral Setentrional (VITAL et al., 2006). Esta subdivisão é pautada sobre a localização geográfica associada a diferenças tectônicas e climáticas, fatores que influenciam a direção dos ventos e padrão de circulação do oceano adjacente, que por sua vez, modelam o litoral do estado (VITAL et al., 2006).

O Litoral Setentrional está localizado no trecho costeiro com orientação Este-Oeste e corresponde aos limites entre os municípios de Touros (Cabo Calcanhar) e de Tibau (praia de Tibau), limítrofe ao Estado do Ceará. O clima desta seção litorânea é tropical quente e seco ou semiárido (NIMER, 1989). Os ventos predominam em direção à E entre abril e agosto; entre maio e julho, direcionam-se à NE, com velocidade média anual de $6,2 \text{ m.s}^{-1}$ e máxima de 9 m.s^{-1} (COSTA-NETO, 2001; SILVEIRA, 2002; TABOSA, 2001, 2002). A geomorfologia setentrional apresenta campos de dunas (barcanas e barcanóides), planícies, tabuleiros costeiros, praias lamosas, arenosas e falésias ativas (VITAL et al., 2006). A vegetação é constituída por savana estépica (Caatinga), arbustiva e herbácea (COSTA et al., 2016).

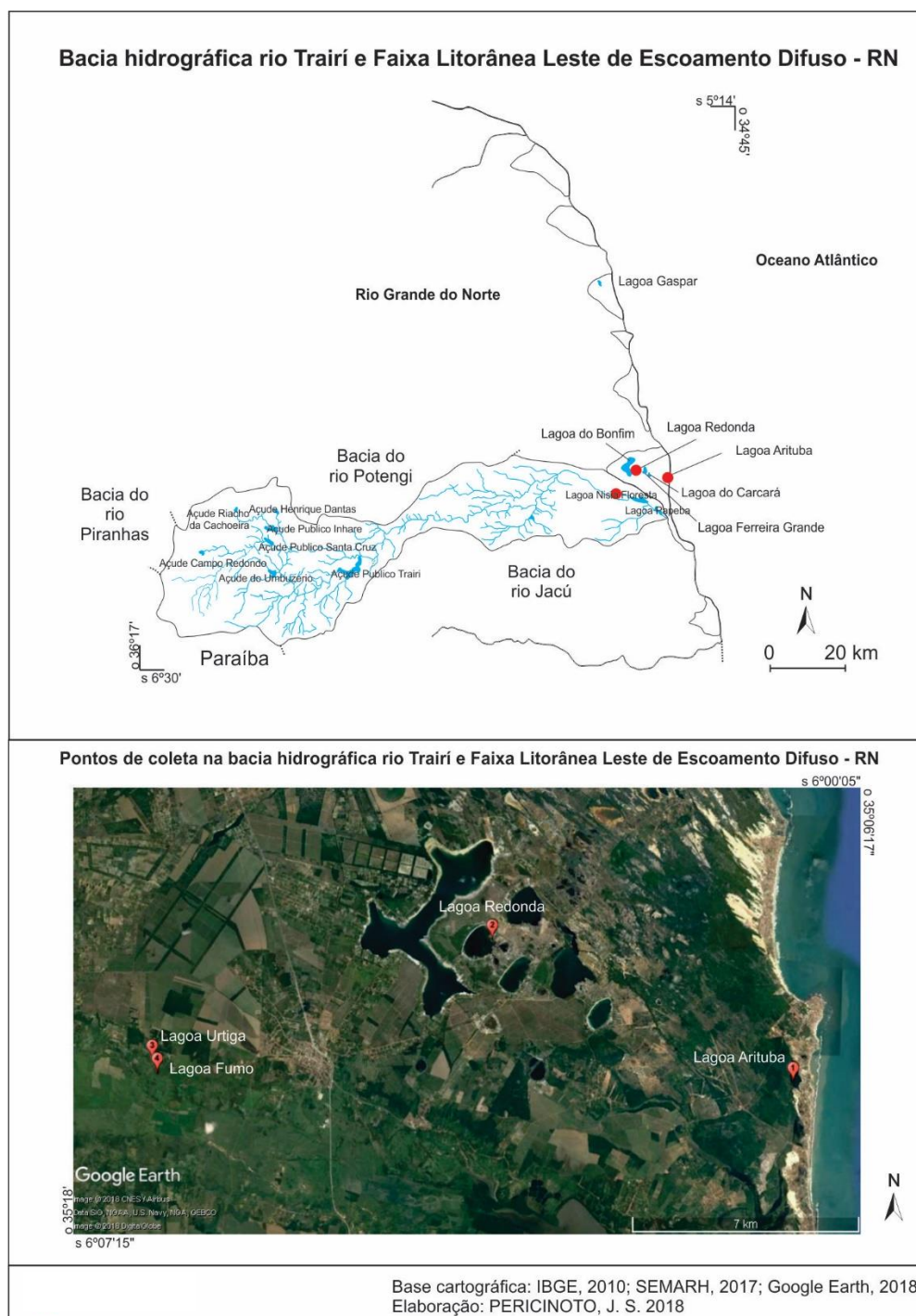
O Litoral Oriental está localizado no trecho com orientação Norte-Sul, correspondendo aos limites estabelecidos entre o Cabo Calcanhar, Município de Touros, e a Praia do Sagi, Município de Baía Formosa (fronteira com o Estado da Paraíba). O clima da região é tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa predominante no outono. Os ventos são majoritariamente originados do quadrante SE, com velocidades variando entre 4 e 5 m.s^{-1} (VITAL et al., 2006).

A geomorfologia desta seção litorânea apresenta altos e baixos estruturais do tipo *graben* e *horst*, que produziram tabuleiros de até 200 m de altura e compõem a formação Barreiras (VITAL et al., 2006). Esta área preserva importantes características geomorfológicas atribuídas ao Quaternário, como dunas móveis e fixas a oeste, estando sobrepostas à Formação Barreiras e a Unidade Relevo Tabular Costeiro; a leste, possui influência marinha holocênica (BEZERRA et al., 1998). Este setor é uma faixa sedimentar onde se localiza o contato entre as Bacias Potiguar e a Pernambuco-Paraíba. A fitossociologia é constituída principalmente por floresta tropical úmida (Mata

Atlântica), vegetação de várzea, cerrado e formações litorâneas (restinga e manguezais) (SILVA, 2020).

O Estado do Rio Grande do Norte possui uma rede hidrográfica composta por 16 bacias (PEREIRA et al., 2000). O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Trairi (fig.1). O rio Trairi é estreito, possuindo uma vazão de $3,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e uma extensão de 2.834 km^2 , desde a sua nascente, na Serra do Doutor (município de Campo Redondo), até a foz na Lagoa Nísia Floresta (LUCENA, 1998; 2005) (fig. 1). Apesar da baixa vazão, alguns trechos próximos à foz chegam a ter 5 km de largura (MELO, 2000). A geometria da bacia é dendrítica, assimétrica até o curso médio, tornando-se retilíneo no baixo curso. A maioria de seus afluentes estão situados na porção sul, principalmente à jusante (MELO, 2000). Segundo Bezerra et al. (1993) e Bezerra et al. (2001), a assimetria dos afluentes à jusante indica a formação de um alinhamento morfotectônico recente causado pelo basculamento rotacional de um bloco no sentido NW-SE. Esta área é considerada um *graben* por Bezerra (1998), e está inserida dentro dos limites entre a Formação Barreiras e a formação Potengi. Nesta bacia foram selecionadas ao acaso as Lagoas do Fumo e Urtiga. Ambas foram formadas por depressões sobre um antigo depósito fluvial, (BARRETO et al., 2004) e possuem cerca de 2m de profundidade. Estas lagoas estão localizadas cerca de 650 m de distância perpendicular ao Rio Trairi, em São José do Mipibú-RN, há 20 km da costa e em 29m de altitude (fig.2).

Figura 1. Características da Área de estudo mostrando suas bacias hidrográficas, com ênfase para a Bacia Faixa litorânea Leste de Escoamento Difuso, Nísia Floresta e a Bacia do Rio Trairi, São José do Mipibú - RN.



A Lagoa Arituba é a terceira selecionada ao acaso para o estudo. Ela está situada na costa de Nísia Floresta-RN. Esta lagoa está localizada à 300 metros da praia, à 4m de altitude e próximo a importantes formações de arenito costeiro, falésias ativas e dunas controladas pela vegetação (fig. 3).

A vegetação compreendida desde a área marginal alagada até 10 metros para fora das lagoas é composta de: Cyperaceae, Pteridaceae, Rubiaceae, na Lagoa do Fumo; Cyperaceae, Poaceae, Rubiaceae, na Lagoa Urtiga; Cyperaceae, Fabaceae, Malvaceae, Passifloraceae, Poaceae e Rubiaceae na Lagoa Arituba (fig. 4) (dados do presente estudo). Esta vegetação se encontra bastante alterada devido a atividades antropogênicas. Parte do território onde as lagoas se situam deveriam estar densamente cobertas por vegetação característica de Mata Atlântica e formações tipo restinga (LEROY, 2015; SILVA, 2020).

As lagoas são corpos efêmeros no tempo geológico, estando sujeitas a processos constantes de colmatção. Por isso, são arcabouços de informações sobre as condições passadas de suas bacias, pois recebem sedimentos e restos de organismos originados internamente (autóctones), como provenientes de áreas do entorno (alóctones). Isso quer dizer que elas acumulam registros sobre diversos processos morfogenéticos, climáticos e, conseqüentemente, paleoambientais experimentados pelas bacias de drenagem durante a trajetória dos eventos geológicos que as originaram (SCHNURRENBERGER et al., 2003). Sendo assim, foram os subambientes de sedimentação selecionados para amostragens deste estudo, principalmente pela possibilidade de encontrar as espículas de esponjas.

Figura 2. Lagoa do Fumo (A); Lagoa Urtiga (B). São José do Mipibu-RN, junho de 2018. Método de aferição, mangueira de nível. Transecto de altimetria norteado pela área de construção (casa de habitação) mais próximo ao ponto de sondagem e nivelado com a rodovia.

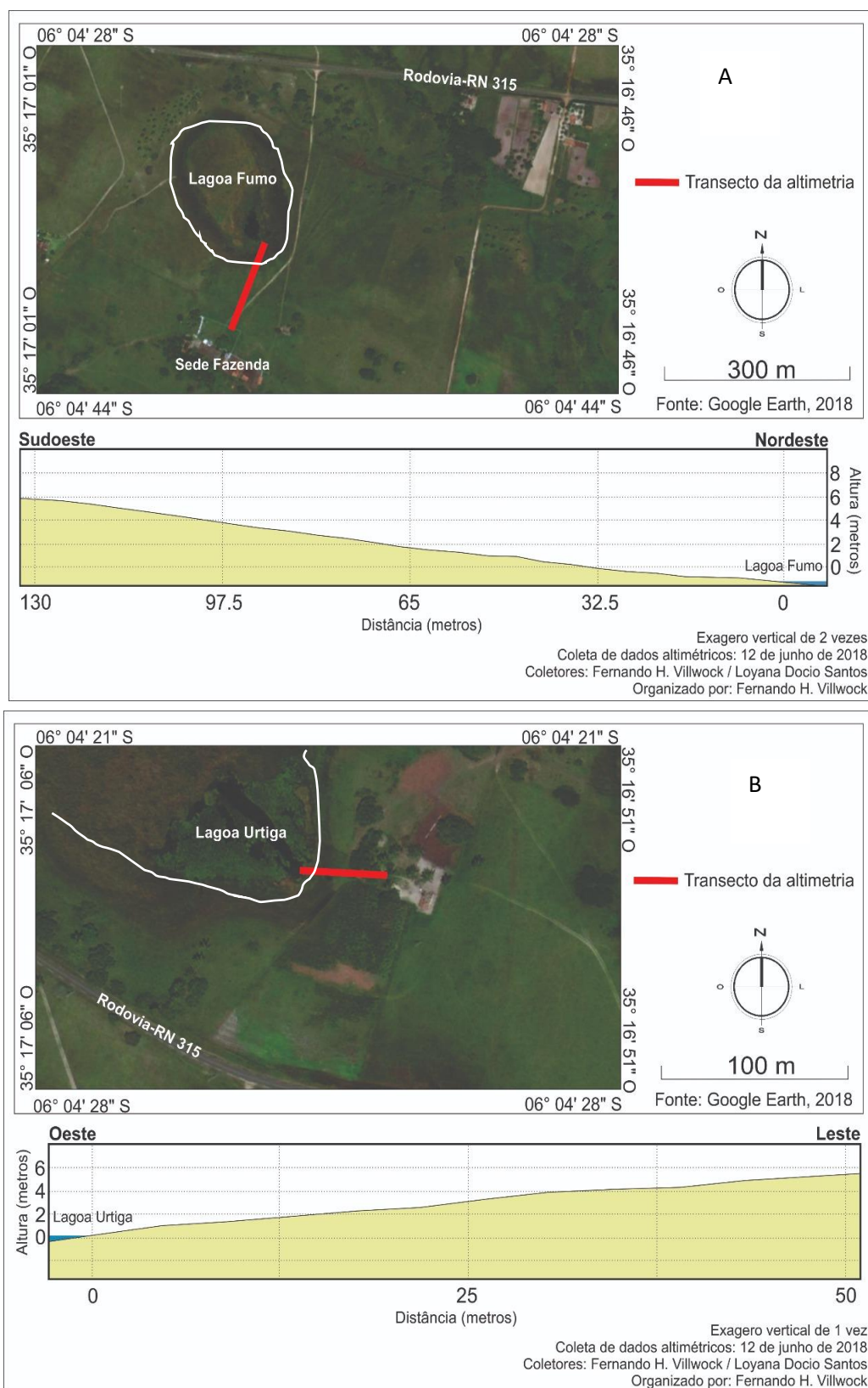


Figura 4 – Formações vegetais das Lagoas Arituba (A, B); Fumo (C, D); Urtiga (E, F).



2.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR

Sedimentologia é o ramo da geologia que estuda partículas que compõem os depósitos sedimentares, suas origens, processos relacionados ao transporte e disposição das mesmas, de modo a descrevê-las, classificá-las e interpretá-las (POMEROL et al., 2013). Estas partículas são derivadas do processo de intemperismo experimentado pelas rochas. O transporte por meio líquido ou aéreo, bem como sua disposição após a deposição, podem apontar alterações hidroclimatológicas que ocorreram no ambiente de sedimentação durante tempo geológico (VELICHKO et al., 2011). O tamanho, a forma, o brilho e a composição dessas partículas são variáveis estudadas por esta área da ciência. Entre os materiais presentes no sedimento estão a matéria orgânica particulada e preservada, além de isótopos instáveis e isótopos estáveis provenientes da matéria inorgânica e orgânica decompostas, bem como subfósseis, fósseis, microfósseis.

Para a caracterização dos sedimentos, as biomineralizações e demais *proxies* (^{14}C , ^{13}C , ^{15}N , MOS), foram realizadas perfurações do fundo das lagoas utilizando o método de sondagem à percussão com auxílio de marreta (fig.5). Nas sondagens recuperadas, foram realizadas análises de granulometria, de morfoscopia, teor de matéria orgânica de isótopos estáveis e radioativos presentes na mesma. As técnicas utilizadas são descritas a seguir.

2.2.1 Sondagem à percussão com auxílio de marreta.

Sondagem à percussão consiste em um método de investigação direta do solo que fornece informações a respeito das camadas e espessura dos sedimentos que constituem o substrato estudado. A sondagem foi feita por meio do encravamento de tubo de alumínio que possui padrão de 6 m de comprimento e 0,47 m de diâmetro. O tubo foi dividido em três tubos menores de 2 m de comprimento. Em campo, com auxílio de marreta, cada tubo foi enterrado no solo. A recuperação dos tubos foi feita por desencravamento utilizando uma talha. Os tubos foram cortados transversalmente, à altura do sedimento em seu interior (fig.5). Três testemunhos foram obtidos por meio de percussão das lagoas estudadas, durante excursão realizada em agosto/2017. Os testemunhos recuperados das lagoas Fumo (LFU), Urtiga (LUR), Arituba mediam 0,60; 0,96 e 0,90 m respectivamente. O material obtido foi suficiente para o estudo pois

continha as biomineralizações necessárias, não sendo necessário aumentar o numero de perfurações.

Figura 5. Procedimento de encravamento do tubo de alumínio, por meio de sondagem à percussão, no fundo da Lagoa Arituba, Nísia Floresta – RN, agosto de 2017.



2.2.2 Granulometria

A avaliação quantitativa do percentual dos diferentes tamanhos de grãos em sedimentos é chamada de granulometria. A granulometria é importante no estudo de sedimentos e em sua aplicabilidade à paleontologia porque: 1) podem indicar características do sedimento de determinados ambientes deposicionais; 2) seu estudo pode fornecer informações sobre os processos físicos, como a velocidade de transporte hidrodinâmico, por exemplo, que são atuantes durante o processo de deposição (SUGUIO, 2003).

A classificação de tamanhos de grão adotada por este estudo é a de Wentworth (1922) e Pettijohn (1975) (tab. 1). O tamanho de sedimentos em escalas maiores que centímetros são medidas com paquímetro, por exemplo. Já menores, com até 0,0062mm são medidos com a utilização de peneiras em série. As frações de partículas finas como lama, silte ou argila (<0,0062mm) são obtidas por meio de pipetagem ou hidrômetro, utilizando taxa de decantagem ou sedimentação em água (Folk, 1954; Folk, 1980).

Tabela 1. Classificação de Frações Granulométricas baseada em Wentworth (1922) e Pettijohn (1975).

Tabela 1: Classificação de Frações Granulométricas baseada em Wentworth (1922) e Fedtouni (1977)			
Nomenclatura		Tamanho	
Cascalho	...	64 a 2 mm	
Areia	Muito grossa	2 a 1mm	
	Grossa	1 a 0,5 mm	
	Média	0,5 a 0,25 mm	
	Fina	0,25 a 0,125 mm	
	Muito fina	0,125 a 0,05 mm	
Lama	Silte	Grosso	0,062 a 0,031 mm
		Médio	0,031 a 0,0156 mm
		Fino	0,0156 a 0,0078 mm
		Muito fino	0,0078 a 0,039 mm
Argila		< 0,0039 mm	

A análise sensorial (percepção tátil) feita nos sedimentos das três sondagens revelou material arenoso e pouco plástico. Devido a isso, o método utilizado para conhecer o tamanho dos grãos no sedimento foi a granulometria por peneiramento. Neste método, o sedimento é colocado em uma série de peneiras padronizadas pelo tamanho da abertura das malhas e dispostas em pilha sobre um agitador de peneiras elétrico (fig.6) (DIAS, 2004). Os diferentes diâmetros de abertura das malhas de cada peneira controlam a seleção do tamanho de grão de sedimento detido entre os níveis.

A pouca plasticidade presente nas amostras de sedimento denota quantidades reduzidas das frações (cerca de 7%) de lama (silte e argila). Por isso, não foram separadas entre silte e argila para classificação. O percentual das frações de sedimento, cuja classificação se encontra na Tabela 1, foi calculado de acordo com a equação (1).

$$a = \frac{PP \times 100}{PT} \text{ equação (1)}$$

Onde: a = fração sedimentar dada pela tabela 1; PP = peso da fração de sedimento retido na Peneira n; PT = fração total de sedimento posto inicialmente na máquina.

Figura 6. Sequência de peneiras sobre agitador elétrico da Universidade Estadual do Paraná – UNESPAR. Fonte: autora.



2.2.3 Morfoscopia

Morfoscopia é uma técnica que observa a forma e o arredondamento dos grãos (BERTOLINI et al., 2016), bem como as marcas existentes na superfície das partículas de sedimento (textura superficial). Em geral, as alterações na forma e superfície são ocasionadas por choques mecânicos, bem como por reações químicas durante os diversos meios que os carrearam desde a área de erosão até a área de deposição, no ambiente sedimentar (DIAS, 2004). Os dois agentes básicos de transporte são o ar e a água (DIAS, 2004). Além dos rios, a topografia também se mostra um agente importante capaz de influenciar no transporte do sedimento, por meio do escoamento superficial (colúvio e elúvio) (BERTOLINI et al., 2016).

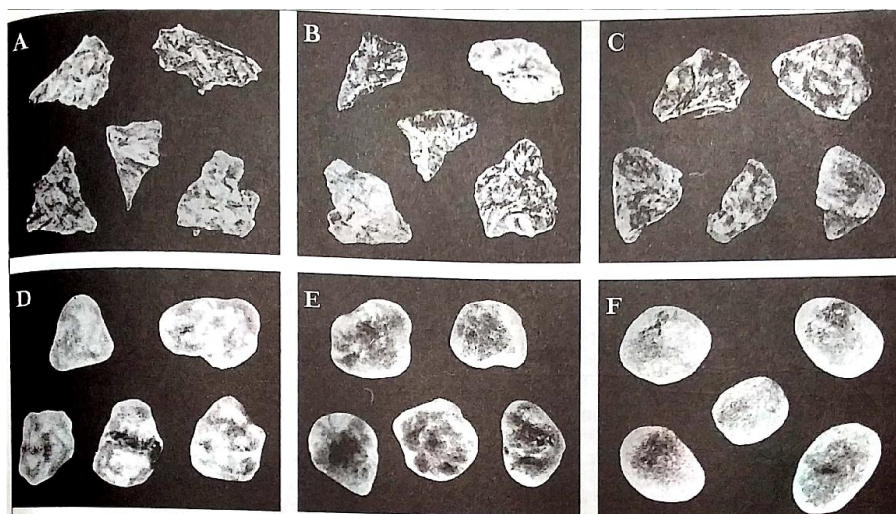
Entre os vários tipos de minerais que existem no sedimento, os grãos de quartzo são mais utilizados para esta análise porque são abundantes, resistentes e conservam bem

as marcas de choques na superfície (DIAS, 2004). Grãos de quartzo que são originados diretamente da desagregação da rocha matriz possuem formato anguloso e com arestas. O grau de arredondamento das partículas pode ser modificado pelo desgaste provocado pelo transporte (KRUMBEIM, 1941), sendo dependente da variável “distância da área fonte”. Assim, quanto mais próximos as partículas estão da área fonte, mais angulosas elas se mostram (DIAS, 2004; BERTOLINI et al., 2016). Dessa maneira, a forma dos grãos fornece pistas sobre o retrabalhamento pelo qual passaram.

Já as modificações na superfície são decorrentes da abrasão sofrida ou mesmo de modificações posteriores a deposição (BIGARELLA et al., 1955). Estas modificações são identificadas pelo aspecto vítreo ou opaco dos grãos. A condição vítrea se deve a superfície lisa e polida, características moldadas sob reações físico-químicas em meio aquoso (KUENEN; PERDOK, 1962; FOLK, 1980). Enquanto a condição fosca está relacionada ao transporte eólico, cujas fraturas microscópicas na superfície são ocasionadas por impacto em altas velocidades e dão um aspecto opaco aos grãos (DIAS, 2004). Entretanto, existem situações singulares onde coletaram sedimentos vítreos de origem eólica no deserto Mojave, Califórnia, EUA (POTTER; ROSSMAN, 1977). Esta condição inusitada foi produzida pela cobertura dos grãos por uma substância chamada verniz do deserto (POTTER; ROSSMAN, 1977) e nada remete as condições de transporte hídrico.

As medidas da forma dos grãos de fração areia são feitas sobre a comparação dos sedimentos coletados com as imagens de diferentes graus de arredondamento de partículas (TURK, 2003). O número amostral para a observação foi estabelecido em 100 grãos (DIAS, 2004; BERTOLINI et al., 2016) (fig. 7).

Figura 7. Variação morfológica de grãos de quartzo mostrando diferentes graus de transformação da forma dos grãos segundo distância e tempo de transporte. A) muito anguloso; B) anguloso; C) subanguloso; D) subarredondado; E) arredondado; F) bem arredondado.



Fonte: SHEPARD, 1967 apud SUGUIO, 2003.

2.2.4 Matéria Orgânica do Solo

Os diversos compostos orgânicos da MOS se preservam por interação com colóides minerais, ou mesmo pela própria composição química, que lhes confere resistência à ação decompositora de micro-organismos. Então, eles passam a fazer parte da matéria coloidal do solo (ALVES et al., 2006), sob diferentes formas como, por exemplo, ossos, galhos, pólen, húmus, turfa, material amorfo, moléculas orgânicas e isótopos estáveis e instáveis.

A temperatura, a umidade e a textura dos solos em diferentes biomas são variáveis que podem determinar a preservação da MOS (ROSS, 1993; ALVAREZ; LAVADO, 1998; MENDONÇA et al., 2013). Temperaturas altas podem acelerar as reações químicas de decomposição (TATE, 1992), enquanto baixas temperaturas podem retardá-las (POST et al., 1982). Entretanto, as altas temperaturas associadas à precipitação (ALVAREZ; LAVADO, 1998), ou mesmo aos solos alagados, tendem a produzir ambientes anóxicos, desfavorecendo a ação microbiana aeróbia, o que aumenta as taxas de preservação. Os solos com maiores frações de argila também conservam melhor a MOS que frações de areia (CENTENO et al., 2017). Porém, ambientes arenosos foram considerados importantes para o estoque de carbono em áreas amazônicas (MENDONÇA

et al., 2013) e em florestas de galeria e várzeas do cerrado (WANTZEN et al., 2012). Dessa forma, a principal variável que assegura a presença de MOS é a produtividade primária da área, seguida de fatores como umidade, temperatura (POST et al., 1982).

O reservatório de carbono contido na MOS representa dois terços do carbono total mundial (BAES et al., 1977). As áreas com maiores densidades médias de carbono orgânico do solo estão em locais com maior produtividade, o que considera os diferentes biomas presentes entre as zonas latitudinais do planeta e suas relações com o clima (POST et al., 1982). As alterações entre as concentrações de carbono total, bem como as diferentes concentrações isotópicas presentes em níveis de perfil de solo apontam para alterações geocronológicas da fitofisionomia regional. Dessa forma, a MOS também pode ser estudada a luz da paleontologia, tendo alto valor como dado *proxy* (MEYERS, 1997), relacionado a condições climáticas atuais (POST et al., 1982) e pretéritas (GADEN-MARCON et al., 2014).

A matéria orgânica presente no fundo dos lagos, lagoas e lagunas pode derivar da produção primária de macrófitas aquáticas, algas e organismos aquáticos *in situ* (produção autóctone), bem como da MOS de áreas terrestres imediatas *extra situ* (produção alóctone) (ESTEVES, 1998). Contudo, o primeiro recurso é mais sensível às alterações bacterianas dos lagos que o segundo (MEYERS; ISHIWATARI, 1993). Uma vez na coluna d'água, a matéria orgânica pode ser alterada por oxidação e degradação microbiana até se instalar no fundo dos lagos e lagoas, onde pode repassar à coluna d'água por suspensão, quando em zona de bioturbação, voltando a oxidar-se (MEYERS, 1997). Abaixo dessa zona, pode ainda continuar sendo decomposta pela microbiota anaeróbia (MEYERS et al., 1996). A taxa de degradação da matéria orgânica nos lagos pode variar com relação à condição de estratificação (ESTEVES, 1998), uma vez que lagos estratificados possuem pouco oxigênio no hipolímnio. Esta condição lhes conferiria maiores taxas de preservação da matéria orgânica que lagos não estratificados (MEYERS; ISHIWATARI, 1993).

A maioria das lagoas brasileiras são polimíticas, sendo susceptíveis à desoxigenação da coluna d'água devido ao aporte de matéria orgânica aliado às altas temperaturas durante períodos chuvosos (ESTEVES, 1998; ALMEIDA; MELO, 2009). A desoxigenação da água ocorre pelo aumento da ação decompositora microbiana aeróbia que consome grande parte do oxigênio diluído. Logo, as condições de anóxia são agravadas por obstrução da luz pela matéria orgânica particulada ou como ácidos húmicos

presentes no sistema (PONTEVEDRA-POMBAL; MARTINEZ-CORTIZAS, 2004). A ausência de luz (redução da transparência) prejudica a produção de oxigênio *in situ* por organismos autótrofos, aumentando mais as concentrações de matéria orgânica no sistema. As condições aeróbias são restituídas quando períodos de baixa pluviometria retornam, e parte da matéria orgânica com diferentes graus de decomposição está precipitada no fundo da lagoa (ESTEVES, 1998). Neste local, ela pode continuar os processos de decomposição de forma mais lenta e anaeróbia ou mesmo reagir com compostos minerais do sedimento de forma a favorecer sua conservação.

Embora a matéria orgânica presente nos sedimentos marinho e de águas continentais constitua a menor fração sedimentar e passe por alterações substanciais, ela é um importante registro utilizado para reconstituição de paleoambientes marinhos e continentais (MEYERS, 1997). Ela também se constitui em importante recurso isotópico de carbono e nitrogênio, não parecendo sofrer mudanças diagenéticas significativas que possam alterar o significado paleoambiental desses isótopos (MEYERS; ISHIWATARI, 1993).

2.2.5 Isótopos e análises $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$, datação por ^{14}C

Os isótopos existem naturalmente na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (PESSENDA et al., 2005). Isótopos estáveis são átomos do mesmo elemento químico que diferem uns dos outros por números de massa (FERNANDES, 2014; CAXITO; SILVA, 2015), apresentando isótopos mais leves (abundantes, 99%) e mais pesados (escassos, 1%) (PESSENDA et al., 2005). Há também os isótopos radioativos, que possuem núcleos instáveis.

Os isótopos pesados e leves são passíveis de mensuração por meio das velocidades de reações químicas e biológicas, uma vez que as reações com os reagentes isotópicos leves são mais rápidas que com os pesados. As quantidades conhecidas de cada tipo isotópico são então comparadas em termos da diferença em relação ao padrão internacional adotado para o elemento químico estudado e são interpretados como notação δ (tab. 2) (Lima, 2013), conforme a equação (2):

$$\delta = \frac{(R_{amostra} - R_{padrão})}{R_{padrão}} \times 10^3. \text{ Equação (2).}$$

Onde: ($= R$ amostra) e a razão entre variantes leves e pesadas de uma amostra padrão do laboratório ($= R$ padrão), o qual é calibrada por um padrão internacional reconhecido (tab. 2).

A vantagem dessa abordagem matemática está na diminuição do erro analítico, pois medidas relativas tem menor erro que aquelas absolutas (WERNER; BRAND, 2001). A notação δ se refere aos desvios dos valores padrões internacionais para cada isótopo (CAXITO; SILVA, 2015), o resultado é expresso convencionalmente em número por mil (‰), uma vez que as quantidades naturais são ínfimas (ALVES et al., 2006).

Tabela 2 – Padrões internacionais da razão isotrópica segundo compilação de Werner e Brand (2001) e Caxito e Silva (2015) de isótopos N e C usados em reconstruções paleoambientais.

Razão isotópica	Padrão internacional	Valor padrão
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	AIR-N ₂	0,0036782
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	VPDB	0,0111802

AIR-N₂: ar atmosférico; VPDB: Vienna Pee Dee Belemnite.

O elemento Carbono possui três isótopos ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C . Cada um deles têm seis prótons e respectivamente, seis, sete e oito nêutrons em seus núcleos. As duas primeiras formas isotópicas são estáveis, enquanto a última é instável, por isso chamada de radioativa.

Os valores δ do isótopo estável ^{13}C são poderosos indicativos de vias de fotossíntese. Plantas com o ciclo fotossintético de Calvin (C_3) fixam carbono atmosférico por meio da enzima RUBISCO (Ribulose Bifosfato Carboxilase/Oxigenase), e têm a média $\delta^{13}\text{C}$ -27‰ (PESSENDA et al., 2005). O ciclo fotossintético C_4 , que envolve a enzima PEP-carboxilase (Fosfoenolpiruvato Carboxilase), possui menor afinidade por estes isótopos que a RUBISCO, com média $\delta^{13}\text{C}$ -13‰ (PESSENDA et al., 2005). Já as plantas MAC (ou CAM, do inglês, *Crassulacean Acid Metabolism*) facultativas, cujo ciclo fotossintético envolve a formação do ácido málico, são as que fixam isótopos pesados de carbono em valores intermediários entre as dos ciclos C_3 e C_4 (tab. 3). As plantas MAC-obrigatórias têm valores compráveis às plantas do ciclo C_4 (PESSENDA et al., 2005). Dessa forma, podem ser utilizados para observar mudanças pretéritas de comunidades vegetais (*turnover*), com base nos isótopos preservados nos sedimentos

através dos milhares de anos (COE et al., 2013; PESSENDA et al., 2005). As limitações podem ser contornadas pela observação de material palinológico e fitolítico.

Tabela 3 - Valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre diferentes grupos vegetais dos ciclos fotossintéticos C_3 , C_4 e CAM.

Grupo vegetal	Ciclo Fotossintético	Valores de $\delta^{13}\text{C}$
Dicotiledôneas ¹	C_3	-32 a -22‰
Monocotiledôneas ¹	C_4	-17 a -9‰
Algas marinhas ^{2,3}	C_3 e C_4	-22 a -20 ‰
Suculentas e Cactáceas	CAM	-28‰ a -10‰

Fonte: PESSENDA et al., 2005¹; MEYERS, 1994²; MEYERS, 1997³.

Algas em ambientes fluviais e lacustres assimilam isótopos de carbono através do CO_2 dissolvido e seus valores δ estão em equilíbrio com os valores atmosféricos, consequentemente, sendo indistinguíveis das plantas terrestres ao redor da bacia hidrográfica (MEYERS, 1997). As algas marinhas assimilam o carbono proveniente do bicarbonato dissolvido, que possui valores próximos a 0‰.

A forma isotópica instável ^{14}C é criada na estratosfera através do bombardeamento de átomos de nitrogênio por raios cósmicos. Dessa forma, o núcleo do átomo de nitrogênio absorve um nêutron e emite um próton. Isto faz com que o núcleo passe a ter sete nêutrons e sete prótons, se tornando um átomo de carbono com massa de um átomo de nitrogênio (FUSON, 1969). Sendo assim, esse átomo está instável e muda espontaneamente para um estado de energia mais baixo, por emissão radioativa. Cada isótopo radioativo (considerando outros elementos químicos) possui uma velocidade constante de desintegração, que pode durar minutos, séculos ou milhões de anos (SALGADO-LABORIAU, 1994). A meia vida do ^{14}C é de 5.730 anos, com datação máxima em torno de 30.000 anos. Isto faz desse isótopo uma ferramenta cronológica limitada às idades do Quaternário Tardio (SALGADO-LABORIAU, 1994).

O ^{14}C circula em toda a biosfera, tendo entrada a partir de moléculas de gás carbônico absorvido pelas plantas e incorporado às cadeias proteicas dos vegetais. Estas passam aos animais e demais organismos pelas relações tróficas (ciclo do carbono em seres vivos). Assim, o carbono mensurado para a datação é o que restou da matéria morta presente na MOS, já que após a morte, os organismos param de absorver este isótopo.

Embora a datação por ^{14}C seja um método amplamente aceito e utilizado, há sempre variações que podem levar a erros (SALGADO-LABORIAU, 1994). Estas limitações devem ser assinaladas para um melhor resultado cronológico: 1) os teores de

^{14}C da atmosfera não se mantiveram constantes com relação ao tempo, devido às variações causadas tanto na produção quanto nas taxas de trocas entre as reservas geoquímicas, as quantidades de CO_2 na atmosfera, na hidrosfera, na biosfera e nos ciclos biológicos (SCHEEL-YBERT, 1999). Porém, um banco de dados baseado nos estudos de dendrocronologia (BECKER, 1993) e crescimento de corais (BARD et al, 1993) permitiu a calibração de datações por ^{14}C por meio de softwares, como por exemplo o Calib®. Ele calcula o intervalo de probabilidade das datas para diferentes reservatórios atmosféricos (Hemisférios Norte e Sul do globo), além de reservatório marinho (STUIVER; REIMER, 1993), levando em consideração estas variações. 2) Teores de ^{14}C não são fixados nas mesmas proporções por todos os tipos fotossintéticos de vegetais. Este problema foi contornado pela utilização de “datas convencionais”, que foram normalizadas pelos valores de $\delta^{13}\text{C}$ médios estimados para diversos componentes orgânicos (STUIVER; REIMER, 1993). 3) As concentrações de ^{14}C são diferentes entre compartimentos marinhos com termoclina, apresentando organismos superficiais com valores de carbono passíveis de datação recente e organismos de profundidade com valores de datação mais antigas, o que é chamado de “efeito reservatório”. Em zonas de ressurgência, os organismos de pouca profundidade, que deveriam exibir valores de ^{14}C capazes de indicar datas recentes, podem exibir valores que remetem a datações envelhecidas para as condições padrão (BRADLEY, 1985). Estas datações aparentes podem ser corrigidas pela diferença dos valores apresentadas pelo reservatório e os valores obtidos pelo método U-Th em corais (SCHEEL-YBERT, 1999). Formações carbonatadas, ou lagos alimentados por fontes carbonatadas, também podem exibir efeitos de envelhecimento aparente das idades (SYLVESTRE, 1997). A solução adotada para este problema, quando detectado, é a comparação com fontes atuais de ^{14}C (SCHEEL-YBERT, 1999). 4) O rejuvenescimento das amostras também pode ocorrer por contaminação (presença de restos orgânicos recentes) ou recristalização de carbono orgânico recém incorporados aos depósitos de carbonatos antigos (SCHEEL-YBERT, 1999). A contaminação pode ser evitada pela ausência de contato com materiais orgânicos recentes, bem como manuseio livre (sem luvas), que possam passar moléculas orgânicas atuais ao material (SALGADO-LABORIAU, 1994). Já a recristalização é uma forma de contaminação mais difícil de ser detectada, mas as características mineralógicas e isotópicas podem indicar sua ocorrência (SYLVESTRE, 1997).

As datas enunciadas a partir da mensuração de ^{14}C devem ser interpretadas como as datas mais possíveis dentro de um intervalo de probabilidades. A notação δ , fornecida para as análises de datação por ^{14}C , indica desvio padrão, onde: em 1δ , há 68% de probabilidade; em 2δ , há 95% de probabilidade de as datas estarem entre o intervalo fornecido. As datações quando descritas em anos, devem ser seguidas da abreviação “AP” (em inglês, “BP”), que significa, “antes do presente” (“*Before the Presente*”), sendo o “presente” datado após o ano de 1949. Esse ano limite para as datações foi estabelecido por justificativa das alterações isotópicas na atmosfera ocorridas após as explosões de bombas atômicas em 1946, que modificaram o equilíbrio da produção do isótopo radioativo ^{14}C na atmosfera (SCHEEL-YBERT, 1999).

Os isótopos estáveis de nitrogênio ocorrem naturalmente forma de ^{14}N (99,63%) e ^{15}N (0,37%), existindo outros isótopos radioativos com massas variando de 10 a 17 e tempo de vida estimado em frações de segundos (TRIVELIN et al., 1973; OWENS, 1988). O reservatório desse elemento é encontrado na atmosfera em forma gasosa N_2 , apresentando concentrações constantes entre os isótopos (0,0‰). A entrada do nitrogênio atmosférico na biosfera é possível graças a ação de captação e fixação por bactérias do gênero *Rhizobium* Frank, 1889. Após, o sinal isotópico original é modificado por significativas transformações biogeoquímicas, como amonificação, nitrificação e desnitrificação. Em meio a esse processo, o nitrogênio é assimilado pelos organismos (animais e vegetais) e passam a compor as cadeias protéicas, voltando ao ciclo biogeoquímico por meio da decomposição e amonização dos compostos nitrogenados dos restos orgânicos.

Devido à complexidade do ciclo biogeoquímico do nitrogênio, os isótopos desse elemento são menos utilizados em Paleontologia que os de carbono. Entretanto, o isótopo estável ^{15}N é notável como um biomarcador e indicador da fonte de matéria orgânica nos ambientes terrestres, dulciaquícola e marinhos (OWENS, 1988; OWENS; LAW, 1989, MEYERS, 1997). As concentrações desse elemento são diferentes entre os compartimentos da biosfera, por exemplo, pesquisas mostraram que materiais orgânicos de origem marinha são mais enriquecidos em ^{15}N que aqueles de ambientes terrestres (OWENS, 1988). Os sistemas de águas continentais, como rios, possuem várias fontes de ^{15}N , o que inclui partículas orgânicas terrestres (origem alóctone), macrófitas aquáticas e algas (origem autóctone), além de entradas de sedimentos orgânicos trazidos da cabeceira dos rios e áreas de entorno (OWENS; LAW, 1989). Dessa forma, os valores de ^{15}N podem

ser utilizadas para discriminação da fonte de matéria orgânica, se proveniente de restos de algas ou de plantas terrestres (MEYERS, 1997). O princípio da distinção está no recurso do nitrogênio aquático e aéreo, o primeiro é proveniente de nitratos dissolvidos, cujos valores δ se situam dentro do intervalo +7,0 e + 10,0‰, enquanto o segundo em torno de 0‰.

O método de discriminação de fontes pelo uso de isótopos de nitrogênio é amplamente aceito, embora cautela deve ser ministrada nas interpretações, pois alterações ambientais podem também modificar os valores de $\delta^{15}\text{N}$. Assim, o pesquisador deve atentar aos indícios de alterações, um exemplo é dado pela a redução do nível de água do Lago Pirâmide, Nevada-EUA, causado em parte pelo desvio do Rio Truckee. Essa redução de água foi acompanhada da elevação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, com consequente mudanças nos sinais isotópicos provenientes das algas e da vegetação do entorno da bacia hidrográfica (MEYERS et al., 1997). O processo de desnitrificação do NO_3 em águas pouco oxigenadas é outro exemplo de como a identificação da fonte de nitrogênio orgânico pode ser difícil de ser determinada. Em corpos hídricos anóxicos, as reações de desnitrificação selecionam os isótopos, deixando os fundos dos lagos enriquecidos em nitratos compostos por ^{15}N (CLINE; KAPLAN, 1975).

As atividades humanas compõem outro fator recente de perturbação dos ciclos biogeoquímicos dos isótopos. O uso de fertilizantes enriquecidos com nitritos e nitratos, os desmatamentos e as alterações de cursos de água têm modificado os ciclos de muitos elementos químicos, como C, N, S e P, por exemplo (RAUPACH; CANADELL, 2010; WATERS et al., 2016; ZALASIEWICZ et al., 2017). Estas alterações estão sendo somadas às características que delimitam uma nova unidade geocronológica, o Antropoceno (ZALASIEWICZ et al., 2017). Reconhecer tais alterações pode contribuir na interpretação de dados discrepantes, bem como apontar estratégias de conservação, uma vez que é possível reconstituir o cenário pretérito de uma área e reconstruí-lo a partir de áreas remanescentes com mesmas características.

Na presente pesquisa, dados isotópicos foram contrastados a dados obtidos de biomineralizações vegetais (fitólitos) para inserir maior robustez às análises.

2.2.6 Biomineralizações

Fitólitos são cristais amorfos compostos de sílica biogênica, que são formados por meio do ácido monossilícico (H_4SiO_4), presente no solo e absorvido pelas raízes (ALBERT; PORTILLO, 2014). Uma vez metabolizado pelas células vegetais, a sílica produzida é acumulada nos tecidos e células das plantas (PIPERNO, 2006) na forma de gel. Quando se solidifica, imprime em si a forma das células e tecidos (ALBERT; PORTILLO, 2014). Durante esse processo, os cristais em formação podem englobar outros elementos químicos, presentes nos citoplasmas, como por exemplo, Al, Fe, Mn, Mg, Cu, P, C, N (BARTOLLI; WILDING, 1980). O mecanismo de acumulação é controlado por dois processos: 1) genético-fisiológico e 2) ambiental, passível de balanços climáticos locais e condições para o desenvolvimento, como por exemplo, a disponibilidade de silício (PIPERNO, 1991, 2006). Os fitólitos cumprem funções de proteção mecânica, contra fungos patogênicos e herbivoria (PIPERNO, 2006); além de exercer um papel estrutural na parede celular, junto à lignina, conferindo maior resistência à compressão dos tecidos.

A morte e decomposição das plantas, ou de suas partes, acaba por dispersar os fitólitos no ambiente. Logo, eles estão expostos à composição química do solo, bem como aos fenômenos de intemperismo e erosão que o assolam. Porém, mesmo em tais condições, fitólitos são mais bem preservados que palinomorfos em mesma situação. Isso se explica por sua constituição biomineralizada. Dessa forma, possuem grande aplicabilidade para a micropaleontologia, auxiliando a determinação da fitofisionomia pretérita local, ou ainda a utilidade de vegetais em antigas comunidades humanas.

Embora tenham sido descobertos em 1835 (MULHOLLAND; RAPP, 1992), a aplicação dessas partículas na paleontologia ocorreu somente no início da década de 1970 (TWISS, 1969; ROVNER, 1971). No Brasil, o estudo dessas biomineralizações em estudos paleoambientais começa com a publicação dos estudos de Piperno e Becker (1996), associado-os a antracologia.

