

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

Mariah Izar Francisquini

Reconstrução da vegetação e do clima em alta resolução no Holoceno na Ilha do  
Marajó, com o uso de indicadores biológicos e isotópicos

Piracicaba  
2011

MARIAH IZAR FRANCISQUINI

Reconstrução da vegetação e do clima em alta resolução no Holoceno na Ilha do  
Marajó, com o uso de indicadores biológicos e isotópicos

Dissertação apresentada ao Centro de Energia  
Nuclear na Agricultura da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Energia Nuclear na  
Agricultura e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Piracicaba  
2010

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Francisquini, Mariah Izar

Reconstrução da vegetação e do clima em alta resolução no Holoceno na Ilha do Marajó, com o uso de indicadores biológicos e isotópicos / Mariah Izar Francisquini; orientador Luiz Carlos Ruiz Pessenda. - - Piracicaba, 2011.

163 f.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Bacillariophyceae 2. Carbono 14 3. Datação 4. Isótopos estáveis  
5. Litoestratigrafia 6. Paleoambientes 7. Pólen I. Título

CDU 551.794:902.67(811.5)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus pelas oportunidades e bênçãos de todos os dias.

Aos meus pais, por acreditarem em mim, pelos ensinamentos e por sempre colocar a educação como maior bem que poderiam me dar.

À minha irmã, pela amizade sincera.

Ao meu noivo, e em breve marido, pela paciência e apoio.

Ao Prof. Dr. Pessenda, pela orientação e amizade e apoio.

Aos amigos do Laboratório Carbono-14, Soraya, Elaine, Susy, Cláudia, Aline, Marcos, Rodrigo, Fernanda, principalmente à Liz e ao Thiago, pelas amostras tratadas e atenção; e ao Álvaro e Jaime, pelas discussões e auxílio.

Ao Prof. Dr. Marcelo Cohen, pelo auxílio nas coletas, nas discussões e na palinologia. Ao Marlon e à Clarisse, pelas conversas e bom humor.

À Profa. Dra. Dilce Rossetti, pelo exemplo e pela colaboração. Às amigas Carol e Darci, que me ajudaram na construção deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo de Oliveira, pela colaboração de sempre, na palinologia e diatomáceas. À Camilla e Vanda, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Albertino Bendassolli, e Miguel, pelas análises isotópicas.

À Gloriosa República Forfé, que foi minha família durante os 7 anos que morei em Piracicaba.

À Universidade de São Paulo, pelo ensino de qualidade.

À pós-graduação do CENA, principalmente ao pessoal da secretaria, e à Marília da biblioteca, pela atenção e simpatia.

À FAPESP, projeto 2008/07338-9 pelo apoio financeiro.

Direi do Senhor:

*“Ele é o meu refúgio e a minha fortaleza,*

*O meu Deus, em quem confio”.*

(Salmos, 91:2)

## RESUMO

FRANCISQUINI, M. I. **Reconstrução da vegetação e do clima em alta resolução no Holoceno na Ilha do Marajó, com o uso de indicadores biológicos e isotópicos.** 2011. 163 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