O uso dos fitólitos como *proxy* abarca certas condições a serem observadas: 1) Sua produção possui relevância quantitativa: a variação da produção de fitólitos entre os táxons pode levar a uma super ou subestimação da assembléia pretérita, por isso, deve-se considerar também os tipos fitolíticos raros nas amostras, ou mesmo a existência de táxons não produtores. 2) O significado taxonômico: fitólitos são múltiplos e redundantes.

Dessa forma, um mesmo táxon pode ter vários tipos fitolíticos, bem como táxons diferentes podem compartilhar uma mesma forma fitolítica (MADELLA et al., 2005). Entretanto, a acurácia taxonômica chega ao nível de família e algumas vezes de subfamília (TWISS, 1969), em alguns poucos casos até a categoria gênero (PIPERNO, 2006); 3) O modo de dispersão e deposição: a dispersão varia conforme o tipo de ambiente onde se realiza o estudo. Logo, é de se esperar que a água ou o vento transporte os fitólitos de um lugar ao outro, caso se trate do sedimento de um rio ou de áreas desérticas (PIPERNO, 2006). O sedimento coletado de lagoas sem aporte fluvial, normalmente, são provenientes da vegetação do entorno da bacia (PIPERNO, 2006); 4) a resistência às condições intempéricas. A dissolução dos fitólitos e consequente destruição dessas biomineralizações é acelerada sob condições de alcalinidade ($> \text{pH}=9$) (PIPERNO, 2006); 5) a parte vegetal em que o fitólito foi formado. Fitólitos cuja origem é intracelular são mais resistentes ao intemperismo que aqueles provenientes de deposição nas paredes celulares.

Nem todas as plantas, ou todas as partes delas, produzem fitólitos. Da mesma forma que nem todas os produzem em grandes quantidades. São exemplos de famílias de plantas que produzem muitas biomineralizações: Cyatheaceae, Selaginellaceae, Esquitaceae; Annonaceae, Magnoliaceae, Arecaceae, Acanthaceae, Asteraceae; cuja a produção é variável: Polypodiaceae; Cupressaceae, Pinaceae, Flagellariaceae; e que não são relatadas biomineralizações: Araucariaceae, Myristicaceae, Agavaceae, Apiaceae (PIPERNO, 2006).

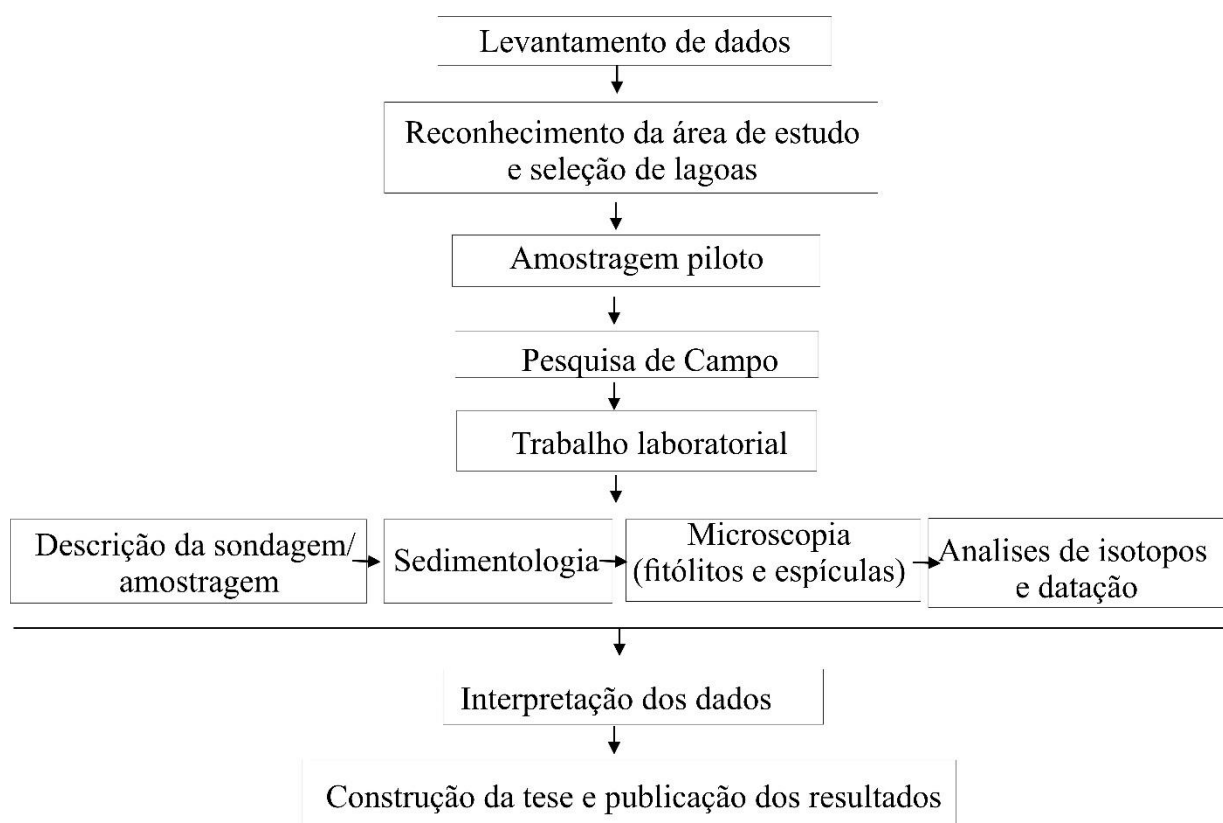
A quantificação dos fitólitos é um ponto importante para as interpretações. Os números analisados são obtidos de preparações com volumes conhecidos do sedimento. Estes são dispostos em lâminas, que se constituem subamostras das sondagens recuperadas. A contagem das biomineralizações deve atentar para todos os morfótipos, principalmente os raros, os quais podem representar cerca de 1% da soma total. Para tanto, é necessário um escaneamento das lâminas com a finalidade de reconhecê-los. Outro fator importante é o tamanho das amostras. Piperno et al. (2006) encontrou por meio de uma revisão de literatura que várias pesquisas tendo fitólitos como objetos encontraram tamanho de amostras entre 200 a 300 partículas.

O tratamento para apresentação dos dados é feito com base em diagrama que mostra a assembléia fitolítica em linhas horizontais, considerando o período de tempo datado, e as taxas de concentração de cada representante morfológico por profundidade da

sondagem, linhas verticais. Modificações severas nas concentrações apresentadas pelos morfótipos nos diagramas, são assumidas como alterações da vegetação em curso geocronológico. Estas modificações podem ser calculadas matematicamente, produzindo zonas representadas por dendogramas criados por análise de cluster. Isso é possível ao se plotar os dados no programa Tilia graph®, utilizando a função *sum-of-squares*.

A investigação paleontológica possui características multi e interdisciplinares, uma vez que busca em muitas outras disciplinas/áreas do conhecimento, como a Geologia, a Química, a Física e a Biologia, por exemplo, as informações capazes de responderem às questões levantadas de forma a traçarem as hipóteses de evolução de ambientes passados. Não é difícil encontrar publicações com grande número de autores que atuam em diferentes áreas. Cada qual, dentro de sua especialidade, contribuindo para uma melhor avaliação do significado trazido pelos *proxies* orgânicos e inorgânicos. Nesse sentido, as espículas de esponjas de águas continentais contribuem bastante com respostas sobre os ambientes pretéritos. Principalmente pela especificidade que certas espécies tem às condições abióticas de seu habitat. Entretanto, mesmo esse táxon parecendo ser tão especializado, dados ecológicos mostram que existem excessões. Dessa forma, um extenso levantamento bibliográfico foi realizado no sentido de considerar todas os ambientes possíveis de colonização por estes animais em diferentes formas corporais, desde espessas, delgadas, pequenas a grandes. Após, reconstituições paleoambientais foram realizadas para observar se as respostas dadas pelas espécies de esponjas, indentificadas por meio de espículas, coadunavam com aquelas de outros dados *proxy*.

As etapas para a realização deste estudo estão sintetizadas na figura 8.

Figura 8: Organograma de atividades no quadriênio 2016-2020.

3 A CONTRIBUTION TO ADEQUATE USE OF FRESHWATER SPONGES AS A PROXY IN PALEOENVIRONMENTAL STUDIES.

Autores: Loyana Docio, Mauro Parolin, Ulisses Pinheiro.

Publicado na Zootaxa (DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4915.4.3>)¹.

Reproduzido com permissão do detentor dos direitos autorais.

¹ Normas de formatação presentes no Anexo A

A contribution to adequate use of freshwater sponges as a proxy in paleoenvironmental studies.

Docio^{a,b}, L.; Parolin^c, M.; Pinheiro^a, U.

a- Universidade Federal de Pernambuco. UFPE. Endereço: Centro de Ciências Biológicas, Recife, Pernambuco, Brasil. ulisses.pinheiro@ufpe.br

b- Universidade do Estado da Bahia. UNEB. Endereço: Departamento de Ciências Humanas, Campus IX, Barreiras, Bahia, Brasil.

c- Universidade Estadual do Paraná – UNESPAR. Endereço: Campus Campo, Campo Mourão, Paraná State, Brazil. mauoparolin@gmail.com

Contact Author: Docio, L. (loydocio@gmail.com)

Keywords: Micropaleontology; Paleolimnology; Paleoenvironmental reconstruction; Ecology; Quaternary.

Abstract

This paper provides a comprehensive review of the environments where freshwater sponges occur and evaluates the use of sponge spicules as a proxy in paleoenvironmental studies in the Neotropical region. The paper aims to: I) review the information about the ecology of inland sponges to facilitate the use of spicules as a paleoenvironmental tool; and II) identify possible incongruities in the use of this information in paleoenvironmental reconstructions that have been conducted in Neotropical regions. The study compiled data on 77 sponge species, specialist or generalist that occur under certain environmental conditions, such as: substrate type for growth, hydrodynamic types, as well as salinity and acidity concentrations. In addition, it provides a comparison of the paleoenvironmental conditions applied to reconstruction studies that have been carried out within this biogeographic region, highlighting incongruities regarding the current ecology of the sponges.

Introduction

Sponges are sessile, filtering organisms that constitute the Phylum Porifera. Initially, these organisms appeared in the Ocean in the Cryogenian period (Love et al. 2009; Chang et al. 2017), during the Proterozoic Eon (850 Ma a 635 Ma) (Pronzato et al. 2017) and settled in continental aquatic environments, probably in the Paleozoic (Dunagan 1999). The highest poriferan species diversity in the Earth's history occurred in the Cretaceous period (van Soest, 2019). Currently, about 9,200 living valid species and 5,000 fossil species have been quantified in both marine and continental waters (van Soest et al. 2019).

The continuity between fossil records and living species allows poriferans to function as instruments of paleoenvironmental condition inference for the Quaternary period (Harrison, 1988) especially for the group of inland sponges. The siliceous elements that compose the skeletons of sponges – the spicules, especially the gemmuloscleres – are the most important morphological features for identification to a specific taxonomic level. Once the species has been identified through its remains and, along with knowledge about its environmental preferences, it is possible to infer that the place where the remains were found had the same ecological features as the location of that specific sponge species today (Parolin et al. 2008). Sponge spicules can be used successfully as a tool for the reconstruction of paleoenvironmental conditions because: 1) the silica structure of spicules enable preservation in sand (especially fine sand) and mud sediments; 2) they are resistant to remobilization; 3) they are resistant to weather and humidity conditions. Considering that, for example, palynomorphs, which are the most frequently used proxies, are not preserved very well in humid tropical areas (Parolin et al. 2008).

Sponge remains were first used as a proxy in paleoenvironmental studies in the late 1970s (Harrison et al. 1979; Hall and Herman 1980). In recent years, the use of spicules as a primary or supplemental proxy has been widely discussed (Paduano and Fell 1997;

Wallis 2001; Pisera and Saéz 2003; Wang et al. 2006; Limaye et al. 2007; Barczi et al. 2009; Cordova et al. 2011; Gaino et al. 2012). Over the years, new species of sponges have been discovered, as well as new areas of occurrence – those already known have been expanded – along with new ecological data, especially in the Neotropical region (Nicácio et al. 2011; Ruengsawang et al. 2012; Morostega et al. 2013; Nicácio and Pinheiro 2015; Calheira and Pinheiro 2016; Volkmer-Ribeiro et al. 2017; Volkmer-Ribeiro and Machado 2017; Calheira and Pinheiro 2018). This has led to a need for a broad review of this subject for Neotropical freshwater sponges. In the present study, the following questions were posed in order to better understand this subject: Does the discovery of new areas of occurrence of Neotropical sponge species change the interpretation and meaning of paleoconditions accepted to date? Are there any inconsistencies between knowledge of the current sponge ecology and that used in paleoenvironmental considerations using spicules as a proxy? The discovery of a sponge species in a different environmental condition from those already reported may change the interpretation of paleoenvironmental reconstructions already done.

The objectives of this paper are to: i) provide a review of the environmental characteristics of the described species for the Neotropical region; ii) indicate which species are still found under the same restricted environmental conditions, so they can be properly used as proxies; iii) provide a review of paleoenvironmental studies conducted in the Neotropical region, and point out possible incongruities in the use of sponge species as proxy data. The main characteristics and environmental variables of Neotropical regions, such as the current ecological data known to date about inland sponge species from this region (coastal area, clear and dark water, river or ponds), is presented in a table. This compilation aims to facilitate the use of information on inland sponges in paleoenvironmental reconstruction surveys by micropaleontologists.

Methods

Data collection

In order to synthesize the environmental characteristics of the locations where continental sponges occur, a bibliographical survey of the valid species was conducted. Occurrence records were searched using species names as the search terms on the following online databases: Web of Science, Google Scholar, *Portal da Capes*, ScienceDirect, as well as the World Porifera Database (van Soest et al. 2019). Papers about taxonomy, ecology or distribution of the species were consulted. For Brazil, the country with the largest species diversity of poriferans within a Neotropical region (Nicácio and Pinheiro 2015; Calheira and Pinheiro, 2020), the Catalogue of Brazilian Species (Muricy et al. 2011) and subsequent published studies were used. Each surveyed article was carefully checked with respect to the description of the places where they were collected and the environmental data described. In addition, published studies on paleoenvironmental reconstruction using sponge spicules as a proxy were identified by using the search terms: "*espículas de esponjas*", "sponge spicules", "paleoenvironmental studies", "*estudos paleoambientais*", sediment, "*sedimento*", Quaternary, "*Quaternário*". The search results were further filtered for those dealing with continental sponges from the Neotropical Region, yielding a sample of 33 articles (grey literature excluded).

Data Analysis

The species of inland sponges found in the Neotropical Region are compiled in Table 1, detailing the environmental characteristics of the location of occurrence of each species, as well as providing references and standardization: species name, followed by author name and publication date. The table also summarizes data provided by the literature related to hydrodynamic conditions, type of substrate to which the sponge was

adhered, as well as environmental characterizations related to the conditions of transparency, depth, sediment aspect and salinity, when available.

Furthermore, the species were categorized into ten groups restricted to one or more characteristics of the environment. These groupings do not exclude the possibility of combinations among characteristics. For example, sponges from lentic and lotic environments can also grow on rocks. Therefore, the same sponges from both lotic and lentic environment groups are categorized together when they characterize the grouping of the rocky substrate.

For the research articles on paleoenvironmental reconstructions, we noted the year of publication and area where the reconstructions were carried out. We considered studies conducted in the Neotropical Region from 1979 to 2019. These studies were conducted using ecological characteristics of the continental sponge species, which were identified by means of dissociated spicules in the sediment, to reconstruct the paleoenvironment. This information was compared with updated knowledge about the ecology of the species to check for inconsistencies in the reconstructions that have used spicules as a proxy for paleoenvironmental inference.

Results

Environments and environmental conditions indicated by species of freshwater sponges

Surveys to date have shown that the Neotropical Region holds 77 species of continental sponges (Hernández and Barreat 2017; Gómes et al. 2019; Pinheiro and Calheira, 2020). This represents just over 30% of the inland poriferan species richness on Earth, which consists of about 250 species (van Soest et al. 2019). The species groupings below summarize the environment and environmental conditions in which sponge species can occur:

I) Lentic environment: *Anheteromeyenia cheguevarai* Manconi & Pronzato, 2005; *Anheteromeyenia diamantina* Calheira & Pinheiro, 2018; *Anheteromeyenia vitrea* Volkmer-Ribeiro & Buso 2012; *Balliviaspongia wirrmanni* Boury-Esnault & Volkmer-Ribeiro, 1991; *Corvoheteromeyenia sanidastosclera* Pinheiro, Silva & Calheira, 2015; *Corvoheteromeyenia thumi* (Traxler, 1895); *Dosilia pydanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992; *Ephydatia robusta* (Potts, 1888); *Eunapius carteri* (Bowerbank, 1863); *Eunapius igloviformis* (Potts, 1884); *Heteromeyenia barlettai* Pinheiro, Calheira & Hajdu, 2015; *Heteromeyenia horsti* Ezcurra de Drago, 1988; *Heterorotula fistula* Volkmer & Motta, 1995; *Metania kiliani* Volkmer-Ribeiro & Costa, 1992; *Metania reticulata* (Bowerbank, 1863); *Racekiela andina* Hernández & Barreat, 2017; *Racekiela cavernicola* Volkmer-Ribeiro, Bichuette & Machado, 2010; *Racekiela sheilae* (Volkmer-Ribeiro, De Rosa Barbosa & Tavares, 1988); *Spongilla alba* Carter, 1849; *Tubella horrida* (Weltner, 1893); *Tubella leidii* (Bowerbank, 1863).

II) Lotic environment: *Acanthotylotra alvarengai* Volkmer-Ribeiro, Tavares & Fürstenau-Oliveira, 2009; *Anheteromeyenia ornata* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1970); *Corvomeyenia epilithosa* Volkmer-Ribeiro, De Rosa-Barbosa & Machado, 2005; *Dosilia palmeri* (Potts, 1885); *Drulia conifera* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973; *Drulia cristata* (Weltner, 1895); *Drulia cristinae* Volkmer-Ribeiro, Ezcurra de Drago, Machado & Sabaj, 2017; *Drulia ctenosclera* Volkmer & Mothes, 1981; *Houssayella iguazuensis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966; *Metania fitkau* Volkmer-Ribeiro, 1979; *Oncosclera atrata* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1970); *Oncosclera jewelli* (Volkmer, 1963); *Oncosclera petricola* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967) ; *Oncosclera ponsi* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1968); *Oncosclera rosariae* Tavares-Frigo, Volkmer-Ribeiro, Oliveira & Machado, 2015; *Oncosclera schubarti* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967); *Oncosclera spinifera* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973); *Oncosclera stolonifera* (Bonetto &

Ezcurra de Drago, 1967); *Oncosclera tonollii* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1968); *Potamophloios guairensis* Volkmer-Ribeiro, Parolin, Fürstenau-Oliveira & De Menezes, 2010; *Pottisiela pesae* Volkmer-Ribeiro, Souza-Machado, Fürstenau-Oliveira & Vieira-Soares, 2010; *Pottisiela spoliata* (Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983); *Spongilla cenota* Penney & Racek, 1968; *Sterrastrolepis brasiliensis* Volkmer & Rosa Barbosa, 1987; *Tubella amazonica* (Weltner, 1895); *Tubella repens* (Hinde, 1888); *Uruguayacoralloides* (Bowerbank, 1863).

III) Lentic and lotic environments: *Acalle recurvata* (Bowerbank, 1863); *Corvoheteromeyenya australis* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966); *Corvoheteromeyenya heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974); *Corvospongilla seckti* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966; *Drulia brownii* (Bowerbank, 1863); *Drulia uruguayensis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1969; *Ephydatia caatingae* Nicácio & Pinheiro, 2015; *Ephydatia facunda* Weltner, 1895; *Ephydatia fluviatilis* (Linnaeus, 1759); *Eunapius fragilis* (Leidy, 1851); *Heteromeyenya cristalina* Batista, Volkmer-Ribeiro & Melão, 2007; *Heteromeyenya insignis* Weltner, 1895; *Heteromeyenya stepanowii* (Dybowski, 1884); *Metania spinata* (Carter, 1881); *Metania subtilis* Volkmer-Ribeiro, 1979; *Oncosclera intermedia* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973; *Oncosclera navicella* (Carter, 1881); *Racekiella cresciscrystae* Gomes, Carballo, Cruz-Barraza & Camacho-Cancino, 2019; *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983; *Radiospongilla crateriformis* (Potts, 1882); *Radiospongilla inesi* Nicácio & Pinheiro, 2011; *Saturnospongilla carvalhoi* Volkmer-Ribeiro, 1976; *Tubella delicata* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967); *Tubella gregaria* (Bowerbank, 1863); *Tubella lanzamirandai* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1964); *Tubella minuta* (Potts, 1881); *Tubella paulula* (Bowerbank, 1863); *Tubella pennsylvanica* (Potts, 1882); *Tubella variabilis* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973).

IV) Rocky and hard substrates: *Anheteromeyenia cheguevarai*; *Anheteromeyenia ornata*; *Corvoheteromeyenia sanidastosclera*; *Corvomeyenia epilithosa*; *Drulia conifera*; *Eunapius carteri*; *Heteromeyenia horsti*; *Houssayella iguazuensis*; *Oncosclera atrata*; *Oncosclera jewelli*; *Oncosclera petricola*; *Oncosclera ponsi*; *Oncosclera rosariae*; *Oncosclera schurbati*; *Oncosclera stolonifera*; *Oncosclera tonollii*; *Potamophloios guairensis*; *Pottsiela pesae*; *Racekiela cavernicola*; *Racekiela crescyscristae*; *Sterrastrolepis brasiliensis*; *Tubella horrida*; *Tubella repens*; *Uruguay corallioides*.

V) Epiphyte sponges (aquatic macrophytes and submerged vegetation): *Anheteromeyenia vitrea*; *Corvomeyenia thumi*; *Dosilia palmeri*; *Ephydatia caatingae*; *Eunapius igloviformis*; *Heteromeyenia cristalina*; *Heteromeyenia stepanowii*; *Metania kiliani*; *Metania spinata*; *Radiospongilla amazonensis*; *Saturnospongilla carvalhoi*; *Tubella leidii*.

VI) Epizoic sponges: *Acanthotylotra alvarengai* (exclusively upon sponges).

VII) Hard, soft, epiphyte and Epizoic substrates (including upon other sponges): *Acalte recurvata*; *Balliviaspongia wirrmanni*; *Corvoheteromeyenia australis*; *Corvoheteromeyenia heterosclera*; *Corvospongilla seckti*; *Dosilia pydanieli*; *Drulia brownii*; *Drulia cristata*; *Drulia ctenosclera*; *Drulia uruguayensis*; *Ephydatia facunda*; *Ephydatia fluviatilis*; *Ephydatia robusta*; *Ephydatia fragilis*; *Heteromeyenia insignis*; *Metania fittkaui*; *Metania reticulata*; *Metania subtilis*; *Oncosclera intermedia*; *Oncosclera navicella*; *Pottsiela spoliata*; *Racekiela andina*; *Racekiela sheilae*; *Radiospongilla amazonensis*; *Radiospongilla crateriformis*; *Radiospongilla inesi*; *Spongilla alba*; *Spongilla cenota*; *Tubella delicata*; *Tubella gregaria*; *Tubella lanzamirandai*; *Tubella minuta*; *Tubella paulula*; *Tubella pennsylvanica*; *Tubella variabilis*.

VIII) Mesohaline environments: *Spongilla alba*; *Ephydatia facunda*; *Ephydatia fluviatilis*; *Eunapius carteri*; *Tubella horrida*.

IX) Acidic waters and humic compounds (turbid waters): *Acalte recurvata*; *Corvomeyenia epilithosa*; *Corvomeyenia thumi*; *Ephydatia facunda*; *Metania reticulata*; *Metania spinata*; *Oncosclera intermedia*; *Oncosclera spinifera*; *Radiospongilla crateriformis*.

X) Dune environments in temperate regions: *Rackiella sheilae*.

Among the species listed above are *E. fluviatilis* and *S. alba* which are cosmopolitan species, occurring in both lentic and lotic environments (Manconi et al. 1988; Manconi and Pronzato 2002) with variable salinity levels (Cardone et al. 2014; Volkmer-Ribeiro and Pauls 2000). Whereas, these species have been reported for only lentic environments in the Neotropical region. Poirrier (1974) suggested that *E. fluviatilis* spicules exhibit ecomorphic variations related to water alkalinity and Erpenbeck et al. (2020), with molecular data, have shown how major morphological traits can change in the *E. fluviatilis* species complex. Species from ancient lakes, such as *Balliviaspongia wirrmanni* from Lake Titicaca, are genetically almost identical to *E. fluviatilis*. The growth form, spicular complement and skeleton organization of *B. wirrmanni* partly matches that of *Ephydatia* spp. In this sense, Erpenbeck et al. (2020) proposed *B. wirrmanni* as a possible ecomorph variety of a South American *Ephydatia* species. However, other *Ephydatia* spp. from South America need to be tested to confirm this hypothesis.

Paleoenvironmental studies of the Neotropical Region using spicules as a proxy

The first paleoenvironmental reconstruction in a Neotropical region was carried out by Harrison et al. (1979) in Okochobee lake (Florida, USA), where *E. fluviatilis*, *S. alba*, and *T. leidii* were identified. Based on these species, the paleoenvironmental condition of the lake was reconstructed at about 3,000-4,000 years BP, as moderately eutrophic, alkaline, with a high rate of carbonates and probably turbid. That study was only possible after researching systematic ecological data on North American freshwater sponge species (Harrison 1974; Harrison 1977; Harrison and Harrison 1977). A later study carried out by Sifeddine et al. (1994) found *C. thumi* spicules in lake sediment recovered from Serra dos Carajás, Amazonia (Brazil) with an interpretation of ephemeral lake (~8,000-4,000 years BP) exhibiting predominantly dry conditions. This dry condition was confirmed in other paleoclimatic studies subsequently developed in the same region, where spicules of *C. thumi* were also found, specifically in core intervals dating between 6,800-4,000 years BP (Cordeiro et al. 1997); 7,000-4,000 years BP (Turcq et al. 1998); and 8,000-4,000 years BP (Sifeddine et al. 2001). These studies identified stages of retraction and expansion of the Amazonian forest with evidence of natural wildfires in the past 30,000 years BP (Sifeddine et al. 2001).

In Central Brazil, spicules were recovered in the peaty sediment of the Taquarussu region, Mato Grosso do Sul State (Parolin et al., 2007). These authors signaled possible changes in the drainage flow of the Esperança River floodplain between 11,600-2,200 years BP. Lotic conditions were characterized based on the species, *C. seckti*, and *T. repens*; and lentic conditions were characterized by the presence of *H. fistula* and *R. amazonensis* (Parolin et al. 2007). The presence of spicular fossil remains (spiculites) in sediment recovered from the Samambaia Lagoon, also in Mato Grosso do Sul state,

contributed to the paleoenvironmental reconstruction of the site, indicating paleodrainage before the formation of the lentic environment (Parolin et al. 2008). The semilotic condition was characterized by the presence of *M. spinata*; the lotic condition by *C. seckti* and *Oncosclera* sp.; and lentic condition by *D. pydanieli* and *R. amazonensis* (Parolin et al. 2008). These interpretations have been corroborated by other studies that considered climatic oscillations in the same area using other paleoenvironmental tools, such as sedimentary facies and remains of plants (Parolin and Stevaux 2001 and 2004; Parolin et al. 2006).

Several paleoenvironmental reconstructions have been undertaken in the Brazilian Pantanal. Küerten et al. (2013) used sponge spicules as well as other proxy data, to characterize the hydrodynamic conditions of the Nabileque River at different phases. At 5,700 years BP, *O. navicella*; *M. spinata* and *C. seckti* indicated a lotic condition. The presence of *H. fistula*, *R. amazonensis* and *D. pydanieli*, characterized a lentic condition about 3,900 years BP (Küerten et al. 2013). Another study found *R. amazonensis* spicules; *T. variabilis*; *Corvoheteromeyenia* sp.; *M. spinata*; and *Heteromeyenia* sp. (interpreted as species of lentic conditions) and *C. seckti*; *O. navicella* (interpreted as species of lotic conditions). Along with other proxy data, these species have confirmed the interconnectedness of the Paraguay River and the Gaíva, Mandioré, and Baía lagoons during flood pulses (McGlue et al. 2011). Subsequently, the geological histories of the Gaíva and Mandioré lagoons were reconstructed using sponge spicules, interpretation of sedimentary facies and multiple biogeochemical indicators, which suggested fluctuations in the water level of these lagoons between 11,000 and 5,300 cal. years BP (McGlue et al. 2012). The species identified in this study were: *R. amazonensis*, *T. variabilis*, *Corvoheteromeyenia* sp., *M. spinata*; *Heteromeyenia* sp. (indicating periods of standing water); *C. seckti* and *O. navicella* (indicating flood periods) (McGlue et al.

2012). Guerreiro et al. (2018) observed a temporal change in the salinity of lakes from Nhocolandia (Pantanal) from the discovery of a past freshwater sponge community at 4,600 years BP. In addition, the authors were able to identify dry (with the presence of *H. fistula* spicules) and humid periods (with the presence of *Corvoheteromeyenienia* spp., *Heteromeyenienia* spp and a few gemmuloscleres of *Ephydatia*). Rasbold et al. (2019) studied paleoenvironmental changes with cores recovered from Negra Lake (Pantanal) and found spicules of *C. heterosclera*; *C. seckti*, *D. pydanieli*; *H. barlettai*; *H. variabilis*, *T. paulula*, *R. amazonensis*. The authors interpreted the spicules of these species as indicators of seasonal influence of riverine floodwaters entering Negra Lake.

In the state of Goiás (Brazil), Machado et al. (2012) studied spongolites from in Cemitério paleolake. Based on the sponge species identified from semi-fossil spicules, the authors interpreted changes in the hydrodynamic conditions in the geologic formation of this lagoon, up to its present state sedimentary filling. The lentic condition reconstruction was based on the fossil community composed of *C. thumi*, *C. australis*; *D. pydanieli*; *H. fistula*, *M. spinata*, *R. amazonensis*, *T. variabilis*; and the lotic condition by the presence of *E. fragilis* spicules; *C. seckti* and *O. navicella*. They also attributed to the location, the presence of the Cerrado biome about 39,000 years BP, using the species that characterized the lentic condition. In a later study in the same area, Machado et al. (2014) observed interspersed diatomite and spongolite facies in the same sediments as the Cemitério paleolake used in the previous study (Machado et al. 2012). These facies associated with sedimentological analysis reveal climate changes that occurred during the history of the formation of that lake. In a taphonomic study, Machado et al. (2016) also studied the formation of spongolites in the Negra lake in Central Brazil.

In southern Brazil, analyses of sediments recovered from two lagoons and an alluvial fan showed the existence of spicules that were used to reconstruct the geological history

of these limnic systems. The species identified in the sediment of the two lagoons determined that they did not receive a lotic contribution during their formation. According to Guerreiro et al. (2013), *D. pydanieli*, *M. spinata*, *R. amazonensis* sponge spicules characterized lentic environments and the Cerrado biome at 20,600 years BP. In sediment recovered from an alluvial fan, the identified species characterized a lotic environment (*U. corallioides* and *T. repens*) at 7,540 years BP (Guerreiro et al. 2013). Kalinowski et al. (2016a) performed a multiproxy analysis considering phytoliths, isotopic ratio C/N and sponge spicules to characterize the floodplain of the Iapó River, Paraná State. These authors found *R. amazonensis* spicules; *T. variabilis*, and *O. jewelli*. They interpreted the former two species as characterizing a lentic environment, and the latter as indicative of a lotic environment. They described the process of canal abandonment until the current floodplain was formed with the help of other proxies. Zeviejkovski et al. (2017) studied the formation of islands in the upper Paraná River, southern Brazil, using sedimentary facies and sponge spicules of the species: *M. spinata*; *O. navicella*; *Covoheteromeyenia* sp. and *O. jewelli* exhibiting alternating semilotic and lentic conditions, until channel closure and island formation.

Santos et al. (2017) presented a paleoenvironmental reconstruction study of two lagoons in the state of Bahia (Brazilian northeast). These authors found the species *D. pydanieli*, *H. fistula*, *M. spinata*, *Oncosclera* sp., *R. inesi*, and *T. variabilis*. Only one of the lagoons presented environmental shifting between a lotic or semilotic condition (signaled by *Oncosclera* sp) to a lentic condition (signaled by *R. inesi*); while the other showed no temporal changes in the lentic condition (inferred by sedimentation rates, with the presence of *R. inesi* and *T. variabilis*). *Tubella variabilis* was also used to signal the presence of aquatic macrophytes denoting shade in one of the lagoons of this study.

In southeastern Brazil, Almeida et al. (2009) studied spongolite deposits in 12 shallow lagoons in Minas Gerais state. These authors verified climatic alternations between dry and wet periods by analyzing sponge spicules from sediment facies, diatoms, and carbon isotopes as proxy data. With respect to the Porifera community encountered, they described *C. thumi*, *D. pydanieli*, *H. fistula*, *M. spinata*, *R. amazonensis* and *T. variabilis*. This community was established during wet periods with variations in the presence of each species from the community observed between facies. These species characterize shallow environments susceptible to drought in the scenarios of the reconstructed geological conditions of the environment. In São Paulo state, Silva et al. (2012), interpreted alterations in the coastal marine environment and the freshwater environment, through the presence of marine spicules (not identified at a specific level) and spicules of continental species, notably *O. navicella* and *Corvoheteromeyenia* sp. This data suggested marine transgression at 6,240 years BP, sea level oscillations between 6,240-4,500 and phases of freshwater predominance 2,920 years BP. In another study carried out in São Paulo State, Santos et al. (2011) also observed the occurrence of marine sponges (*Tedania*, *Calthropella*, *Pachataxa*), *Sceptrella*, *Terpios* and Trombidae) and continental sponges (*T. variabilis* and *H. fistula*) in paleolacustrine sediments, collected at the Juréia–Itatins Ecological Station.

In the Argentinian Pampas, a sediment core recovered from the Luján River floodplain, contained *E. facunda* spicules, phytoliths, ostracodes, fish bones and brackish diatoms (Volkmer-Ribeiro et al. 2007). According to the authors, the study of this taphocenosis characterized the environment as lagunar, where *E. facunda* was used to indicate a marshy, coastal environment between 11,000 and 4,000 years BP.

Sponge spicules, even if not identified at a specific level, can signal periods of greater or lesser moisture or marine transgression when coupled with other proxies such as certain

phytoliths and diatom frustules (Smithson 1959; Gutiérrez et al. 2011; Pearce et al. 2013; Bonomo et al. 2013; Parolin et al. 2014; Chahud et al. 2015; Contreras et al. 2018). Kalinoviski et al. (2016b) conducted an ostensive survey of the Brazilian regions where paleoenvironmental studies had been conducted with sponge spicules as the main proxy. These authors considered more than 31 publications including articles and expanded abstracts in event annals.

Discussion

Harrison (1979, 1988) was the first to emphasize the importance of inland sponges as paleoenvironmental tools and was followed by Sifeddine et al. 1994; Cordeiro et al. 1997, among others from South America. Volkmer-Ribeiro provided information about the relationship between the environment and current species in order improve the interpretation of the paleoenvironment using spicules of inland sponges (Volkmer-Ribeiro et al. 1998; Volkmer-Ribeiro et al. 1999; Volkmer-Ribeiro and Almeida 2005; Volkmer-Ribeiro and Machado 2007). The presence of spicules in sedimentary facies was first characterized by Parolin et al. (2008). Through discrimination of spongiofacies, for example, it was possible for Küerten et al. (2013) to distinguish the sandy sedimentary facies from a core sample recovered from the Nabileque River, since there was no abrupt contact between the facies. Spongiofacies are mainly found in sedimentary concentrations called spongolites (Traxler 1995; Volkmer-Ribeiro and Almeida 2005; Almeida et al. 2009). These formations are rare, since taphonomic conditions related to the transport of spicules can disperse them throughout the environment. Nevertheless, even if they do not form spongiofacies and are not identified by the specific taxon, spicules found in the depositional environment can indicate different environmental conditions in geological time. They can provide clues about the past existence of water bodies or humidity conditions (Gutiérrez et al. 2011; Pearce et al. 2013; Bonomo et al. 2013; Parolin et al.

2014; Chahud et al. 2015; Contreras et al. 2018). Studies also show that spicules have mainly been used to indicate the past hydrodynamics and paleoclimates in the Neotropical area. These themes are linked, since during wet periods there is increased flow and higher levels of rivers and lakes. In addition to spicules, the paleoenvironmental reconstructions documented in the studies surveyed rely on several other proxies, such as sedimentary facies analysis; phytolytic analyses, C/N analyses and biogeochemical evidence (McGlue et al. 2011; Kalinoviski et al. 2016a; Zeviejkovski et al. 2017). Therefore, spicules have been shown to be excellent complementary proxy data (Zeviejkovski et al. 2017), since they are not used in isolation. In this sense, the discussion below does not refute the results obtained in the analyzed studies, but examines the knowledge of the ecology of sponge species used as a proxy in light of new ecological discoveries.

An analysis of the interpretations attributed to the sponge species showed that *C. seckti* and the genus *Oncosclera* have been used to indicate lotic environments, as pointed out by Parolin et al (2008); Machado et al. (2012); McGlue et al. (2011); McGlue et al. (2012); Küerten et al. (2013). However, *C. seckti* specimens can also occur in lentic environments (Pinheiro et al. 2013; Volkmer-Ribeiro et al. 2010a).

Within the genus *Oncosclera*, there are specimens such as *O. navicella* that grow in both lotic (Volkmer-Ribeiro and Pauls 2000) and lentic (Volkmer-Ribeiro and Almeida 2005) waters and on non-rocky substrates (Volkmer-Ribeiro et al. 2012) even upon other sponges (Pinheiro et al. 2003). So far, *O. navicella* is the only species of the genus *Oncosclera* that exhibits major environmental plasticity (generalist species) (Table 1). Because of this, its genus cannot characterize lotic and rocky environments even though most of its species are restricted (specialist species) to this type of environment.

The species *O. jewelli* and *T. repens* reported in the studies by Guerreiro et al. (2013) and Kalinoviski et al. (2016a)? are, so far, restricted to lotic conditions (Table 1).

The *Tubella variabilis* and *T. paulula* species were considered to be indicative of lentic environments in the studies by Almeida et al. (2009); McGlue et al. (2011); McGlue et al. (2012); Rasbold et al. (2019). The same species were also reported in lentic and lotic systems (Gameleira stream, Pernambuco; Cristalino River, Mato Grosso State-Brazil) (Nicácio and Pinheiro 2015; Batista et al. 2007). Therefore, they are not good indicators of hydrodynamic conditions because they have plasticity for this environmental characteristic.

Another species with great environmental plasticity that has been used inappropriately as a bioindicator is *C. heterosclera*. Volkmer-Ribeiro and Machado (2007) suggested it as an indicator of shallow lagoons between the dunes of tropical environments. However, Nicácio and Pinheiro (2015) reported it for rivers in semi-arid and humid regions. Another complication with this species is distinguishing it from *C. australis* when only the spicules of the species are found in the environment. Congeners share the same spicule set, except for the presence of an additional category of acanthoxea microscle in *C. heterosclera* (Calheira and Pinheiro 2016). Therefore, identification at a specific taxonomic level is only possible if the microscle is found. Without it, the identification of *C. australis* is impossible. However, Guerreiro et al. (2018) used the term “*Corvoheteromeyenia* spp.” which, according to zoological nomenclature code, indicates that more than one species necessarily occurs, which in fact cannot be stated in this case. Besides, *C. heterosclera* can be found in both well-preserved and degraded environments (Calheira and Pinheiro 2016; Nicácio and Pinheiro 2015), which makes this species a poor indicator of environmental quality.

On the other hand, certain sponge species may be reliable proxies, for example, *Dosilia pydanieli* and *H. fistula* indicate still water in shallow, drought-prone environments (Volkmer-Ribeiro and Motta 1995). *Metania spinata* also occurs in

environments subject to periodic drought but is not restricted to lentic or lotic environments (Volkmer-Ribeiro and Costa 1992; Melão and Rocha 1998). *Corvomeyenina thumi* indicates shallow lakes, colonized by plants and subject to drought periods, similar to the areas of Brazilian Cerrado (Volkmer-Ribeiro et al. 1988; Volkmer-Ribeiro and Motta 1995; Volkmer-Ribeiro 1992; Volkmer-Ribeiro et al. 2005) (Table 1). They provided reliable paleoenvironmental interpretations in Sifeddine et al. (1994); Cordeiro et al. (1997), Turcq et al. (1998); Sifeddine et al. (2001); Machado et al. (2014) and Guerreiro et al. (2013).

The community composed of *D. pydanieli*, *M. spinata* (main species), *C. thumi*, *R. amazonensis*, and *T. variabilis* (accessory species) may indicate cerrado biomes (Volkmer-Ribeiro and Motta 1995; Volkmer-Ribeiro et al. 1988), and is therefore favorable to the paleoindication of this biome (Machado et al. 2014; Guerreiro et al., 2013).

Radiospongilla inesi was reported in the state of Pernambuco and its spicules were found in sediments collected in western Bahia by Santos et al. (2017). This species characterized semilotic environments in past cerrado areas, as it was found in both lotic and lentic environments (Nicácio et al. 2011). This interpretation was supported by other data, like facies and sedimentary analysis (Santos et al. 2017).

The *Ephydatia facunda* species continues to indicate wetland, river, and lagoon environments, rich in organic matter and near the coast (Volkmer-Ribeiro and Machado 2007). This species has been used to describe environments in micropaleontology, such as, for example, a floodplain on the Luján River (Argentina) that has had an influence on coastal / marine waters in the past (Volkmer-Ribeiro et al. 2007).

Rasbold et al. (2019) identified *Heteromeyenina barlettai* in Negra Lake (Pantanal) based on spicules in sediment. However, this species was described based on specimens collected in an aquarium (Pinheiro et al. 2015b). In this sense, the information about this

species is not reliable enough for use as a proxy until a new population is found in a natural habitat. The greatest obstacle to using spicules of sponges as a proxy is the lack of information about the natural history and distribution of these species. Although Ezcurra de Drago and Volkmer-Ribeiro have devoted their entire careers to describing the biodiversity and natural history of these species, much work remains to be done. Example are studies conducted by Nicácio and Pinheiro (2015), Pinheiro et al. (2015a), Calheira and Pinheiro (2016), Calheira and Pinheiro (2018) which increased the occurrences of species in the state of Pernambuco, in northeastern Brazil, from one to 13.

In this sense, it is extremely important to carry out inventories of the sponge fauna of continental waters, and to collect precise observations of the environment and environmental conditions in which these species are found.

In principle, sponges are sessile invertebrates that could be used as good tools for reconstruction of a paleolimnological environment. However, there are some biases or “traps” that may interfere with good paleontological interpretation using sponge spicules, for example:

- 1) The absence/presence of gemmules: The absence of gemmules may be interpreted as suitable environmental conditions, in which sexual reproduction occurs. While the presence of gemmules, can indicate adverse environmental conditions when asexual reproduction occurs and gemmules are produced. However, both reproductive forms have occurred simultaneously in sponges, as reported by Calheira (2020).

- 2) Gemmulosclere traits: the majority of Spongillida species are identified based on gemmulosclere traits. However, different pH concentrations (alkaline vs brackish waters) may alter the spicules, as reported for *E. fluviatilis* (Poirrier, 1974). In this sense, some species could be misidentified and introduce mistakes into paleoenvironmental reconstructions. This highlights the need for new studies employing ecomorphic

approaches for other species in order to determine whether these variations are restricted to the *Ephydatia fluviatilis* complex or are a widespread trait of Spongillida.

3) The occurrence of oxea megascleres: oxea megascleres of inland sponges and marine sponges can be very similar (homoplasy) and provide few indications about the environment.

4) Taphonomy: there are fewer studies targeting taphonomic aspects of inland sponge species spicules (Wilding and Drees 1968) than marine sponge species spicules (Forchielli et al. 2012; Reolid 2007; Delecat and Reitner 2005). Spicules may be transported by water, wind, colluvium, or may be damaged before being found by scientists, and there are few studies on this subject.

Conclusion

The present study reports an evident increase in indexed publications on this topic in the last decade, between 2010 and 2019. The discovery of the occurrence of species, such as *C. heterosclera*, *C. seckti*, *O. navicella*, and *T. variabilis* in new areas, indicates that they can colonize diverse environments, leading them to be considered generalist species rather than specialist. Nevertheless, it does not invalidate previous contributions, as they have been duly supported by other proxies. However, inconsistencies have been detected about ecological knowledge used. Sponges can be reliable proxies for use in paleoenvironmental reconstruction depending on the species found. Correct identification of sponge species is critical to the successful interpretation of paleoenvironmental data, because some species exhibit high environmental plasticity and are not reliable environmental indicators. For greater reliability of proxy-based interpretations, they should be used in conjunction with other proxies.

Acknowledgment

The authors acknowledge the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) Brazil for the Ph.D. scholarship - PROTAX-CNPQ (Proc. 440620/2015-5) and financial support (Proc.422663/2018-2 universal cnpq; 309078/2017-2). The Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES - Finance Code 001) partly funded this study. Thanks to the Universidade do Estado da Bahia (UNEB), the Paleoenvironmental Studies Laboratory - Lepafe – Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR; and the Porifera Laboratory - Labpor – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

References:

- Almeida, A.C.S., Volkmer-Ribeiro, C., Varajão, A.F.D.C., Gomes, N.S., Varajão, C.A.C. (2009) Espículas de Esponjas Continentais nos Sedimentos Cenozóicos do Noroeste de Minas Gerais, como Indicadores Paleoambientais. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12(2), 123–138. [In Portuguese]
- Barczi, A., Golyeva, A.A. & Peto, A. (2009) Paleoenvironmental reconstruction of Hungarian Kurgans on the basis of the examination of palaeosoils and phytolith analysis. *Quaternary International*, 193, 49–60. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.10.025>
- Batista, T.C.A. & Volkmer-Ribeiro, C. (2002) Comunidades de esponjas do curso superior dos rios Paraná (Goiás) e Paraguai (Mato Grosso), Brasil, com redescritção de *Oncosclera schubarti* (Bonetto e Ezcurra de Drago). *Revista Brasileira de Zoologia*, 19 (1), 123–136. [In Portuguese]
- Batista, T.C.A., Volkmer-Ribeiro, C., Darwich, A. & Alves, L.F. (2003) Freshwater sponges as indicators of floodplain lake environments and of river rocky bottoms in Central Amazonian. *Amazoniana*. 17 (3/4), 525–549. [In English]
- Batista, T.C.A., Volkmer-Ribeiro, C. & Melão, M.G.G. (2007) Espongofauna da área de Proteção Ambiental Meandros do Rio Araguaia (GO, MT, TO), Brasil, com descrição de *Heteromeyenya cristalina* sp. nov. (Porifera, Demospongiae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 24(3), 608–630. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.1590/S0101-81752007000300013>
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1964) Nuevas Esponjas de Agua Dulce de la Republica Argentina. *Physis*, 26 (68), 329–336. [In Spanish]

- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1966) Nuevos aportes al conocimiento de las esponjas argentinas. *Physis*, 26 (71), 129–140. [In Spanish]
- Bonetto, A. A & Ezcurra de Drago, I.D. (1967a) *Ephydatia fluviatilis* (Linné) em Aguas Argentinas. *Physis*, 26 (73), 469–476. [In Spanish]
- Bonetto, A.A & Ezcurra de Drago, I.D. (1967b) Esponja del Noreste Argentino. *Acta Zoologica Lilloana*, 13, 331–347. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1967c) Uma Nueva Especie de Esponja da la Lagoa Setubal (Porifera: Spongillidae). *Physis*, 27(74), 159–165. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1968) El genero *Drulia* Gray en el río Uruguay (Porifera: Spongillidae). *Physis*, 38 (76), 211–216. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1969) Algunas características del bentos en los saltos del rio Uruguay, com especial referencia a la ecologia de los poriferos. *Physis*, 38 (77), 359–369. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1970) Esponjas de los afluentes del alto Parana em la Provincia de Misiones. *Acta Zoologica Lilloana*, 37–61. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1973a) Aporte al Conocimiento de las esponjas del Orinoco. *Physis*, 32(84), 19–27. [In Spanish]
- Bonetto, A.A. & Ezcurra de Drago, I.D. (1973b) Las esponjas del gênero *Trochospongilla* Verjovsky em aguas argentinas. *Physis*, 32(84), 13–18. [In Spanish]
- Bonomo, M., Leon, D.C., Osterrieth, M., Steffan, P. & Borrelli, N. (2013) Paleoenvironmental studies of Alfar archaeological site (mid-holocene; Southeastern pampas of Argentina): Silicophytoliths, gastropods and archaeofauna. *Quaternary International*, 287, 34–46. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.03.039>
- Boury-Esnault, N. & Volkmer-Ribeiro, C. (1991) The Porifera: Description of new taxon *Balliviaspongia wirrmanni* n. g. n. sp. In: Dejoux, C.A. & Iltis, A. (Eds). *Lake Titicaca: a synthesis of limnological knowledge. Monographiae Biologicae*, 68. Kluwer Academic, Boston, pp 297–301. [In English]
- Bowerbank, J. S. (1863) A monograph of the Spongillidae. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 38, 440–472. [In English]
- Buso-júnior, A.A, Volkmer-Ribeiro, C., Pessenda, L.C.R. & Machado, V.S. (2012) *Anheteromeyenia vitrea* (Porifera: Demospongiae) new species of continental sponge in Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 7 (3), 148–157. [In English]
<https://doi.org/10.4013/nbc.2012.73.01>

- Calheira, L. (2020) *Reprodução de esponjas de águas continentais como modelo para estudo de ecotoxicologia e distribuição*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife 159pp.[In Portuguese]
- Calheira, L. & Pinheiro, U. (2018) A New species of *Anheteromeyenia* (Porifera, Demospongiae) with an emended diagnosis of the genus. *Zootaxa*, 4378(1), 129–136. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4378.1.9>
- Calheira, L. & Pinheiro, U. (2016) *Corvoheteromeyenia* Ezcurra de Drago, (1979) (Spongillidae, Porifera): Genus review with proposal of neotype of *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974). *Zootaxa*, 4126 (3), 351–374. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4126.3.3>
- Candido, J.L., Volkmer-Ribeiro, C. & Fürstenau-Oliveira, K. (2010) *Dosilia* (Porifera, Demospongiae) redefined. *Iheringia*, 100 (4), 425–448. [In English]
<https://doi.org/10.1590/S0073-47212010000400017>.
- Cardone, F., Corriero, G., Fianchini, A., Gravina, M.F. & Nonnis M.C. (2014) Biodiversity of transitional waters: species composition and comparative analysis of hard bottom communities from the southeastern Italian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94(01), 25–34. [In English]
<https://doi.org/10.1017/S0025315413001306>
- Carter, H.J. (1849) A descriptive Account of the Freshwater Sponges (genus *Spongilla*) in the Island of Bombay, with Observations on their Structure and Development. *Annals and Magazine of Natural History*, 2, 4 (20), 81–100. [In English]
<https://doi.org/10.1080/03745486009496152>
- Carter, H.J. (1881) History and Classification of the known Species of *Spongilla*. *Annals and Magazine of Natural History*, 5, 7(38), 77–107. [In English]
<https://doi.org/10.1080/00222938109459483>
- Carter, H.J. (1885) Note on *Spongilla fragilis*, Leidy, and a new species of *Spongilla* from Nova Scotia. *Annals and Magazine of Natural History*, 5 (15), 18–20. [In English]
<https://doi.org/10.1080/00222938509459291>
- Chahud, A. & Petriz, S. (2015) The Tatuí Formation (Early Permian, Paraná Basin), Brazil: Paleontology and Paleoenvironmental Considerations. *Earth Science Research Journal*, 19(2), 153–158. [In English]
<https://doi.org/10.15446/esrj.v19n2.50245>.
- Chang, S., Qinglai, F., Sébastien, C. & Zhang, L. (2017) Sponge spicules from the lower Cambrian in Yanjiahe formation, South China: the earliest biomineralizing sponge record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 474, 36–44. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.06.032>

- Contreras, S.A. & Zucol, A.F. (2018) Late Quaternary vegetation history based on phytolith records in the eastern Chaco (Argentina). *Quaternary International*, 1–13. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.002>
- Cordeiro, R.C., Turcq, B.J., Suguio, K., Volkmer-Ribeiro, C.; Silva, A.O., Sifeddine, A. & Martin, L. (1997) Holocene environment changes in Carajás Region (Pará, Brazil) recordered by lacustrine deposits. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 26 (2), 814–817. [In English]
<https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900830>
- Cordova, C.E., Johnson, W.C., Mandel, R.D. & Palmer, M.W. (2011) Late Quaternary environment change inferred from phytoliths and other soil-related proxies: Case studies from central and Southern Great Plains USA. *Catena*, 85, 87–108. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.015>
- De Rosa-Barbosa, R. (1984) Reavaliação da fauna espongológica continental do Estado do Rio Grande do Sul frente a novas coletas. *Iheringia*, 64, 127–148. [In Portuguese]
- Delecat, S. & Reitner, J. (2005) Sponge communities from the lower Triassic of Adnet (Northern Calcareous Alps, Austria). *Facies*, 51, 385–404. [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10347-005-0045-x>
- Dunagan, S.P. (1999) A North American Freshwater Sponge (*Eospongilla morrisonensis* New genus and species) from de Morrison Formation (Upper Jurassic) Colorado. *Journal of Paleontology*, 73(3), 389–393. [In English]
<https://doi.org/10.1017/S0022336000027906>
- Dybowski, W. (1884) Notiz über die aus Süd-Russland stammenden Spongillen. *Sitzungsberichte der Naturforscher Gesellschaft zu Dorpat*, 6, 507–515. [In German]
- Erpenbeck, D., Galitz, A., Wörheide, G., Albrecht, C., Pronzato, R. & Manconi, R. (2020) Having balls to colonize – The *Ephydatia fluviatilis* group and the origin of (ancient) lake “endemic” sponge lineages. *Journal of Great Lakes Research*, 46, 1140–1145. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.028>.
- Ezcurra de Drago, I. (1974) Las esponjas sudamericanas de *Corvomeyenya* Weltner (Porifera: Spongillidae). *Physis*, 33(87), 233–234. [In Spanish]
- Ezcurra de Drago, I. (1979a) Revisión de las especies de *Heteromeyenya* Potts, 1881, en Sudamérica (Porifera: Spongillidae). *Acta zoológica Lilloana*, 35, 47–55. [In Spanish]
- Ezcurra de Drago, I. (1979b) Un Nuevo Genero sudamericano de esponjas: *Corvoheteromeyenya* gen. nov. (Porifera, Spongillidae). *Neotropica*, 25(74), 109–118. [In Spanish]

- Ezcurra de Drago, I. (1988) Nuevos aportes a la taxonomía y distribución de las especies de *Heteromeyenia* Potts en Argentina (Porifera, Spongillidae). *Studies on Neotropical Fauna and Environments*, 23(3), 137–147. [In Spanish]
<https://doi.org/10.1080/01650528809360756>
- Forchielli, A., Steiner, M., Hu, S. & Keupp, H. (2012) Taphonomy of Cambrian Sponges from Yunan (South China). *Bulletin of Geoscience*, 84(1), 133–143. [In English]
<https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1225>
- Gaino, E., Scoccia, F., Piersanti, S., Rebora, M., Bellucci, L.G. & Ludovisi, A. (2012) Spicule records of *Ephydatia fluviatilis* as a proxy for hydrological and environment changes in shallow lake Trasimeno (Umbria, Italy). *Hydrobiologia*, 678, 139–153. [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10750-011-0861-7>
- Gómes, P., Carballo, J.L., Cruz-Barraza, J.A. & Camacho-Cancino, M. (2019). On the genus *Racekiela* in Mexico: molecular and morphological description of *Racekiela cresciscrystae* n. sp. *Journal of Natural History*, 53, 1351–1368. [In English]
<https://doi.org/10.1080/00222933.2019.1637475>
- Guerreiro, R.L., McGlue, M.M., Stone, J.R., Bergier, I., Parolin, M., Caminha, S.A.F.S., Warren, L.V. & Assine, M.L. (2018) Paleoecology explains Holocene chemical changes in lakes of the Nhecolândia (Pantanal-Brazil). *Hydrobiologia*, 815, 1–19 [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10750-017-3429-3>
- Guerreiro, R.L., Parolin, M. & Assine, M. (2013) Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments in ponds and alluvial sediments of Upper Paraná River, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1), 39–46. [In English]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2013.1.03>
- Gutiérrez, M.A., Martínez, G., Luchsinger, H., Grill, S., Zucol, A.F., Hassan, G.S., Barros, M.P., Kaufmann, C.A. & Álvarez, M.C. (2011) Paleoenvironment in Paso Otero locality during Late Pleistocene Holocene (Pampean region, Argentina): An interdisciplinary approach. *Quaternary International*, 245, 37–47. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.11.010>
- Hall, B.V., & Herrmann S.J. (1980) Paleolimnology of three species of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae) from a sediment core of a Colorado semi drainage mountain lake. *Transactions of the American Microscopical Society*, 99(1), 93–100. [In English]
<https://doi.org/10.2307/3226083>
- Harrison, F.W. (1974) Sponges (Porifera: Spongillidae). In: Hart, C.W. & Fuller, S.L.H. (Eds). *Pollution Ecology of Freshwater invertebrates*. Academic Press, New York, pp. 29–66. [In English]
- Harrison, F.W. (1988) Utilization of Freshwater sponges in paleolimnological studies. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 62, 387–397. [In English]

[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90063-6](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90063-6)

- Harrison, F.W. (1977) The taxonomic and ecological status of the environmentally restricted spongillid species of North America. III. *Corvomeyenia carolinensis* Harrison, 1971. *Hidrobiologia*, 56, 187–190. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00023358>
- Harrison, F.W. & Harrison, M.B. (1977) The taxonomic and ecological status of the environmentally restricted spongillid species of North America, II. *Anheteromeyenia biceps* (Lindenschmidt, 1950). *Hydrobiology*, 55, 167–169. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00021057>.
- Harrison, F.W., Gleason, P.J. & Stone, P.A. (1979) Paleolimnology of Lake Okeechobee, Florida: an analysis utilizing spicular components of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Notulae Naturae Academy Sciences of Philadelphia*, 454, pp 1–6. [In English]
- Hernández, V.M.Q. & Barreat, J.G.N. (2017) *Racekiela andina* sp. nov. (Spongillida: Spongillidae): first report of a freshwater sponge from the Venezuelan Andes. *Zootaxa*, 4341 (2), 275–278. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4341.2.8>
- Hinde, G.J. (1888) On some new species of *Uruguayia* Carter, with remarks on the genus. *Annals and Magazine of Natural History*, 62(7), 1–12. [In English]
<https://doi.org/10.1080/00222938809460869>
- ICZN. (1999). *International Code of Zoological Nomenclature*. The International Trust for Zoological Nomenclature. London, 306 pp. [In English].
- Jones, M.L. & Rutzler, K. (1975) Invertebrates of the Upper Chamber, Gatún Locks, Panama Canal, with Emphasis on *Trochospongilla leidii* (Porifera). *Marine Biology*, 33, 57–66. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00395001>
- Kalinoviski, E.C.Z., Parolin, M. & Souza-Filho, E.E. (2016a) Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. *Revista Brasileira de Geografia física*, 9(5), 1543–1558. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160106>
- Kalinoviski, E.C.Z., Parolin, M. & Souza-Filho, E.E. (2016b) Esponjas de água doce da América do Sul: o estado da arte da produção científica do Brasil. *Terrae didactica*, 12(1), 4–18. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.20396/td.v12i1.8645963>
- Küerten, S., Parolin, M., Assine, M.L. & Mcglue, M.L. (2013) Sponge spicules indicate Holocene environmental changes on the Nabileque River floodplain, Southern Pantanal, Brazil. *Journal of Paleolimnology*, 49, 171 –183. [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10933-012-9652-z>

- Leidy, J. (1851) On Spongilla. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 5, 278. [In English]
- Linnaeus, C. (1759) *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus II. Homiae, Laurentii Salvii*, 1758-1759, pp 825 –1384. [In Latin]
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.542>
- Limaye, R.B., Kumaran, K.P.N., Nair, K.M. & Padmalal, D. (2007) Non-pollen palynomorphs as potential paleoenvironmental indicators in the Late Quaternary sediments of the West coast of India. *Current Science*, 92(10), 1370–1382. [In English]
- Love, G.D., Grosjean, E., Stalvies, C., Fike, D.A., Grotzinger, J.P., Bradley, A.A., Kelly, A.E., Bhatia, M., Meredith, W., Snape, C.E., Bowring, S.A., Condon, D.C. & Summons, E.R. (2009) Fossil steroids record the appearance of Demospongiae during the Cryogenian period. *Nature*, 457, 718–721. [In English]
<https://doi.org/10.1038/nature07673>.
- Machado, V.S.; Volkmer-Ribeiro, C. & Iannuzzi, R. (2012). Inventory of the Sponge Fauna of the cemitério Paleolake, Catalão, Goiás, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1), 17–34. [In English]
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000100004>
- Machado, V.S., Volkmer-Ribeiro, C. & Iannuzzi, R. (2014) Late Pleistocene Climatic Changes in Central Brazil Indicated by Freshwater Sponges. *International Journal of Geoscience*, 5, 799–815. [In English]
<https://doi.org/10.4236/ijg.2014.58071>
- Machado, V.S., Volkmer-Ribeiro, C. & Iannuzzi, R. (2016) Investigation of freshwater sponge spicules deposits in a karstic lake in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76 (1), 36 –44. [In English]
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.09814>
- Manconi, R., Piccialli, C., Pronzato, R. & Sica, D. (1988) Steroids in Porifera. Sterols from freshwater sponges *Ephydathia fluviatilis* (L.) and *Spongilla lacustres* (L.). *Comparative Biochemistry Physiology*, 91(2), 237–245. [In English]
[https://doi.org/10.1016/0305-0491\(88\)90138-1](https://doi.org/10.1016/0305-0491(88)90138-1)
- Manconi, R. & Pronzato, R. (2002) Suborder Spongillina subord. nov.: Freshwater sponges. In: Hooper, J.N.A. & Van Soest, R.W.M. (Eds.) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. vol. 1, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, pp 921–1020. [In English]
[https://doi.org/10.1016/0305-0491\(88\)90138-1](https://doi.org/10.1016/0305-0491(88)90138-1).
- Manconi, R. & Pronzato, R. (2005) Freshwater sponges of the West Indies: Discovery of Spongillidae (Haplosclerida, Spongillina) from Cuba with biogeographic notes and a checklist for the Caribbean area. *Journal of Natural History*, 39(36), 3235–3253. [In English]

<https://doi.org/10.1080/00222930500307327>

- McGlue, M.M., Silva, A., Corradini, F.A., Zani, H., Trees, M.A., Ellis, G.S., Parolin, M., Swarzenski, P.W., Cohen, A.S. & Assine, M.L. (2011) Limnogeology in Brazil's "forgotten wilderness": a synthesis from the large floodplain lakes of Pantanal. *Journal of Paleolimnology*, 46(2), 273–289. [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10933-011-9538-5>
- McGlue, M.M., Silva, A., Zani, H., Corradini, F.A., Mauro, P., Abel, E., Abel, E.J., Cohen, A.S., Assine, M.L., Ellis, G.S., Trees, M.A., Küerten, S., Gradella, F.S. & Rasbold, G. (2012) Lacustrine records of Holocene flood pulse dynamics in the Upper Paraguay River Watershed (Pantanal wetlands, Brazil). *Quaternary Research* 78, 285–294. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.05.015>
- Melão, M.G.G. & Rocha, O. (1998) Biomass and productivity of the freshwater sponge *Metania spinata* (Carter, 1881) (Demospongiae: Metaniidae) in a Brazilian reservoir. *Hydrobiologia*, 390, 1–10. [In English]
<https://doi.org/10.1023/A:1003522316911>
- Morostega, T.N., Morini, A.A.T., Rodrigues, F.A.C., Araújo, L.M., Barros, I.B. & Da Veiga, J.V.F. (2013) Ocorrência de Esponjas de Água Doce (Porifera, Demospongiae) na Baía do Malheiros, Pantanal Mato-grossense. *Perspectiva Erechim*, 37 (137), 141–148. [In Portuguese]
- Muricy, G., Lopes, D.A., Hajdu, E., Carvalho, M.S., Moraes, F. C., Klautau, M., Menegola, C. & Pinheiro, U. (2011) *Catalogue of Brazilian Porifera*. Museu Nacional, Rio De Janeiro, 300pp. [In English]
- Nicácio, G., Severi, W. & Pinheiro, U. (2011) New species of *Radiospongilla* (Porifera:Spongillidae) from Brazilian inland Waters. *Zootaxa*, 3132, 56–63. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3132.1.2>
- Nicácio, G. & Pinheiro, U. (2015) Biodiversity of freshwater sponges (Porifera:Spongillina) from northeast Brazil: new species and notes on systematics. *Zootaxa*, 3981(2), 220–240. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3981.2.4>
- Paduano, G.M. & Fell, P.E. (1997) Spatial and temporal distribution of freshwater sponges in Connecticut lakes based upon analysis of siliceous spicules in dated sediment cores. *Hydrobiologia*, 350, 105–121. [In English]
<https://doi.org/10.1023/A:1003031730882>
- Parolin, M., Medeanic, S. & Stevaux, J.C. (2006) Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o Holoceno de Taquarussu (MS). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 9, 137–148. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2006.1.14>

- Parolin, M. & Stevaux, J.C. (2001) Clima seco e formação de dunas eólicas durante o Holoceno Médio em Taquaruçu, Mato Grosso do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 28, 233–243. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.22456/1807-9806.20298>
- Parolin, M. & Stevaux, J.C. (2004) Eolian dunes in the Upper Paraná River: evidence of aridity during the Holocene, *In*: Agostinho, A.A., Rodrigues, L, Gomes, L.C., S. Thomaz, S. & Miranda, L (Eds). *Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain*, Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, pp 31–35. [In English]
- Parolin, M., Volkmer-Ribeiro, C. & Stevaux, J.C. (2007) Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in upper Paraná River Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10(1), 17–26. [In English]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2007.1.02>
- Parolin, M., Volkmer-Ribeiro, C. & Stevaux, J.C. (2008) 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. [In English]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2008.3.05>
- Parolin, M., Rasbold, G.G. & Pessenda, L.C.R. (2014) Paleoenvironmental Conditions of Campos Gerais, Paraná, since the late Pleistocene, based on Phytoliths and C and N Isotopes. *In*: Coe, H.H.G., & Osterriech, M (Eds.). *Synthesis of some Phytolith Studies in South American (Brazil and Argentina)*. Nova Science Publishers, New York, pp. 149-170. [In English]
- Pearce, C., Cremer, H., Lammertsma, E. & Wagner-Cremer, F.W. (2013) A 2,500-year record of environment change in Highlands Hammock State Park (Central Florida, U.S.A.) inferred from siliceous microfossils. *Journal of Paleolimnology*, 49, 31–43. [In English]
<https://doi.org/10.1007/s10933-011-9557-2>
- Penney, J.T. & Racek, A.A. (1968) Comprehensive revision of a worldwide collection of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Bulletin of the United States National Museum*, 272, 1–184. [In English]
<https://doi.org/10.5479/si.03629236.272.1>
- Peterson, K.J. & Addis, J.S. (2000) Blackwell Science, Ltd *Clypeatula cooperensis* gen. n., sp. n., a new freshwater sponge (Porifera, Spongillidae) from the Rocky Mountains of Montana, USA. *Zoologica Scripta*, 29(3), 265–274. [In English]
<https://doi.org/10.1046/j.1463-6409.2000.00044.x>
- Pinheiro, U., Hajdu, E. & Caballero, M.E. (2003) Três Novos Registros de Esponjas (Porifera, Demospongiae) para águas continentais do Estado de São Paulo. *Boletim do Museu Nacional*, 498, 1–14. [In Portuguese]

- Pinheiro, U., Hajdu, E. & Correa, M.D. (2004) First description of *Ephydatia facunda* Weltner, 1895 (Porifera, Haplosclerida, Spongillidae) by scanning electron microscopy with underwater observations of large population from north-eastern Brazil, *Journal of Natural History*, 38, 171–180. [In English]
<https://doi.org/10.1080/0022293031000064404>
- Pinheiro, U., Docio, L., Nicácio, G. & Hajdu, H. (2013) A reassessment of neotropical species of *Corvospongilla* (Porifera: Spongillidae). *Journal of Natural History*, 47, 2373–2384. [In English]
<https://doi.org/10.1080/00222933.2013.798700>
- Pinheiro, U., Silva, U. & Calheira, L. (2015a) Sanidaster in freshwater sponges: an unexpected spicule for the birotuled Genus *Corvoheteromeyenya* Ezcurra de Drago, 1979. *Zoosystema*, 37 (3), 449–456. [In English]
<https://doi.org/10.5252/z2015n3a2>
- Pinheiro, U., Calheira, L. & Hajdu, E. (2015b) A new species of freshwater sponge, *Heteromeyenya barlettai* sp. nov. from aquarium in São Paulo, Brazil (Spongillida:Spongillidae). *Zootaxa*, 4034 (2), 351–363. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4034.2.7>
- Pinheiro, U. & Calheira, L. (2020) Phylum Porifera. In: Damborenea, C. Thorp, J.H. & Rogers, D.C (Eds.). *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, vol. 5, Academic Press, New York, pp 1 –14. [In English]
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804225-0.00003-4>
- Pisera, A. & Saèz, A. (2003) Paleoenvironmental significance of new species of freshwater sponge from the late Miocene Quillagua Formation (N Chile). *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 847–852. [In English]
[https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00012-9)
- Poirrier, M.A. (1974) Ecomorphic Variation in Gemmoscleres of *Ephydatia fluviatilis* Linnaeus (Porifera : Spongillidae) with Comments upon its Systematics and Ecology. *Hydrobiologia*, (44), 337–347. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00036300>
- Poirrier, M. A. (1990) Freshwater sponges (Porifera: Spongillidae) from Panama. *Hydrobiologia*, 194, 203–205. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00007120>
- Potts, E. (1881) Some new genera of freshwater sponges. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1881, 149–150. [In English]
- Potts, E. (1882) Three more Fresh-water Sponges. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1882(1), 12–14. [In English]
- Potts, E. (1884) On the wide distribution of some American sponges. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1884, 215–217. [In English]

- Potts, E. (1885) Freshwater Sponges from Mexico. *Proceedings of the United States National Museum*. 8, 587–589. [In English]
<https://doi.org/10.5479/si.00963801.8-542.587>
- Potts, E. (1888) Contributions towards a synopsis of the American forms of fresh-water Sponges with descriptions of those named by other authors and from all parts of the world. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 39 (1887), 158–279. [In English]
- Printes, R.C., Andrades Filho, C.O., Stoffel, A.S. & Stelmach, J.C.S. (2017) Novos registros da Esponja-de-água doce *Oncosclera jewelli* (Volkmer, 1963): Subsídios para a conservação do Rio Camisas, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Eletrônica Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 3(2), 404–427. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.21674/2448-0479.32.404-427>
- Pronzato, R., Pisera, A. & Mancone, R. (2017) Fossil freshwater sponge: Taxonomy, Geographic Distribution and critical review. *Acta Palaeontologica Polonica*, 62(3), 467–495. [In English]
<https://doi.org/10.4202/app.00354.2017>
- Rasbold, G.G., Stevaux, J.C., Parolin, M., Leli, I.T., Luz, L.D., Guerreiro, R.L., Brito, H.D. (2019) Sponges spicules as indicators of paleoenvironmental changes in island deposits – Upper Paraná river, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 536, 1–29.
 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109391>
- Reolid, M. (2007) Taphonomy of the Oxfordian/Lowermost Kimmeridgian Siliceous Sponge of the Prebetic Zone (Southern Iberia). *Journal of Taphonomy*, 5(2), 71–90. [In English]
- Ruengsawang, N., Sangpradub, N., Chutima, H. & Manconi, R. (2012) Biodiversity assessment of the Lower Mekong Basin: A new species of *Corvospongilla* (Porifera: Spongillidae) from Thailand. *Zootaxa*, 3320, 47–55. [In English]
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3320.1.3>
- Santos, G.B., Castro, P.T.A., Parolin, M., Docio, L. & Costa, D.H. (2017) Análise de Espículas de Esponjas como Indicadores Paleoambientais em Sedimentos Lacustres no oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(3), 439–448. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2016.3.09>
- Santos, C.S., Suguio, K., Moraes, F.C., Sallum, A.E.M., Garcia, M.J., Oliveira, P.E., Medeiros, V.B., Sallum-filho, W. (2011) Caracterização dos tipos de espículas de esponjas silicosas encontradas em sedimentos paleolacustres coletados na Estação Ecológica Juréia-Itatins, São Paulo. *Revista UNG Geociências*, 10(1), 64–74.

- Sifeddine, A., Fröhlich, F., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Soubiès, F., Turcq, B., Suguio, K. & Volkmer-Ribeiro, C. (1994) La sédimentation Lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30000 dernières années (Cariacou, Amazonie, Brésil). *Comptes Rendus de L'Académie des Science*, 318 (3), 1645–1652. [In French]
- Sifeddine, A., Martin, L., Turcq, B., Volkmer-Ribeiro, C., Soubiès, F., Cordeiro, R. C. & Suguio, K. (2001) Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 168, 221–235. [In English]
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00256-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00256-X).
- Silva, K.C., Parolin, M. & Bissa, W.M. (2012) Espículas de Esponjas Vs. Variação do Nível relativo do Mar na Região de Iguape, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15(3), 319–323. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.4072/rbp.2012.3.07>
- Smithson, F. (1959) Opal sponge spicule in Soil. *Journal of Soil Science*, 10(1), 105–109. [In English]
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1959.tb00670.x>
- Tavares, M.C.M. & Volkmer-Ribeiro, C. (1997). Redescritção das esponjas de água doce *Oncosclera navicella* (Carter, 1881) (Potamolepidae) e *Spongilla spoliata* Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983 (Spongillidae). *Biociências*. 1(5), 97–111. [In Portuguese]
- Tavares-Frigo, M.C., Volkmer-Ribeiro, C., de Oliveira, A.E.Z. & Machado, V.S. (2015) Freshwater sponge from Pampa Biome, Brazil. With description of a new species of *Oncosclera*. *Neotropical Biology and Conservation*, 10(3), 110–122. [In English]
<https://doi.org/10.4013/nbc.2015.103.01>
- Tavares, M.C.M., Volkmer-Ribeiro, C. & de Rosa-Barbosa, R. (2003) Primeiro Registro de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto & Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacu, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(2), 169–182. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000200001>
- Traxler, L. (1895) Spikule von sübwasserschwämmen aus brasilien. *Földtany Közlöny*, 25: 62–64. [In German]
- Turcq, B., Sifeddine, A., Martin, L., Absy, M.L., Soubies, F., Suguio, K. & Volkmer-Ribeiro, C. (1998) Amazonia Rainforest Fires: A Lacustrine Record of 7000 years. *Ambio*, 27(2), 139–142. [In English]
- van Soest, R.W.M., Boury-Esnault, N., Hooper, J.N.A., Rützler, K., de Voogd, N.J., Alvarez, B., Hajdu, E., Pisera, A.B., Manconi, R., Schönberg, C., Klautau, M., Kelly, M., Vacelet, J., Dohrmann, M., Díaz, M.C., Cárdenas, P., Carballo, J.L., Ríos, P.,

- Downey, R. & Morrow, C.C. (2019) World Porifera Database. Available from: <http://www.marinespecies.org/porifera> on 2019-10-15/ (accessed 24 July 2019).
- Volkmer, C. (1963a) *Spongilla jewelli* n. sp. from fresh-water sponge at Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 35 (2), 271–274. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. (1963b) Redescription of fresh-water sponge *Heteromeyenya insignis* Weltner, 1895. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 275–278. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. (1970) *Oncosclera* – a new genus of freshwater sponge (Porifera, Spongillidae) with redescription of two species. *Amazoniana* 2 (4), 435–442. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. (1971) *Houssayella iguazuensis* Bonetto and De Drago, 1966 (Porifera, Spongillidae) in Itu River, Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia* 40, 53–60. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. (1976) A new monotypic genus of Neotropical freshwater sponges (Porifera, Spongillidae) and evidence of speciation via Hybridism. *Hydrobiology* 50 (3), 271–281. [In English]
<https://doi.org/10.1007/BF00021002>.
- Volkmer-Ribeiro, C. (1979) Evolutionary study of genus *Metania* Gray, 1867. The new species. *Amazoniana* 6 (4), 639–649. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. (1992) The freshwater sponges in some peat-bogs ponds in Brazil. *Amazoniana*, 12 (2), 317–335. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Almeida, F.B. (2005) Diversidade biológica: As esponjas do Lago Tupé. In: Santos-Silva, E., Aprile, F.M., Scudeller, V.V. & Melo, S. (Eds). *Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Editora INPA, Manaus, pp 123–134. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C., Bichuette M.E. & Machado, V.S. (2010c) *Racekiela cavernícola* (Porifera: Demospongiae) new species and first record of cave freshwater sponge from Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 5, 53–58. [In English]
<https://doi.org/10.4013/nbc.2010.51.08>
- Volkmer-Ribeiro, C., Correia, M.M.F., Brenha, S.L.A & Medonça, M.A. (1999) Freshwater sponge from a Neotropical sand Dune Area. *Memoirs of the Queensland Museum*, 44, 643–649. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Costa, P.R.C. (1992) On *Metania spinata* (Carter, 1881) and *Metania kiliani* sp. nov.: Porifera, Metaniidae Volkmer-Ribeiro, 1986. *Amazoniana*, 12 (1), 7–16. [In English]

- Volkmer-Ribeiro, C. & De Rosa Barbosa, R. (1972) On *Acalle recurvata* (Bowerbank, 1863) and an associated fauna of other freshwater sponges. *Revista Brasileira de Biologia*, 32(3), 303–317. [In English]
- Volkmer, C. & de Rosa-Barbosa, R. (1978) A new genus and species of Neotropical freshwater sponges. *Iheringia* 52, 103–107. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & De Rosa-Barbosa, R. (1985) Redescription of the freshwater sponges *Trochospongilla repens* (Weltner, 1895) with an account of the South American Species of *Trochospongilla* (porifera, spongillidae). *Iheringia*, 65, 77–93. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C., De Rosa-Barbosa, R. & Fonseca-Mello, H. (1983) The unexpected occurrence of *Drulia brownii* (Bowerbank, 1863) (Porifera: Spongillidae) in an oxbow lake at the extreme South of Brazil. *Iheringia*, 63, 3–10. [In English]
- Volkmer, C., De Rosa-Barbosa, R., Guadagnin, D. L., Mostardeiro, C.C. & Pedroso, A.P. S. (2007) Macroinvertebrados bentônicos. In: Becker, F.G., Ramos, R.A. & Moura L.A. (Eds). *Biodiversidade: regiões da lagoa do Casamento e dos Buritizaes de Tapes, Planície Costeira do rio Grande do Sul*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. pp.144–155. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C., De Rosa-Barbosa, R. & Machado, M.S. (2005) *Corvomeyenya epilithosa* sp. nov. (Porifera: Metaniidae) no Parque Nacional da Serra Geral, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(4), 844–852. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.1590/S0101-81752005000400007>
- Volkmer-Ribeiro, C., De Rosa Barbosa, R. & Mansur, M.C.D. (1981) Fauna esponhológica e malacológica bêmica da lagoa Negra, parque Estadual de Itapuã, Rio Grande do Sul. *Iheringia*, 59, 13–24. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C., De Rosa-Barbosa, R. & Tavares, M.C.M. (1988) *Anheteromeynia sheilae* sp. n. e outras esponjas dulciaquícolas da região costeira do Rio Grande do Sul (Porifera, Spongillidae). *Iheringia*, 68, 83–98. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C., De Rosa-Barbosa, R., Machado, V.S. & Cunha, G. (2009b) Fauna aquática – Esponjas. In: Boldrini, I. (Ed.) *Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias*. Ministério do Meio Ambiente/Série Biodiversidade, Brasília, 30 pp. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C., Ezcurra de Drago, I., Machado, V.S. & Sabaj, M.H. (2017) *Drulia cristinae*, new species of sponge from rio Xingu, Amazonas Basin, Brasil (porífera: Demospongiae: Poecilosclerida: Metaniidae Volkmer-Ribeiro, 1986). *Proceeding of Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 166, 1–17. [In English]
<https://doi.org/10.1635/053.166.0101>

- Volkmer-Ribeiro, C., Ezcurra de Drago, I. & Parolin, M. (2007) Spicules of the Freshwater Sponge *Ephydatia facunda* Indicate Lagoonal Paleoenvironment at the Pampas of Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 50, 449–452. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C., Grosser, K.M., De Rosa-Barbosa, R. & Pauls, S.M. (1975) Primeiro relato de ocorrência de Espongilídeos (Porífera) na Bacia do Guaíba Estado do rio Grande do Sul. *Iheringia*, 46, 33–49. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Machado, V.S. (2007) Freshwater sponges (Peripheral, Demosponge) indicators of some coastal habitats in South America: descriptions and key to identification. *Thuringia*, 97(2), 157–167. [In English]
<https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000200005>
- Volkmer-Ribeiro, C. & Machado, V.S. (2009) Freshwater sponge (Porífera, Demospongiae) in a benthic filter feeding community at the Guanacaste dry forest, Costa Rica. *Iheringia*, 99(4), 335–344. [In English]
<https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000400001>
- Volkmer-Ribeiro, C. & Machado, V.S. (2017) Checklist das esponjas do Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia*, 107, 1–6. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.1590/1678-4766e2017102>.
- Volkmer-Ribeiro, C., Machado, V.S., Fürstenau-Oliveira, K & Soares, F.V. (2010a) New genus of freshwater sponges with a new species from Amazonian waters (Porífera: Demospongiae). *Revista de ciências ambientais*, 4, 47–64. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Maciel, S.B. (1983). New freshwater sponges from Amazonian waters. *Amazoniana*, 8 (2): 255–264. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C.; Mansur, M.C.D., Mera, P.A.S. & Ross, S.M. (1998) Biological indicators in aquatic habitats of the Ilha Maricá. In: Milliken, W. & Ratter, J.A. (Eds). *Maracá – The biodiversity and environment of an Amazonian Rainforest*. John Willey Sons, Chichester, 508 pp. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Mothes M.B. (1981) *Drulia ctenosclera* a new species of Neotropical spongillid (Porífera: spongillidae). *Iheringia*, 60, 117–121. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Motta, J.F.M. (1995) Esponjas Formadoras de Espongilitos em Lagoas no Triângulo Mineiro e Adjacentes com indicação de preservação de habitat. *Biociências*, 3(2), 145–169. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Parolin, P. (2005) Segundo registro de *Sterrastrolepis brasiliensis* (Demospongiae: Potamolepidae) com descrição do habitat e de assembleia, Bacia do Rio Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(4), 1003–1013. [In Portuguese]
<https://doi.org/10.1590/S0101-81752005000400028>

- Volkmer-Ribeiro, C., Parolin, M. (2010) As esponjas. In: Parolin, M., Volkmer-Ribeiro, C. & Leandrini, J.A (Eds). *Abordagem ambiental e interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná*, Editora da Fecilcam, Campo Mourão, 158 pp.
- Volkmer-Ribeiro, C., Parolin, M., Fürstenau-Oliveira, K. & Menezes, E. (2010b) Colonization of hydroelectric reservoirs in Brazil by freshwater sponges, with special attention on Itaipu. *Interciencia* (Caracas), 340–347. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Pauls, S.M. (2000) Esponjas de água Dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 20(1), 1–28. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Peixinho, S. (1989) *Drulia browni* (Bowerbank, 1863) (= *Spongilla franciscana* Lutz & Machado, 1915 syn. n.) na Bacia do Rio São Francisco, Bahia, Brasil (Porifera: Metaniidae). *Iheringia*, (69), 147–148. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Tavares, M.C.M. (1990) Esponjas de água doce do Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba e dos seus Rios Formadores, Alagoas, Brasil. *Iheringia*, 70, 171–172. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Tavares, M.C.M. (1993) Sponges from the flooded sand beach of two Amazonian clear water rivers (Porifera). *Iheringia*, 75, 187–188. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Tavares, M.C.M. (1995) Redescritção de *Drulia uruguayensis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1968 com redefinição do gênero *Drulia* Gray 1867 (Porifera: Metaniidae). *Biociências*, 3(1), 183–205. [In Portuguese]
- Volkmer-Ribeiro, C. & Traveset, A. (1987) Annotated Catalog of the type specimens of Potts' Species of Freshwater Sponges. *Proceedings of Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 139, 223–242. [In English]
- Volkmer-Ribeiro, C., Tavares-Frigo, M.C. & Oliveira, K.F. (2009a) *Acanthotylotra alvarengai* (Porifera: Demospongiae) new genus and species of sponge from Tocantins River, Paraná State, Brazil. *Iheringia*, 99(4), 345–348. [In English]
<https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000400002>
- Volkmer-Ribeiro, C., Veiga-júnior, V.F., Gadagnin, S.L., Barros, I.B. & Herzog, C.C.B. (2012) Composition, distribution and substrates of the sponge fauna (Porifera: Demospongiae) at the National Park of Anavilhanas. *Neotropical Biology and Conservation*, 7(3), 188–198. [In English]
<https://doi.org/10.4013/nbc.2012.73.05>
- Wallis, L.A. (2001) Environment history of northwest Australia base on phytolith analysis at Carpenter's. *Quaternary International*, 83(84), 103–117. [In English]
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(01\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00033-7)
- Wang, R., Xiao, W., Li, Q. & Chen, R. (2006). Polycystine radiolarians in surface sediments from Bering Sea Green Belt área and their ecological implication for

paleoenvironmental Reconstructions. *Marine Micropaleontology*, 59, 135–152. [In English]
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2006.02.002>

Wantzen, K.M., Callil, C. & Butakka, C.M.M. (2009) Benthic invertebrates of the Pantanal and its tributaries. In.: Junk, W. J., Da Silva, C.J., da Cunha, C. N. & Wantzen, K.M (Eds). *The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large Neotropical seasonal wetland*. Pensoft Publishers, Moscow, pp 127–141. [In English]

Weltner, W. (1893) *Über die Autorenbezeichnung von Spongilla erinaceus*, Berichte der Gesellschaft für Naturforschender Freunde, Berlin. pp 7–13. [In German]

Weltner, W. (1895) Spongillidenstudien III. Katalog und Verbreitung der bekannten Süßwasserschwämme. *Archiv für Naturgeschichte*, 61(1), 114–144. [In German]

Wilding, L. P. & Drees, L.R. (1968) Distribution and implication of sponge spicules in surficial deposits in Ohio. *The Ohio Journal of Science*, 68(2), 92 –100. [In English]

Zeviejkovski, I. P., Stevaux, J.C., Leli, I.T., Parolin, M. & Campos, J.B. (2017) Sponges as a complement of sedimentary facies analysis in island. Deposits of Upper Paraná River. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 143–151. [In English]Santos
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.07.013>.