Um estudo interdisciplinar, envolvendo análises de fácies, elementares e isotópicas de carbono e nitrogênio, palinologia e diatomáceas, teve como objetivo reconstruir a dinâmica da vegetação, na Ilha do Marajó, com inferências climáticas. Testemunhos sedimentares foram coletados em dois pontos diferentes na porção leste da Ilha, um no manguezal da Praia do Pesqueiro, outro no Lago São Luís, à ~35Km de distância a oeste e a ~8Km do litoral. Neste local, entre 7521 – 7433 anos cal AP e ~3.100 anos cal AP, a sedimentação é de argila maciça e laminação plano/paralela, com valores de C/N entre 45 e 15 e  $\delta^{15}\text{N}$  entre 1,34‰ e 5,08‰, que indicam mistura de material orgânico terrestre e fitoplanctônico e a relação C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  material com influência marinha. A concentração de *Rhizophora* chega a 94,4% do total dos grãos e as diatomáceas marinhas e salobras de *Cyclotella striata*, *Cymatotheca weissflogii* e *Paralia sulcata* são as mais representativas. Todas essas informações indicam a presença de um manguezal onde atualmente se encontra o Lago São Luis. Entre ~3100 anos cal AP e o presente, as fácies de argila maciça, com os valores de C/N entre 18 e 24 e  $\delta^{15}\text{N}$  de 1,7 a 6,04‰, que indicam mistura de plantas terrestres com material de algas na matéria orgânica sedimentar, e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -22 a -25‰, que indicam mistura de plantas  $\text{C}_3$  (espécies arbóreas e herbáceas) e  $\text{C}_4$  (Poaceae), sugerem significativa mudança ambiental. A palinologia registra uma redução na concentração de *Rhizophora* e aumento das espécies florestais, como Fabaceae, Melastomataceae/Combretaceae e Myrtaceae e a presença das diatomáceas de água doce, de água doce que suportam condições salobras e de mangue, como *Brachysira serians*, *Frustulia Krammeri*, *Eunotia sp* e *Surirella sp*. Todas essas informações indicam a formação do lago e a modificação da vegetação no seu entorno, similar a atual. Na Praia do Pesqueiro, entre 1739 – 1567 e ~614 – 552 anos cal AP, as fácies de areia com estratificação plano/paralela indicam um ambiente de ante-praia. Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais enriquecidos (-25 e -26‰), em relação ao período mais recente (parte superficial do testemunho), sugerem influência marinha e os bioindicadores estiveram ausentes. De ~614 – 552 até ~180 – 160 anos cal AP, fácies de argila maciça indica a presença de uma laguna e valores de C/N de 23,8 e  $\delta^{15}\text{N}$  de 2,44‰ a influência terrestre no material orgânico sedimentar. Palinomorfos de floresta e mangue estão presentes, com concentração de 8,6% e 88,2%, respectivamente, aspectos que sugerem a redução do nível relativo do mar (NRM) e expansão da vegetação de mangue e floresta, que ocupam a área de praia. A preservação de diatomáceas marinhas é registrada pela presença de *Coscinodiscus*. De ~180 – 160 anos cal AP até o presente, o manguezal se estabelece, como mostram as fácies de argila laminada e maciça, valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais empobrecidos (-29,34‰), C/N entre 18,31 e 24,25 e  $\delta^{15}\text{N}$  de 0,76 e 2,68‰, que indicam influência terrestre com mistura de matéria orgânica fitoplanctônica. A concentração de *Rhizophora* chega a 89,8% e as diatomáceas de ambiente salobro, como *Cyclotella striata*, a 85% do total, onde se infere a contínua redução do NRM.

**Palavras-chave:** Datação  $^{14}\text{C}$ . Isótopos estáveis de C e N. Pólen. Diatomáceas. Holoceno. Amazônia.

## ABSTRACT

FRANCISQUINI, M. I. **Reconstruction of vegetation and climate in high resolution at Holocene on Marajo Island, with biologic and isotopic indicators uses.** 2011. 163p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

An interdisciplinary study involving facies, elementary and isotopic carbon and nitrogen, pollen and diatom analyses, had the objective to reconstruct the vegetation dynamics at Marajó Island, with climatic inferences. Sedimentary cores of up to 2,5 meters were collected in two different points at the eastern part of the island, one in the mangrove at Praia do Pesqueiro, and other at São Luís lake, ~35 km far to the western part and ~8 km from the coast. In this place, between 7521 – 7433 years cal BP and ~3,100 years cal BP, the deposition of massive and laminated plan/parallel clay, with C/N between 45 and 15 and  $\delta^{15}\text{N}$  from 1.34 to 5.08‰, indicates a mixture of organic terrestrial material with phytoplankton, and the relation C/N and  $\delta^{13}\text{C}$  reveals the organic material with marine influence. The *Rhizophora* concentration is about 94.4% and marine and brackish most representative diatoms were *Cyclotella striata*, *Cymatotheca weissflogii* and *Paralia sulcata*. That batch of information indicates the mangrove presence in the site presently occupied by the Lake São Luís. From ~3100 years cal BP to the present, the massive clay structure and the C/N values between 18 and 24 and  $\delta^{15}\text{N}$  from 1.7 to 6.04‰ that indicates a mixture of terrestrial plants and algae material from sedimentary organic matter and  $\delta^{13}\text{C}$  values from -22 to -25‰, that indicates a mixture of  $\text{C}_3$  plants (arboreal and herbs) and  $\text{C}_4$  (Poaceae), suggest significant environmental changes. The pollen record indicate a reduction of *Rhizophora* concentration and an increase of forest species, like Fabaceae, Melastomataceae/Combretaceae and Myrtaceae, and the presence of freshwater, freshwater that support brackish conditions and mangrove diatoms, like *Brachysira seriens*, *Frustulia Krammeri*, *Eunotia sp* and *Surirella sp*. This set of information indicates the formation and the vegetation around the lake, similar to modern conditions. At Praia do Pesqueiro, between 1739 – 1567 and ~ 614 – 552 years cal BP, the plan/ parallel sand structures indicate a foreshore environment. More enriched  $\delta^{13}\text{C}$  values (between -25 and -26 ‰), in relation to the more recent period (shallow part of the core), suggests marine influence, and the bioindicators were absent. From ~614 – 552 until ~180 – 160 years cal BP, massive clay facies indicates the lagoon presence, and C/N of 23.8 and  $\delta^{15}\text{N}$  of 2.44‰ values indicates terrestrial influence. Forest and mangrove pollen are present, with concentrations around 8.6 and 88.2%, respectively, suggesting the relative sea level (RSL) falling and the expansion of mangrove and forest vegetation to the beach area. The preserved marine diatom is recorded by the *Coscinodiscus* presence. From ~180 – 160 years cal BP to the present, the mangrove vegetation is indicated by the massive and laminated clay structures, more depleted  $\delta^{13}\text{C}$  values (-29.34 ‰), C/N around 18.31 and 24.25 and  $\delta^{15}\text{N}$  of 0.76 and 2.68‰, that indicates the high influence of terrestrial environment, with phytoplankton organic matter mixture. The pollen concentration of *Rhizophora* is about 89.8% and brackish diatoms, as *Cyclotella striata*, reaches 85%, which permit the inference of decreased marine influence due to the relative sea level fall.