Appendix

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
01. <i>Acalle recurvata</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 29, 65, 68, 72, 77, 90, 92.}	Lentic ⁷² /lotic ^{65, 72}	Concrete ⁷² , roots and trunks ⁹⁰ . Associated with <i>T. dellicata</i> and <i>T. paulula</i> ^{29, 72} growing on <i>T. gregaria</i> ²⁹	Shallow and turbid waters, turbid and acid floodplains lagoons or floodplains with clear water from Amazonian environment ⁶⁸ .	Freshwater
02. <i>Acanthotylotra alvarengai</i> Volkmer-Ribeiro, Tavares, Fürstenau-Oliveira, 2009 ⁸¹	Lotic ⁸¹	Epibionte on <i>Drulia uruguayensis</i> ⁸¹	Sponges ⁸¹ .	Freshwater
03. <i>Anheteromeyenia cheguevarai</i> Manconi & Pronzato, 2005 ⁷¹	Lentic ⁷¹	Rocky ⁷¹	Shallow (60-40 cm) and turbid water near the coastal environment ⁷¹ .	Freshwater
04. <i>Anheteromeyenia diamantina</i> Calheira & Pinheiro, 2018 ¹⁰³	Lentic ¹⁰³	Rocky ¹⁰³	Shallow and turbid water ¹⁰³ .	Freshwater
05. <i>Anheteromeyenia ornata</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1970) ^{28,46}	Lotic ²⁸	Hard substrate (anthropic construction) ²⁸	-	Freshwater
06. <i>Anheteromeynia vitrea</i> Volkmer-Ribeiro & Buso 2012 ⁸⁸	Lentic ⁸⁸	Macrophytes and herbaceous twigs ⁸⁸	Shallow seasonal water ⁸⁸ .	Freshwater
07. <i>Balliviaspongia wirrmanni</i> Boury-Esnault & Volkmer-Ribeiro, 1991 ⁵⁵ .	Lentic ⁵⁵	Rocks and macrophytes ⁵⁵	Depth between 10 cm and 19 m ⁵⁵ .	Freshwater

Continued

Table 1_ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (Continuation)

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
08. <i>Corvoheteromeyenia australis</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966) ^{21, 22, 31, 39, 63, 69, 96, 97.}	Lentic ⁶⁴ /lotic ⁹⁷	Roots of <i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth and <i>Eichhornia crassipes</i> (Solms) ⁶⁹ Mart. Rocky substrates ⁹⁷	Preserved stretches of forest, shallow, clear water ⁹⁸	Freshwater
09. <i>Corvoheteromeyenia heterosclera</i> (Ezcurra de Drago, 1974) ^{33, 63, 65, 69, 76, 80, 79, 97.}	Lentic ⁶⁵ /lotic ^{69, 91}	Rocks and macrophytes (<i>Eleocharis</i> sp. and <i>Equisetum</i> sp.), ponds between sand dunes ⁷⁶ Associated with bryozoan genus <i>Fredericella</i> Gervais, 1939 and <i>Plumatella</i> Lamark, 1816 ⁷⁹ .	Perennial and seasonal water, in sand or rocky bottom with abundant macrophytes ⁷⁶ .	Freshwater
10. <i>Corvoheteromeyenia sanidastosclera</i> Pinheiro, Silva & Calheira, 2015 ⁹⁴	Lentic ⁹⁴	Concrete ⁹⁴	Species found in fish pond ⁹⁴	Freshwater
11. <i>Corvomeyenia epilithosa</i> Volkmer-Ribeiro, Rosa-Barbosa & Machado, 2005 ^{73, 76, 99.}	Lotic ⁷⁶	Rocky ⁷⁶	Acidic Coffee-colored waters ⁷⁶ from <i>Campos Sulinos</i> environment and <i>Araucaria</i> Forest ⁹⁹ .	Freshwater
12. <i>Corvomeyenia thumi</i> (Traxler, 1895) ^{59, 67.}	Lentic ^{59, 67}	Aquatic vegetation ^{59, 67}	Shallow, acidic lagoons with abundant macrophytes, situated in tropical and subtropical Cerrado, a biome that develops in an area subject to drought periods. ⁶⁰ Ponds between sand dunes ⁶⁷ .	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (continuation).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
13. <i>Corvospongilla seckti</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966 ^{20, 22, 31, 58, 67, 68, 69, 84, 89, 92, 96.}	Lotic ²⁰ /lentic ^{84, 89}	Solid and soft substrates (trunks, branches); roots of <i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> ⁶⁹ and upon <i>O. navicella</i> ⁶⁷ , <i>Limnoperna fortune</i> (Dunker, 1857) ⁸⁴	Floodplain and rocky riverbeds ⁶⁸ . It may occur in pools formed in the rivers, where there is low flow. It may occur in the floodplain area, with clear water.	Freshwater
14. <i>Dosilia palmeri</i> (Potts, 1885) ^{10, 12, 48, 89.}	Lotic ⁴⁸	Branches of <i>Strombocarpa pubescens</i> (Benth). Upon plants ⁸⁹ .	Seasonally flooded areas of arid environments, and riverbanks ⁸⁹ .	Freshwater
15. <i>Dosilia pydanieli</i> Volkmer-Ribeiro, 1992. ^{56, 59, 63.}	Lentic ⁵⁶	Macrophytes ⁵⁶ and Rocks ⁵⁶	Permanent to seasonal, acidic waters in bog ponds ⁶³ , usually formed on sandy ground, with abundant macrophytes and humic deposits ^{59, 56} Lakes of Savana (Cerrado).	Freshwater
16. <i>Drulia brownii</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 45, 65, 68, 75, 74, 80, 90 102}	Lentic river stretch ⁴² and oxbow lakes ⁴⁵ . Lotic ^{90, 102}	Trunks and twigs of trees ⁹⁰ , sand banks ⁹⁰ , and rocks ⁹⁰ may occur in floodplains. Occasionally, it occurs on rocks near riverbanks ⁴⁵	The environment of flooded forest during floods ⁴⁵ (Flooded area), with clear waters (Amazonia) ⁶⁸	Freshwater
17. <i>Drulia conifera</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973 ^{31, 65, 102}	Lotic ³²	Rocks, ravine ⁶⁵	Rocky riverbed ^{32, 65}	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (continuation).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
18. <i>Drulia cristata</i> (Weltner, 1895) ^{15, 65, 68}	Lotic ⁶⁵	Rock bottoms and submerged branches ⁶⁸ .	Rocky bottoms of the river in strong flowing waters ⁶⁸	Freshwater
19. <i>Drulia cristinae</i> Volkmer-Ribeiro, Ezcurra de Drago, Machado & Sabaj, 2017. ¹⁰² .	Lotic ¹⁰²	Twigs in decomposition, mud, and fine sand ¹⁰²	The mouth of the river, concerning type locality ¹⁰² .	Freshwater
20. <i>Drulia ctenosclera</i> Volkmer & Mothes, 1981 ^{42, 64, 68, 77, 82} .	Lotic ⁶⁸	Rocks, branches and trunks ⁶⁸	Rocky bottom and igarapés rivers ⁶⁸ .	Freshwater
21. <i>Drulia uruguayensis</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1969 ^{27, 60, 62, 68, 69, 77, 78, 82, 84, 97} .	Lentic ⁷⁹ /lotic ⁸⁵	Concrete ⁷⁸ , roots, twigs, leaves, mud, sand and rocks ⁷⁸ . Associated with <i>T. paulula</i> ⁸⁰ .	Shallow turbid water.	Freshwater
22. <i>Ephydatia caatingae</i> Nicácio e Pinheiro, 2015 ⁹³ .	Lentic/lotic ⁹³	Trunks ⁹⁴	Shallow water of arid region (Caatinga biome) and humid region (Mata Atlântica biome) ⁹³ .	Freshwater
23. <i>Ephydatia facunda</i> Weltner, 1895 ^{16, 41, 43, 50, 70} .	Lentic ⁴⁴ /lotic ⁷⁰	Rocks, submerged woods, rarely in soft substrates ⁷⁰ . Reported from Niquim River, growing on a tire and submerged ropes. May occur on roots of <i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> , <i>Pstia stratiotes</i> L., <i>Ceratophyllum demersuloticn</i> L. ⁵⁰ .	Shallow, turbid or clear water ⁷⁰ , backwater. Acidic and mineral-rich with macrophytes. May occur in river stretches in poorly preserved environments, like plantations and pastures. Water bodies near coastal areas ⁵⁰ .	Freshwater to mesohaline

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (continuation)

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
24. <i>Ephydatia fluviatilis</i> (Linnaeus, 1759) 01, 08, 11, 12, 21, 64.	Lentic ^{11, 12} /lotic ²¹	Underside of rocks ^{11, 12} and trunks ¹¹ .	Lacustrine ¹¹ may occur in seasonal water in the arid region. ¹² .	Mesohaline to freshwater
25. <i>Ephydatia robusta</i> (Potts, 1888) ^{12,17, 34, 48}	Lentic ^{12, 17}	Rocky and Mollusc shells ¹⁷	Lacustrine ¹²	Freshwater
26. <i>Eunapius carteri</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 28, 62}	Lentic ⁶²	Rocks ⁶²	Lacustrine ⁶² .	Mesohaline to freshwater
27. <i>Eunapius igloviformis</i> (Potts, 1884) ^{08, 48} .	Lentic ^{08,48}	Trunk ⁴⁸	Lacustrine ⁰⁸	Freshwater
28. <i>Eunapius fragilis</i> (Leidy, 1851) ^{03, 05, 21, 35, 69, 93} .	Lentic ⁶⁹ /lotic ⁶⁹	Rocks ⁶⁹ and rarely found on plant substrates (sometimes <i>E. azurea</i>) ³⁶ .	Rivers and dams ⁶⁹	Freshwater
29. <i>Heteromeyenia barlettai</i> Pinheiro, Calheira, Hajdu, 2015 ^{95*}	Lentic (aquarium) ⁹⁵	Leaves and roots of aquatic plants, plastic and woods ⁹⁵ .	-	Freshwater
30. <i>Heteromeyenia cristalina</i> Batista, Volkmer-Ribeiro & Melão, 2007 ^{19, 77, 93} .	Lentic ⁷⁷ /Lotic ^{77, 95}	Submerged riparian vegetation ⁷⁷	Shaded environment and low river current ⁷⁷	Freshwater
31. <i>Heteromeyenia horsti</i> Ezcurra de Drago, 1988 ⁵¹	Lentic ⁵¹	Rocks ⁵¹	Pond margin up to 40 cm deep ⁵¹ .	Freshwater
32. <i>Heteromeyenia insignis</i> Weltner, 1895 18, 23,46,80, 96	Lentic ⁴⁶ Lotic ⁹⁶	Growing on rock bottoms and rarely on submerged vegetation ^{18, 80}	Lake, floodplain in coastal area of Rio Grande do Sul ⁴⁶ State in Brazil and rivers. ^{19, 96} .	Freshwater
33. <i>Heteromeyenia stepanowii</i> (Dybowski, 1884) ^{10, 35, 43, 56} .	Lentic ⁴³ / Lotic ³⁶	Upon macrophytes <i>E. azurea</i> (Swartz) Kunth; <i>E. crassipes</i> ^{35, 43} .	Lentic stretches of rivers and lakes ^{35, 43} .	Freshwater

Continued.

Sponge collected in aquarium with water from Paraná basin water bodies*.

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (continuation).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
34. <i>Heterorotula fistula</i> Volkmer & Motta, 1995 ^{59, 78, 98} .	Lentic ⁵⁹	-	Seasonal or perennial water with many macrophytes ⁵⁹ .	Freshwater
35. <i>Houssayella igazuensis</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966 ^{20, 24}	Lotic ²⁰	Underside of rocks ²⁰	Rapid water near falls. ²⁰	Freshwater
36. <i>Metania fittkaui</i> Volkmer-Ribeiro, 1979 ³⁸ .	Lotic ³⁸	Roots, trunks, leaves, rocks ³⁸ .	Growing on banks and riparian vegetation ³⁸ .	Freshwater
37. <i>Metania kiliani</i> Volkmer-Ribeiro & Costa, 1992 ⁵⁷	Lentic ⁵⁷	Branches, tree bark in a flooded area ⁵⁷ .	Flooded area, also found in flowing streams (igarapés) ⁵⁷	Freshwater
38. <i>Metania reticulata</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 68, 72, 97}	Lentic ⁷²	Concrete ⁷² , roots, leaves, trunks ⁷² , mud ⁹⁷ , rocks ⁹⁷	Shallow, acidic, turbid water in shaded area (forest). Flooded plain ⁶⁸ .	Freshwater
39. <i>Metania spinata</i> (Carter, 1881) ^{05, 50, 57, 62, 65} .	Lentic ⁵⁸ /Lotic ^{57, 65}	Macrophytes ⁵⁷ and grassy ponds ^{50, 57} .	Shallow acidic water, low concentration of silica, abundant macrophytes (shaded or light-exposed water). May be found in streams (igarapés) ⁶² and bodies of water in Cerrado (biome subject to yearly droughts) ⁵⁰ .	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (Continuation).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
40. <i>Metania subtilis</i> Volkmer-Ribeiro, 1979 ^{38, 72} .	Lentic ⁷² /Lotic ³⁸	Concrete and hard substrates associated with <i>T. paulula</i> ⁷² .	Shallow turbid water, on a submerged substrate ⁷² .	Freshwater
41. <i>Oncosclera atrata</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1970) ²⁷	Lotic ²⁷	Rocks ²⁷	Riverbank (shallow water 30-50 cm deep) ²⁷	Freshwater
42. <i>Oncosclera intermedia</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973 ^{31,65,72}	Lentic ⁷² /lotic ⁶⁵	Concrete. In association with <i>T. paulula</i> and <i>D. uruguayensis</i> ⁷²	Shallow, acid and turbid water ⁷²	Freshwater
43. <i>Oncosclera jewelli</i> (Volkmer, 1963) ^{18, 29, 100} .	Lotic ²⁹	Rocks ²⁹	It occurs in forest area (<i>Mata Ombrófila mista</i>) ¹⁰⁰	Freshwater
44. <i>Oncosclera navicella</i> (Carter, 1881) ^{05, 24, 28, 61, 65, 68, 67, 69, 72, 76, 77, 78, 82, 84, 91, 93, 96, 97} .	Lentic ^{68,72,78,84} /lotic ^{65, 93}	Concrete, twigs, trunks ⁹⁷ , rocks of river and bivalve shellfish. Roots of <i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> ⁷⁶ . Epizoid incidence is related to <i>T. repens</i> ⁷¹ and <i>C. seckti</i> ^{69, 72} .	Shallow turbid water in floodplains with clear water	Freshwater
45. <i>Oncosclera petricola</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967). ^{22, 64} .	Lotic ²²	Rocks ²²	Clear rapid waters with a rocky bed ²² .	Freshwater
46. <i>Oncosclera ponsi</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1968) ²⁵	Lotic ²⁵	Rocks ²⁵	Rocks in rapid waters ²⁵	Freshwater

continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (Continuation)

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
47. <i>Oncosclera rosariae</i> Tavares-Frigo, Volkmer-Ribeiro, Oliveira & Machado, 2015 ⁹⁶	Lotic ⁹⁶	Rocks ⁹⁶	Rapid water in a rocky riverbed near a shaded riverbank ⁹⁶	Freshwater
48. <i>Oncosclera schubarti</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967) ^{22, 66, 96}	Lotic ⁹⁶	Rocks ⁹⁶	Rocky riverbed ⁹⁶	Freshwater
49. <i>Oncosclera spinifera</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973 ^{33, 68, 77, 84}	Lotic ⁸⁴	Concrete, rocky riverbed and macrophytes ⁶⁸ .	Shallow, turbid, acidic water, floodplain area ⁸⁴	Freshwater
50. <i>Oncosclera stolonifera</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967) ²¹	Lotic ²¹	Rocks ²¹	Rocky riverbed ²²	Freshwater
51. <i>Oncosclera tonollii</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1968) ^{25, 86}	Lotic ²⁵ ,	Rocks ²⁵ ,	River in <i>Ombrofila Mista</i> forest ⁸⁶ upon the rocks in flowing river ²⁵ .	Freshwater
52. <i>Potamophloios guirensis</i> Volkmer-Ribeiro, Parolin, Fürstenau-Oliveira & De Menezes, 2010 ^{84, 86}	Lotic ⁸⁴	Rocks ⁸⁴ .	Deep water ⁸⁴	Freshwater
53. <i>Pottsiela pesae</i> Volkmer-Ribeiro, Souza-Machado, Fürstenau-Oliveira, Vieira-Soares & 2010 ⁸³ .	Lotic ⁸³	Rocks ⁸³	Rapid water and solid substrates in artificial lakes. (reservoirs). ⁸³	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira, 2020.

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
54. <i>Pottsia spoliata</i> (Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983) ^{44, 61, 84} .	Lotic ⁸⁴	Rocks, submerged branches and twigs ⁸⁴ .	Shaded environment, between rock spaces and upon submerged vegetation, about 15 m deep. ⁸⁴	Freshwater
55. <i>Rackiela andina</i> Hernández & José-Barreat, 2017 ¹⁰⁰ .	Lentic ¹⁰⁰	Macrophytes (<i>Isoetes</i> sp.; <i>Crassula venezuelensis</i> (Steierm)); Trunks in decomposition (<i>Polylepis sericea</i> Wedd) ¹⁰⁰ ; on mud and submerged mosses.	Shallow and deep water (10 up to 100m) ¹⁰⁰	Freshwater
56. <i>Rackiela cavernicola</i> Volkmer-Ribeiro, Bichuette & Sousa Machado, 2010 ⁸⁵ .	Lentic ⁸⁵	Rocky bed ⁸⁵	Backwater of Jacaré River in stretch inside cave ⁸⁵ .	Freshwater
57. <i>Rackiela sheilae</i> (Volkmer-Ribeiro, De Rosa Barbosa & Tavares, 1988) ^{49, 75, 76} .	Lentic ⁴⁹	Sedimentary rocks consisting of clay, sand and macrophytes ⁷⁶ .	Temporary coastal lagoons between possibly non-coastal dunes. Temporary lagoons. Maximum depth of 30 cm, muddy bottom, milky colored water with abundant algae ⁴⁹	Freshwater
58. <i>Rackiela cresciscristae</i> Gomes, Carballo, Cruz-Barraza, Carmacho-Cancino, 2019 ¹⁰⁴	Lentic/lotic ¹⁰⁴	Solid substrate ¹⁰⁴	Always occurs up to 1 m deep. ¹⁰⁴ .	Freshwater
59. <i>Radiospongilla amazonensis</i> Volkmer-Ribeiro e Maciel, 1983 ^{44,56, 59, 63, 67,77, 84} .	Lentic ⁸⁴ /lotic ⁷⁷	Trunks, roots, branches of vegetation and leaves of <i>Egeria</i> sp ⁸⁴	Lakes in floodplains of the Cerrado Biome ⁵⁹ and floodplains with the clear water of Amazonia, Ponds between sand dunes with riparian bush vegetation ⁶³ .	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020). (Continuation).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
60. <i>Radiospongilla crateriformis</i> (Potts, 1882) ^{08, 22, 43, 79.}	Lentic ⁷⁹ /lotic ⁷⁹	Rocks and associated with bryozoan genus <i>Plumatella</i> ⁷⁹ and bivalve genus <i>Eupera</i> Bourguignat, 1854 ⁸⁰ .	Shallow turbid acidic water ⁴³	Freshwater
61. <i>Radiospongilla inesi</i> Nicácio & Pinheiro, 2011 ⁸⁷	Lentic/lotic ⁸⁷	Rocks and concrete ⁸⁷	Shallow water ⁸⁷ .	Freshwater
62. <i>Saturnospongilla carvalhoi</i> Volkmer-Ribeiro, 1976 ^{36, 37, 68, 69, 88}	Lentic ⁶⁹ /lotic ³⁷	Macrophytes ⁶⁹ , branches and leaves ³⁸	Intermittent floodplain water ⁶⁸ with clear water in Amazonia ⁶⁹	Freshwater
63. <i>Spongilla alba</i> Carter, 1849 ^{02, 65, 68, 79.}	Lentic	Solid substrates ⁶⁵ epizoic (cirripedia, mussel and bryozoan) ⁶⁸	Coastal lakes and estuarine environment ⁶⁸	Mesohaline ^{68, 79} to freshwater
64. <i>Spongilla cenota</i> Penney & Racek, 1968 ^{23, 79.}	Lotic ⁷⁹	Solid substrates (limestone) and associated with bryozoan genus <i>Plumatella</i> ⁷⁹	Rapid or slow water, acidic or alkaline water ⁷⁹ .	Freshwater
65. <i>Sterrastrolepis brasiliensis</i> Volkmer & Rosa Barbosa, 1978 ^{37, 76, 101.}	Lotic ⁷⁶	Rocks ⁷⁶	Rapid water over rocky riverbed ⁷⁶	Freshwater
66. <i>Tubella amazonica</i> (Weltner, 1895) ^{15, 24, 47.}	Lotic ¹⁵	—	-	—
67. <i>Tubella delicata</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1967) ^{22, 28, 35, 52, 68, 77, 101.}	Lentic/lotic ¹⁰¹	Rock and roots and trunks of trees, sponges (<i>Drulia browni</i>) ⁵³ epizoic on other sponges ^{28, 35, 68.}	Lakes of floodplains.	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
68. <i>Tubella gregaria</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 30, 68.}	Lentic ⁶⁵ /lotic ³⁰	Concrete, roots ⁶⁸ and twigs, epizoic on other sponges ³⁰	Turbid water in floodplain lakes ⁶⁸	Freshwater
69. <i>Tubella horrida</i> (Weltner, 1893) ^{14, 22, 54.}	Lentic ⁵⁴	Rocks ⁵⁴	Lacustrine (Gatún lake, Panamá) ⁵⁴	Mesohaline
70. <i>Tubella lanzamirandai</i> (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1964) ^{19, 32, 35, 69, 84.}	Lentic ^{69, 84} /lotic ^{35, 84}	Roots, twigs and roots of <i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> ^{19, 35} . Growing on top of other sponge species ⁶⁹ .	Floodplain lakes, river meander ^{69, 84.}	Freshwater
71. <i>Tubella leidii</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 22, 54.}	Lentic ⁵⁴	Roots of submerged trees ⁵⁴ .	Lacustrine (Gatún lake, Panamá) ⁵⁴	Freshwater
72. <i>Tubella minuta</i> (Potts, 1881) ^{06, 30, 48, 65, 69, 77.}	Lentic/lotic ^{66, 78}	<i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> , ^{69, 77} upon other sponges and underside of rocks and leaves of macrophytes and other sponges ^{30, 65}	-	Freshwater

Continued

Table 1 _ Bibliographical survey of the environmental characteristics of the locations of continental sponge species occurring in the Neotropical Region based on Pinheiro and Calheira (2020).

Species	Hydrodynamics	Substrates	Environment	Salinity
73. <i>Tubella paulula</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 16, 19, 22, 26, 30, 32, 35, 52, 53, 58, 68, 69, 72, 77, 84, 92.}	Lentic ^{16, 30} /lotic ³⁰	Macrophytes, leaves, concrete ^{36, 65} , rocks ⁸⁴ , roots of <i>E. azurea</i> and <i>E. crassipes</i> ^{18, 76} , <i>Drulia browni</i> ⁵² ; epizoic on other sponges ^{30, 35} .	Floodplain environment ³⁵	Freshwater
74. <i>Tubella pennsylvanica</i> (Potts, 1882) ^{07, 44, 58, 48, 72, 75, 77, 90.}	Lentic ⁷⁷ /lotic ^{48, 77}	Concrete, branches ⁹⁰ sponges of genera <i>Drulia</i> and <i>Metania</i> ^{75, 44}	Shallow turbid water	Freshwater
75. <i>Tubella repens</i> (Hinde, 1888) ^{13, 22, 84, 86, 93.}	Lotic ²²	Rocky outcrops and rocky riverbed ²² .	May occur in bodies of water in arid region ²² .	Freshwater
76. <i>Tubella variabilis</i> (Bonetto e Ezcurra de Drago, 1973) ^{31, 35, 44, 63, 69, 87, 93.}	Lentic ⁹³ /lotic ³⁵	Roots of macrophytes (<i>Eichhornia</i> e <i>Salvinia</i>), concrete ⁹³ . Large species of genera <i>Drulia</i> and <i>Metania</i> ⁴⁴ . Associated with bryozoan genus <i>Plumatella</i> ⁸⁷	Seasonal and perennial waters. May occur in Cerrado lakes ⁴⁴ , or in ponds between sand dunes ⁶³ .	Freshwater
77. <i>Uruguay corallioides</i> (Bowerbank, 1863) ^{04, 19, 22, 26, 31, 65, 77.}	Lotic ⁶⁵	Rocky riverbed ⁶⁵	Lotic environment with rocky bottom ⁶⁵	Freshwater

References: Linnaeus (1759)¹; Carter (1849)²; Leidy (1851)³; Bowerbank (1863)⁴; Carter (1881)⁵; Potts (1881)⁶; Potts (1882)⁷; Potts (1884)⁸; Dybowski (1884)⁹; Potts (1885)¹⁰; Carter (1885)¹¹; Potts (1888)¹²; Hinde (1888)¹³; Weltner (1893)¹⁴; Weltner (1895)¹⁵; Traxler (1895)¹⁶; Volkmer-Ribeiro (1963a)¹⁷; Volkmer-Ribeiro (1963b)¹⁸; Bonetto & Ezcurra de Drago (1964)¹⁹; Bonetto & Ezcurra de Drago (1966)²⁰; Bonetto & Ezcurra de Drago (1967a)²¹; Bonetto & Ezcurra de Drago (1967b)²²; Bonetto & Ezcurra de Drago (1967c)²³; Penney & Racek (1968)²⁴; Bonetto & Ezcurra de Drago (1968)²⁵; Bonetto & Ezcurra de Drago (1969)²⁶; Bonetto & Ezcurra de Drago (1970)²⁷; Volkmer-Ribeiro (1970)²⁸; Volkmer-Ribeiro et al., (1971)²⁹; Volkmer-Ribeiro & De Rosa-Barbosa (1972)³⁰; Bonetto & Ezcurra de Drago (1973a)³¹; Bonetto & Ezcurra de Drago (1973b)³²; Ezcurra de Drago (1974)³³; Jones & Rutzler (1975)³⁴; Volkmer-Ribeiro et al. (1975)³⁵; Volkmer-Ribeiro (1976)³⁶; Volkmer & De Rosa-Barbosa (1978)³⁷; Volkmer-Ribeiro (1979)³⁸; Ezcurra de Drago (1979a)³⁹; Ezcurra de Drago (1979b)⁴⁰; De Rosa-Barbosa (1979)⁴¹; Volkmer-Ribeiro & Mothes (1981)⁴²; Volkmer-Ribeiro et al. (1981)⁴³; Volkmer-Ribeiro & Maciel (1983)⁴⁴; Volkmer-Ribeiro et al. (1983)⁴⁵; De Rosa-Barbosa (1984)⁴⁶; Volkmer-Ribeiro & De Rosa-Barbosa (1985)⁴⁷; Volkmer-Ribeiro & Traveset (1987)⁴⁸; Volkmer-Ribeiro et al. (1988)⁴⁹; Volkmer-Ribeiro et al. (1998)⁵⁰; Ezcurra de Drago (1988)⁵¹; Volkmer-Ribeiro & Peixinho, 1989⁵²; Volkmer-Ribeiro & Tavares (1990)⁵³; Poirrier (1990)⁵⁴; Boury-Esnoult & Volkmer-Ribeiro (1991)⁵⁵; Volkmer-Ribeiro (1992)⁵⁶; Volkmer-Ribeiro & Costa (1992)⁵⁷; Volkmer-Ribeiro & Tavares (1993)⁵⁸; Volkmer-

Ribeiro & Motta (1995)⁵⁹; Volkmer-Ribeiro & Tavares (1995)⁶⁰; Tavares & Volkmer-Ribeiro, 1997⁶¹; Melão & Rocha (1998)⁶²; Volkmer-Ribeiro et al. (1999)⁶³; Peterson & Addis (2000)⁶⁴; Volkmer-Ribeiro & Pauls (2000)⁶⁵; Batista & Volkmer-Ribeiro (2002)⁶⁶; Pinheiro et al. (2003)⁶⁷; Batista et al. (2003)⁶⁸; Tavares et al. (2003)⁶⁹; Pinheiro et al. (2004)⁷⁰; Manconi & Pronzato (2005)⁷¹; Volkmer-Ribeiro & Almeida (2005)⁷²; Volkmer-Ribeiro et al. (2005)⁷³; Volkmer-Ribeiro & Parolin (2005)⁷⁴; Volkmer-Ribeiro et al. 2007⁷⁵; Volkmer-Ribeiro & Machado (2007)⁷⁶; Batista et al. (2007)⁷⁷; Almeida et al. (2009)⁷⁸; Volkmer-Ribeiro & Machado (2009)⁷⁹; Volkmer-Ribeiro et al., (2009a)⁸⁰; Volkmer-Ribeiro et al. (2009b)⁸¹; Candido et al. (2010)⁸²; Volkmer-Ribeiro et al. (2010a)⁸³; Volkmer-Ribeiro et al. (2010b)⁸⁴; Volkmer-Ribeiro et al. (2010c)⁸⁵; Volkmer-Ribeiro & Parolin (2010)⁸⁶; Nicácio et al. (2011)⁸⁷; Wantzen et al. (2009)⁸⁸; Buso-júnior et al. (2012)⁸⁹; Volkmer-Ribeiro et al. (2012)⁹⁰; Pinheiro et al. (2013)⁹¹; Morostega et al. (2013)⁹²; Nicácio & Pinheiro (2015)⁹³; Pinheiro et al., (2015a)⁹⁴; Pinheiro et al. (2015b)⁹⁵; Tavares-Frigo et al. (2015)⁹⁶; Calheira & Pinheiro (2016)⁹⁷; Machado et al. (2016)⁹⁸; Printes et al. (2017)⁹⁹; Hernández & Barreat (2017)¹⁰⁰; Volkmer-Ribeiro & Machado (2017)¹⁰¹; Volkmer-Ribeiro et al., (2017)¹⁰²; Calheira & Pinheiro (2018)¹⁰³; Gomes et al. (2019)¹⁰⁴.

4 AN ASSESSMENT OF THE WEALTH OF INFORMATION GIVEN BY SPONGE SPICULES AS A PALEOENVIRONMENTAL TOOL: THE CASE OF TWO LAKES IN NORTHEAST (BRAZIL).

Autores: Loyana Docio, Giliane Gessica Rasbold, André Luiz Carvalho da Silva, Mauro Parolin, Marcelo Galeazzi Caxambu, Ulisses Pinheiro

Publicado no Journal of South American Earth Science (2020)².

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103099>

Seguindo copyright CC-BY-NC-ND

² Normas de formatação presente no anexo B

An assessment of the wealth of information given by sponge spicules as a paleoenvironmental tool: the case of two lakes in Northeast (Brazil).

Loyana Docio^{a,b,*}, Giliane Gessica Rasbold^c, André Luiz Carvalho da Silva^d, Mauro Parolin^e, Marcelo Galeazzi Caxambu^f, Ulisses Pinheiro^b

^a State University of Bahia. Human Sciences Department. BR 242, Km 04, Loteamento Flamengo, CEP: 47800-000, Barreiras, BA, Brazil.

^b Laboratory of Porifera. Post-graduation in Animal Biology. Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária. CEP: 50670-901. Recife, PE, Brazil. ulisses.pinheiro@ufpe.br

^c Graduate Program in Ecology of Continental Aquatic Environments. State University of Maringá. Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR, Brazil. mauroparolin@gmail.com

^d Geography Department of the Faculty of Teacher Training of the State University of Rio de Janeiro. R. Francisco Portela, 1470, Patronato, 24435-005 São Gonçalo, RJ, Brazil. E-mail: andrelcsilvageouerj@gmail.com

^e Laboratory of Paleoenvironmental Studies. State University of Paraná, Campo Mourão campus. Av. Comendador Norberto Marcondes, 733, CEP 87302-060, Campo Mourão, PR, Brazil.

^f Herbarium of the Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão campus. Via Rosalina Maria dos Santos, 1233, CEP 87301-899, Campo Mourão, PR, Brazil.

* Corresponding author: Laboratory of Porifera. Post-graduation in Animal Biology. Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, CEP: 50670-901, Recife, PE, Brazil. E-mail address: loydocio@gmail.com (L. Docio).

Highlights

- The efficiency of inland sponge remains are tested.
- Multi-proxy analysis (phytoliths, morphoscopy, granulometry, isotope ^{13}C and ^{15}N data and ^{14}C dating) was carried out.
- Data support the interpretation of continuous lake filling by colluvium in both wet and dry season conditions.
- Seven inland sponge species were identified through spicules preserved in the sediment.
- Two sponge species corroborated the conditions indicated by the analysis.

Abstract:

This study aimed to test the use of inland sponge spicules as proxy data for a Holocene paleoenvironmental reconstruction of the Trairí River valley, in the state of Rio Grande do Norte, in Northeast Brazil. Spicules were recovered from sediments from two core samples obtained from Lake Fumo and Lake Urtiga, at depths of 0.60 m and 0.96 m, respectively. The following analyses were carried out: phytolith morphotype classification, isotope data ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}\%$), radiocarbon dating (AMS), grain size analysis, sediment morphoscopy, and percentage of soil organic matter. Environmental reconstruction indicated seasons with dry and rainy conditions 1940 years BP. Isotope data pointed to the presence of plants (C_3 and C_4) and algae. Phytolith classification indicated that Poaceae, Cyperaceae, Arecaceae and/or Bromeliaceae occurred at the location. Spicules from inland sponges *Heterorotula fistula*; *Ephydatia* sp.; *Dosilia pydanieli*; *Corvoheteromeyenia heterosclera*; *Tubella variabilis*; *Radiospongilla inesi*; and *Anheteromeyenia* sp. were found in the core samples. Reconstruction based on

isotope, phytolith and sedimentology results was compared with the spicule data and only *D. pydanieli* and *H. fistula* confirmed the other proxy information.

Key words: Multiproxy Analysis. Phytoliths. Stable Isotope. Environmental conditions. Paleoecology.

Introduction:

Paleolimnological proxy data derived from organic remains preserved in lakes, such as isotopes (Meyers, 2003), phytoliths, and sponge spicules (Parolin et al., 2014), provide information on the changes that occurred in past environments. Inland sponge spicules with taxonomic value provide promising proxy data for studies on the Neotropical Region, which has the largest inland sponge diversity in the world (Nicácio and Pinheiro, 2015, Pinheiro and Calheira, 2020). Since the 1970s, scientists have used inland sponge spicules as paleoenvironmental proxies (Harrison et al., 1979; Sifeddine et al., 1994; Volkmer-Ribeiro and Almeida, 2005). However, a review of the literature on the ecological information from Neotropical species points to limitations in the use of sponge spicules as proxy data (Docio, 2020).

The restriction or specialization of sponge species or sponge communities to certain environmental conditions or biomes in the present determines the paleoenvironmental applicability of spicule remains (Volkmer-Ribeiro and Machado, 2007). Thus, once the species has been identified based on spicule remains it is possible to reconstruct features of past environmental conditions (Parolin et al., 2008). However, ecological data published in inventories have underestimated the potential of sponges to colonize environments with different water regimes or in poorly preserved areas. This is the case, for example, with *Corvospongilla seckti* (Bonetto and Ezcurra de Drago, 1966) and

Oncosclera navicella (Carter, 1881), which are not specialized in lotic environments (De Rosa-Barbosa, 1984; Tavares et al., 2003; Batista et al., 2003; Pinheiro et al., 2013), but were initially attributed to lotic conditions (Batista et al., 2003). As such, the presence of *O. navicella* spicules preserved in sediment made it possible to reconstruct a past aquatic environmental condition as a river (Parolin et al., 2008). In addition, there is *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974), which does not occur only in preserved environments (Calheira and Pinheiro, 2016). Furthermore, specimens of previously known inland sponge species were found in new inventoried areas, living in different environmental conditions to those already registered by taxonomists (Pinheiro et al., 2003; Nicácio et al., 2011; Nicácio and Pinheiro, 2015; Calheira and Pinheiro, 2016).

On the other hand, *Dosilia pydanieli* (Volkmer-Ribeiro, 1992), *Corvomeyenia thumi* (Traxler, 1895), and *Metania spinata* (Carter, 1881) are found in the same restricted environmental conditions, which makes their spicules satisfactory proxies for a particular quaternary environmental condition (Docio, 2020). Generally, the phylum Porifera can provide satisfactory data on paleoenvironmental conditions at even older dates. Marine coralline sponges, for example, have been used to understand the growth procedure of a modern type of cryptic, light independent microbialite, its interaction with the benthic community, and significance as key facies. This study facilitated understanding of the environment of fossil metazoan-micritic microbialite reefs from Aptian and Albian Spanish reefs (Reitner, 1993). Sponge fossils are able to reconstruct particular paleoenvironmental conditions when considering proxies preserved along with their remains, for example, see Sánchez-Beristain and Reitner (2012) and Sánchez-Beristain et al., (2019). These studies reconstructed the marine environmental conditions for Triassic and Cretaceous dating, respectively.

Given the possibilities of environment responses from generalist or specialist species of inland sponge identified from spicule remains, what is the wealth of information aggregated to species? Specialist species live in specific conditions, while generalist species are plastic and able to live in extreme conditions, like degraded environments, or brackish water for example. For species identified from sponge spicules in sediment to be considered satisfactory proxies, they must provide answers congruent with those from other proxy data. In order to investigate this question, a paleoenvironmental reconstruction of a lake area situated on an ancient fluvial deposit, on the northeast coast of Brazil was carried out. Lakes are constantly subject to fouling processes and we use this principle as a hypothesis to explain their environmental condition during the time covered by the radiocarbon dating in this study. The following proxy data were considered: sedimentary analyses, phytolith data, and isotope data ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C^{14}). Sedimentological data provide information on the sediment transport of modern and ancient environments (Schnurrenberger et al., 2003; Tucker, 2014). Phytoliths are biogenic siliceous structures produced by plants through root absorption of silicic acid (Piperno et al., 1991). Thus, Phytolith assemblages preserved in sediments provide inferences on the characteristics of the vegetation community of the past (Coe et al., 2013). The combination of phytoliths, in most cases, can be used to identify up to the family taxonomic level, while the phytoliths of the Poaceae family can distinguish to the subfamily taxon (Twiss, 1969). Isotope data ($\delta^{13}\text{C}$) can determine the photosynthetic type (C_3 ; C_4 e CAM) from organic traces of plants (Meyers, 1994; Pessenda et al., 2005). The distinction of $\delta^{15}\text{N}$ serves as an indicator of the past presence of algae (Meyers, 1994). Reconstruction of past environmental conditions may provide data for degraded sites, in cases of an absence of information on pristine environmental conditions, existing prior to massive human occupation (Soga and Gaston, 2018). In this respect, paleoenvironmental

reconstruction may complement long-term ecological data by providing an even longer-term context for imagining the future, as part of a conservation proposal (Dietl, 2019). For example, Actualistic Taphonomy contributed to understanding the causes of biodiversity loss in live assemblages in fluvial settings from South Brazil (Ritter et al., 2016). Another study of marine sponge sub-fossil spicules has been conducted to estimate changes in diversity in the sponge community over time in a coastal area (Lukowiak et al., 2013).

Coastal areas are densely populated around the world (Confins, 2017). The high-density human populations in coastal areas cause environmental pressure leading to the alteration of coastal, terrestrial, and aquatic ecosystems (Creel, 2003). As such, siliceous remains from animals and plants, such as phytoliths and sponge spicules, in conjunction with multi-proxy analysis, can be useful in reconstructing the conditions of past landscapes and past climatology, as well as for current degraded regional environments (Zucol et al., 2005; Parolin et al., 2014).

This study is the first attempt at a Holocene environmental condition reconstruction of fluvial sedimentary deposits in the state of Rio Grande do Norte, Brazil, using the proxies mentioned above. This study aims to: 1) reconstruct paleoenvironmental conditions through multi-proxy analysis of a fluvial sedimentary deposit in the northeast of Brazil; and 2) evaluate the potential for using sponge spicules preserved in sediments, integrated with other proxy data, for application in studies aimed at reconstruction of past environment conditions.

Study area

The lakes selected for the present study are Lake Urtiga and Lake Fumo, which are in the form of depressions with maximum depths of about 2 m, formed over an ancient valley filled with alluvial sediments (Barreto et al., 2004), located near the mouth of the Trairí

River in São José do Mipibu – Rio Grande do Norte, Brazil (fig.1). Both lakes are approximately 650 m from the Trairí River and approximately 20 km from the coast, situated at 29 m above mean sea level (fig. 1 and fig. 2).

Lake Urtiga has an ellipsoidal shape with dimensions of 259 m (NE-SE) and 160 m (NW-E); Lake Fumo is located 200 m south of Lake Urtiga; it is 150 m in diameter and circular in shape, with dense colonization by aquatic macrophytes. Currently, more than 80% of the area of these lakes is covered by sediment. In the areas bordering the lakes there are natural fields and forests at an advanced stage of deforestation. Tree elements are scarce and the vegetation surrounding the lakes consists of Cyperaceae, Poaceae, Salvinaceae, Menyanthaceae, Pteridaceae, and Rubiaceae families.

[Figure 1]

[Figure 2]

The geological context of the area corresponding to the mouth of the Trairí River is marked by the formation of a graben (Bezerra et al. 1998), inserted at the boundary of the Barreiras and Potengi formation (Lucena, 1998). Based on the Köppen classification, the climate in the area is type As, which is tropical and rainy with dry summers and concentrated rains in the autumn. The rainfall in the study area corresponds to about 1,400mm per year and the mean annual temperature is 26.2°C (Diniz and Pereira, 2015).

Material and Methods

Sampling and sedimentology

A core was taken from Lake Urtiga (LUR) and another from Lake Fumo (LFU) in August 2017 (dry season - June to August - 560 mm). The sampling technique (percussion corer) made it possible to reach a maximum depth of 0.60 m from the bottom of LFU, with a water depth of 0.70 m; and 0.96 m from the bottom of LUR, with a water depth of 0.60 m. A longitudinal section of the core samples enabled characterization of structure, color,

and granulometry (texture) (Tucker, 2014). Fifty-two sediment samples taken at regular intervals of 3cm were analyzed, with 20 samples pertaining to Lake Fumo and 32 from Lake Urtiga. The criteria adopted to select the samples for analysis were: (1) representativeness of the sedimentary characteristics observed visually; and (2) regular intervals (3cm) in order to better observe changes in the bioindicators.

Grain-size analysis of coarse sediments was performed based on the sieving method, after separation of the finer sediments from the total sample. For this, 50g of material from the following depth ranges were used: LUR: 0.93m-0.96m; 0.54-0.57 m; and 0-0.06 m; LFU: 0.57-0.60 m; 0.48-0.51m; 0.15-0.18m; 0.09-0.12m; and 00-0.06m. Sediments were later classified based on Wentworth (1922) and Folk (1984) in order to verify deposition energy in the core sample. The morphoscopic analysis was performed based on Folk (1980), by counting and characterizing 100 grains of quartz in each selected sample, with concomitant observation of the composition of the sediments. For this, a magnifying glass with reflective illumination was used, in conjunction with TopView software, which enables detailed visualization and characterization of the material selected for analysis to verify the predominant sediment transport condition in the core. The colors of the sediments were described based on the Munsell Soil Color Chart (1975) to verify the predominant deposited material. The survey results were organized in stratigraphic charts, using Inkscape software.

Radiocarbon dating, isotope analysis and organic matter content

Two sediment samples, taken from the base of each core sample, were sent to the Center for Applied Isotope Studies (CAIS) for radioactive carbon dating, and seven samples were sent for $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope composition. The ages were obtained using the particle acceleration technique coupled with mass spectrometry (Accelerator Mass Spectrometry - AMS) (Biondi and Fessender, 1999). The dates were subsequently

calibrated through Calib Radiocarbon Calibration software (Stuiver et al., 2016), using the Intcal13 calibration curve (Reimer et al., 2013). Values of $\delta^{13}\text{C}$ vary according to the type of photosynthetic vegetation cycle: C_3 - 20 ‰; C_4 -12 to -8 ‰; and CAM -10 to - 20 ‰ (Meyers, 1994; Pessenda et al., 2005). However, algae with C_3 photosynthesis can only be distinguished from terrestrial plants of the same photosynthetic type through $\delta^{15}\text{N}$ isotopic analysis. These rates are 7 to 10 ‰ for algae and 0.5 ‰ for terrestrial plants (Peterson et al., 1985; Meyers and Ishiwatari, 1993). The percentage of soil organic matter (SOM) was obtained using the calcination method (loss on ignition), according to Schumacher, (2002), for which about 10g of sediment was used. The quantification of organic matter was determined by the difference between the initial weight (WI) and the final weight (WF) of the sample ($\text{OM} = \text{WI} - \text{WF}$).

Extraction and analysis of sponge spicules and phytoliths from sediment

Sponge spicule (Porifera) and phytolith (plant) verification was carried out with 1g of sediment from each sequence. This sample was treated with HNO_3 65%, and H_2O_2 , and centrifuged according to Volkmer-Ribeiro and Turcq (1996). Microscopy slides were prepared with 50 μl of the resulting centrifuged material. The slides were dried and mounted with Entellan (Merk), a non-aqueous mounting medium and coverslip. Five slides per sample were mounted, totaling 310 slides that have been cataloged in the Laboratory of Paleoenvironmental Studies (LEPAFE) at FECILCAM - (Cod. L.307 C. 25 - LFU; Cod. L.309 C. 26 - LUR). The slides were thoroughly examined (scanning) using an optical microscope, and fragmented and whole spicules were quantified. The same examination was conducted for phytoliths.

The identification of the sponge species from spicules found in the sediment was based on specialized bibliographies. The species names were used to search for ecological data

on sites like “world porifera data base” and “google scholar”, as well as, taxonomic papers and books. The phytolith morphotypes were identified using the International Code for Phytolith Nomenclature 1.0 (Madelo et al., 2005).

Microphotographs of the samples were taken with an optical microscope with a photographic camera attachment with TSView. The stratigraphic diagram was generated using Tilia Graph, based on the identification and quantification of the sponge spicules and phytoliths in the sediment. The zones of spicules and phytoliths were grouped through the calculation of dissimilarity matrices using the sum of squares of the Euclidean distances, called CONISS cluster analysis (Grimm, 1990).

Results

Lake Urtiga, LUR core sample

The composition of the LUR core sample (fig. 3) was found to be predominantly sandy stratigraphic packages (93-84%), with mud (13%) and gravel (5%) in lesser quantities (Wentworth, 1922; Pettijhon, 1975). Grain-size analysis points to a decreasing granulometric pattern in the sampled interval, with poorly-sorted sand, ranging from very coarse to coarse, with the presence of gravel at the base (0.96 m), and very fine to fine sand, with an increase in mud content up to the surface. Sand was made up of very coarse (between 17 and 10%), coarse (between 31 and 17%), medium (between 31 and 23%), fine (between 11 and 22%) and very fine grains (between 2 and 11%). Mud was present throughout the core sample and increases from the bottom (about 5-4%) to the top (13-6%). Gravel occurs at a depth of between 0.51 and 0.60 m (about 5%). The sand and gravel were predominantly composed of quartz mineral, with some trace minerals (heavy minerals) and organic-matter fragments. The quartz grain morphology was mainly angular (34-57%), followed by sub-angular (31-65%) (fig.3), with brightness ranging

between vitreous (3-28%) and matte (72-87%). Sand color varies between gray and white tones: grayish brown (2.5 Y5 / 2 - 0.96-0.90 m); white (5 Y 8 / 1– 0.89 and 0.85 m); light brownish gray (5 Y6/2 -0.84-0.60 m); very dark gray (5 Y3/1 0.59 - 0.30 m); and grayish brown (5 Y4/2 0.29-0.0 m) (fig. 3). Variations in the concentration of organic matter directly influenced the color of these sediments, with the exception of the material at depths between 0.89 and 0.85 m. It is likely that there had been material remobilization from slopes in the areas adjacent to the lakes, which are composed of sand with little influence from organic matter. The presence of organic matter varied across the LUR core sample from 1% (0.87m) to 10% (0.40m) (tab. 1). Between the depths of 0.65m and 0.01m, there were sparse bioturbations (roots in living position). Isotopic concentrations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ are between -23.19 and -25.24 ‰, and 5.04 and 7.55 ‰, respectively (tab. 1), which suggest the presence of terrestrial plants C_3 , C_4 and algae. The base of the core samples, at a depth of 0.90 m, is 1,940 cal. years BP.

[Figure 3]

[Table 1]

The LUR core sample had a significant amount of biomineralization (fig. 4). Dissimilarity analysis (CONISS), which is based on the occurrence and type of biomineralization, pointed to the existence of three distinct zones. These zones mark the essential recent and past environmental changes. A total of 551 biomineralized spicules were quantified, from which 478 fragments were unclassifiable within any of the spicule classes (megascleres, microscleres, and gemmuloscleres) and 73 were classifiable fragments.

In Zone I (0.96-0.66 m), there were no whole spicules and rare spicule fragments ($\square=1.5$).

In Zones II (0.66-0.35 m) and III (0.65-0.35) there were peaks of fragmented spicules and rare whole spicules. The species identified from these spicule remains were: *Heterorotula fistula* (Volkmer-Ribeiro and Motta, 1995) (Zone III, fig. 4) (fig. 6 Q);

Ephydatia sp. (fig. 6 R) (Zone III, fig. 4); *Dosilia pydanieli* (Volkmer-Ribeiro, 1992) (Zone II) (fig. 6 S); *Corvoheteromeyenina* sp (Zone III and II, fig. 4) (fig. 6 T); *Tubella variabilis* (Bonetto and Ezcurra de Drago, 1973) (Zone II, fig. 3) (fig. 6 U); *Radiospongilla inesi* (Nicacio and Pinheiro, 2011) (fig. 6 V); and *Anheteromeyenina* sp. (Zone II, fig. 4) (fig. 6 W) (tab. 2).

The phytolith assemblages from the LUR core samples had 2,166 biomineralizations. These included the occurrence of the following plant families: Arecaceae and/ or Bromeliaceae (cylindric sulcate tracheid and globular echinate (fig. 6 C-H)) (Rasbold et al., 2011); Poaceae (bilobate (fig. 6 A) and cross (fig. 6 B)); saddle (fig. 6 D); elongate psilate (fig. 6 L) and elongate echinate (fig. 6 M); rondel (fig. 6 E); cuneiform bulliform (fig. 6 G); parallelepipedal; bulliform (fig. 6 N); oblong (fig. 6-P) (Twiss, 1969; Piperno, 2006); Cyperaceae (papillae (fig. 6 J)) (Stevanato et al., 2019); and Dicotyledonous (globular psilate (fig. 6 I)) (Raitz et al., 2015). In this core sample, there was an increase in the diversity and number of phytoliths from bottom to top, which points to greater conservation due to the strength and resistance of the types found. In Zone I, there were only oblong phytoliths, all weathered, which did not occur in Zones II and III, in addition to rare bulliform parallelepipedal phytoliths (fig. 4). In Zone II and III, there was an increase in the number and diversity of phytoliths (bilobate, cross, cylindric sulcate tracheid, papillae, acicular hair cell, cuneiform bulliform, parallelepipedal bulliform, and elongate psilate).

[Figure 4]

Lake Fumo, LFU core sample

A predominantly sandy sediment (91-85%) followed by mud (13%) and gravel in lesser quantities (5.4%) was identified at a depth of 0.60m (fig. 2 B and 3). The sediments were poorly sorted and exhibited a decreasing granulometric pattern in the sampled intervals.

The sands consisted of very coarse sand (between 25 and 5.6%), coarse sand (between 24 and 13%), medium sand (between 19 and 13%), fine sand (between 22 and 13%) and very fine sand (between 27 and 9%) from the base of the core to the bottom of the lake. The muddy sediments presented an increase from the base (about 5-4%) to the top of the core sample. Gravel was present in a small amount at all levels (about 13-6%), occurring predominantly in the range between 0.60 and 0.49 m (about 5%) (fig. 3).

The sands and gravels were primarily composed of quartz, with some trace minerals and organic-matter fragments. The quartz grain morphology was mainly angular (95.2%), or sub-angular (4.8%) (fig.3); with brightness varying between vitreous (3-28%) and matte (76-50%), with a predominance of matte at all levels (fig. 3). The sediment colors varied between gray tones: very dark grayish brown (2.5Y 3/2 - 0.60-0.51 m); gray (2.5Y 5/1 - 0.50-0.48 m); black (2.5Y 2.5 /1 0.47-0.42 m); dark grayish brown (2.5Y 4/2 - 0.40-0.13 m); and very dark grayish brown (2.5Y 3/2 - 0.12-0.0 m) (fig. 3), possibly due to the different concentrations of organic matter between levels. The percentages of organic matter in the core sample ranged from 3% (0.60 m) to 14% (0.42 m) (tab. 1). The isotope values pointed to the influence of a vegetation cover composed of terrestrial plants (C_3 and C_4) and algae. The age of the radiocarbon at 0.46m was measured as 1,520 cal. years BP (tab. 1).

[Table 2]

Forty-one classifiable spicules and 65 unclassified fragments were quantified. Only the gemmuloscleres of the species *H. fistula* and spicules set of *C. heterosclera* were identified. These biomineralized spicules were preserved only in Zone III (fig. 5), which possibly points to an incipient colonization of the environment. However, neither population of these species have been found living in the lakes.

The phytolith assemblage was composed of 1,210 phytoliths, exhibiting an increase from the bottom to the top. This assemblage suggests the following plant families: Poaceae, Cyperaceae, and Arecaceae / Bromeliaceae. There were few phytoliths in Zone I, only elongate psilate and bilobate short cell (Poaceae). In Zone II, there was a decrease in bilobate, papillae (Cyperaceae) and globular echinate (Arecaceae / Bromeliaceae). Zone III was the most diverse in phytoliths, presenting elongate psilate and bilobate (Poaceae), papillae (Cyperaceae), globular echinate (Arecaceae / Bromeliaceae), and saddle and cylindric sulcate tracheid (Arecaceae).

[Figure 5]

[Figure 6]

Discussion

The two lakes analyzed in this study were formed as depressions on an ancient fluvial sedimentary deposit and have been filled by sediments from high adjacent areas. The fluvial deposit has been exposed since the last sea regression in the Holocene, about 6,000 years BP (Barreto et al., 2004). It is located within the mouth of a large paleochannel about 4 km wide (Melo, 2000), and with a maximum bank height of about 59 m, which is near the two studied lakes (fig. 2). The morphoscopy analysis of the LUR and LFU sediments did not indicate any relation with water traction within dating reached by radiocarbon analysis (1,940-1,520 cal. Year BP, tab. 1). In addition, current discharge of the Trairí River measured about $3.86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Lucena, 1999), and has no stream competence to transport sediments (Vital et al., 2004) to the studied area, even in flooded conditions. The angular and subangular features of poorly-sorted, young and mainly matte grains are typical of wind remobilization after deposition (Tucker, 2003; Buggs, 2006; Dias, 2014). These data support the interpretation of colluvium transport to the lakes.

The decreasing granulometric trend in both core samples (fig. 3) suggests a decrease in kinetic energy from the base, with respective ages of 1,940 (LUR) and 1,520 (LUR) cal. years BP, to the top. This trend can be interpreted as an indication of changes in past pluviometric conditions. The base core, composed of coarse and mainly matte sand, indicates high transport energy during the rainy season. Wind traction and waves transport colluvial sediments from the high bank to low parts of the valley where the lakes and humid areas are located (fig. 1, fig. 2). The deposition of coarse white sand in the LUR core sample (0.89-0.70m) corroborates this claim, because there is a marked difference in color from the deposited sediments. The medium and fine sand to mud deposition in both LUR (0.65 to 0.03m) and LFU (0.21 to 0.03m) cores indicates low energy transport suitable to lentic conditions. The accumulated biomineralizations (sponge spicules) (0.65-0.3m of LUR core) corroborate this claim, mainly because there are conserved remains of the sponge assemblage at about 0.45m of the LUR core.

Zone I of both the LUR and LFU cores

Scarce fragmented unclassified spicules (fig.4, Zone I) and phytoliths (fig. 4 and fig. 5, Zone I for both LUR and LFU cores) were found in preserved condition, in the coarse sand. Although unusual, this can be explained by micrometric biomineralized particles percolating through the spaces between grains in this kind of material (Alexandre et al., 1997; Küerten et al, 2013; Coe et al., 2015; Souza et al., 2019). Fragmentation should be expected in environments subject to high disturbance rates, as has occurred with fossil accumulation from reefs (James and Bourque, 1992). The biomineralized fragments present in the coarse sandy sediments suggest that they were quickly buried and transported along with colluvial sediment to the lake. Spicule breakdown may be due to the degree of energy during deposition (0.90-0.65 m) (fig. 4; Zone I). Currently, the eastern coastal region of Rio Grande do Norte has the highest humidity in the state, with

an average annual rainfall of 1,400 mm during the rainy season and a dry season of only three months of the year (Vital et al., 2006; Diniz and Pereira, 2015).

[Figure 7]

The few phytoliths found in Zone I of the LUR and LFU core samples (see fig. 4 and fig. 5) characterize the formation of a field dominated by grasses (Poaceae) (Twiss, 1969; Piperno et al., 1991). Among plant families identified in the phytolith morphotype classification in this study, there were specimens that occur in highly humid areas (Souza and Lorenzi, 2012), which is conducive to $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis (tab.1). It suggests the presence of C_3 and C_4 plants, as well as algae (Peterson et al., 1985; Meyers and Ishiwatari, 1993; Lorente et al., 2015) (tab. 1). The $\delta^{15}\text{N}$ data pointed to a perennial humid soil even in dry climate season (Ladchuck et al., 2016).

Zone II of both the LUR and LFU cores

In Zone II of the LUR core sample, the decrease in sediment size enabled the preservation of biomineralized particles (intervals 0.65-0.03 m from the bottom to the top of the core). The kinetic decrease in water traction, which deposited medium to fine sand and mud in the area, suggests a decrease in rainfall. It is possible that the area was similar to an open shallow swamp (fig. 7 A) composed of grasses (Poaceae, Cyperaceae), palm trees (Arecaceae) (Rasbold et al., 2011; Stevanato et al., 2019), and shrub formations (Eudicotyledonous) (Raitz et al, 2015; Mozer et al., 2019), considering that these families can occur in conditions of high humidity (Sousa and Lorenzi, 2012). In addition, the evidence of bioturbation (roots in living position, fig. 3) corroborates the interpretation of conditions in shallow lakes colonized by aquatic macrophytes (fig. 7 B). Since spicules are absent in Zone II of the LFU sample even more recently than 1520 cal. years BP (fig.5), it is possible that the sponges had not yet colonized the area. However, in the LUR core sample, the presence of a community composed of five sponge species was identified

in Zone II, indicating that the water level of the lake was stable even before the 0.50 to 0.40 m interval (fig. 3, fig. 4).

Sediment color with variation from gray to black colors denotes significant preservation of organic matter (Schulze, 1993; Demattê et al., 2011), which comes mainly from plants (Cunha et al., 2015) located in the area. The rates of soil organic matter indicate the distance of the material from the source area, thus higher organic matter concentrations are close to the source area, while lower concentrations are more distant. (Silvestre et al., 2017). However, these rates can also reveal oxygen concentration levels, soil depth and aggregate size, favoring either decomposition or preservation of the organic matter through aerobic microbial activity (Vor et al., 2002; Schellenberger et al., 2011). Therefore, the high percentage (tab. 1) of organic matter preserved at the ~0.40 m interval for both core samples suggests dry conditions with a low water column and oxygen concentration. These conditions also support the preservation of spicules in the sediment. The comparison of the information provided by the species identified through the spicules found in the sediment indicate that *D. pydanieli* is the only species in this core sample that corroborates the paleoenvironmental conditions determined by the other proxies. *D. pydanieli* is restricted to shallow aquatic environments, and may be associated with macrophytes (Volkmer-Ribeiro et al., 1998; Volkmer-Ribeiro and Machado, 2007) and a sandy bottom (Volkmer-Ribeiro, 1992; Candido et al., 2010). Other species have limitations as proxies for characterizing this environment, because they are generalist species and are not restricted to the paleoenvironmental conditions indicated by the complementary proxy data, or the taxonomic information is insufficient for identification at the specific level (Docio, 2020). Therefore, the presence of *Anheteromeyenia* sp. only indicated the existence of a lentic environment. However, the spicules that would make possible the differentiation between the two known species of the genus *Anheteromeyenia*

for Brazil, *A. vitrea* (Buso and Volkmer-Ribeiro, 2012), and *A. diamantina* (Calheira and Pinheiro, 2018), were not found in the LUR or the LFU cores. Although these two species are restricted to lake environments, they grow on different substrates. For example, *A. vitrea* has been found on dry grasses in a flooded area in the state of Espírito Santo and *A. diamantina* in the rocky walls of a lentic formation called Poço Halley in the Lençóis River at Chapada Diamantina in the state of Bahia (Calheira and Pinheiro, 2018). Three other species belonging to the genus *Corvoheteromeyenia* were not considered efficient proxies because they are not restricted to lentic conditions in lakes covered by macrophytes on a sandy bottom (tab.2). These species can be distinguished from each other by the spicule set. *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974) is distinguished from *C. australis* (Bonetto and Ezcurra de Drago, 1966) by the presence of acanthoxeas microscleres, while *C. sanidastosclera* (Pinheiro, Silva and Calheira, 2015) can be distinguished from each other by the presence of sanidaster gemmuloscleres. *Corvoheteromeyenia heterosclera* has also been found on consolidated substrates, on aquatic macrophytes, and in lentic and lotic environments (Nicácio and Pinheiro, 2015). It can also occur in both well-preserved or poorly-preserved environments (Calheira & Pinheiro, 2016). *Corvoheteromeyenia australis* occurs in well-preserved environments, and has been found on consolidated substrates, and on aquatic macrophytes in lentic and lotic conditions (Volkmer-Ribeiro et al., 1999; Tavares et al., 2003; Calheira and Pinheiro, 2016). *Corvoheteromeyenia sanidastosclera* has been found in artificial fish tanks (Calheira and Pinheiro, 2016) and cannot indicate any environmental condition until being found in the natural environment. *Radiospongilla inesi* is a species that has been collected on a concrete substrate in shallow perennial waters, both lotic and lentic, in remnants of Atlantic Forest (Nicácio et al. 2011). *Tubella variabilis* is also a species that occurs in both lentic and lotic environments, and may be associated with both

macrophytes (Bonetto and Ezcurra de Drago, 1973, Volkmer-Ribeiro et al., 1998; Volkmer-Ribeiro and Machado, 2009; Nicácio and Pinheiro, 2015) and consolidated ground (Nicácio and Pinheiro, 2015).

Zone III of both the LUR and LFU cores

In Zone III, the fine sediments indicate even shallower water in both lakes. The vegetation remains similar to that of the other zones, including the Cyperaceae family. Poacea, Arecacea, Cyperacea and Eudicotyledonous were also identified for past coastal environments in the state of Espírito Santo ~ 7,600 BP. (Lorente et al., 2015), where they characterized delta or restinga environmental conditions. However, restinga (coastal) environments are not favorable for the production and accumulation of phytoliths, except for the Cyperacea and Poaceae families (Coe et al., 2015), which are excellent sources of biomineralized specimens (Piperno, 2006). Finally, in Zone III, a large part of the vegetation cover no longer exists, and the study area has undergone profound anthropic transformations, such as extraction of the existing tree cover. Today, the lake area has native herbaceous and grass plants and is used for cattle grazing (fig. 7 C).

Among the three species of sponge found in Zone III of the LUR sample and the two species from the LFU sample, only the spicules of *H. fistula* indicated an environment congruent with that inferred from other proxy data at this level. Although this species has not yet been found alive and has, therefore, only been described by spicules preserved in the soil, the environment in which it occurred has been reconstructed based on the living sponge community, also present in the same sediment where *H. fistula* was discovered (Volkmer-Ribeiro and Motta, 1995). Thus, *H. fistula* is restricted to seasonal pond environments and environments inhabited by aquatic macrophytes (Volkmer-Ribeiro et al., 1988; Volkmer-Ribeiro and Motta, 1995). *Ephydatia* sp. was found in this same zone of the LUR core sample and does not resemble any of the species already known to the

genus, and may be a new species. However, the spicule remains found did not support a taxonomic description. By comparison with other species of the same genus it is possible to say that neither of the two species identified in Brazil, *E. caatingae* (Nicácio and Pinheiro, 2015) and *E. facunda* (Weltner, 1895), can confirm the paleoenvironmental reconstruction inferred from the other proxies. *Ephydatia caatingae* occurs in lotic environments and *E. facunda* is found in a variety of continental lotic, lentic, mesohaline or oligohaline aquatic environments. If the congeners of *Ephydatia* sp. are generalist in terms of the range of environments that it is capable of colonizing, and its ecology remains unknown, it is not a good proxy for the reconstruction of that environment.

Broken spicules

Peaks of fragmented spicules are usually attributed to the kinetic action related to water transport – area flooded by river water flow (Kürten et al., 2013). However, these peaks were found in Zones II and III of the LUR and Zone III of LFU without any evidence of indicators of increased humidity or flooding. Thus, there is a possibility that they were broken by wind traction energy (Wilding and Drees, 1968; Shwands and Collins, 1994) in the lake area during the dry period, and consequently, reduced by the water and wave formation.

Conclusion

Among the seven species of sponge identified through the spicules found in the sediment, only two, *D. pydanieli* and *H. fistula*, corroborated the environmental conditions indicated by the multi-proxy analysis. Identification of sponge species from spicule remains, when possible, enables a wealth of information on environmental interpretations. This is because only at the specific level is it possible to distinguish generalist from specialist species for different environmental conditions. The reconstruction of the paleoenvironmental conditions of Lake Urtiga and Lake Fumo that was undertaken, based

on a multi-proxy analysis, points to a condition of a flooded area, colonized by aquatic macrophytes, in an active process of sediment filling, both in rainy and dry seasons.

Acknowledgments

This work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES) - financing code 001. Thanks to the National Counsel of Technological and Scientific Development (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq) for the PHD scholarship - PROTAX-CNPQ - Proc. 440620 / 2015-5. The State University of Bahia (UNEB). The Laboratory of Paleoenvironmental Studies (Lepafe) – The State University of Paraná (UNESPAR). The Laboratory of Porifera – (Labpor) – Federal University of Pernambuco (UFPE). The Laboratory of Nature Dynamics – (Labdin) – State University of Rio de Janeiro (UERJ). Special thanks to geographer Fernando Henrique Villwock.

References

- Almeida, A.C.S., Volkmer-Ribeiro, C. 2009. Espículas de Esponjas continentais nos sedimentos Cenozóicos do Noroeste de Minas Gerais, como indicadores Paleoambientais. *Revista Brasileira de Paleontologia* 12(2):123-138.
- Alexandre, A., Meunier, J.D., Lézine, A.M., Vincens, A. Shwartz, D. 1997. Phytoliths: Indicators of Grassland Dynamics during the Late Holocene in Intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136: 213–29. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(97\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(97)00089-8).
- Barreto, A.M.F.; Suguio, K.; Bezerra, F.H.R.; Tatumi, S.H.; Yee, M.; Giannini, P.C.F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Norte. *Geologia Série Científica* (4) 2 1-12.
- Batista, T.C.A.; Volkmer-Ribeiro, C.; Darwich, A.; Alves, L.F. 2003. Sponge as indicators of floodplain lake environments and of river rocky bottoms in Central Amazonian. *Amazoniana* XVII (3/4): 525:549. Doi: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2004000200001>.
- Batista, T.C.A., Volkmer-Ribeiro, C.; Melão, M.G.G. 2007. Espongofauna da área de proteção ambiental Meandros do Rio Araguaia (Go, MT, TO), Brasil, com descrição

- de *Ieteromeyenia cristalina*, sp nov. (Porifera, Demospongiae). *Revista Brasileira de Zoologia* 24(3):608-630.
- Bezerra, F. H. R., Lima-Filho, F. P., AMARAL, R. F., Caldas, L. H. O. e Costa-Neto, L. X. 1998. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: Stewart, I. S.; Vita-Finzi, C. (eds) *Coastal Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 146: 279-293. DOI: 10.1144/GSL.SP.1999.146.17.
- Boggs, S. 2006. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. 4th. Ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, pp 676.
- Biondi, F. Fessenden, J.E. 1999. Radiocarbon Analysis of pinus lagunae tree rings: implications for tropical dendrochronology. *Radiocarbon*. 41 (3): 241-249. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200057118>.
- Bonetto, A.A., Ezcurra de Drago, I.D. (1966) Nuevos aportes al conocimiento de las esponjas areginas. *Physis* XXVI(71): 129-140.
- Bonetto, A.A.; Ezcurra de Drago, I. 1973. Las esponjas del Género *Trochospongilla* Vejdovsky em aguas argentinas. *Physis* 32(84): 13-18.
- Buso, A. A., Volkmer-Ribeiro, Pessenda, L.C.R.; Machado, V.S. 2012. *Anheteromeyenia vitrea*, new species of continental sponge in Brazil. *Neotropical Biology and Conservation* 7(3):148-157. DOI: 10.4013/nbc.2012.73.01.
- Calheira, L., Pinheiro, U. 2016. *Corvoheteromeyenia* Ezcurra de Drago. 1979. (Spongillidae, Porifera): Genus review with proposal of neotype of *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974). *Zootaxa* 4126 (3): 351-374. Doi:<http://doi.org/10.11646/zootaxa.4126.3.3>
- Calheira, L. L. Pinheiro, U. 2018. A new species of *Anheteromeyenia* (Porifera, Demospongiae) with an emended diagnosis of the genus. *Zootaxa* 4378(1):129-136. DOI:10.11646/zootaxa.4378.1.9.
- Candido, J.L., Volkmer-Ribeiro, C.; Fürstenau-Oliveira, K. 2010. *Dosilia* (Porifera: Demospongiae) redefined. *Iheringia. Série Zoológica* 100(4):425-448. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212010000400017>.
- Carter, H. J (1881) History and Classification of the known Species of *Spongilla*. *Annals and Magazine of Natural History*, (5) 7(38): 77–107. <https://doi.org/10.1080/00222938109459483>
- Coe, H.H. G.; Gomes, J.G., Chueng, K.F. 2013. Exemplos de Reconstituições vegetais e inferências de paleoclimas no Estado do rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (Fitólitos) e isótopos de carbono. *Revista Tamaios* 9(1): 86-106. DOI: 10.12957/tamoios.2013.5363.
- Coe, H.H.G., Ramos, Y.B.M., Santos, C.P.; Silva, A.L.C., Silvestre, C.P., Borrelli, N., Sousa, L.O.F. 2015. Dynamics of production and accumulation of phytolith

- assemblages in the Restinga of Marica, Rio de Janeiro, Brazil. *Quaternary International* 30: 1-12.
- Confins. A população do Brasil em 2017. *Confins* (En ligne) 32. Available at: <http://journals.openedition.org/confins/12389>. Access 01 mar. 2020. DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.12389>.
- Cunha, T.J.F.; Mendes, A.M.S.; Giongo, V. 2015. Matéria orgânica do solo. In: n: Nunes, R. R.; Rezende, M.O. (Org.). *Recurso solo: propriedades e usos*. São Carlos: Cubo, 273-293.
- Creel, L., 2003. *Ripple Effects: Population and Coastal Regions*. Population Reference Bureau, Washington, DC.
- Demattê, J.A.M., Bortoletto, M.A.M., Vasques, G.M., Rizzo, R. 2011. Quantificação de Matéria Orgânica do Solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. *Solos e nutrição de plantas* 70(3):590-597.
- De Rosa-Barbosa, R. 1984. Reavaliação da fauna espongológica continental do Estado do rio Grande do Sul frente a Novas descobertas. *Iheringia série Zoológica* 64: 127-148.
- Dias, J. A. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. Universidade do Algarve.
- Dietl, G.P. Conservation Paleobiology and the shape of things to come. *Philosophical transactions Royal Society Publisher B* 374: 20190294. Doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0294>
- Diniz, M.T.M; Pereira, V.H.C. 2015. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas Atmosféricos Atuantes e Mapeamento de Tipos de Clima. *Boletim Goiano de geografia* 35(3): 488-506.
- Docio, L. 2020. O que os mortos podem contar? Espículas de Esponjas como Ferramentas para Reconstituição Paleoambiental. Universidade Federal de Pernambuco.
- Ezcurra de Drago, I. (1974) Las esponjas sudamericanas de Corvomeyenia Weltner (Porifera: Spongillidae). *Physis* 33(87):233-234.
- Ezcurra de Drago, I. (1979b) Um Nuevo Genero sudamericano de esponjas: Corvoheteromeyenia gen. nov. (Porifera, Spongillidae). *Neotropical* 25(74): 109-118.
- Folk, R.L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company. Austin, Texas.
- Folk, R. L. 1984. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rocky nomenclature. *The Journal of Geology* 62 (4): 344-359. DOI: <https://doi.org/10.1086/626171>.

- Grimm, E. C. 1990. Tilia and Tilia graph: pc spreadsheet and graphics software for a pollen data. *INQUA – Commission of the study of the Holocene , working group on data-handling Methods Newsletter*. Available at : <http://www.chrono.qub.ac.uk/inqua/news4/nl4-ecg2.htm>. Accessed on 22 June 2015.
- Harrison F. W., Gleason P. J., Stone P. A. 1979. Paleolimnology of lake Okeechobee, Florida: an analysis utilizing spicular components of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Notulae Naturae Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 454: 1-6.
- James, N.P., Bourque, P.A. 1992. Reefs and mounds. In: R. Walker and N.P. James (Editors), *Facies Models Response to Sea-level Change*. Geological Association of Canada 17: 323-347.
- Küerten, S., Parolin, M., Assine, M.L., Mcglue, M.L. 2013. Sponge spicules indicate Holocene environment changes on the Nabileque River floodplain, Southern Pantanal, Brazil. *Journal of Paleolimnology* 49: 171-183. Doi: 10.1007/s10933-012-9652-z
- Ladchuk, D.P.P.T.; Parolin, M.; Bauermann, S.G. 2016. Recuperação de Palinomorfos e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) em sedimento turfoso e seu significado paleoambiental para a região de Campo Mourão, Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9(4): 1183-1193.
- Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., Calegari, M.R., Cohen, M. C.L, Rossetti, D., Giannini, P.C.F., Buso Junior, A.B. Castro, D. A. F., França, M.C.; Bendassolli, J.A., Macario, K. 2015. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espírito Santo State (Brazil) Quaternary and Environmental Geosciences 06(1):26-40.
- Lucena, L. R. F. 1998. Implicações tectônicas na hidrologia do aquífero Barreiras e sistema lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Lukowiak, M., Pisera, A., O’dea, A. Do spicules in sediments reflect the living sponge community? A test in Caribbean shallow water lagoon. *Palaos* (28): 373-385.
- Machado, V. S.; Volkmer-Ribeiro, C., Ianuzzi, R. 2016. Investigation of freshwater sponges spicules deposits in a karstic lake in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 76 (1): 36-4436. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.09814>
- Madella, A.; Alexandre, A., Ball, T. 2005. International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96: 253–260.
- Melo, F. T. L. 2000. Aspectos morfo-dinâmicos do Complexo Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras, Região Costeira Sul Oriental do RN. 2000. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- Meyers, P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114: 289-302. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).
- Meyers, P.A. 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry* 34: 261-289.
- Meyers, P., Ishiwatary R. 1993. Lacustrine organic geochemistry – an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry* 20(7): 867-900. DOI: [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90100-P](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90100-P).
- Mozer, H. J., Calegari, M.R., Souza, E., Madella, M., Vidal-Torrado, P., Marcolin, L. Macedo, R.S. 2019. Fingerprinting Fitolítico de Fitofisionomias Florestadas do Bioma Mata Atlântica. *Revista Perspectiva Geográfica*. 14(20): 84-85.
- Munsell Soil Color Company. 1975. Munsell soil color charts. Munsell color. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA.
- Nicácio, G. Severi, W., Pinheiro, U. 2011. New species of *Radiospongilla* (Porifera: Spongillidae) from Brazilian inland Waters. *Zootaxa* 3132: 56–63. DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3132.1.2>.
- Nicácio, G., Pinheiro, U. 2015. Biodiversidade of Freshwater sponges (Porifera:Spongilina) from Northeast Brazil: new species and notes on systematics. *Zootaxa* 3981 (2): 220-240. DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3981.2.4>.
- Parolin, M., Volkmer-Ribeiro, C., Stevaux, J. C. 2008. Use of spongofores as a proxy for river-lake paleohydrology in quaternary deposits of central-western Brasil. *Revista brasileira de paleontologia* 11(3):187-198.
- Parolin, M., Rasbold, G.G., Pessenda, L.C.R. 2014. Paleoenvironmental conditions of Campos Gerais, Paraná, since the late Pleistocene, Based on Phytoliths and C and N Isotopes. In: Coe, H.H.G.; Osterrietch, M. (eds). *Synthesis of some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)*. Nova Science Publishers pp 149-170.
- Pessenda, L. C. R., Gouveia, S. E.M., Freitas, H.A., Ribeiro, A.S., Aravena, R., Bendassolli, J.A., Lendru, M., Sieffeddine, A. F.; Scheel-Ybert, R. 2005. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: Souza, C. R.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.; Oliveira, P.E. *Quaternário do Brasil*. Holos Editor: Ribeirão Preto-SP.
- Peterson, B. J.; Howarth R. W.; Garrit R.H. 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227: 1361-1363. DOI:10.1126/science.227.4692.1361.
- Pettijohn, F.J.1975. *Sedimentary Rocks*. 3º ed. *Harper and Row publishers*. 68-81.
- Peterson, B. J.; Howarth R. W.; Garrit R.H. 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarin food webs. *Science*, 227: 1361-1363. DOI:10.1126/science.227.4692.1361

- Pinheiro, U., Hajdu, E., Correia, M.D. 2004. First description of gemmules of *Ephydatia facunda* Weltner, 1895 (Porifera, Haplosclerida, Spongillidae) by scanning electron microscopy with underwater observations of a large population from north-eastern Brazil. *Journal of Natural History* 1071-1080.
- Pinheiro, U., Hajdu, E., Caballero, M.E. 2003. Três Novos Registros de Esponjas (Porifera, Demospongiae) para águas continentais do Estado de São Paulo. *Boletim do Museu Nacional. Nova Serie Zoologica*. 498: 1-14.
- Pinheiro, U., Nicácio, G. 2012. Resurrection and redefinition of the genus *Tubella* (Porifera: Spongillidae) with a worldwide list of valid species. *Zootaxa* 3269: 65-68. Doi: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3269.1.6>.
- Pinheiro, U., Calheira, L. 2020 Porifera. In: Damborenea, C. Thorp, J.H., Rogers, D.C (eds.). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. 4^a edition. Vol. 5: Keys to Neotropical and Antarctic fauna. Academic Press: New York
- Piperno, D.R. 1991. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. *Journal of World Prehistory*. 5(2):155-191.
- Piperno, D. R. 2006. Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Oxford: AltaMira Press.
- Raitz, E., Calegari, M.R., Paisani, S.D.L. 2015. Inventário de fitólitos da floresta ombrófila mista: subsídios para estudos paleoambientais. *Quaternary environmental geosciences* 6(2):18-35.
- Rasbold, G.J., Monteiro, M.R., Parolin, M., Caxambú, M.G., Pessenda, L.C.R. 2011. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb, Rodr.) L.H. Baylei (Arecaceae). *Iheringia, série botânica* 66(2):265-270.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869–1887.
- Reitner, J. 1993. Modern Cryptic Microbialite/Metazoan Facies from Lizard Island (Great Barrier, Australia) Formation and Concepts. *Facies* (29): 3-40.
- Riter, M.N., Francesco, C.G., Erthal, F., Hassan, G.S, Tietze, E., Martínez, S.A. 2016. Manifesto of the South America school of (Actualistic) taphonomy. *Palaios* (31): 20-24.
- Sánchez-Beristain, F., García-Barrera, P., Moreno-Bedmar, J.A. 2019. *Acanthochaetetes Acanthochaetetes huaucillensis* nov. sp. (Porifera: Demospongiae) from the Lower Cretaceous of Oaxaca, Mexico, and its palaeoecological, palaeobiogeographic and stratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 91: 227-238.

- Sánchez-Beristain, F., Reitner, J. 2012. Paleoecology of microencrusts and encrusting “coralline” sponges in Cipit boulders from the Cassian formation (upper Landinian-lower Carnian, Dolomites Northern Italy). *Paläontologische Zeitschrift* 86:113-133.
- Schellenberger, S., Drake, H. L., Kolb S. 2011. Functionally Redundant Cellobiose-Degrading Soil Bacteria Respond Differentially to Oxygen. *Applied and Environmental Microbiology* 77 (1): 6043-6048. doi:10.1128/AEM.00564-11.
- Schnurrenberger, D., Russel, J., Kelts, K. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29: 141-154. DOI: 10.1023/A:1023270324800.
- Schulze, D.G. et al. 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. In: Bigham, J.M.; Ciolkosz, E.J. *Soil color*. Madison: Soil Science Society of America. 31: 71-90.
- Schumacher, B.A. 2002. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. Ecological Risk Assessment Support Center. US. Environmental Protection Agency. pp.23.
- Shwands, L.P., Collins, M.E. 1994. Distribution and Significance of Freshwater Sponge Spicules in Selected Florida Soils. *Transactions of American Microscopical Society*. 113(3): 242-257. DOI: 10.2307/3226620.
- Sifeddine, A; Fröhlich, F; Fournier, M.; Martin, L; Servant, M; Soubiès, F., Turcq, B; Suguio, K Volkmer-Ribeiro, C. (1994) La sédimentation Lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30000 dernières années (Cariacou, Amazonie, Brésil). *Comptes Rendus de L'Académie des Science*, 318 (3): 1645-1652
- Silvestre, C.P., Silva, A.L.C., Silva, M.A.M., Batista-Neto, J.A.; Vasconcelos, S.C. 2017. Geomorphology, sedimentation and processes in the Maricá Lagoon, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 18(2):237-255.
- Soga, M., Gaston, K.J. 2018. Shifting baseline syndrome: causes, consequences and implications. *Front. Ecol. Environm.* The Ecology Society of America. 1-9. Doi: 10.1002/fee.1794.
- Sousa, V.C., Lorenzi, H. 2012. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado na APG III*. 3ª ed. Nova Odessa, São Paulo. Instituto Plantarum.
- Souza, E. Calegari, M.R., Torrado, P.V., Madella, M., Macedo, R.S. 2019. Análise Fitolítica Aplicada na reconstituição paleoambiental na ESEC Caetetus – Galia (SP). *Revista Perspectiva geográfica* 14(20): 96-106.
- Stevanato, M., Rasbold, G.G., Parolin, M., Luz, L.D., Lo, E., Weber, P., Trevisan, R., Caxambu, M.G. 2019. New characteristics of the papillae phytolith morphotype recovered from eleven genera of cyperaceae *Flora*. 253: 49-55. DOI: 10.1016/j.flora.2019.03.012.

- Stuiver, M., Reimer, P.J., Reimer, R.W. 2016. *CALIB 7.1*. Available at: <http://calib.org/calib/calib.html>; accessed on June,12, 2018.
- Tavares, M.C.M., Volkmer-Ribeiro, C., de Rosa-Barbosa, R. 2003. Primeiro Registro de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto & Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 20(2): 169-182. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752003000200001>
- Tavares-Frigo, M.C., Volkmer-Ribeiro, C., de Oliveira, A.E.Z., Machado, V.S. (2015) Freshwater sponge from Pampa Biome, Brazil. With description of a new species of *Oncosclera*. *Neotropical Biology and Conservation*. 10(3) 110-122.
- Traxler, L. (1895) Spikule von sübwasserschwämmen aus brasilien, *Földtany Közlöny*, 25: 62–64.
- Tuker, M. E. 2014. Rochas sedimentare: guia geológico de campo. Ed. Bookman, Rio de Janeiro.
- Tucker, M. E. 2003. *Sedimentary Rocks in the field*. 3rd. Ed. The Geological field Guide Series. Chichester: Wiley, pp.249
- Twiss P.C., Suess E., Smith R.M. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33:109-11.
- Vital, H. Silveira, I.M., Amaro, V.E., Melo, F.T.L. Souza, F.E.S., Chaves, M.S., Lima, Z.M.C. EP Frazao, E.P.; Tabosa, W.F.; Araújo, A.B., Souto. W.V.S. 2006. Rio Grande do Norte. In: Muehe, D. (Org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília. Ministério do Meio ambiente.
- Volkmer-Ribeiro, C., 1992. The freshwater sponges in some peat-bog ponds in Brazil. *Amazoniana*, 12 (2): 317 - 335.
- Volkmer-Ribeiro, C., Correia, M.M.F., Brenha, S.L.A., Medonça, M.A. (1999) Freshwater sponge from a Neotropical sand Dune Area. *Memoirs of the Queensland Museum*. Brisbane. 44: 643-649.
- Volkmer-Ribeiro, C., Machado, V.S. 2007. Freshwater sponges (Porifera, Demospongiae) indicators of some coastal habitats in South America: redescrptions and key to identification. *Iheringia, Série Zoológica* 97(2):157-167. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212007000200005>
- Volkmer-Ribeiro, C., Machado, V.S. 2009. Freshwater sponge (Porifera, Demospongiae) in a benthic filter feeding community at the Guanacaste dry forest, Costa Rica. *Iheringia série Zoológica* 99(4): 335-344. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212009000400001>
- Volkmer-Ribeiro, C., Mansur, M.C.D., Mera, P.A.S., Ross, S.M. 1988. Biological indicators in aquatic habitats of the Ilha Maricá. In: W. Milliken e J.A. Ratter (eds).

- Maracá – The biodiversity and environment of an Amazonian Rainforest. Chichester, John Willey Sons.
- Volkmer-Ribeiro, C.; Motta, J.F.M. 1995. Esponjas formadoras de espongilitos em lagoas no Triângulo Mineiro e adjacências, com indicação de preservação de habitat. *Biociências*. 3(2):145-169.
- Volkmer-Ribeiro, C., Motta, J.F.M., Callegaro, V.L.M. 1998. Taxonomy and distribution of brazilian spongillites. In:Wanabe, Y. e Fusetani, N. (eds). *Sponge Sciences*, Tokyo: Springer-Verlag, Tokyo, Japan, p. 271-278.
- Volkmer-Ribeiro, V.; Correia, M.M.F. Brenha, S.L.A.; Mendonça, M.A. 1999. Freshwater Sponges from a Neotropical Sand Dune Area. *Memoirs of Queensland museum* 643-649.
- Volkmer-Ribeiro, C., Parolin, M. 2010. As esponjas. In.: Parolin, M.; Volkmer-Ribeiro, C.; Leandrini, J.A. *Abordagem ambiental e interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná*. Editora da Fecilcam: Campo Mourão.
- Volkmer-Ribeiro, C., Turcq, B. 1996. *SEM*. Analysis of siliceous spicules of freshwater sponge indicate environmental changes. *Acta Microscopica*. 5: 186-187.
- Vor, T. Dyckmans, J., Flessa, H., Heese, F. 2002. Use of microcalorimetry to study microbial activity during the transition from oxic to anoxic conditions. *Biology Fertil. Soil*. 36: 66-71. DOI 10.1007/s00374-002-0510-4.
- Weltner, W. (1895) Spongillidenstudien III. Katalog und Verbreitung der bekannten Süßwasserschwämme. *Archiv für Naturgeschichte*, 61(1):114 –144.
- Wentworth, C.K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*. 30 (5): 377-392.
- Wilding, L.P. Drees, L.R. 1968. Distribution and implication of sponge spicules in surficial deposits in Ohio. *The Ohio Journal of Science*. 68(2):92-99.
- Zucol, A.F., Brea, M., Scopel, A. 2005. First record fossil wood and phytolith assemblages of the late Pleistocene in El Palmar National Park (Argentina). *Journal of south American Earth Sciences* 20: 33-43.

Table 1 – Radiocarbon dating (AMS) and isotopic signs ($\delta^{13}\text{C}\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$) of Lake Urtiga (LUR core) and Lake Fumo (LFU core)

Depth (cm)	Lab. Code	Age	Cal. Age 2 σ	Soil Organic Matter (%)	δC^{13} (‰)	δN^{15} (‰)
Lake Fumo						
18		-	-	0.90	-	-
30		-	-	7.00	-20.66	6.76
42		-	-	14.00	-	-
45		-	-	-	-23.31	6.46
46		1,620 $\pm$ 25	1,523	-	-21.09	-
60		-	-	3.00	-	-
Lake Urtiga						
12		-	-	-	-23.26	5.04
24		-	-	0	-	-
30		-	-	-	-23.19	7.55
36		-	-	0	-	-
45		-	-	10.00	-	-
63		-	-	9.00	-	-
74		-	-	-	-24.84	7.26
80		-	-	-	-25.24	7.26
92		-	-	1.00	-	-
96		1,990 $\pm$ 25	1,939	-	-23.26	-

Table 2 – Environmental characteristics of the freshwater sponge species identified in the LUR (Lake Urtiga) and LFU (Lake Fumo) core samples.

Species	Hydrodynamic	Substrate	Environment	Salinity	References
<i>Anheteromeyenia diamantina</i> ¹⁶	Lentic	Rocky	Shallow water bodies with high concentration of suspended sediment.	Freshwater	Calheira and Pinheiro (2018)
<i>Anheteromeyenia vitrea</i> ¹²	Lentic	Aquatic macrophytes (<i>Eleocharis</i> sp. and <i>Equisetum</i> sp.) and plants	Shallow and seasonal waters	Freshwater	Buso et al. (2012)
<i>Corvoheteromeyenia heterosclera</i> ^{4,8,13,14}	Lentic/lotic	Rocks and aquatic macrophytes.	Permanent and seasonal water bodies with sandy and rocky bed material with/without macrophytes.	Freshwater	Volkmer-Ribeiro et al. (1999); Volkmer-Ribeiro and Machado (2007); Nicácio and Pinheiro (2015); Calheira and Pinheiro (2016)
<i>Corvoheteromeyenia australis</i>	Lentic/lotic	Rocks and aquatic macrophytes.	Preserved stretches of forest, shallow, clear water	Freshwater	Bonetto and Ezcurra de Drago, 1966; Ezcurra de Drago, 1979; Tavares-Frigo et al. 2015; Calheira and Pinheiro, 2016.

Continued

Table 2 – Environmental characteristics of the freshwater sponge species identified in the LUR (Lake Urtiga) and LFU (Lake Fumo) core samples. (Continuation)

Species	Hydrodynamic	Substrate	Environment	Salinity	References
<i>Corvoheteromeyenia sanidastosclera</i>	Lentic	Iron pilings, dead branches, concrete	Artificial pool in a farm fish tank.	Freshwater	Calheira and Pinheiro, 2016.
<i>Dosilia pydanieli</i>	Lentic	Rocks and aquatic macrophytes	Preserved, permanent to seasonal, acidic lakes in peaty bogs, with sandy bed material with macrophytes.	Freshwater	Volkmer-Ribeiro (1992); Volkmer-Ribeiro et al. (1999); Almeida et al. (2009)
<i>Ephydatia facunda</i>	Lentic/lotic	Rocks, concrete, and aquatic macrophytes (<i>Eichornia azurea</i> , <i>E. crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> and <i>Ceratophyllum demersum</i>)	Permanent, humic and crystalline water bodies.	Freshwater or mesohaline	Pinheiro et al. (2004); Volkmer-Ribeiro and Machado (2007); Nicácio and Pinheiro (2015).
<i>Ephydatia caatingae</i>	Lotic	Submersed tree branches	Shallow lakes in a semi-arid environment (Caatinga).	-	Nicácio and Pinheiro (2015)
<i>Heterorotula fistula</i>	Lentic	-	Permanent and seasonal waters with abundance of microphytes.	-	Volkmer-Ribeiro and Motta (1995); Almeida et al. (2009); Machado et al. (2016).