**Key Words:** Radiocarbon dating. Stable isotope of C and N. Pollen. Diatoms. Holocene. Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Pág.
Figura 1:	Tipos de cobertura vegetal, C <sub>3</sub> e C <sub>4</sub> , e seu respectivo valor isotópico em δ‰.....	17
Figura 2:	Localização da Ilha do Marajó, ao norte do Pará. Radambrasil, 1974.....	29
Figura 3:	Mapa geológico da Ilha do Marajó (adaptado de Rossetti e Toledo, 2006).....	31
Figura 4:	Mapa e imagem de satélite da Ilha do Marajó, indicando os pontos de coleta dos dois testemunhos: a Praia do Pesqueiro (a) e o Lago São Luís (b). Google Earth® e IBGE.....	33
Figura 5:	Vista do Lago São Luís, a vegetação rasteira de Poaceae, Cyperaceae e Convolvulaceae em evidência, e ao fundo a vegetação tipicamente arbóreo-arbustiva.....	34
Figura 6	Manguezal da Praia do Pesqueiro.....	35
Figuras 7 e 8:	Coleta de sedimento com vibro testemunhador no Lago São Luís (3) e no mangue da Praia do Pesqueiro (4).....	36
Figura 9	pré-tratamento químico para datação <sup>14</sup> C. Amostras submetidas a 60 – 70° C por 4 horas com HCl 4%.....	40
Figura 10:	Fotografias com as características sedimentares do testemunho R <sub>IV</sub> , Praia do Pesqueiro. ....	46
Figura 11:	Perfil litoestratigráfico e associação de fácies, resultante da descrição sedimentológica do testemunho R <sub>IV</sub> , do manguezal da Praia do Pesqueiro.....	47
Figura 12:	Fotografias com as características do sedimento do testemunho Jabuti, Lago São Luís.....	50
Figura 13:	Perfil litoestratigráfico e associação de fácies, resultante da descrição sedimentológica do testemunho Jabuti, do Lago São Luís.....	51
Figura 14:	Datações, litologia e análises elementares (C e N), isotópicas (δ <sup>13</sup> C, δ <sup>15</sup> N) e C/N do manguezal da Praia do Pesqueiro – testemunho R <sub>IV</sub> .....	58
Figura 15:	Correlações entre δ <sup>13</sup> C (‰) e C/N, nas faixas dos ambientes costeiros típicos, do testemunho Resex IV. (Meyers, 2004; Wilson et al. 2005; Lamb et al., 2006).....	61
Figura 16:	Datações, litologia e análises elementares (C e N), isotópicas (δ <sup>13</sup> C, δ <sup>15</sup> N) e C/N do sedimento do Lago São Luís – testemunho Jab.....	64
Figura 17:	Correlações entre δ <sup>13</sup> C (‰) e C/N, nas faixas dos ambientes costeiros típicos, do testemunho Jab. (Meyers, 2004; Wilson et al. 2005; Lamb et al., 2006).....	67