Table 2 – Environmental characteristics of the freshwater sponge species identified in the LUR (Lake Urtiga) and LFU (Lake Fumo) core samples. (continuation)

Species	Hydrodynamic	Substrate	Environment	Salinity	References
<i>Radiospongilla inesi</i>	Lentic/lotic	Rock and concrete	Shallow lakes and rivers.	Freshwater	Nicácio et al. (2011).
<i>Tubella variabilis</i>	Lentic/lotic	Microphytes roots (<i>Eichhornia</i> e <i>Salvinia</i>).	Permanent and seasonal lakes and rivers.	Freshwater	Bonetto and Ezcurra de Drago (1973); Volkmer-Ribeiro et al. (1999); Tavares et al. (2003); Batista et al. (2007); Almeida et al. (2009); Nicácio and Pinheiro (2015).

Figure 1: Location of the study area. A – Brazil; B – state of Rio Grande do Norte; C – Trairí River watershed; D – Lake Urtiga and Lake Fumo. The dashed lines denote the humid area. The solid white line is highway RN315. The blue line is the Trairí River. The red dots mark the location where the core samples were extracted.

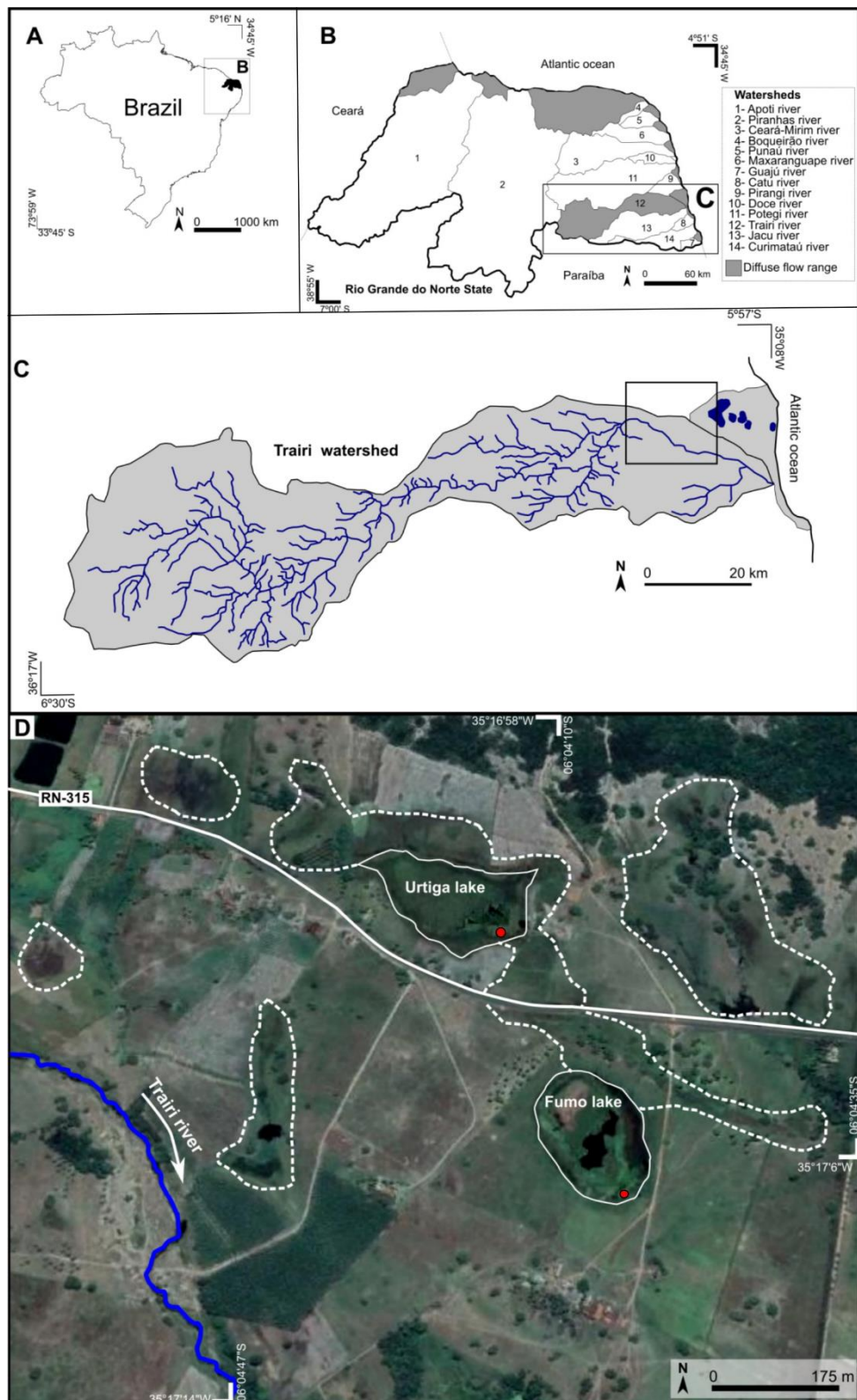


Figure 2 – Hypsometric data from the area of Lake Urtiga and Lake Fumo with UTM coordinates, São Jose do Mipibu, Rio Grande do Norte, Brazil.

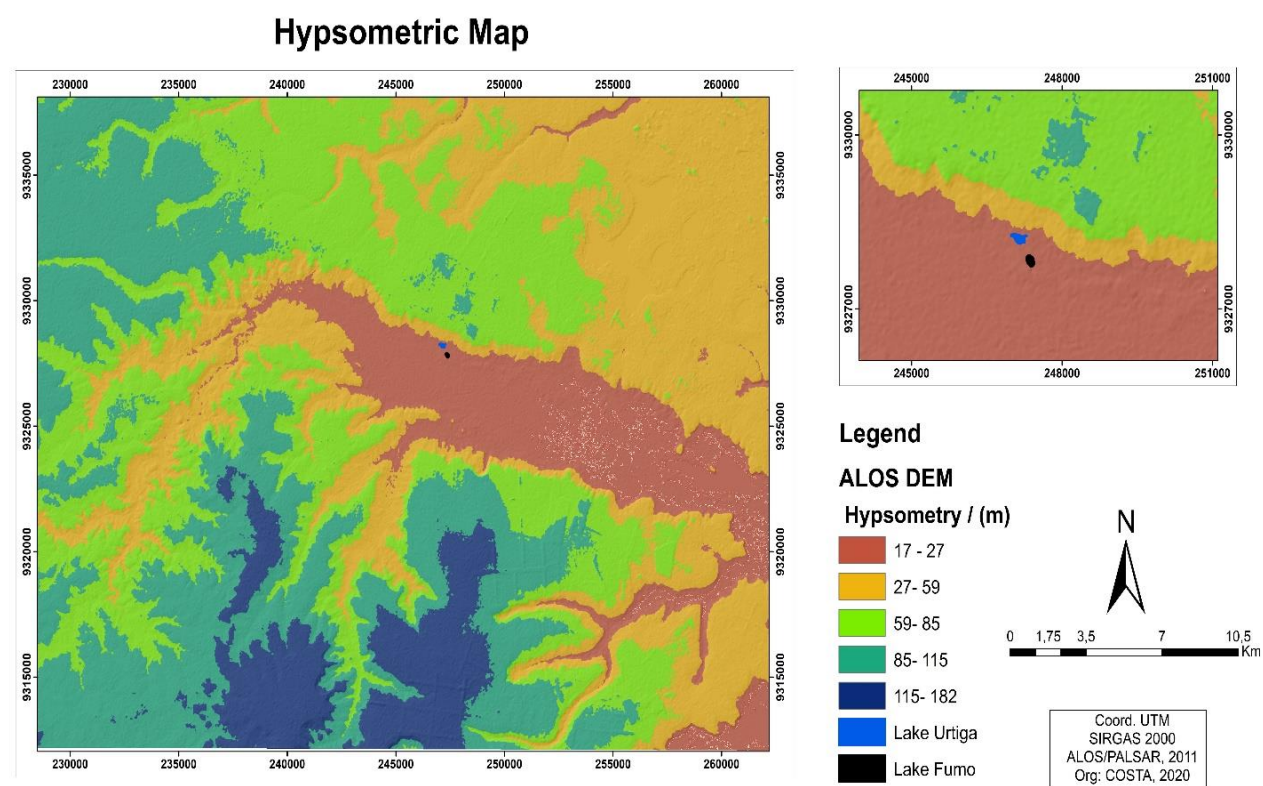


Figure 3 – Structure, color, granulometry (texture), roundness and morphoscopy of sediment from Lake Urtiga (LUR core) and Lake Fumo (LFU). Bar scale: 1mm.

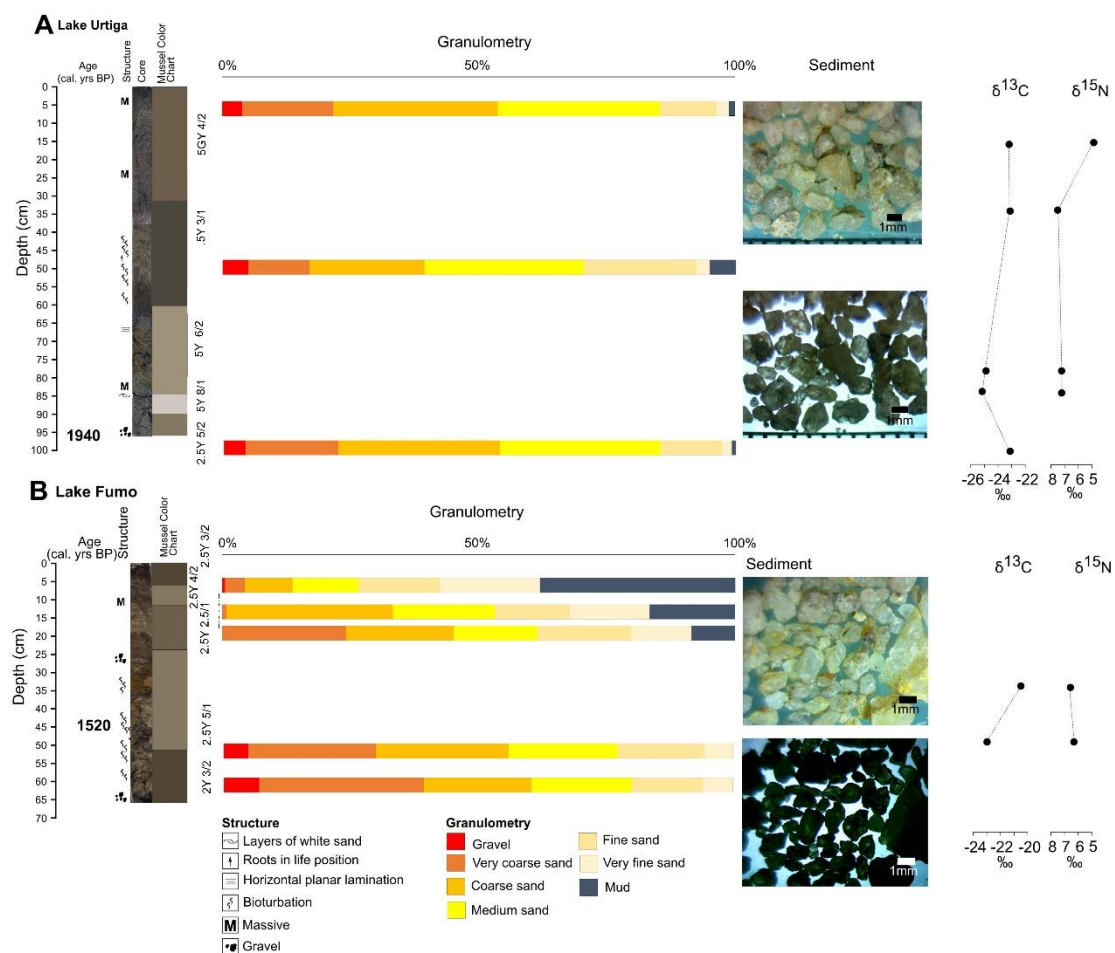


Figure 4 – Lake Urtiga (LUR core). ^{14}C dating, inland sponge spicule and phytolith morphotype counts, CONISS analysis.

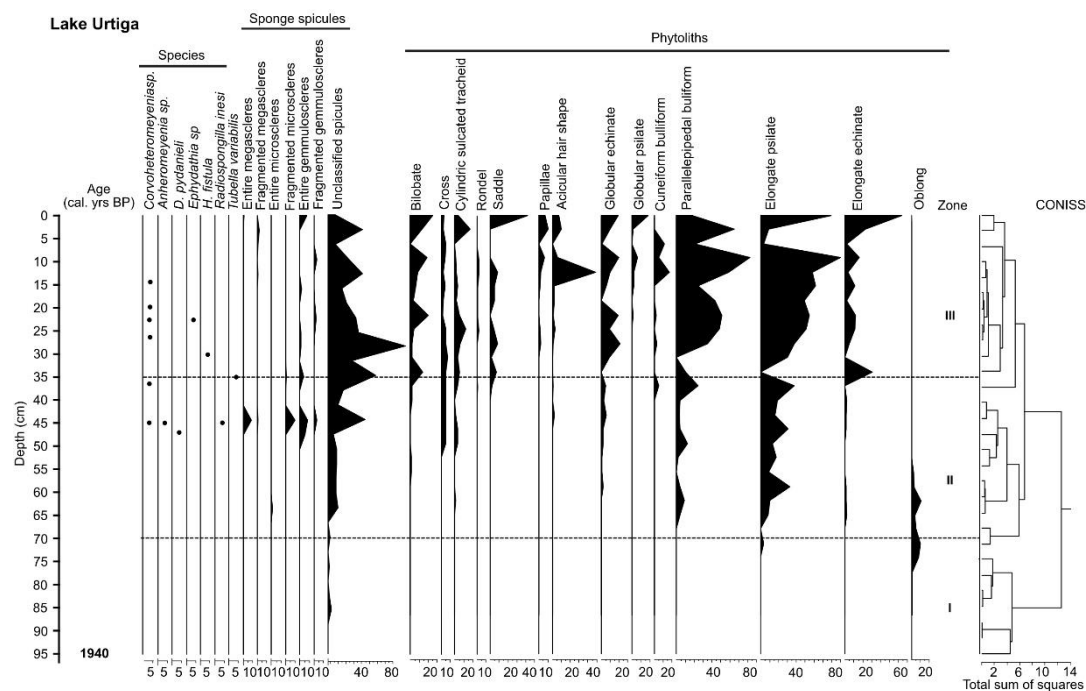


Figure 5 – Lake Fumo (LFU core). ^{14}C dating, inland sponge spicule and phytolith morphotype counts, CONISS analysis.

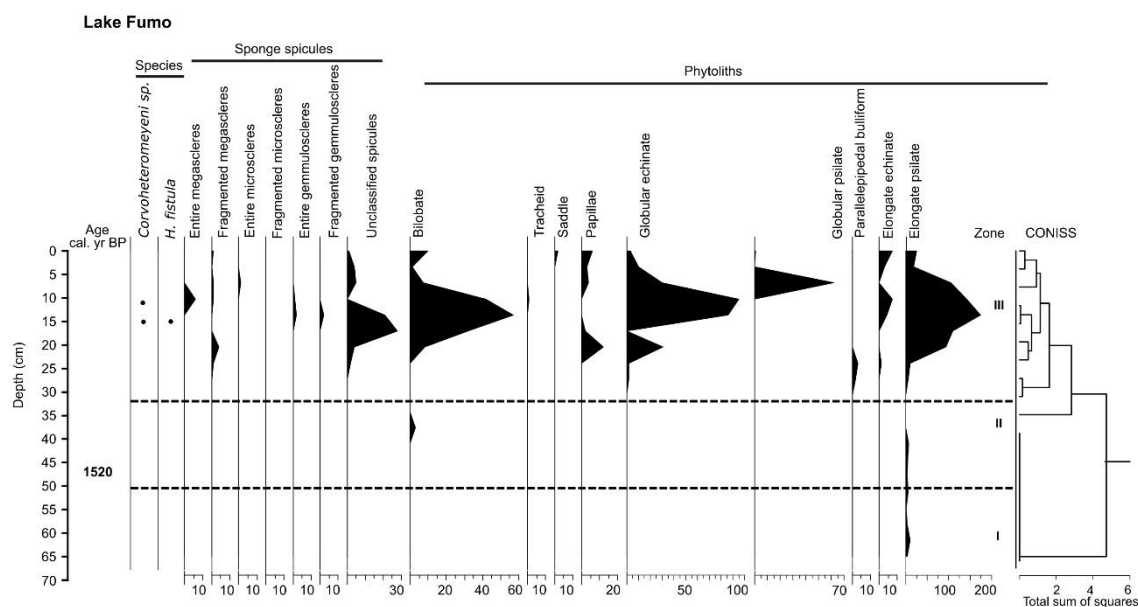


Figure 6 – Microphotographs of freshwater sponge spicules and phytoliths from the LUR and LFU core samples A. bilobate; B. cross; C. cylindric sulcate tracheid; D. saddle; E. rondel; F. acicular hair cell; G. cuneiform bulliform; H. globular echinate; I. globular psilate; J. papillae; L. elongate psilate; M. elongate echinate; N.O. parallelepipedal buliform; P.oblong; Q. *Heterorotula fistula*; R. *Ephydatia* sp.; S. *Dosilia pydanieli*; T. *Corvoheteromeyenia* sp; U. *Tubella variabilis*; V. *Radiospongilla inesi*; W. *Anheteromeyenia* sp.; X. megasclere oxea.

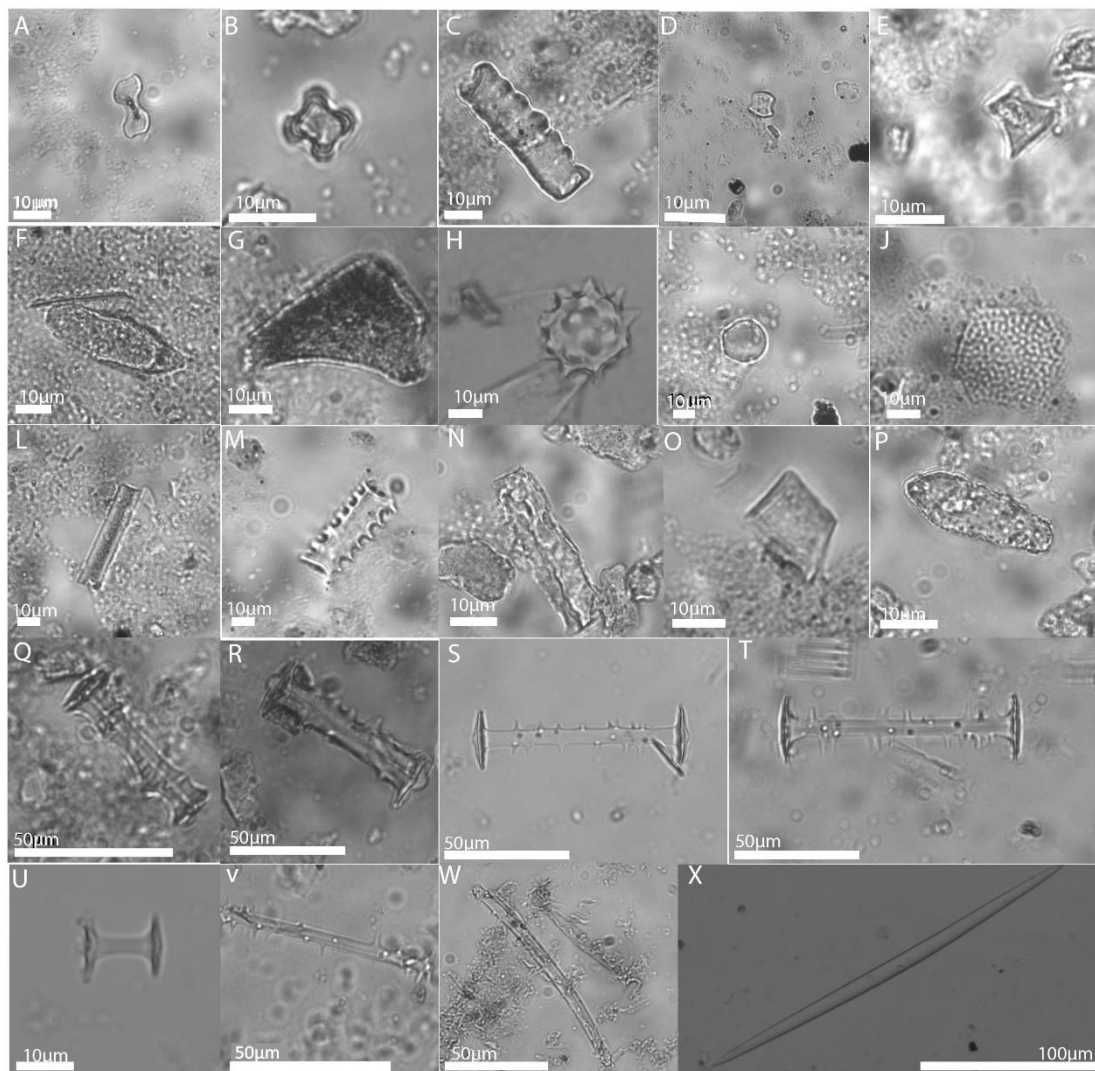
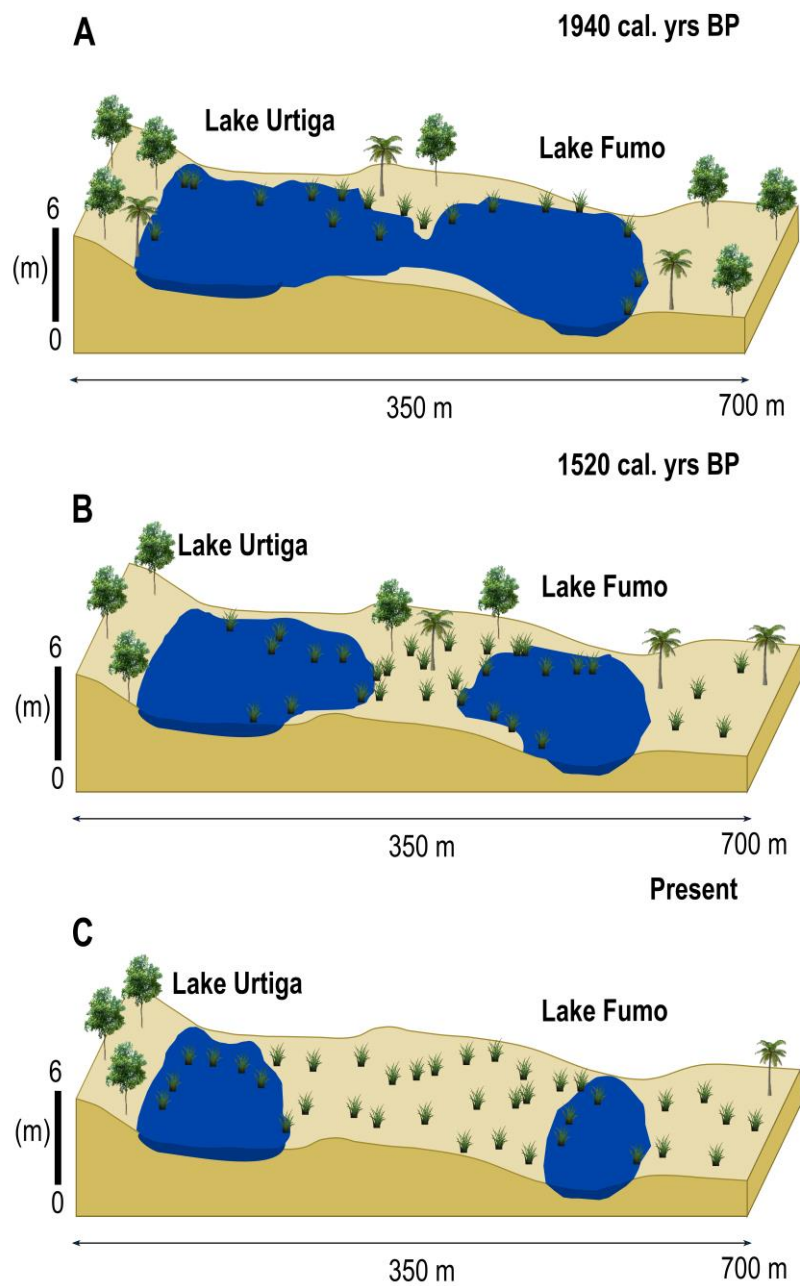


Figure 7- Paleoenvironmental condition. Scheme of the study area. A) open swamp vegetation before 1940 cal. years BP; B) formation of the two lakes and changes in the vegetation composition after 1520 cal. years BP; C) anthropic deforestation process. Bar scale: 100 m. *Above Mean Sea Level.



5 INFLUÊNCIA MARINHA INTERPRETADA POR DADOS PROXIES: A HISTÓRIA PALEOAMBIENTAL DE ARITUBA.

Autores: Loyana Docio, André Luiz Carvalho da Silva, Mauro Parolin, Ulisses

Pinheiro.

A ser submetido ao Journal of South American Earth Science (ISSN 0895-9811)³.

³ Normas de formatação presentes no Anexo B

INFLUÊNCIA MARINHA INTERPRETADA POR DADOS *PROXIES*: A HISTÓRIA PALEOAMBIENTAL DE ARITUBA.

Loyana Docio^{a,b,*}, André Luiz Carvalho da Silva^c, Mauro Parolin^d, Marcelo Galeazzi Caxambu^e, Ulisses Pinheiro^f

^a Universidade do Estado da Bahia. Departamento de ciências Humanas. BR 242, Km 04, Loteamento Flamengo, CEP: 47800-000, Barreiras, BA, Brazil.

^b Laboratório de Porifera. Pos-Graduação em Biologia Animal. Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária. CEP: 50670-901. Recife, PE, Brazil.

^c Departamento de Geografia e Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. R. Francisco Portela, 1470, Patronato, 24435-005 São Gonçalo, RJ, Brazil.

^d Laboratório de Estudos Paleoambientais. Universidade Estadual do Paraná, Campo Mourão campus. Av. Comendador Norberto Marcondes, 733, CEP 87302-060, Campo Mourão, PR, Brazil.

^e Herbário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão campus. Via Rosalina Maria dos Santos, 1233, CEP 87301-899, Campo Mourão, PR, Brazil.

Resumo

Este estudo objetivou a reconstituição paleoambiental da Lagoa Arituba, situada na costa oriental do Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil, utilizando espículas de esponjas em análise *multi-proxy*. As espículas foram recuperadas de uma sondagem de 0,90 m de profundidade. As seguintes análises foram realizadas: classificação de morfótipos de fitólitos; dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$); datação por radiocarbono; granulometria; morfoscopia de grãos de quartzo e percentual da matéria orgânica do solo. Os dados isotópicos mostram que o ponto de coleta sempre esteve alagado e colonizado por plantas (C_3 e C_4) e algas. Os fitólitos indicam presença de plantas das famílias, Arecaceae/Bromeliaceae, Cyperaceae e Poaceae. Espículas de esponjas marinhas apontam o estágio de conexão com o mar anterior a 2080 anos cal. AP. Foram identificadas as espécies de esponjas de águas continentais *Dosilia pydanieli*, *Anheteromeyenia*, *Tubella variabilis* e *Radiospongilla inesi*. Apenas *D. pydanieli* está ainda presente no ambiente. A reconstituição paleoambiental indicou que a Lagoa Arituba descende de uma antiga lagoa costeira conectada ao mar.

Palavras-chave: espículas de esponjas, alteração de salinidade, Lagoa Arituba, Litoral Nordeste.

Introdução:

Os ambientes costeiros são extremamente dinâmicos, sujeitos a processos atmosféricos, marinhos, terrestres e antropogênicos. Para a compreensão dos seus processos evolutivos, é necessário interrelacionar conhecimentos geológicos, biológicos e sociais (Ângulo, 2004) em escala geocronológica. Nesse sentido, estudos paleoambientais fornecem informações essenciais, pois reconstituem cenários ecológicos pretéritos de forma a mostrar como eram os habitats em estado primitivo (Tyler e Schneider, 2018). Mesmo que incompletos, estes dados podem contribuir com a Ciência da Conservação, no sentido de subsidiar a tomada de decisões políticas (Dietl e Flessa, 2001) em Áreas de Proteção Ambiental (APAs), por exemplo. Isto se mostra essencial em regiões litorâneas, cuja colonização e ocupação humana contínua foram responsáveis por perda de diversidade local (Macedo, 1999).

Áreas costeiras são requisitadas por investimentos turísticos e imobiliários, em todo o mundo. Considerando apenas o Brasil, cerca de $\frac{1}{4}$ da população reside em regiões litorâneas (IBGE, 2010). Embora as APAs existam nessas áreas, o desconhecimento da biodiversidade antes da ocupação humana, aliado a falta de fiscalização das atividades turísticas, atrapalham estratégias de conservação e geram perda de recurso biológico inestimável (Leroy, 2015; Silva, 2019).

Na APA Bonfim-Guaraíras, localizada no litoral oriental do Rio Grande do Norte, por exemplo, há importantes complexos lacustres que estão em áreas privadas e são utilizados para abastecimento das cidades interioranas, lazer e turismo (Batista et al., 2007). Por causa dessas atividades, as margens de lagos e lagoas se encontram alteradas e degradadas. A falta de conhecimento prévio sobre a biodiversidade local é um dos fatores que dificultam a gestão e o manejo adequado desses ambientes (Leroy, 2015).

Nesse sentido, estudos paleoambientais do quaternário podem inferir parte da fitofisionomia pretéritas, bem como comunidades aquáticas bioindicadoras, levando a hipóteses de reconstituição desses sistemas aquáticos terrestres. Isso é possível por meio dos levantamentos de dados sedimentológicos, isotópicos (^{14}C , ^{13}C e ^{15}N) e descoberta de biomineralizações vegetais (fitólitos) e animais (espículas de esponjas) nos solos do fundo de lagunas e lagoas costeiras.

Os dados sedimentológicos auxiliam como *proxies* capazes de apontar áreas fonte de quartzo com aporte hidrodinâmico ou eólico (Folk, 1980; Dias, 2014). Já os dados isotópicos fornecem o tempo geocronológico decorrido a partir da deposição da matéria orgânica (^{14}C), apontando diferentes sistemas fotossintetizantes ($\delta^{13}\text{C}$), além da fonte vegetal ($\delta^{15}\text{N}$), se terrestre ou aquática (Pessenda, 2005). Os fitólitos são deposições de sílica biogênica entre os tecidos vegetais, que permanecem conservados no solo após a morte dos organismos (Piperno, 1991). O conjunto de formas dessas biomineralizações são utilizados para identificação de grupos vegetais pretéritos, podendo indicar famílias, subfamílias, gêneros e, em certos casos, espécies (Piperno, 2006). As espículas de esponjas também são formações biogênicas silicosas, microscópicas e podem fornecer indícios sobre ambientes aquáticos continentais (Parolin et al., 2008) e marinhos pretéritos (James e Bourque, 1992; Parolin et al., 2005; Sanchez-Beristain & Reiter, 2012). As espículas de esponjas compõem o esqueleto que sustenta o corpo das esponjas de águas continentais e marinhas (Frost, 2001; Hajdu et al., 2011). O conjunto espicular dessas esponjas, principalmente as gemoscleras em espécies de águas continentais (espículas presentes nos corpos de dispersão e dormência – gêmulas), pode indicar as espécies (Volkmer-Ribeiro e Pauls, 2000). Como estas espécies ainda ocorrem na atualidade, e muitas são restritas às condições ecológicas dos habitats, a existência de

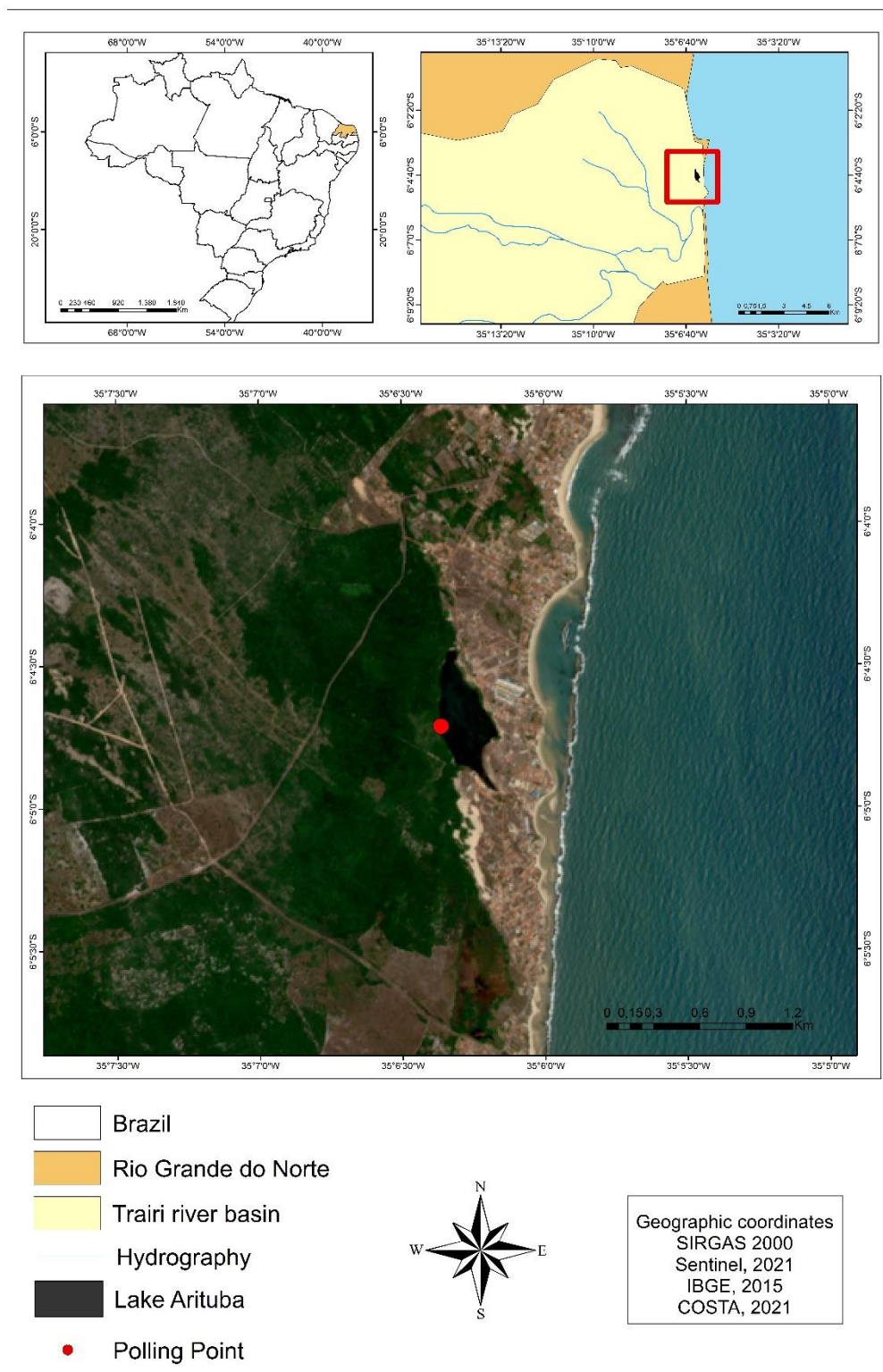
seus restos pode indicar como o ambiente se apresentava no passado (Harrison, 1988; James e Bourque, 1992).

Os melhores locais para a descoberta de dados paleoambientais são ambientes deposicionais, como os lagos, lagoas e lagunas costeiras (Silva et al., 2008). Dentre os complexos lacustres e lagoas da APA Bonfim-Guaraíras, há a lagoa costeira Arituba, que mostra grandes aporte turístico e pressão urbana (Leroy, 2015; Silva, 2019). Embora Arituba seja uma lagoa dulciaquícola, sua forma sugere uma conexão pretérita com o mar por meio de um canal, atualmente fechado. Diante dessas informações, o presente estudo busca responder a seguinte pergunta: Quais alterações ocorreram na lagoa Arituba durante o tempo geológico alcançado pela sondagem? Hipotetizamos que Arituba descende de uma antiga lagoa exorreica, ou seja, com escoamento para o mar. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi de reconstituir o paleoambiente da Lagoa Arituba utilizando espículas de esponjas e análise *multi-proxy*.

Área de estudo

A Lagoa Arituba, selecionada para o presente estudo, está situada entre as praias de Tubatinga e Camurupim, no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. Ela dista cerca de 30 km de Natal, embora esteja dentro dos limites do município de Nísia Floresta, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. A Lagoa Arituba possui formato elipsoidal e tem águas cristalinas, oligohalinas, mesotrófica (Diniz, 2019). Ela ocupa uma área de 0,17km², tendo um perímetro de 2,26 km, profundidade em torno de 3m, distando cerca de 0,4 km da linha da costa (fig.1). Os critérios adotados para a seleção da lagoa foram: 1) Há registros da existência de diatomitos contendo espículas de esponjas no Estado do Rio Grande do Norte (Volkmer-Ribeiro et al., 1998); 2) Há população de esponjas viventes em lagoas da APA (Lagoa Redonda - Candido et al., 2010).

Figura 1 – A. Brasil e Estado do Rio Grande do Norte. B. Bacia do Rio Trairi C. Lagoa Arituba. Ponto em vermelho: local da sondagem. Linha azul: Bacia hidrográfica. Coord. $35^{\circ}6'30''\text{W}$ - $6^{\circ}5'0''\text{S}$.



A área de entorno desta lagoa preserva importantes características geomorfológicas atribuídas ao Quaternário, como dunas móveis e fixas ao oeste, que estão sobrepostas à Formação Barreiras e a Unidade Relevo Tabular Costeiro; e ao leste, possui influência marinha holocênica (Bezerra et al., 1993; Barreto et al., 2004). A vegetação se mostra como um mosaico constituído por manguezais, próximos à Natal, uma estreita faixa de Floresta Atlântica (Scarano, 2002; Silva, 2020), partilhando espaço com a restinga que se desenvolve sobre as dunas e platôs dos tabuleiros, as quais possuem espécies presentes na fitofisionomia do Cerrado e Mata Atlântica (Tavares, 1960; Oliveira-Filho e Carvalho, 1993). O clima da região é tropical úmido com verão seco e estação chuvosa no outono. As médias de chuva anuais são de 1.400mm (Vital, 2006).

Materiais e Método

Método de amostragem e sedimentologia

O testemunho chamado de LAR1 foi recuperado após excursão à Lagoa Arituba, realizada em agosto de 2017 (estação seca junho-agosto). O método de amostragem, sondagem à percussão, foi realizado com tubo de alumínio de 45 cm de diâmetro, alcançando a profundidade máxima de 0,90m abaixo do fundo da lagoa e à altura de 0,70m entre a lâmina d'água e o fundo da lagoa.

O testemunho foi aberto por meio de uma secção longitudinal que permitiu que toda coluna sedimentar pudesse ser medida e avaliada conforme análise sensorial da textura do sedimento e presença de bioturbações (Tucker, 2014). A determinação da variação da coloração do sedimento foi feita utilizando a carta de Munsell para cores de solos (Munsell, 1975). Trinta amostras foram retiradas de intervalos regulares de 3 cm para análise de biomineralizações. O critério adotado para a seleção das amostras foram: 1) a representatividade das características sedimentares observadas visualmente; 2) intervalos regulares de 3cm para melhor calcular a similaridade entre as biomineralizações.

A análise do tamanho dos grãos dos sedimentos foi realizada com base no método de peneiramento, após a separação dos sedimentos mais finos da amostra total (Wentworth, 1922; Folk, 1980). Para isto, 50g de sedimento retirado das profundidades: 0,06; 0,42; 0,60; 0,81 e 0,90m. A análise morfoscópica foi realizada pela contagem de 100 grãos de quartzo (Folk, 1980), concomitante a observação da morfologia dos grãos. Para isto, foi utilizada uma lupa binocular em conjunto com o software Topview, que permitiu que a superfície dos grãos fosse vista detalhadamente, ao mesmo tempo em que fotos puderam ser tomadas. Os resultados foram organizados em gráficos construídos no software corel drawn.

Datação por radiocarbono, análise de isótopos e material orgânico

Uma amostra (0,59 m) foi enviada ao *Center for Applied Isotope Studies (CAIS)* da Universidade da Geórgia- Estados Unidos, para datação pelo método do carbono radioativo (^{14}C). A técnica utilizada foi a aceleração de partículas acopladas ao espectrômetro de massas (*Accelerator Mass Spectrometry - AMS*) (Biondi e Fessender, 1999). A data obtida foi, posteriormente, calibrada utilizando o software Calib Radiocarbon 14 (Stuiver et al., 2018), usando a curva de calibração SHCAL13 (Remier et al., 2013).

Para a análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, amostras das profundidades 0,06; 0,30; 0,69 m foram também enviadas ao CAIS. Os Valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam de acordo ao tipo do ciclo fotossintético dos vegetais: C_3 até - 20‰; C_4 -12 a -8‰, CAM -10 a - 20‰ (Meyers, 1994; Pessenda et al., 2005), dessa forma, podendo distinguir o grupo orgânico fonte. Entretanto, algas com tipo fotossintético C_3 só podem ser distintas das plantas terrestres de mesmo tipo fotossintético pela análise isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ ‰. Dessa forma, 7 a 10‰ para algas e 0,5‰ para plantas terrestres (Peterson et al., 1987; Meyers e Ishiwatari, 1993). A análise de matéria orgânica foi obtida pelo método de 10g de sedimento por meio de

calcinação *loss of ignition* (Schumacher, 2002) retirados das seguintes profundidades – 0,18; 0,33; 0,42; 0,60 e 0,78m.

Extração de biomineralizações

Os fitólitos e as espículas de esponjas foram obtidos de 1g de cada uma das 30 amostras. Este foi submetido a queima em ácido nítrico (60%), seguida por lavagem e centrifugação, uma em água destilada e outra em álcool (70%), de acordo com Volkmer-Ribeiro e Turcq, (1996). Cerca de 50 microlitros do material resultante foi gotejado em lâmina, seco e coberto por Entellan e lamínula. Foram confeccionadas cinco lâminas para cada amostra, totalizando 150 unidades que foram vistas por completo ao microscópio ótico. Estas lâminas estão depositadas no Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam/UNESPAR (LEPAFE) – (Cod. L.309 C. 26 – LAR1). A identificação dos morfótipos de fitólitos foi baseada em Madella et al., (2005). A identificação das espículas de esponjas do sedimento foi baseada em bibliografia especializada. Para a nomenclatura taxonômica do gênero, observe que foi adotada a modificação do nome do gênero *Trochospongilla* para *Tubella*, seguindo a proposta de Pinheiro e Nicácio (2012), que por sua vez está de acordo ao artigo 23 do Código Internacional de Nomenclatura Zoológica. Para as interpretações paleoambientais utilizando as espículas, seguiu-se Docio et al. (cap. 1). Também foram encontradas frústulas de diatomáceas cuja morfologia geral foi indicada por meio de Leandrini et al. (2010), mas não identificadas ao nível específico. Aspectos morfológicos associados a presença ou ausência de restos de diatomáceas podem fornecer respostas ambientais (Cox, 2014).

A representação gráfica desses intervalos foi feita utilizando o software *Tilia Graph* (Grimm, 1990), por meio da função CONISS. Os agrupamentos do dendrograma foram criados com base no cálculo de dissimilaridade entre as biomineralizações presentes em

cada profundidade. A distância entre os agrupamentos foi calculada por meio da soma dos quadrados das distâncias euclidianas (Grimm, 1990).

Levantamento de espécimes de Poríferos

Mergulho livre foi realizado nesta lagoa a fim de encontrar comunidade de esponjas de águas continentais. Os espécimes encontrados foram acondicionados em álcool a 80% e levados ao laboratório para identificação até o menor nível taxonômico, utilizando bibliografia especializada. Eles estão depositados no Museu de Zoologia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (UFPEPOR 1416, 1422). A vegetação onde os poríferos estavam aderidos foi coletada e identificada ao menor nível taxonômico com auxílio dos professores botânicos, Dr. Ênio Wocyli e Dr Leonardo Versieux. Para a identificação, foram utilizadas exsicatas nº19342; 19447; 19451; 19483;19489; 19494 do Herbário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

Resultado

O testemunho AR1 se compõe basicamente de pacotes de areia (100-96%) e lama (3,0-1,0%). O tamanho dos grãos de areia entre os intervalos mostra um padrão crescente, com areia pouco selecionada, variando entre areia grossa a areia muito fina, com discreta presença de lama na base. Percentuais de areia muito grossa (0,5-4,0%); areia grossa (0,7-3,0%); areia média (25,0-70,0%); areia fina (15,0-63,0%) e areia muito fina (8,0-22,0%) se encontram através de todo o testemunho. Os pacotes arenosos se compunham, principalmente, por grãos de quartzo, traços de minerais pesados e feldspato, além de matéria orgânica. A morfologia dos grãos de quartzo se mostrou principalmente subangular (67-43%), apresentando também grãos angulares (55-20%), subarredondados (7-2%) e arredondados (3-1%). O brilho desses grãos variou entre vítreo (94-60%) e fosco

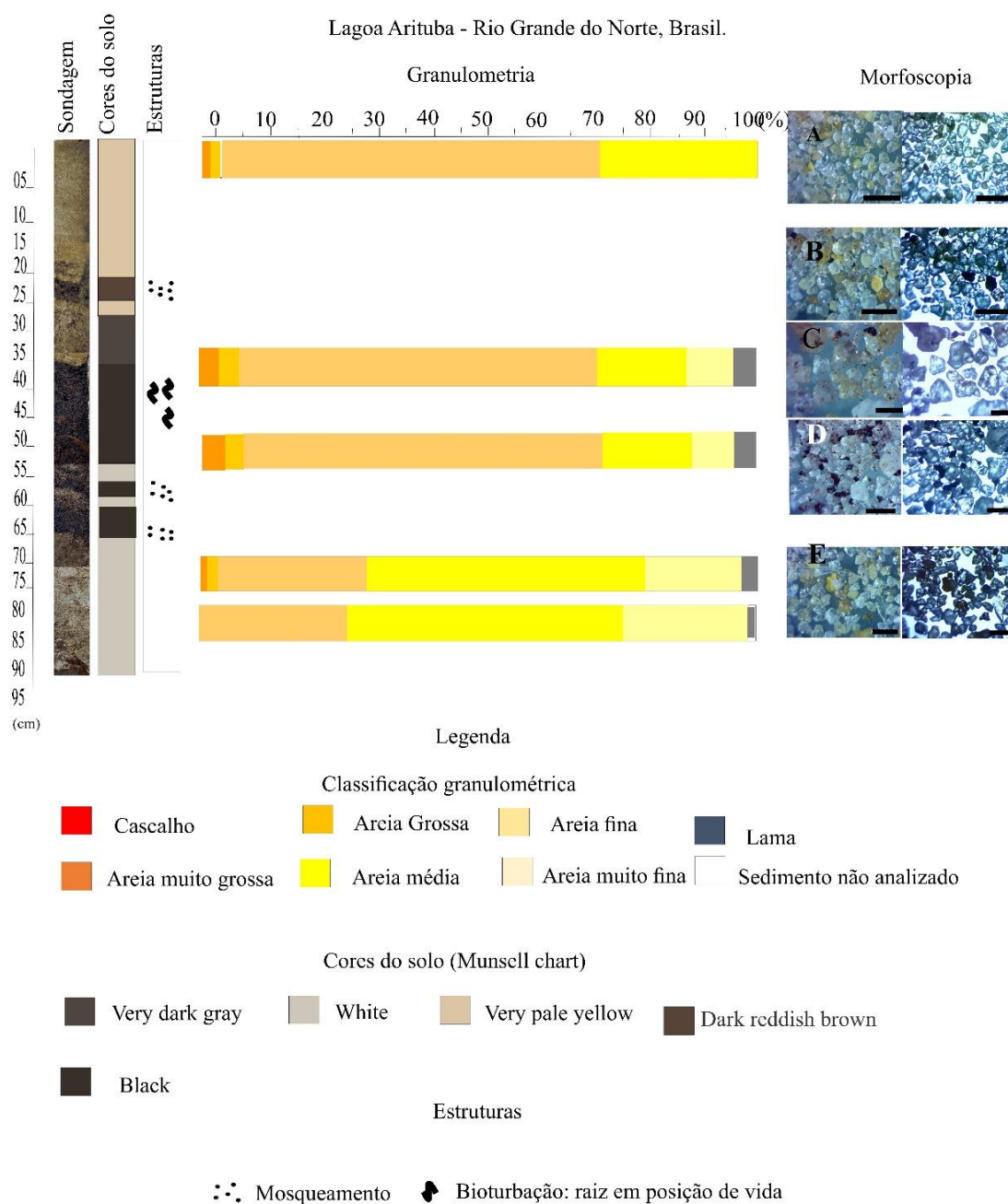
(40-6%). A cor do sedimento úmido mostrou tons amarelo, preto e branco: white (2.5Y 8/1; 0,90-0,56m; 0,60m; 0,56-0,54m); black (10YR 2/1; 0,65-0,62m; 0,57-0,59m; 0,54-0,37m); very dark grey (10YR 3/1; 0,36-0,27m); dark reddish brown (5YR 3/2; 0,25-0,21); very pale yellow (10YR 8/3; 0,21-0,01 m) (fig.2). Colorações acinzentadas a negras sugerem deposição tanto de matéria orgânica quanto existência de sulfetos de ferro, apontando uma condição ambiental redutora. Enquanto colorações avermelhadas a amareladas, sugerem ambiente oxidante. Notou-se também bioturbação causada por raízes recentes em posição de vida entre as profundidades 0,50-0,40m (fig.2). As análises de matéria orgânica mostraram apenas um pico (15%) à 0,59m de profundidade. As concentrações isotópicas sugerem misturas de plantas terrestres e algas, com intervalos de $\delta^{13}\text{C}$ -25,02 e -27,26 e $\delta^{15}\text{N}$ 3,97 e 4,02 (tab.3.1). À profundidade de 0,59m apresenta idade 2080 anos AP (fig. 4).

Tabela1 - Datação por radiocarbono (AMS) e sinais isotópicos $\delta^{13}\text{C}\%$, $\delta^{15}\text{N}\%$ dos testemunhos LAR1 da lagoa Arituba. Cais. *Center for Applied isotope studies of Georgia*, Estados Unidos da América.

Profundida de (cm)	Idade antes do presen te (AP)	Idade calibra da (cal. AP) 2σ	Média de probabilid ade Anos (AP)	δC^{13} ‰	δN^{15} ‰	CAIS (UGAMS #)	Testemun ho
06	-	-	-	-25,02	4,02	40638	LAR1
30				-25,32	4,18	40639	LAR1
69	-	-	-	-27,72	3,97	40640	LAR1
60	230 (+/- 20)	0-4295	2,080	-27,26	-	35426	LAR1

UGAMS# - numeração referência conferida às amostras dadas pelo CAIS.

Figura 2 – análise sedimentológica da sondagem AR1, mostrando o perfil da sondagem, designação das cores de Munsell em RGB, presença de estruturas e bioturbações, granulometria e morfoscopia dos grãos de quartzo: A. B.C.D.E. escala: 1mm.

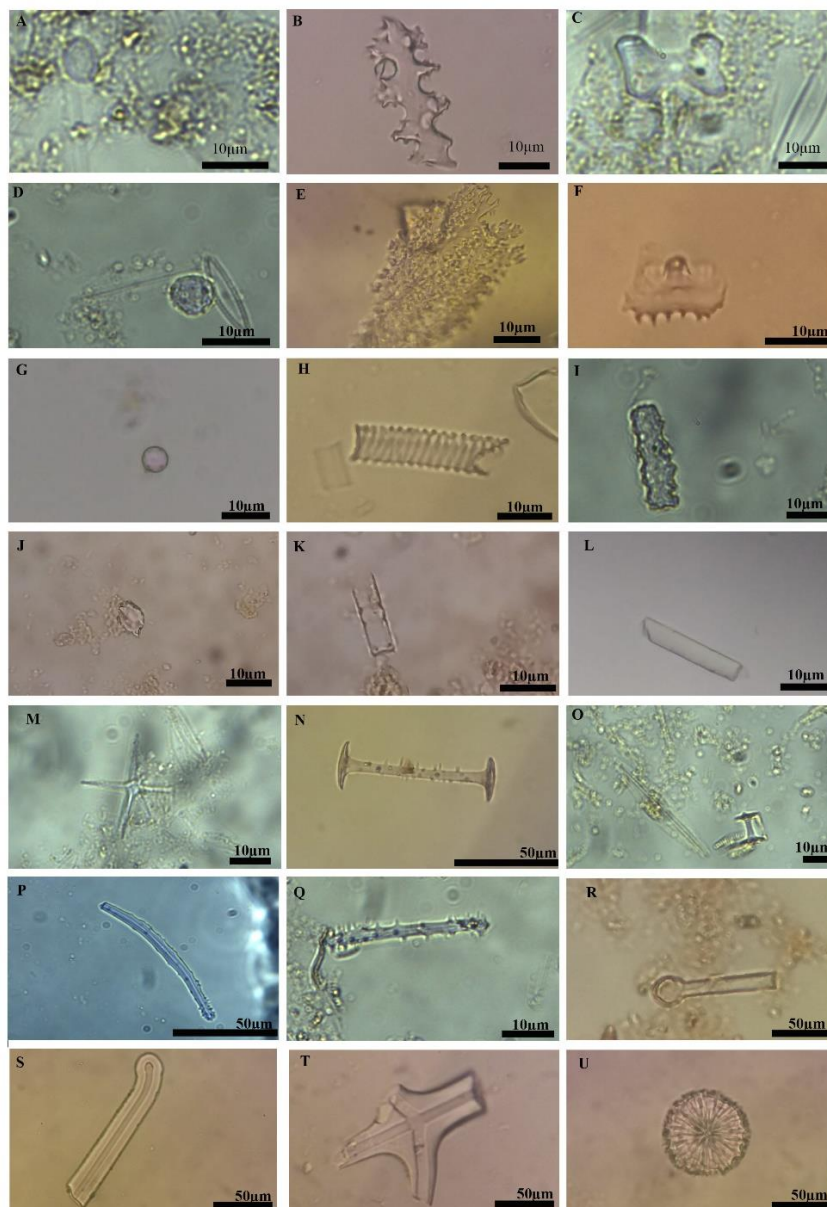


As lâminas LAR1 analisadas apresentou variedade de biomineralizações (fig.3). O total de 1455 fitólitos; 581 espículas de esponjas, entre microscleras, megascleras e gemoscleras inteiras e fragmentadas; e 112507 frústulas de diatomáceas inteiras e fragmentadas. Os morfotipos fitolíticos encontrados foram: *Globular echinate*, *Tracheid*, *Coneshape*; *Elongate psilate*, *Elongate echinate*, *Globular psilate* e *dendriform* (fig.3). Não foram atribuídos táxons às diatomáceas, sendo estas agrupadas sob este nome na figura 3.4. Entre as espécies de esponjas de águas continentais identificadas por restos de espículas: *Dosilia pydanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992; *Radiospongilla inesi* Nicácio & Pinheiro, 2011; *Tubella variabilis* (Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973); além de espículas de Demospongiae marinhas (Porifera) fragmentadas.

A análise de dissimilaridade pelo CONISS revelou a possibilidade de quatro zonas de modificações ambientais, considerando as diferentes biomineralizações depositadas entre os níveis de profundidade (fig.4). A Zona I (0,90-0,75m), mostra a presença de restos de esponjas marinhas que indica a possibilidade de conexão da lagoa ao mar. A existência de um canal cego, ao sul da lagoa, aponta a possibilidade de sua conexão com o oceano (fig.1). Na zona II, há espículas megascleras abundantemente fragmentadas (0,45-0,42m, fig.4). A deposição de fitólitos se inicia entre os intervalos de profundidade 0,75-0,65m. Zona III (0,60 – 0,25m), há restos de uma comunidade de poríferos composta por *D. pydanieli*, *R. inesi*, *T. variabilis* e *Anheteromeyenia* sp.; abundância de fitólitos e diatomáceas. Na zona IV (0,25 – 0,0 m), há apenas a presença de espículas de *D. pydanieli*, indicando a perda de espécies pela comunidade porífera, fitólitos e diatomáceas.

Os levantamentos de espécies de poríferos viventes na área revelaram apenas uma população de *D. pydanieli* (fig. 5) aderida à macrófita submersa *Helantium* cf. *tenellum* (Mart. ex Schult.f.) J.G.Sm (senso Leroy, 2015).

Figura 3 – Biomineralizações extraídas da sondagem AR1. **A.** Globular psilate; **B.** Dendriform; **C.** Bilobate; **D.** Granular granulate; **E.** Multicellular aggregation of dendriform phytoliths; **F.** Coneshape; **G.** Globular psilate; **H.** Tracheid; **I.** Elongate echinate; **J.** Globular echinate; **K.** Diatomácea; **L.** Elongate psilate; **M.** Microsclera de *Dosilia pydanieli*; **N.** Gemosclera de *D. pydanieli*; **O.** Gemosclera de *Tubella variabilis*; **P.** Gemosclera típica do gênero *Anheteromeyenia*; **Q.** Gemosclera de *Radiospongilla inesi*; **R-S-T.** Fragmentos de espículas de esponjas marinhas; **U** – Espícula de esponja marinha.



Discussão

O brilho vítreo e forma predominantemente subangular dos grãos indica que houve remobilização por transporte aquoso. Muito embora fosse esperado maior influência do transporte eólico sobre as partículas, devido aos sedimentos das dunas eólicas próximos ao ponto em que a sondagem foi recuperada. Grãos subangulares com brilho vítreo são encontrados em ambientes praias, como a praia de Piratininga, Rio de Janeiro (Silva et al., 2009) e praia de Ajuruteua, Estado do Pará (Monteiro et al., 2003). Estes grãos foram relacionados aos antigos depósitos associados à última transgressão marinha, ocorrida no Holoceno e também relatada ao litoral do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 1993; Barreto et al., 2004).

Figura 4- Deposições de biomineralizações agrupadas pelo CONISS e datação, mostrando cinco zonas de acumulação na sondagem LAR1.

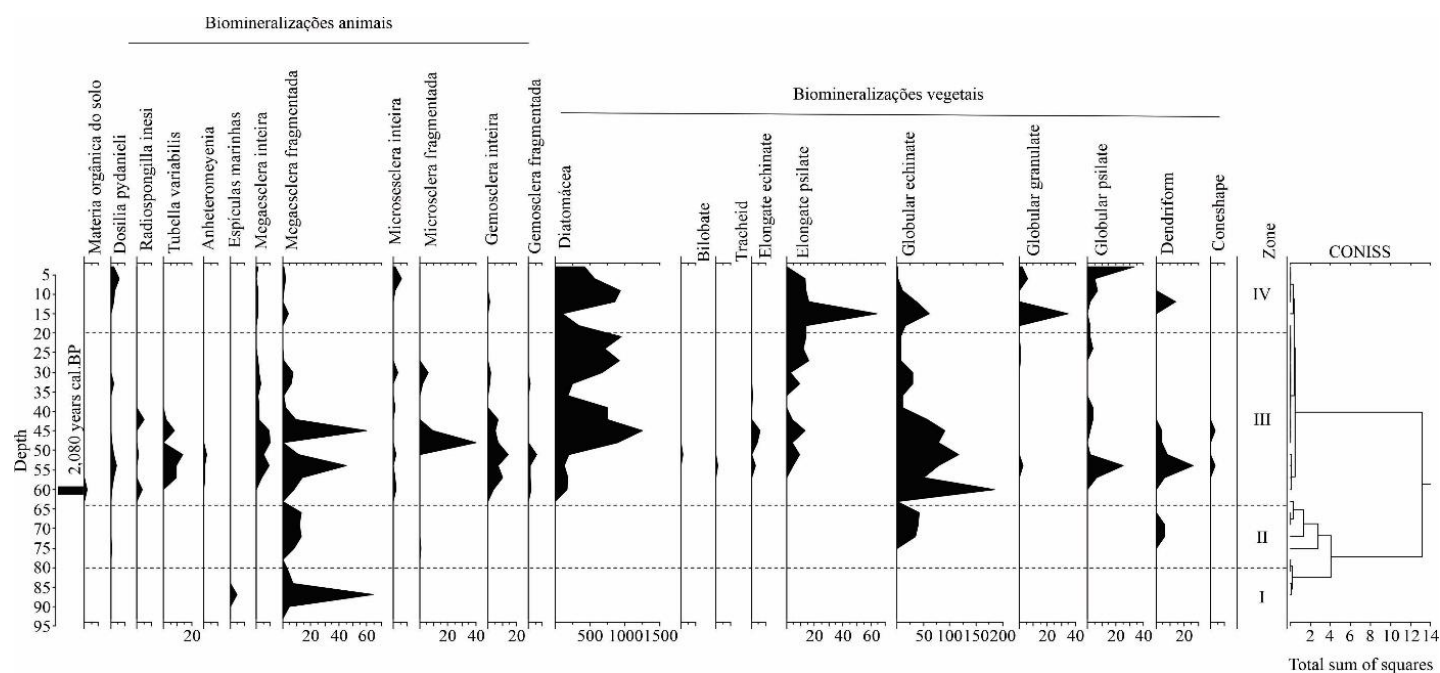
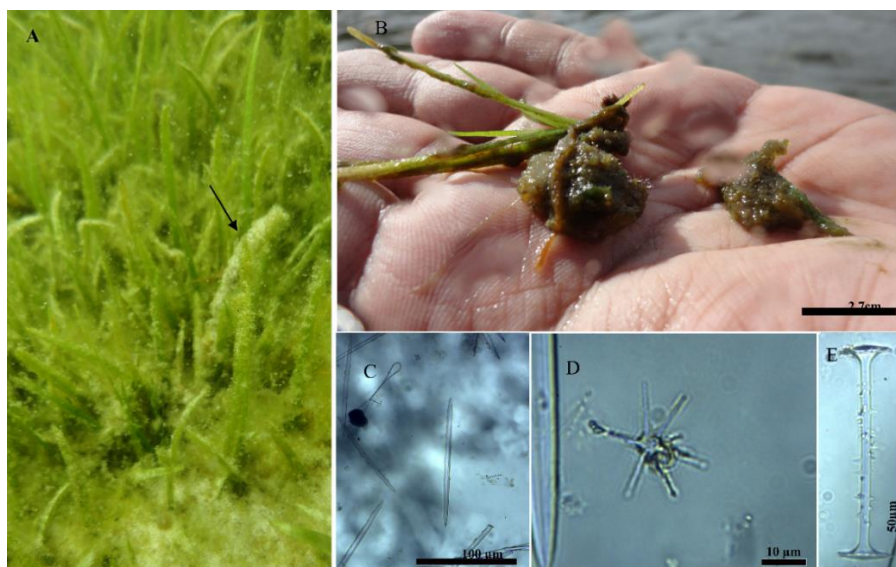


Figura 5- População vivente *Dosilia pydanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992 da Lagoa Arituba, Nisia Floresta-RN. A. imagem subaquática com seta indicando espécimes aderidos à macrófita aquática *Helantium* cf. *tenellum* (Mart. ex Schult.f.), prof. 1,20m; B. Espécimes coletados de *D. pydanieli*; C. D. E. Composição espicular de *D. pydanieli*: C. Megascleras; D. Microsclera; E. Gemosclera.

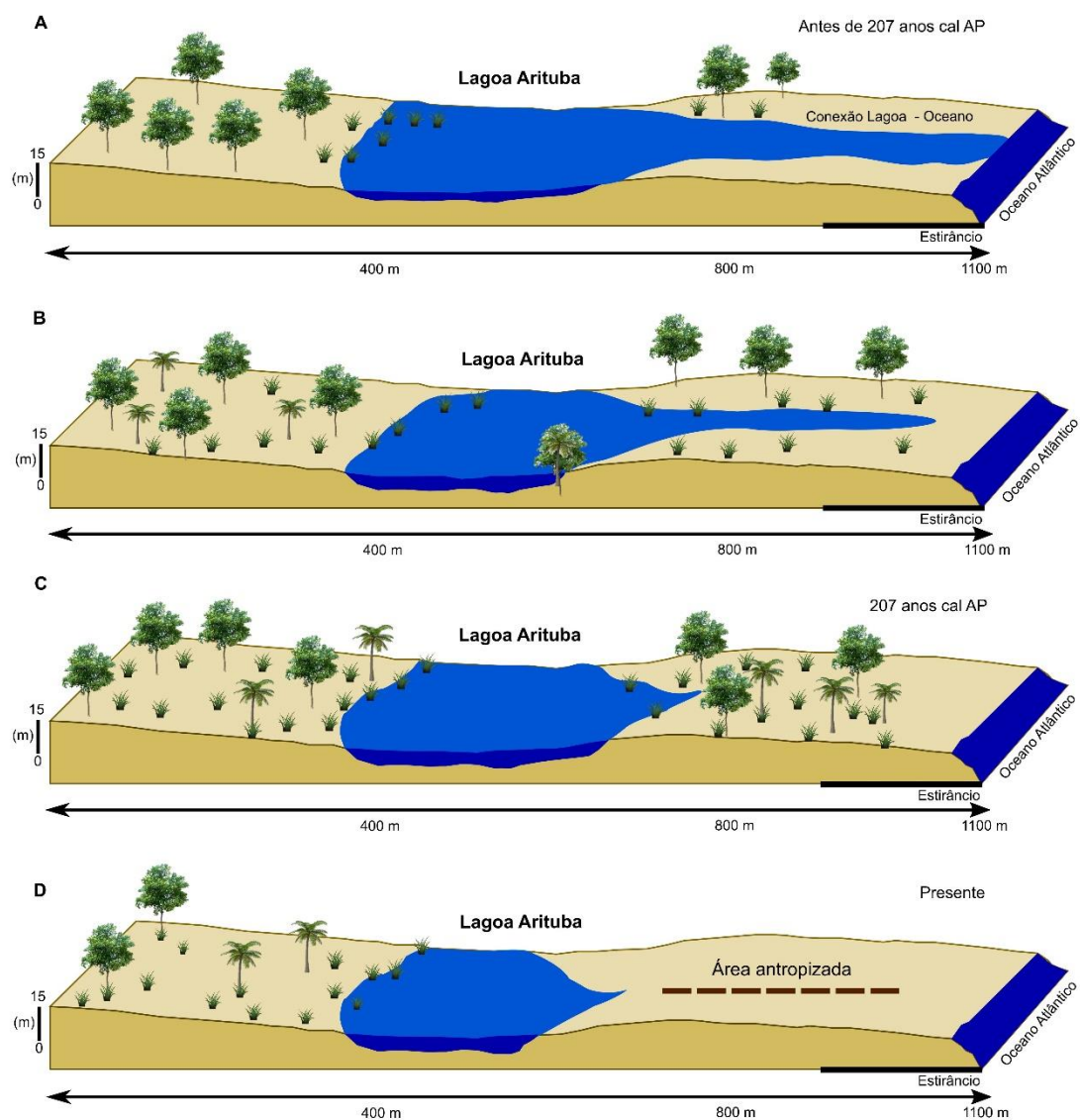


Aos níveis 0,90 e 0,56 m da sondagem, há pacotes arenosos condicionados a situações de intensa lixiviação, pois não reteram partículas finas de material orgânico ou frações finas constituídas de metais, que seriam necessários para lhes conferir cor (Boggs, 2006). Diante disso, é possível que uma situação como a presença de correnteza tenha caracterizado as margens da lagoa onde a sondagem foi recuperada, corroborando a hipótese de existência de um canal de drenagem (fase lótica). Já a presença de matéria orgânica particulada foi detectada apenas entre 0,59-0,57 m (fig.4), estando ausente nos níveis acima e abaixo restantes, mostrando um ambiente lântico e anóxico, favorável a sua conservação (fase lântica). Acima desses níveis (entre 0,56-0,30m) há deposições negras, que não se tratam de material orgânico, mas sim da deposição de metais. Nogueira (2008), por exemplo, observa que o ambiente sedimentar litorâneo do Rio Grande do Norte é caracterizado por vários níveis de profundidade constituídos por metais pesados e bioclastos. A presença de metais se reflete também nas colorações avermelhadas e amareladas, presentes nos níveis 0,25 a 0,1 m, que são derivadas da dióxido de ferro

(Barbosa et al., 2019). Deposições ferrígenas podem ser provenientes da erosão de falésias relacionadas à Formação Barreiras, que são ricas em minério de ferro (Araújo et al., 2006; Moraes, 2020). A erosão pluvial ocorrida em 2000 na Falésia Tabatinga, que está situada a menos de 5 km ao norte da área estudada, mostrou que há potencial dos seus sedimentos migrarem em direção sul (Júnior et al., 2001), local onde se encontra a Lagoa Arituba.

Os sinais isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ caracterizam vegetação arbórea e alagada, desde a base ao topo da sondagem (Peterson et al., 1985; Meyers e Ishiwatari, 1993; Barcellos, 2011; Lorente et al., 2015). Apenas espículas e fragmentos de espículas de esponjas marinhas são encontradas na **Zona I** (0,90-0,80m, fig.4). Traços geomorfológicos também sugerem um antigo canal que conectava lagoa Arituba ao mar (fig.6a). Os movimentos das marés de sizígia podem ter transportado as espículas da zona entre marés até a lagoa através deste canal. O transporte ocasionado pela correnteza marinha junto as marolas produzidas pelo vento, podem ter provocado a quebra das espículas resultando nos picos encontrados entre as profundidades 0,90-0,87m (fase lótica). A conexão da lagoa com o mar, por meio deste canal, também sugere a mistura das águas marinha e lacustre, já que a lagoa é abastecida pelo lençol freático dulciaquícola, proveniente das dunas (Pereira, 2000) (fig.6a).

Figura 6 – Desenho esquemático da evolução da lagoa Arituba. a. Antiga Lagoa exorreic. b. Fechamento gradual do canal de ligação da lagoa ao mar. c. Fechamento completo da lagoa. d. desmatamento e antropização da área marginal de Arituba.



A escassa deposição e baixa diversidade de fitólitos, além da ausência de diatomáceas na **zona II** (fig.4), indicam fatores relacionados a sua preservação e produção. A ciclagem de sílica biogênica (quartzo) em ambientes marinhos ocorre em $\text{pH} > 8,5$ (Hurd, 1972; Fredman et al., 1976; Rützler e Macintyre, 1978) e dependem de fatores físico-químicos como temperatura, profundidade, tamanho/espessura das partículas siliciosas (Hurd, 1972). Dessa forma, a preservação de delicadas frústulas de diatomáceas (Hurd, 1972) e determinados morfótipos de fitólitos (Piperno, 2006; Albert e Portillho, 2014) é menos provável que de robustas espículas de esponjas marinhas em ambientes lacustres com influência marinha. Em se tratando dos fitólitos, a presença deles no sedimento ainda é afetada por fatores ligados a produtividade e abundância, uma vez que existem plantas excelente produtoras, pouco produtoras e não produtoras de fitólitos (Piperno, 2006). A oclusão do canal que ligava a lagoa ao mar propiciou um ambiente que melhor preservou tanto os fitólitos de plantas excelentes produtoras, cujos fitólitos sugerem identificar as famílias: Arecaceae/Bromeliaceae (*Globular echinate*, *Tracheid*) (Rasbold et al., 2011; Benvenuto et al., 2015); Cyperaceae (*Coneshape*); (Ollendorf, 1992); Poaceae (*Elongate psilate*; *Elongate echinate*, *Globular psilate* e *dendriform*) (fig.3) (Twis et al., 1969) (Coe et al., 2015 (fig.6b). Este tipo de vegetação, ligada aos sinais isotópicos e a presença de diatomáceas, denota uma mistura de restinga, com presença de gramíneas C_3 e formações arbustivas próximas a área alagada desde o final da Zona II até a Zona IV.

Há 2.080 anos AP, acima do intervalo 0,59 m (**Zona III**, fig.4) de profundidade há indício da colonização da lagoa por espécies porífera de águas continentais (fig. 6c). *Dosilia pydanieli* é uma esponja característica de lagoas rasas, com fundos arenosos e habitadas por macrófitas (Volkmer-Ribeiro et al., 1999; Volkmer-Ribeiro et al., 1998). Por ser uma espécie característica desses tipos de lagoa, ela distingue o paleoambiente

junto aos dados proxies acima mencionados. Embora não tenha sido possível identificar as espículas atribuídas ao gênero *Anheteromeyenia* ao nível específico, as duas espécies de esponjas pertencentes ao gênero, conhecidas até o momento no Brasil, podem apenas indicar ambiente lêntico e raso (Buso et al., 2012; Calheira e Pinheiro, 2016). Isto corrobora dados de *D. pydanieli*. Com relação a *T. variabilis*, apesar de amplamente encontrada aderida às raízes de macrófitas aquáticas formadoras de camalotais (Tavares et al., 2003), ela também pode ocorrer sobre substratos consolidados de origem antrópica – o que indica possibilidade de adesão à rochas – (Nícácio e Pinheiro, 2015) e em ambientes lóticos e lêntico (De Rosa-Barbosa, 1984; Volkmer-Ribeiro, 1998; Docio et al., in prep. Cap. 1.). *Radiospongilla inesi* também é uma espécie generalistas para muitas variáveis ecológicas, ocorrendo em ambientes lóticos, lênticos e aderindo-se a concreto, em córregos de remanescentes de Mata Atlântica (Nícácio et al., 2011; Docio et al. in prep). Seus restos foram encontrados em sedimentos recuperados do cerrado no oeste baiano, sustentando a interpretação de ambiente aquático semi-lótico (Santos et al., 2017). Porém, no presente estudo, suas espículas indicam ambiente lêntico, principalmente por serem encontradas junto a outras espículas de espécies que ocorrem somente em ambiente dulciaquícola lacustre (Docio et al., in prep – cap 1).

Na **Zona IV**, há a perda de riqueza de espécies de poríferos, tendo prevalecido apenas *D. pydanieli*, tanto no sedimento quanto vivendo na lagoa (fig.5). Esta espécie foi encontrada desde a 0,78 m até a superfície da sondagem. A alteração da composição da comunidade de poríferos pode estar relacionada a alteração do habitat. Esponjas de águas continentais têm uma relação restrita com parâmetros abióticos de seus ambientes (Harrison, 1974; Harrison, 1977; Harrinson, 1979; Batista e Volkmer-Ribeiro, 2003; Oliveira et al., 2018). Arituba, na atualidade, é uma lagoa turística e parte da vegetação de suas margens foi removida para a criação de balneário e centro de lazer (fig.6 d).

Mesmo que as dunas ainda conservem parte da vegetação arbustiva, as macrófitas aquáticas presentes nas margens são danificadas pelas atividades turísticas, como a remoção para ampliação das áreas de lazer (Leroy, 2015). Famílias vegetais como Nymphaeaceae, Cabombaceae, Cyperaceae, Menyanthaceae, Mayacaceae e Pontederiaceae tiveram representantes extensamente suprimidos das áreas lacustres da APA Bonfim-Guaraíras, destacando a lagoas Arituba (Leroy, 2015).

O acompanhamento temporal (paleontológico) da comunidade porífera, apontando alterações em sua composição e corrobora aspectos ligadas às alterações ambientais ocorridas no âmbito de Arituba. Isto porque há indícios de que a comunidade tafonômica porífera que habitou a localidade, em momentos cujo transporte não foi a variável tafonômica mais representativa (Lukowiak et al., 2013).

Conclusão

Arituba passou por alterações morfológicas, como o fechamento do canal que a ligava ao oceano, o que acarretou importante alteração de salinidade. A modificação da comunidade de poríferos, passando de espículas marinhas a posterior colonização por espécies duciaquícolas evidencia tais alterações e confirma a hipótese deste estudo. Os restos de espículas mostram que houve perda da diversidade de esponjas de águas continentais desde 2080 anos cal. AP até a atualidade, restando apenas a população de *D. pydanieli*. O entorno da Lagoa Arituba, possivelmente, possuía vegetação fechada, composta por arbustos em formação de restinga, palmaceae/bromeliaceae e gramíneas da família Poaceae.

Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - (CAPES) – nº 001. Agradecimentos ao CNPq pela bolsa de doutorado - PROTAX-CNPQ (Proc. 440620 / 2015-5); à Universidade do Estado da Bahia (UNEB); ao Laboratório de Dinâmicas da Natureza – LABDIN – Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ; ao Laboratório de Estudos Paleoambientais - Lepafe – Universidade do Estado do Paraná - UNESPAR; e ao Laboratório de Porifera - Labpor – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Agradecimentos especiais aos geógrafos Ms. Fernando Henrique Villwock; Ms. Lucas Ferreira Corrêia; aos botânicos Dr. Enio Wocyli, da Universidade do Estado da Paraíba - UEPB; e Dr. Leonardo Versieux da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Referências

- Albert, R.M.; Portillo, M. 2014. Aportaciones de los estudios de fitólitos em la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio. Treballs d'Arqueologia. 24: 79-93.
- Ângulo, R.J. 2004. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. Desenvolvimento e Meio Ambiente 10: 175-185.
- Araújo, V.D.; Reyes-Peres, Y.; Lima, R.O.; Pelosi, A.P.M.; Menezes, L.; Córdoba, V.C.; Lima-Filho, F.P. 2006. Fácies e sistema Depositional da Formação Barreiras da Região Barreiras do Inferno, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. Revista do Instituto de Geociências 6(2):43-49.
- Barcellos, R.L.; Coelho-Júnior, C.; Lins, S.R.R.M.; Silva, M.S.; Camargo, P.B.; Travassos, P.E.P.F. 2011. Island beaches morphological and sedimentary short term variations – the case of SE Fernando de Noronha Island, South Atlantic, Brazil Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management, 11(4) 471-478.
- Barbosa, G.S.; Maltoni, K.L.; Panoso, A.L. 2019. As cores do solo como parâmetro para a delimitação do ambiente de uma vereda. Boletim Goiano de Geografia. 39: 02-25.

- Barreto, A.M.F.; Suguio, K.; Bezerra, F.H.R.; Tatumi, S.H.; Yee, M.; Giannini, P.C.F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do rio Grande do Norte. *Geologia Série Científica*. (4) 2 1-12.
- Batista, T.C.A., Volkmer-Ribeiro, C., Darwich, A., Alves, L.F.(2003) Freshwater sponges as indicators of floodplain lake environments and of river rocky bottoms in Central Amazonian. *Amazoniana* XVII (3/4): 525-549.
- Batista, J.A.N.; Wendlan, E., Schultz, E.H. 2007. Simulação interação entre águas subterrâneas e superficiais do aquífero Barreiras na Região da Lagoa do Bonfim por elementos analíticos. *Revista Brasileira de geografia*. 25(2) 107-116.
- Bezerra, F.H.R. Saadi, A.; Moreira, J.A.M. Lins, F.A.P.L.; Nogueira, A.M.B.; Macedo, J.W.P.; Lucena, L.F.; Nazaré-Junior, D. 1993. Estruturação neotectônica do litoral de Natal – RN com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. In: *Anais do Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*. 12. Belo Horizonte, SBG. 317-321.
- Benvenuto, M.L.; Fernández-Honaine, M.; Osterrieth, M.L.; Morel, E. 2015. Differentiation of globular phytoliths in Arecaceae and other monocotyledons: morphological description for paleobotanical application. *Turkish Journal of Botany* 39:41-353.
- Biondi, F. Fessenden, J.E. 1999. Radiocarbon Analysis of pinus lagunae tree rings: implications for tropical dendrochronology. *Radiocarbon*. 41 (3) 241-249. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200057118>.
- Bonetto, A.A., Ezcurra de Drago, I.D. (1973b) Las esponjas del género *Trochospongilla* Vejdovsky em águas Argentinas. *Physis sección B* 32(84): 13-18.
- Buso-Junior, A.A., Volkmer-Ribeiro, C., Pessenda, L.C.R., Machado, V.S. (2012) *Anheteromeyenia vitrea* (Porifera: Demospongiae) new species of continental sponge in Brazil. *Neotropical Biology and Conservation* 7 (3): 148-157. Doi: 10.4013/nbc.2012.73.01.
- Calheira, L., Pinheiro, U. 2018. A New species of *Anheteromeyenia* (Porifera, Demospongiae) with an emended diagnosis of the genus. *Zootaxa*.4378(1): 129-136. Doi: 10.11646/zootaxa.4378.1.9
- Candido, J.L., Volkmer-Ribeiro, C., Fürstenau-Oliveira, K. .2010. *Dosilia* (Porifera, Demospongiae) redefined. *Iheringia, Série Zoológica* 100(4):425-448. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212010000400017>.
- Coe, H.H.G.; Ramos, Y.B.M.; Santos, C.P.; Silva, A.L.C.; Silvestre, C.P.; Borrelli, N.; Sousa, L.O.F. 2015. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Maric, Rio de Janeiro, Brazil. *Quaternary International* 30: 1-12.
- Cox, E.J. 2014. Diatom identification in the face of changing species concepts and evidence of phenotypic plasticity. *Journal of Micropalaeontology*, 33: 111 –120.

- Dias, João A. 2004. A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos. E-book disponível online em http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino_Dias_Analise%20.
- De Rosa-Barbosa, R. 1984. Reavaliação da fauna espongológica continental do Estado do rio Grande do Sul frente a Novas descobertas. *Iheringia série Zoológica*. 64: 127-148.
- Dietl, G.P.; Flessa, K.W. 2011. Conservation Paleobiology: putting the dead to work. *Trends in Ecology and Evolution*. 26 (1): 30-40.
- Diniz, M.L.V. 2019. Regulação da estequiometria (C:N:P) da biomassa de bactérias heterotrófica em ecossistemas de água doce de baixa latitude. Dissertação. (mestrado). Pós-graduação em Ecologia. Centro de Biociências. Universidade Federal do rio Grande do Norte. Natal. 37f. Il.
- Friedman, M.G; Ali, S.A.; Krinsley, D.H. 1976. Dissolution of Quartz Accompanying Carbonate Precipitation and Cementation in Reefs: Example from the Red Sea. *SEPM Journal of Sedimentary Research*. 46(4): 970-973. doi:10.1306/212f70a9-2b24-11d7-8648000102c1865d.
- Frost, T.M. 2001. Freshwater sponges. In: J. P. Smol, H. J. B. Birks & W. M. Last (eds.), 2001. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 253-263.
- Grimm, E. C. 1990. Tilia and Tilia graph: pc spreadsheet and graphics software for a pollen data. INQUA – Comissão of the study of the Holocene, working group on data-handling Methods Newsletter. Disponível em: <http://www.chrono.qub.ac.uk/inqua/news4/nl4-ecg2.htm>. Acessado em 22 de junho de 2015.
- Hajdu, E.; Peixinho, S.; Fernandez, J.C.C. 2011. Esponjas Marinhas da Bahia: Guia de Campo e Laboratório. Rio de Janeiro, Museu Nacional. 276p.
- Harrison, F.W., (1974) Sponges (Porifera: Spongillidae). In: C.W.Hart and S.L.H. Fuller (eds). *Pollution Ecology of Freshwater invertebrates*. Academic Press, New York. pp.29-66.
- Harrison, F.W. (1977) The taxonomic and ecological status of the environmentally restricted spongillidae species of North America. III. *Corvomeyenia carolinensis* Harrison, 1971. *Hidrobiologia*, 56: 187-190. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00023358>
- Harrison, F.W. 1988. Utilization of Freshwater sponges in paleolimnological studies. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam. 62: 387-397. Doi: [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90063-6](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90063-6)
- Hurd, D. C. 1972. Factors affecting solution rate of biogenic opal in seawater. *Earth and Planetary Science Letters*. 15(4): 411–417. doi:10.1016/0012-821x(72)90040-4

- Junior, O.F.S.; Scudelari, A.C.; Amaral, R.F.; Silva, J.D.; Avelino, J.D. 2001. Erosão Pluvial e Costeira na Falésia de Tabatinga - Litoral leste do rio Grande do Norte. VII *Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia* (GO). 1-9.
- Leandrini, J.A.; Cavalcanti, A.V.Rodrigues, L. 2010. Diatomáceas. In: Parolin, M.; Volkmer-Ribeiro, C.; Leandrini, J.A. (org.) *Abordagem ambiental interdisciplinar em Bacias Hidrográficas no Estado do Paraná*. Editora da Fecilcam. Campo Mourão, Paraná:158p.
- Leroy, J.A.S. 2015. Checklist das Macrófitas Aquáticas do Rio Grande do Norte com Reforço Amostral do Grupo na Apa Bonfim-Guaráira. Dissertação (Mestrado). Unidade. Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias Campus Macaíba. Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, RN. 98f. 2015.
- Lorente, F.L.; Pessenda, L.C.R.; Calegari, M.R.; Cohen, M. C.L; Rossetti, D.; Giannini, P.C.F.; Buso Junior, .A.B. Castro, D. A. F.; França, M.C.; Bendassolli, J.A.; Macario, K. 2015. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espirito Santo State (Brazil) *Quaternary and Environmental Geosciences* 06(1):26-40.
- Macedo, S.S. 1999. Litoral Urbanização Ambientes e seus ecossistemas frágeis. *Paisagem Ambiente ensaios*. 12: 151-232.
- Madella, A.; Alexandre, A.; Ball, T. 2005. International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96: 253–260.
- Meyers, O.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*. 114: 289-302.
- Meyers, P.A.; Ishiwatari, R. 1993. Lacustrine organic geochemistryman overview of indicators of organic matter source and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*. 20(7):867-900.
- Morais, A.D. 2020 Propriedade Geotécnica de Sedimentos da Formação Barreiras e Análise de Estabilidade de Falésias considerando a condição não saturada: Estudo de caso em Barra de Tabatinga/RN Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 131f.
- Munsell Soil Color Company. 1975. *Munsell soil color chats. Munsell color*. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA.1950, revise
- Muricy, G., Lopes, D.A., Hajdu, E., Carvalho, M.S., Moraes, F. C., Klautau, M., Menegola, C., Pinheiro, U. .2011. *Catalogue of Brazilian Porifera*. Rio De Janeiro, Museu Nacional. 300p.
- Nicácio, G., Pinheiro, U. 2015 Biodiversity of freshwater sponges (Porifera:Spongillina) from northeast Brazil: new species and notes on systematics. *Zootaxa* 3981(2):220-240. Doi: 10.11646/zootaxa.3981.2.4.

- Nicácio, G., Severi, W., Pinheiro, U. .2011. New species of *Radiospongilla* (Porifera:Spongillidae) from Brazilian inland Waters. *Zootaxa* 3132:56-63. Doi: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3132.1.2>
- Nogueira, F.C.C 2008. Estruturas tectônicas Cenozóicas na porção leste da Bacia Potiguar - RN. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade federal do Rio Grande do Norte. Natal. 134f.
- Oliveira, M.R.F; Melhado, A.F.P.; Oda, F. H.; Melo, SM., Parolin, M.; Benedito, E. 2018. Sponge species composition and habitat use in small stream within the agricultural landscape in the lower Tietê River Basin, with the first record of *Corvoheteromeyenya australis* (Demospongiae: Spongillidae) in São Paulo, State. *North-Western Journal of Zoology* 14(1): 30-36.
- Ollendorf, A.L. 1992. Tward a classificatiom scheme of sedge (Cyperaceae) Phytoliths. In: Rapp Jr et al. *Phytolith Systematics*. Science Business Media New. 335pp .
- Parolin, M., Volkmer-Ribeiro, C., Stevaux, J.C. 2008. Use of spongofacies as a proxy for river-lake paleohydrology in quaternary deposits of central-western Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11(3): 187-198.
- Pessenda, L. C.R.; Gouveia, S.E.M.; Freitas, H.A.; Ribeiro, A.S.; Aravena, R.; Bendassolli, J.A.; Ledru, M.P.; Siefeddine, A.F.; Scheel-Ybert, R. 2005. Isótopos de Carbono e suas Aplicações em Estudos Ambientais. In: Souza, C.R.G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. *Quaternário do Brasil*. Holos Editora: Ribeirão Preto, 75-93.
- Peterson, B. J.; Howarth R. W.; Garrit R.H. 1987. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarin food webs. *Science*, 227: 1361-1363. DOI:10.1126/science.227.4692.1361
- Pinheiro, U., Nicácio, G. (2012) Resurrection and redefinition of the genus *Tubella* (Porifera: Spongillidae) with a worldwide list of valid species. *Zootaxa* 3269: 65-68. Doi: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3269.1.6>
- Piperno, D.R. 1991. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. *Journal of World Prehistory*. 5(2):155-191.
- Piperno, D.R. 2006. Phytoliths. *A comprehensive Guide for Achaeologists and Paleoecologists*. Altamira press. 286pp.
- Rasbold, G.G.; Monteiro, M.R.; Parolin, M.; Caxambu, M.; Pessenda, L.C.R. 2011Caracterização dos tipos morfológicos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L.H. Bailey (Arecaceae). *Iheringia* 66(2): 265-270.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Haflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF,

- Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869–1887.
- Rützler, K.; Macintyre, I.G. 1978. Siliceous Sponge in coral reef sediments. *Marine biology* 49:147-159.
- Santos, G.B., Castro, P.T.A., Parolin, M., Docio, L., Costa, D.H. (2017) Análise de Espículas de Esponjas como Indicadores Paleoambientais em Sedimentos Lacustres no oeste da Bahia. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 19(3):439-448. Doi: 10.4072/rbp.2016.3.09.
- Scarano, F.R. Structure, function and floristic relationships of plants communities in stressful habitats marginal to Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany*. 90: 517-524. 2002
- Schumacher, B.A. 2002. *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments*. Ecological Risk Assessment Support Center. US. Environmental Protection Agency. pp.23.
- Silva, ALC.; Silva, M.A.M.; Santos, C.L. 2009. Morfologia e estabilidade da Praia de Piratininga, Niterói (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*. 39(4):685-694.
- Silva, R.P. 2019. O uso turístico e de Lazer das Áreas Lacustres de Nísia Floresta - RN: O caso das Lagoas de Arituba e de Alcaçus. Monografia (Graduação). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Federal do rio Grande do Norte, Natal.63f.
- Stuiver, M.; Reimer, P.J. 1993. Extended 14C data base and revised Calib 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon* 35(1): 215-230.
- Tavares, M.C.M., Volkmer-Ribeiro, C., de Rosa-Barbosa, R. 2003. Primeiro Registro de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto & Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 20(2): 169-182. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752003000200001>
- Traxler, L. (1895) *Spikule von sübwasserschwämmen aus brasilien*. Földt. Közlöny. 25: 62-64.
- Tuker, M. E. 2014. *Rochas sedimentare: guia geológico de campo*. Ed. Bookman, Rio de Janeiro. 336pp.
- Twiss, P.C.; Suess, E.; Smith, R.M. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of American Proceedings*. 331(1):109-115.
- Tyler, C.L.; Schneider, C.L. 2018. An Overview of Conservation Paleobiology. In: C. L. Tyler, C. L. Schneider (eds.). *Marine Conservation Paleobiology, Topics in Geobiology*. 1ª edição. Editora Springer. 261p.