Figura 18:	Diagrama polínico em concentração absoluta (grãos/cm <sup>3</sup> ) e as zonas delimitadas pelo coniss do testemunho R <sub>IV</sub> .....	70
Figura 19:	Diagrama polínico em concentração relativa (%) e as zonas delimitadas pelo CONISS.....	71
Figura 20:	Diagrama de porcentagem dos agrupamentos de diatomáceas e alguns dos táxons mais relevantes, com as zonas delimitadas pelo CONISS.....	74
Foto 21:	imagem em microscópio óptico dos fragmentos vegetais presentes nos paleocanais e nas planícies de inundação, identificados por Lima, 2008.....	76
Foto 22:	imagem em microscópio óptico dos fragmentos presentes na amostra.....	76
Figura 23:	Diagrama polínico em concentração absoluta (grãos/cm <sup>3</sup> ) e as zonas delimitadas pelo CONISS do testemunho Jab.....	77
Figura 24:	Diagrama polínico em concentração relativa (%) e as zonas delimitadas pelo CONISS do testemunho Jab.....	78
Figura 25:	Diagrama de porcentagem dos agrupamentos de diatomáceas e alguns dos táxons mais relevantes, com as zonas delimitadas pelo CONISS.....	81
Figura 26	Espículas de esponja presentes nas lâminas de 12 – 10 cm, do testemunho Jab.....	83
Figura 27:	Evolução do sistema estuarino no final do pleistoceno e início do holoceno (Rossetti et al. 2008).....	87
Figura 28:	Esquema do sistema deposicional dominado por ondas no leste da Ilha do Marajó do pleistoceno tardio ao holoceno médio/inferior. (Castro, 2010).....	88
Figura 29:	Esquema do nível relativo do mar registrado na costa brasileira, comparando o que foi proposto por Martin et al. 2003 (a) e Angulo et al. 2006 (b). Figura de Buso-Junior, 2010.....	89

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Associação de fácies com sua respectiva descrição e os processos deposicionais envolvidos.....	48
Tabela 2: Descrição das fácies com as interpretações paleoambientais correspondentes, da Praia do Pesqueiro, testemunho R <sub>IV</sub> .....	49
Tabela 3 Associação de fácies com sua respectiva descrição e os processos deposicionais envolvidos.....	52
Tabela 4: Descrição das fácies com as interpretações paleoambientais correspondentes, do Lago São Luís, testemunho Jab.....	52
Tabela 5: Datação carbono-14 por AMS das amostras selecionadas do manguezal da Praia do Pesqueiro, testemunho R <sub>IV</sub> .....	53
Tabela 6: Datação Carbono-14 por AMS das amostras selecionadas do Lago São Luís, testemunho Jab.....	54
Tabela 7: As plantas coletadas no Lago São Luis e seus respectivos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰).....	56
Tabela 8: Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio da Praia do Pesqueiro – R <sub>IV</sub> .....	57
Tabela 9: Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio do Lago São Luís – Jab.....	61

## SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Usos de Isótopos estáveis do Carbono e os estudos Paleoambientais.....	15
2.1.1 Ciclo fotossintético das plantas C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> e CAM.....	15
2.1.2 δ <sup>13</sup> C.....	16
2.2 Isótopos estáveis do Nitrogênio e os estudos paleoambientais.....	17
2.2.1 δ <sup>15</sup> N.....	17
2.3 Carbono Orgânico Total (COT) .....	18
2.4 Razão C/N.....	18
2.5 Carbono-14.....	19
2.6 Bioindicadores .....	20
2.6.1 Palinologia .....	20
2.6.2 Análise de diatomáceas.....	21
2.6.3 Uso de <i>Lycopodium clavatum</i> como marcador exótico.....	21
2.7 Estudos paleoambientais na Amazônia no Quaternário.....	22
3 OBJETIVOS.....	28
4 AREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM .....	29
4.1 Localização.....	29
4.2 Clima.....	30
4.3 Geologia.....	30
4.4 Vegetação.....	31
4.5 Hidrografia.....	32
4.6 Descrição da área de coleta.....	32
4.6.1 Lago São Luís.....	34
4.6.2 Manguezal – Praia do pescueiro.....	34
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
5.1 Atividades de campo - coletas.....	36
5.2 Abertura e caracterização do sedimento: perfil litoestratigráfico.....	37
5.3 Amostragem.....	37
5.4 Pré-tratamento das amostras sedimentares para Carbono orgânico Total (COT), Nitrogênio total (NT), δ <sup>13</sup> C, δ <sup>15</sup> N.....	38
5.5 Pré-tratamento para δ <sup>13</sup> C das plantas coletadas no entorno.....	39
5.6 Pré-tratamento para datação <sup>14</sup> C.....	39
5.7 Tratamento para extração dos palinomorfos.....	40
5.7.1 Protocolo palinológico adaptado de COLINVAUX et al., 1999