- Van Soest, R.W.M., Boury-Esnault, N., Hooper, J.N.A., Rützler, K., de Voogd, N.J., Alvarez, B., Hajdu, E., Pisera, A.B., Manconi, R., Schönberg, C., Klautau, M., Kelly, M., Vacelet, J., Dohrmann, M., Díaz, M.C., Cárdenas, P., Carballo, J.L., Ríos, P., Downey, R., Morrow, C.C. (2019) World Porifera Database. Accessed at <http://www.marinespecies.org/porifera> on 2019-10-15. Doi:10.14284/359. [accessed 24 July 2019].
- Vital, H. Silveira, I.M., Amaro, V.E., Melo, F.T.L. Souza, F.E.S., Chaves, M.S., Lima, Z.M.C. EP Frazao, E.P.; Tabosa, W.F.; Araújo, A.B., Souto. W.V.S. 2006. Rio Grande do Norte. In: Muehe, D. (Org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília. Ministério do Meio ambiente.
- Volkmer-Ribeiro, C. (1992) The freshwater sponges in some peat-bogs ponds in Brazil. *Amazoniana*. XII (2): 317-335.
- Volkmer-Ribeiro, C., Correia, M.M.F., Brenha, S.L.A., Medonça, M.A. (1999) Freshwater sponge from a Neotropical sand Dune Area. *Memoirs of the Queensland Museum*. Brisbane. 44: 643-649.
- Volkmer-Ribeiro, C., Maciel, S.B. 1983. New freshwater sponges from Amazonian waters. *Amazoniana*. 8 (2): 255-264.
- Volkmer-Ribeiro, C. Motta, J.F.M., Callegaro, V.L. M. 1998. Taxonomy and distribution of brasilian spongillites. Taxonomy and Distribution of Brazilian Spongillites. In: WANABE Y AND FUSETANI N (Eds), *Sponge Sciences*, Tokyo: Springer-Verlag, Tokyo, Japan, p. 271-278.
- Volkmer-Ribeiro, C., Pauls, S.M. .2000. Esponjas de água Dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. *Acta Biologica Venezuelana*. 20(1):1-28.
- Wentworth, C.K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*. 30 (5): 377-392.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espículas de esponjas encontradas no sedimento são capazes de fornecer dados sobre o ambiente pretérito, ao que remete a antigos ecossistemas aquáticos. A depender do grupo porífera ao qual os restos espiculares pertença, é possível discernir ambientes marinhos de límnicos. A qualidade do dado aumenta de acordo com o nível de identificação alcançado. Assim, a categoria taxonomica espécie fornece mais dados que a categoria gênero, principalmente considerando o grupo Spongillida. Além disso, para um melhor controle e acurácia das respostas obtidas por meio das espículas, faz necessário sua integração com diferentes *proxies*.

O levantamento bibliográfico sobre o conhecimento ecológico de poríferos da Região Neotropical, bem como seu uso em estudos paleoambientais, encontrou espécies com alta plasticidade ambiental sendo consideradas especialistas. Espécies generalistas não são boas indicadoras ambientais. Entretanto, o uso dessas espécies não influenciou as conclusões de estudos paleoambientais devido à utilização concomitante de outros *proxies*. Para melhor distinção das espécies generalistas e especialistas por paleontólogos, o presente estudo elaborou uma tabela com as principais características ecológicas utilizadas em estudos paleoambientais.

A comparação entre as respostas de análise multi-proxy com aquelas inferidas de espículas de esponjas comprovou que espécies especialistas disponibilizam dados precisos sobre o ambiente. Em contra partida, a utilização conjunta de diversos *proxies* oferece maior acurácia às reconstituições paleoambientais, no sentido em que corrobora a respostas dadas por espécies especialistas e controla as respostas fornecidas pelas generalistas.

A análise feita para Arituba mostrou evidências que sustentaram a hipótese de conexão dessa lagoa com o mar devido à existência de espículas marinhas e de sinais geomorfológicos de um canal ocluso pretérito. Já o declínio da comunidade porífera na lagoa dulciaquícola formada pelo fechamento deste canal, corroborou a perda de diversidade vegetal resultante da atividades antrópicas, que foi apontada por estudos não relacionados. Isto mostra o potencial da metodologia paleoambiental para a pesquisa holocênica, ou mesmo de passado muito recente, quando há ausência de dados sobre o ambiente. Dessa forma, sendo útil para estudos de conservação da natureza, agregando dados temporais para discernimento sobre melhores políticas e estratégias de conservação e recuperação de áreas degradadas. Neste tocante, o Rio Grande do Norte é um dos

estados nordestinos carentes de estudos de reconstituição paleoambientais, principalmente que versem sobre a compreensão da evolução de sistemas límnicos costeiros e interioranos.

7 REFERENCIAS GERAIS

ALBERT, R.M.; PORTILLO, M. Apotaciones de lose studios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y caso de studio. **Treballs d'Arqueologia**. 20: 79-93. 2014.

ALIGHIERI, D. *A Comédia de Dante Alighieri o Florentino: Inferno (L'Inferno)*. A, São Paulo, 1ª ed., 1998.

ALMEIDA, F.F.; MELO, S. Considerações Liminológicas sobre um lago da planície de inundação amazônica (Lago Catalão – Estado do Amazonas, Brasil). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. 31(4): 387-395. 2009.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; LÉZINE, A.M.; VINCENS, A. SHWARTZ, D. Phytoliths: Indicators of Grassland Dynamics during the Late Holocene in Intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136: 213–29. 1997.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R.S. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. **Geoderma** 83: 127-141. 1998.

ALVES, B.J.R.; CAMPOS, D.V.; SISTI, C.P.J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Emprego do Isótopo Estável C para o Estudo da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. Salton, J.C. (eds). *Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares*. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourado. 2006. 307pp.

BAES, C.F.; GOELLER, H.E.; OLSON, J.S.; ROTT, R.M. Carbon Dioxide and Climate: the Uncontrolled Experiment. **American Scientist** 65(3):310-320. 1977.

BARTOLLI, F.; WILDING, L.P. Dissolution of Biogenic Opal as a Function of its Physical and Chemical Properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44:873-878. 1980.

BARD, E.; ARNOLD, M. FAIRBANKS, R.G.; HAMELIN, B. ^{230}Th - ^{234}U e ^{14}C ages obtained by mass spectrometry on corals. **Radiocarbon** 35 (1): 191-199. 1993.

BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F.H.R.; TATUMI, S.H.; YEE, M.; GIANNINI, P.C.F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do rio Grande do Norte. **Geologia Série Científica**. (4) 2 1-12. 2004.

BATISTA, T.C.A., VOLKMER-RIBEIRO, C., DARWICH, A., ALVES, L.F. Freshwater sponges as indicators of floodplain lake environments and of river rocky bottoms in Central Amazonian. **Amazoniana** 27(3/4): 525-549. 2003.

BECKER, B. An 11,000-year German oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. **Radiocarbon** 35 (1): 201-213. 1993.

BERGQVIST, LÍLIAN PAGLARELLI, & PRESTES, STELLA BARBARA SERODIO. Kit paleontológico: um material didático com abordagem investigativa. **Ciência & Educação (Bauru)**, 20(2), 345-357. 2014.

BERTOLINI, W.Z.; COSTA, I.M.; LIMA, G.L. Morfoscopia e Morfologia de coberturas pedológicas às margens do Rio Uruguai, no Oeste de Santa Catarina. **Anuário do Instituto de Geociências – UERJ**. Rio de Janeiro. 7-15. 2016.

BEZERRA, F.H.R. Neotectonics in Northeastern Brazil. Londres. PHD Thesis. **University of London**., Inglaterra. 208 pp. 1993.

BEZERRA, F.H.R., AMARO, V.E., VITA-FINZI, C., SAADI, A. Pliocene Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Science** 14: 61-75. 2001.

BEZERRA, F. H. R., LIMA-FILHO, F. P., AMARAL, R. F., CALDAS, L. H. O. E COSTA-NETO, L. X. 1998. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: Stewart, I. S.; Vita-Finzi, C. (eds) **Coastal Tectonics**. Geological Society, London, Special Publications, 146, 279-293.

BEZERRA, F.H.R. SAADI, A.; MOREIRA, J.A.M. LINS, F.A.P.L.; NOGUEIRA, A.M.B.; MACEDO, J.W.P.; LUCENA, L.F.; NAZARÉ-JUNIOR, D. 1993. Estruturação neotectônica do litoral de Natal – RN com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. In: **Anais do Simposio Nacional de Estudos Tectônicos**. 12. Belo Horizonte, SBG. 317-321. 1993.

BIGARELLA, J.J.; HARTKOPF, C.C.; SOBANSKI, A. & TREVISAN, N. Textura Superficial dos Grãos em Areias e Arenitos. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 10: 253-275. 1955.

BELL, J.J; Barnes, D.K. A. 2000. The influences of Bathymetry and flow regime upon the morphology of sublittoral sponge communities. **Journal of Marine Biology Ass. Uk**. 80: 707-718. 2000.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A., PEYRON, O.; GUIOT, J. 2005. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**. 32: 311 – 327. 2005.

CALHEIRA, L., PINHEIRO, U. Corvoheteromeyenia Ezcurra de Drago, (1979) (Spongillidae, Porifera): Genus review with proposal of neotype of *Corvoheteromeyenia heterosclera* (Ezcurra de Drago, 1974). **Zootaxa** 4126 (3) 351-374. 2016.

CALHEIRA, L., PINHEIRO, U. A New species of *Anheteromeyenia* (Porifera, Demospongiae) with an emended diagnosis of the genus. **Zootaxa** 4378(1): 129-136. 2018.

CAXITO, F.A.; SILVA, A.V. Isótopos estáveis: Fundamentos e Técnicas aplicadas à caracterização e proveniência geográfica de produtos alimentícios. **Geonomos** 23(1):10-17. 2015.

CENTENO, L.N.; GUEVARA, M.D.F. CECCONELLO, S.T.; SOUSA, R.O.D.; TIMM, L.C. Textura do solo: Conceitos e Aplicações em Solos Arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. 4(1): 31-37. 2017.

CHANG, S., QINGLAI, F., SÉBASTIAN, C., ZHANG, L. Sponge spicules from the lower Cambrian in Yanjiahe formation, South China: the earliest biomineralizing sponge record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 474: 36-44. 2017.

CLINE, J.D.; KAPLAN, I.R. Isotopic Fraction of dissolved nitrate during denitrification in the eastern tropical north pacific ocean. **Marine Chemistry**, 3: 271-299. 1975.

COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; 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**. 3(4): 248-261. 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**. 9(1): 86-106. DOI: 10.12957/tamoios.2013.5363. 2013.

COSTA-NETO, L.X. Transporte longitudinal de sedimentos ao largo do município de Macau, litoral Norte do RN. **XIX Simpósio de Geologia do Nordeste**. Natal. SBG. 2001. 65-66 pp. 2001.

COSTA, D.F.S., GUEDES, D.R.C., SILVA, D.E.M. 2016. Identificação Morfométrica dos Sistemas Lacustres e Flúvio-Lagunares no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. **Boletim Paulista de Geografia**, 94:65-83.

DE ROSA-BARBOSA, R. Reavaliação da fauna espongológica continental do Estado do rio Grande do Sul frente a Novas descobertas. **Iheringia série Zoológica**. 64: 127-148. 1984.

DIAS, JOÃO A. 2004. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos**. E-book disponível online em: <http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/> acessado em 16 de março de 2018.

DUNBAR, C. O. **Geologia histórica**. 6ª edição. Companhia Editorial Continental, S.A.: México. 1976. 300p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência: Rio de janeiro. 1998. 602 p.

EZCURRA DE DRAGO, I. Las esponjas sudamericanas de Corvomeyenia Weltner (Porifera: Spongillidae). **Physis** 33(87):233-234. 1974.

FOLK, R.L. The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. **The Journal of Geology**. 62(4): 344-359. 1954.

FOLK, R. L. (1980) **Petrology of sedimentary rocks**. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas, EUA. 1980 400p.

FROST, T.M. REISWIG, H.M.; RICCIARDI, A. (1991). Porifera. In: Thorp, J.H. & Covich, A.P. (eds). **Ecology and Classification of North American Invertebrates**. Academic Press, Inc. San Diego, California: 95-124. 1991.

FUSON, R.H. 1969. Radiocarbon dating. **Annals of the Association of American Geographers**. 59(3): 494-511. 1969.

GADEN-MARCON, G.; MENDONÇA-FILHO, J.G.; GUERRA-SOMMER, M.; CARVALHO, M.A.; PIRES, E.F.; HARTMANN, L.A. Relation between the sedimentary organic record and the climatic oscillations in the Holocene attested by palynofacies and organic geochemical analyses from a pond of altitude in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 86(3): 1077-1099. 2014.

GÓMES, P., CARBALLO, J.L., CRUZ-BARRAZA, J.A., CAMACHO-CANCINO, M. On the genus Racekiela in Mexico: molecular and morphological description of Racekiela cresciscrystae n. sp. **Journal of Natural History** 53: 1351–1368. 2019.

HARRISON, F.W. Utilization of Freshwater sponges in paleolimnological studies. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam. 62: 387-397. 1988.

HERNÁNDEZ, V.M.Q., BARREAT, J.G.N. Racekiela andina sp. nov. (Spongillida: Spongillidae): first report of a freshwater sponge from the Venezuelan Andes. **Zootaxa**. 4341 (2): 275–278. 2017.

JAMES, N.P., BOURQUE, P.A. REEFS AND MOUNDS. In: R. Walker and N.P. James (Editors), Facies Models Response to Sea-level Change. **Geological Association of Canada** 17: 323-347. 1992.

KAANDORP, J.A. (1999). Morphological analysis of growth forms of branching marine sessile organisms along environmental gradients. **Marine Biology**, 134: 295-306.

KALINOVISKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA-FILHO, E.E. (2016A) Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. **Revista Brasileira de Geografia física** 9(5): 1543-1558. 2016 A

KALINOVISKI, E.C.Z., PAROLIN, M., SOUZA-FILHO, E.E. (2016B) Esponjas de água doce da América do Sul: o estado da arte da produção científica do Brasil. **Terrae didática**.12(1): 4-18. 2016B

KUENEN, P.H.; PERDORK, W.G. 1962. Experimental abrasion 5. Frosting and Defrosting of Quartz Grain. **The Journal of Geology** 70 (6): 648-658. 1962.

KRUMBEIM, W.C. Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of sedimentary particles. **Journal of sedimentary Petrology**. 11 (2): 64-72. 1941.

LEROY, J.A.S. 2015. Checklist das Macrófitas Aquáticas do Rio Grande do Norte com Reforço Amostral do Grupo na Apa Bonfim-Guaráira. Dissertação (Mestrado). Unidade. Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias Campus Macaíba. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. Macaíba, RN. 98f. 2015.

LIMA, L.S. Massa atômica relativa. **Revista Ciência Elementar**. 1(1): 48-49 2013.

LUCENA, L. R. F. *Implicações tectônicas na hidrologia do aquífero Barreiras e sistema lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN*. 1998. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) - **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal. 116 f. 1999.

LUCENA, LEANDSON ROBERTO FERNANDES DE. 2005. Implicações na compartimentação estrutural do aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Pirangi - RN. 151 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica; Geofísica) - **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba. 115f. 2005.

MADELLA, A.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0. **Annals of Botany** 96: 253–260. 2005.

MANCONI, R. PRONZATO, R. Spongillides of Mediterranean islands. In: van Soest, R.W.M.; van Kempen, T.M.G.; Braekman, J.C. (eds). **Sponges in time and space**. Balkema, Rotterdam: 333-340. 1994.

MANCONI, R., PRONZATO, R. Suborder Spongillina subord. nov.: Freshwater sponges. In: Hooper, J. N. A. & van Soest, R. W. M. (ed.) **Systema Porifera. A guide to the classification of sponges**. 1 Kluwer Academic/ Plenum Publishers: New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. pp921-1020. 2002.

MANCONI, R.; PRONZATO, R. Gemmules as a key structure for the adaptative radiation of freshwater sponges: A morpho-functional and biogeographical study. In: Custodio, M.R.; Lôbo-Hajdu, G.; Hajdu, E. & Muricy, M. (des). **Porifera Research: Biodiversity, Innovation, Sustainability**. Museu Nacional, Rio de Janeiro. Série Livros 28, 61-77. 2007.

MELO, F. T. L. Aspectos morfo-dinâmicos do Complexo Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, Região Costeira Sul Oriental do RN. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) - **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal. 118f. 2000.

MENDONÇA, B.A.F.; FERNANDES-FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; VALE-JÚNIOR, J.F.; LISBOA, B.A.R.; MENDONÇA, J.G.F. Solos e Geoambiente do Parque Nacional do Viruá e Entorno, Roraima: Visão integrada da paisagem e serviço ambiental. **Ciência Florestal** 23(2): 427-442. 2013.

- MEYERS, O.A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**. 114: 289-302. 1994.
- MEYERS, P.A. Organic geochemistry proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**. 27 (5/6):213-250. 1997.
- MEYERS, P.A.; ISHIWATARI, R. Lacustrine organic geochemistry: an overview of indicators of organic matter source and diagenesis in lake sediments. **Organic Geochemistry**. 20(7):867-900. 1993.
- MEYERS, P.A. SILLIMAN, J.E.; SHAW, T.J. Effects of turbidity flows on organic matter accumulation, sulfate reduction, and methane generation in deep-sea sediments on the Iberia Abyssal Plain. **Organic Geochemistry** 25 (1/2):69-78. 1996.
- MULHOLLAND, S.C.; RAPP, G. **Phytolith Systematics**. Springer Science and Business Media New York. 1992. 320p.
- NICÁCIO, G., SEVERI, W., PINHEIRO, U. New species of *Radiospongilla* (Porifera:Spongillidae) from Brazilian inland Waters. **Zootaxa** 3132:56-63. 2011.
- NICÁCIO, G., PINHEIRO, U. Biodiversity of freshwater sponges (Porifera:Spongillina) from northeast Brazil: new species and notes on systematics. **Zootaxa** 3981(2):220-240. 2015.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. IBGE, Rio de Janeiro. 1989. 422p.
- OWENS, N.J.P. Natural Variations in ^{15}N in Marine Environment. **Advances in Marine Biology**. 24: 389-451. 1988.
- OWENS, N.J.P.; LAW, C.S. Natural Variations in ^{15}N content of riverine and estuarine sediments. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 28: 407-416. 1989.
- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J.C. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironment indicators of the Holocene in upper Paraná River Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia** 10(1):17-26. 2007.
- PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., STEVAUX, J.C. (2008) Use of spongofacies as a proxy for river-lake paleohydrology in quaternary deposits of central-western Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia** 11(3): 187-198. 2008.
- PEREIRA, R.; SILVA-JUNIOR, G.C.; GUIMARÃES-JUNIOR, J.A. Fonseca, A.L. Caracterização hidrogeoquímica do Sistema Lacustre Bonfim, Rio Grande do Norte, Brasil. **1st Joint World Congress on Groundwater**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1-15, 2000.
- PESSENDA, L. C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; FREITAS, H.A.; RIBEIRO, A.S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A.; LEDRU, M.P.; SIEFEDDINE, A.F.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos de Carbono e suas Aplicações em Estudos Ambientais. In: Souza, C.R.G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. **Quaternário do Brasil**. Holos Editora: Ribeirão Preto, 2005. pp 75-93.

- PETTIJOHN, F.J. Sedimentary Rocks. 3^o ed. *Harper and Row publishers*. 68-81.
- Peterson, B. J.; Howarth R. W.; Garrit R.H. 1987. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. **Science**, 227: 1361-1363. 1975.
- PINHEIRO, U., DOCIO, L., NICÁCIO, G., HAJDU, H. A reassessment of neotropical species of Corvospongilla (Porifera: Spongillidae). **Journal of Natural History**. 47: 2373-2384. 2013.
- PINHEIRO, U., SILVA, U., CALHEIRA, L. Sanidaster in freshwater sponges: an unexpected spicule for the birotuled Genus Corvoheteromeyenia Ezcurra de Drago, 1979. **Zoosystema**. 37 (3): 449-456. 2015a.
- PINHEIRO, U., CALHEIRA, L., HAJDU, E. A new species of freshwater sponge, Heteromeyenia barlettai sp. nov. from aquarium in São Paulo, Brazil (Spongillida:Spongillidae). **Zootaxa**. 4034 (2): 351-363. 2015b.
- PINHEIRO, U., CALHEIRA, L. Porifera. In: Damborenea, C. Thorp, J.H., Rogers, D.C (eds.). **Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**. 4^a edition. Vol. 5: Keys to Neotropical and Antarctic fauna. Academic Press: New York. 115-130. 2020
- PIPERNO, D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. **Journal of World Prehistory**. 5(2):155-191. 1991.
- PIPERNO, D. R. **Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Oxford: AltaMira Press, 2006. 238 p.
- PIPERNO, D.R.; BECKER, P. Vegetational History of a site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal records from Natural soils. **Quaternary research** 45: 202-209. 1996.
- PISERA, A., SAËZ, A. Paleoenvironment significance of new species of freshwater sponge from the late Miocene Quillagua Formation (N Chile). **Journal of South American Earth Sciences** 15: 847-852. 2003.
- POMEROL, C.; LAGABRIELLE, Y.; RENARDE, M. GUILLOT, S. **Princípio de Geologia: Técnicas, modelos e teoria**. 14^a ed. Bookman Editora: Porto Alegre. 2013.1052p.
- PONTEVEDRA-POMBAL, X.; MARTINEZ-CORTIZAS, A. Turberas de Galicia: procesos formativos, distribución y valor medioambiental el caso particular de las "Serras Septentrionais". **Chioglossa**, 2: 103 -121. 2004.
- POST, W.M.; EMANUEL, W.R.; ZINKE, P.J.; STANGENBERGER, A.G. Soil Pools and world life zones. **Nature**. 298: 156-159. 1998.
- POTTER, R. M., ROSSMAN, G. R. Desert Varnish: The Importance of Clay Minerals. **Science** 196(4297): 1446–1448. 1977.

- PRONZATO, R., PISÈRA, A., MANCONE, R. (2017) Fossil freshwater sponge: Taxonomy, Geographic Distribution and critical review. **Acta Palaeontologica Polonica** 62(3): 467-495.2017.
- RAUPACH, M.R.; CANADELL, J.G. Carbon and the Anthropocene. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. 2:210–218. 2010.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados. 2002. 86 pp.
- ROSS, S.M. Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservations. **Progress in Physical Geography** 17(3):265-305. 1993.
- ROVNER, I. Potential of Phytoliths for use in Paleoecological Reconstruction. **Quaternary research**, 343-359. 1971.
- SALGADO-LABORIAU, M.L. **História ecológica da Terra**. 2ª edição. Editora Edgard Blücher: São Paulo. 1994. pp307.
- SÁNCHEZ-BERISTAIN, F., REITNER, J. Paleoecology of microesncrusters and encrusting “coralline” sponges in Cipit boulders from the Cassian formation (upper Landinian-lower Carnian, Dolomites Northern Italy). **Paläontologische Zeitschrift** 86:113-133. 2012.
- SCHEEL-YBERT, R. Considerações sobre o método de datação pelo carbon-14 e alguns comentários sobre a datação de sambaquis. **Revista do Museu de arqueologia e Etnologia**. 9: 297-301. 1999.
- SCHÖNBERG, C.H.L. **Who is who in sponge science 2020**. in: an Soest, R.W.M.; Boury-Esnault, N.; Hooper, J.N.A.; Rützler, K.; de Voogd, N.J.; Alvarez, B.; Hajdu, E.; Pisera, A.B.; Manconi, R.; Schönberg, C.; Klautau, M.; Kelly, M.; Vacelet, J.; Dohrmann, M.; Díaz, M.-C.; Cárdenas, P.; Carballo, J.L.; Ríos, P.; Downey, R.; Morrow, C.C. World Porifera Database. 2020 In: <http://www.marinespecies.org/porifera> on 2020-01-17. Acessado em 19 de janeiro de 2020.
- SCHNURRENBERGER, D.; RUSSEL, J.; KELTS, K. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. **Journal of Paleolimnology** 29: 141-154. 2003.
- SILVA, A.P. Cartografia Histórica da Vegetação do Rio Grande do Norte no Século XX: Análise Documental e Geoespacial para a Gestão do Território. Dissertação de Mestrado. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal. 201f. 2020.
- SILVEIRA, I.M. 2002. *Monitoramento Geoambiental da região costeira do município de Guamaré-RN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. Natal. 104f.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. 2^a ed. John Wiley and Sons: New York. 1994. 496pp.

STUIVER, M.; REIMER, P.J. Extended 14C data base and revised Calib 3.0 14C age calibration program. **Radiocarbon** 35(1): 215-230. 1993.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo; Blucher. 2003. 400p.

SYLVESTRE, F. La dernière transition glaciaire-interglaciaire (18000- 8000 14C and B.F.) des Andes Tropicales du Sud (Bolivie) d'après l'étude des diatomés. *Tese de doutorado*. MNHN. Paris. 311f 1997.

TABOSA, W.F.T.; LIMA, Z.M.C.; VITAL, H.; GUEDES, I.M.G. Monitoramento costeiro das praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte – NE/ Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, 28 (2): 383-392. 2001.

TABOSA, W.F.T, VITAL, H.; AMARO, V.E. Morphologic and Structural Characterization of the Rio Grande do Norte State, NE Brazil, based on Remote Sensing Images. **Annual Meeting of American Association of Petroleum Geologist**. Houston, EUA. 2002. 450p.

TATE, K.R. Assessment, based on a climosequence of soil ,in tussock grassland, of soil carbon storage and release in response to global warming. **Journal of soil Science**. 43:697-707. 1992.

TAVARES, M.C.M., VOLKMER-RIBEIRO, C., DE ROSA-BARBOSA, R. Primeiro Registro de Corvoheteromeyenia australis (Bonetto & Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 20(2): 169-182. 2003.

TWISS, P.C., SUESS E., SMITH R.M. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings** 33:109-11. 1969.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. 1973. **Preparo de amostras para analyses ¹⁵N por espectrometria de massas**. USP/CENA: Piracicaba, 1973. 38p.

VELICHKO, A.A.; TIMIREVA, S.N.; KREMENETSKI, K.V.; MACDONALD, G.M.; SMITH, L.C. 2011. West Siberian Plain as a late glacial desert. **Quaternary International**. 237: 45-53. 2011.

VITAL, H. SILVEIRA, I.M., AMARO, V.E., MELO, F.T.L. SOUZA, F.E.S., CHAVES, M.S., LIMA, Z.M.C. EP FRAZAO, E.P.; TABOSA, W.F.; ARAÚJO, A.B., SOUTO. W.V.S. Rio Grande do Norte. In: Muehe, D. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília. Ministério do Meio ambiente. 2006.

VOLKMER-RIBEIRO, C., DE ROSA-BARBOSA, R., MACHADO, M.S. Corvomeyenia epilithosa sp. nov. (Porifera: Metaniidae) no Parque Nacional da Serra

Geral, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 22(4):844-852. 2005.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; MOTTA, J.F.M.; CALLEGARO, V.L.M. (1998). Taxonomy and distribution of brazilian spongillites. In:Wanabe, Y. e Fusetani, N. (eds). **Sponge**. Sciences, Tokyo: Springer-Verlag, Tokyo, Japan, p. 271-278. 1998.

VOLKMER-RIBEIRO, C., PAULS, S.M. Esponjas de água Dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. **Acta Biologica Venezuelana**. 20(1):1-28. 2008.

WANTZEN, K.M.; COUTO, E.G.; MUND, E.E.; AMORIM, R.S.S.; SIQUEIRA, A.; TIELBÖERGER, K.; SEIFAN, M. ET AL. Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in Brazilian Cerrado agroscape. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 151: 70-79. 2012.

WATERS, C.N.; ZALASIEWICZ, J.; SUMMERHAYES, C. BARNOSKY, A.D.; POIRIER, C.; GAŁUSZKA, A. CEARRETA, A. EDGEWORTH, M.; ELLIS, C.E. ELLIS, M. JEANDEL, C.; LEINFELDER, R. MCNEILL, J.R.; RICHTER, D.B. STEFFEN, W. SYVITSKI, J.; VIDAS, D.; WAGREICH, M. WILLIAMS, M.; ZHISHENG, A.; GRINEVALD, J; ODADA, E.; ORESKES, N.; WOLFE. A.P. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**. 351:1-26. 2016.

WENTWORTH, C.K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**. 30 (5): 377-392. 1922.

WERNER, R.A.; BRAND, W. Referencing strategies and techniques in stable isotope ratio analysis. **Rapid communications in mass spectrometry** 15: 501-519. 2001.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C.N.; SUMMERHAYES, C.P.; WOLFE, A.P.;BARNOSKY, A.D.; CEARRETA, A.; CRUTZEN, P.; ELLIS, E.; FAIRCHILD, I.J.; GAŁUSZKA, A.; HAFF, P.; HAJDAS, I; HEAD, M.J.; SUL, J.A.I.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J.R.; NEAL, C.; ODADAS, E.; ORESKES, N.; STEFFEN, W.; SYVITSKI, J. VIDAS, D.; WAGREICH, M.; WILLIAMS, M. The working on the Anthropocene: Summary of evidence and interim recommendations. **Anthropocene** 19: 55-60. 2017.

APÊNDICE 1 – SEDIMENTOLOGIA DA SONDAGEM LUR COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCÓPICA.

Nº.	ID. (cm)	Cas. (%)	Areia (%)						Lama (%)						total	Classificação Folk e Ward, 1957.	MO* (%)	Composição e Brilho	Morfoscopia
			AMG	AG	AM	AF	AMF	total	SMG	SG	SM	SF	SM F	Arg .					
1	00-06	3,6	10,24	16,98	23,16	22,14	11,36	83,82	5,26	7,26	—	—	—	—	12,56	Areia siltosa	-	QV/MO	Subangular
2	09-12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Areia siltosa	1,00		
3	21-24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,00	QF	Subangular
4	33-36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,00		
5	42-45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Areia siltosa	10,00		
6	51-54	4,48	12,00	21,56	29,68	21,88	2,68	87,8	4,94						4,94	Areia	—	QF/MO	Brilho fosco
7	60-63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		9,00		
8	70-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	89-92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1,00	QF	Brilho fosco
10	93-96	3,80	17,34	31,10	31,08	10,94	2,32	92,78	0,60	—	—	—	—	—	0,60	Areia	—	QF	Brilho fosco

*Teor de matéria orgânica foi quantificado em sequências tomadas aleatoriamente no sedimento

** MO – Material orgânico, **QF** – Quartzo fosco **QV** – Quartzo Vítreo

APÊNDICE 2 _ SEDIMENTOLOGIA DA SONDAGEM LFU COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCÓPICA.

Nº.	ID. (cm)	Cas. (%)	Areia (%)						Lama (%)						Classificação Folk e Ward, 1957.	MO* (%)	Composição e Brilho**		Morfo scopia
			AMG	AG	AM	AF	AMF	Tot.	Lama										
1		–	–	–	–	–	–	–	–							-	-	QV/MO	Angular
2	03 -06	0,84	5,68	13,28	17,44	22,52	27,34	86,26	12,9							Areia lamosa	-	-	-
3	09-12	0,6	27,84	16,88	12,64	13,1	17,24	87,7	6,18							Areia	–	–	-
4	15 -18	–	22,8	23,84	15,42	17,16	12,66	86,24	8,12							Areia	0,90	-	-
5	21-24	–	–	–	–	–	–	–	–							Areia		QF	Angular
6	30-35	–	–	–	–	–	–	–	–							Areia	7,00	–	–
7	42-45	–	–	–	–	–	–	–	–							Areia	14,00	–	–
8	48-51	4,34	22,96	23,72	19,32	15,96	9,28	91,24	4,42							Areia	–	–	-
9	51-54	–	–	–	–	–	–	–	–							Areia		QV	Angular
10	57-60	5,40	25,32	22,06	16,22	15,28	10,78	89,66	4,94							Areia	3,00	QF	Angular

*Teor de matéria orgânica foi quantificado em sequências tomadas aleatoriamente no sedimento

** MO – Material orgânico, **QF** – Quartzo fosco **QV** – Quartzo Vítreo.

APÊNDICE 3 - SEDIMENTOLOGIA DA SONDAGEM LAR1 COM DADOS SOBRE AS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E MORFOSCÓPICA.

Nº.	ID. (cm)	Cas. (%)	Areia (%)						Lama (%)							Classificação Folk e Ward, 1957.	MO* (%)	Composição e Brilho***	Morfoscopia
			AMG	AG	AM	AF	AMF	Tot.	Lama										
		—	—	—	—	—	—	—	—							-	-		
1	01 -06	-	1,12	0,32	70,36	28,02	0,18	100								Areia	-	Q/V	subangular
2	21-24	-																Q/V	subangular
3	39-42	-	0,00	1,58	18,72	63,38	16,32	100								Areia	—	—	-
4	42-45	-																Q/V	subangular
5	51-54	-																Q/V	Angular
6	57-60	-	3,72	3,22	65,22	15,52	8,96	96,64	3,36							Areia	15	-	-
7	79-82	-	0,48	1,38	27,58	49,94	17,66	97,04	2,96							Areia			
8	90-93	-	0,00	0,7	25,58	50,44	22,26	98,02	1,02							Areia		Q/V	Angular

**Teor de matéria orgânica foi quantificado em sequências tomadas aleatoriamente no sedimento

*** MO – Material orgânico; **QF** – Quartzo fosco; **QV** – Quartzo Vítreo.

APÊNDICE 4 – CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO FUMO, AGOSTO, 2017, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. (ESPÍCULAS DE ESPONJAS E FITÓLITOS).

[illegible]

APÊNDICE 5 CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO URTIGA, AGOSTO, 2017, RN, BRASIL (ESPÍCULAS DE ESPONJAS E FITÓLITOS).

Depth																															
Name	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93
<i>Corvoheteromeyenia heterosclera</i>	0	0	0		0	3	0	1	2	2	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anheromeyenia</i> sp	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dosilia pydanieli</i>	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ephydathia</i> sp	0	0	0		0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heterorotula fistula</i>	0	0	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Radiospongilla inesi</i>	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tubella variabilis</i>	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entire Megaesclera	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmented Megasclere	0	2	1		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entire Microsesclere	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmented Microsclere	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entire Gemmuloscleres	0	0	0		0	10	0	1	6	1	1	0	4	0	0	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmented gemmuloscleres	0	0	0		3	0	0	1	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unclassified fragmented sponge spicules	7	36	7		21	36	14	19	29	32	81	25	50	16	10	39	5	9	9	8	8	10	0	2	0	1	0	1	3	0	0
Total Classified sponge spicules	1	2	1		3	11	0	2	8	2	1	0	5	0	0	31	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilobate	25	13	0		19	8	6	3	20	4	2	2	14	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cross	3	2	5		4	2	4	2	1	5	5	7	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cylindric sulcatedTracheid	4	17	0		1	2	3	2	5	12	6	3	5	3	0	1	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elongate echinate	64	23	2		16	3	11	2	12	11	5	0	31	0	2	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Elongate psilate	79	9	3		90	58	62	49	55	51	38	30	0	38	19	16	31	13	17	9	33	10	8	0	3	0	0	0	0	0	
Globular echinate	19	10	1		20	10	6	0	19	9	21	9	0	5	3	6	2	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE 6 – CONJUNTO DE DADOS DA LAGOA DO ARITUBA, AGOSTO, 2017, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. (ESPICULAS DE ESPONJAS EFITÓLITOS).

	Depth																														
Name	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	
<i>Dosilia pydanieli</i>	2	6	3	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	4	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<i>Radiospongilla inesi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Tubella variabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	14	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Anheteromeyenia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Espiculas marinhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	
Megasclera inteira	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	3	1	2	2	9	10	5	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Megasclera fragmentada	1	2	1	0	9	0	0	0	1	7	6	1	2	9	60	0	11	45	14	8	0	13	12	13	8	0	4	7	64	5	
Microsclera inteira	1	6	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Microsclera fragmentada	1	0	2	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	2	9	40	14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gemosclera inteira	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	7	5	7	14	7	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gemosclera fragmentada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total spicules	581																														
Total diatoms	112507																														
Bilobate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tracheid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elongate echinate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elongate psilate	0	13	14	16	64	14	14	12	16	3	9	0	0	4	13	4	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Globular echinate																															
Globular psilate																															

Continued

APÊNDICE 7 – MÉDIA MICROMÉTRICA DE ESPÍCULAS INTEIRAS RECUPERADAS DAS SONDAGENS LAR1, LUR E LFU POR ESPÉCIE E TIPO ESPICULAR. COMPRIMENTO/LARGURA//DIÂMETRO DAS RÓTULAS

Espécie/gênero	Sondagem	Megasclera	Microsclera	Gemosclera
<i>Anheteromeyenia</i> Schröder, 1927	LUR – LAR1			105,3/12
<i>Corvoheteromeyenia heterosclera</i> (Excurra de Drago, 1974)	LUR-LFU	230/8,1	Acantóxeas: 40/3,5	70/3,2//22
<i>Dosilia pydanieli</i> Volkmer-Ribeiro, 1992	LUR-LAR1	455/31	Áster: 40	74/5//32
<i>Ephydatia</i> Lamouroux, 1816	LUR			58/7//23
<i>Heterorotula fistula</i> Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995	LUR-LFU			50/7//14-11*
<i>Radiospongilla inesi</i> Nicácio e Pinheiro, 2011	LUR/LAR1			72,5/5//23
<i>Tubela variabilis</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973	LUR/LAR1			25/4// 9

*Médias de medidas das duas rótulas, maior e menor, das birrotulas.

ANEXOS A - NORMAS DO PERIODICO CIENTÍFICO ZOOTAXA

INFORMATION FOR AUTHORS:

Preparation of manuscripts

1) *General*. All papers must be in English. Authors whose native language is not English are encouraged to have their manuscripts read by a native English-speaking colleague before submission. Nomenclature must be in agreement with the *International Code of Zoological Nomenclature* (4th edition 1999), which came into force on 1 January 2000. Author(s) of species name must be provided when the scientific name of any animal species is first mentioned (the year of publication needs not be given; if you give it, then provide a full reference of this in the reference list). Authors of plant species names need not be given. Metric systems should be used. If possible, use the common font Times New Roman and use as little formatting as possible (use only **bold** and *italics* where necessary and indentions of paragraphs except the first). Special symbols (e.g. male or female sign) should be avoided because they are likely to be altered when files are read on different machines (Mac versus PC with different language systems). You can code them as m# and f#, which can be replaced during page setting. The style of each author is generally respected but they must follow the following general guidelines.

2) The **title** should be concise and informative. The higher taxa containing the taxa dealt with in the paper should be indicated in parentheses: e.g. A taxonomic revision of the genus *Aus* (Order: family).

3) The **name(s) of all authors** of the paper must be given and should be typed in the upper case (e.g. ADAM SMITH, BRIAN SMITH & CAROL SMITH). The address of each author should be given in *italics* each starting a separate line. E-mail address(es) should be provided if available.

4) The **abstract** should be concise and informative. Any new names or new combinations proposed in the paper should be mentioned. Abstracts in other languages may also be included in addition to English abstract. The abstract should be followed by a list of **key words** that are not present in the title. Abstract and key words are not needed in short correspondence.

5) The arrangement of the **main text** varies with different types of papers (a taxonomic revision, an analysis of characters and phylogeny, a catalogue etc.), but should usually start with an **introduction** and end with a list of **references**. References should be cited in the text as Smith (1999), Smith & Smith (2000) or Smith *et al.* (2001) (3 or more authors), or alternatively in a parenthesis (Smith 1999; Smith & Smith 2000; Smith *et al.* 2001). All literature cited in the text must be listed in the references in the following format (see a sample page here in PDF).

A) Journal paper:

Smith, A. (1999) Title of the paper. *Title of the journal in full*, volume number, issue number if possible & page range.

B) Book chapter:

Smith, A. & Smith, B. (2000) Title of the Chapter. *In*: Smith, A, Smith, B. & Smith, C. (Eds), *Title of Book*. Publisher name and location, pp. x–y.

C) Book:

Smith, A., Smith, B. & Smith, C. (2001) *Title of Book*. Publisher name and location, xyz pp.

D) Internet resources

Author (2002) Title of website, database or other resources, Publisher name and location (if indicated), number of pages (if known). Available from: <http://xxx.xxx.xxx/> (Date of access).

Dissertations resulting from graduate studies and non-serial proceedings of conferences/symposia are to be treated as books and cited as such. Papers not cited must not be listed in the references.

Please note that:

(1) **journal titles must be written in full (not abbreviated)**

(2) **journal titles and volume numbers are followed by a ", "**

(3) **page ranges are connected by "n dash", not hyphen "-", which is used to connect two words.**

For websites, it is important to include the last date when you see that site, as it can be moved or deleted from that address in the future.

On the use of dashes: (1) Hyphens are used to link words such as personal names, some prefixes and compound adjectives (the last of which vary depending on the style manual in use). (2) En-dash or en-rule (the length of an ‘n’) is used to link spans. In the context of our journal that means numerals mainly, most frequently sizes, dates and page numbers (e.g. 1977–1981; figs 5–7) and also geographic or name associations (Murray–Darling River; a Federal–State agreement). (3) Em-dash or em-rule (the length of an ‘m’) are used far more infrequently, and are used for breaks in the text or subject, often used much as we used parentheses. In contrast to parentheses an em-dash can be used alone; e.g. What could these results mean—that Niel had discovered the meaning of life? En-dashes and em-dashes should not be spaced.

6) Legends of **illustrations** should be listed after the list of references. Small illustrations should be grouped into plates. When preparing illustrations, authors should bear in mind that the journal has a matter size of 25 cm by 17 cm and is printed on A4 paper. For species illustration, line drawings are preferred, although good quality B&W or colour photographs are also acceptable. See a guide here for detailed information on preparing plates for publication.

7) **Tables**, if any, should be given at the end of the manuscript. Please use the table function in your word processor to build tables so that the cells, rows and columns can remain aligned when font size and width of the table are changed. Please do not use Tab key or space bar to type tables.

8) **Keys** are not easy to typeset. In a typical dichotomous key, each lead of a couplet should be typed simply as a paragraph as in the box below: 1 Seven setae present on tarsus I ; four setae present on tibia I; leg I longer than the body; legs black in color ... Genus A

- Six setae present on tarsus I; three setae present on tibia I; leg I shorter than the body; legs brown in color ... 2

2 Leg II longer than leg I ... Genus B

- Leg II shorter than leg I ... Genus C

Our typesetters can easily convert this to a proper format as in this PDF file.

Deposition of specimens

Whenever possible, authors are advised to deposit type specimens in national or international public museums or collections. Authors are also advised to request registration numbers of deposited material in advance of the acceptance of papers to avoid unnecessary delay of publication. Some countries (e.g. Australia) require that primary type specimens be deposited in collections of the country of origin; authors are advised to take this into consideration.

ANEXOS B - NORMAS DO PERIODICO CIENTÍFICO JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCE

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process. As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

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

Formatting requirements

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

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

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a single anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups.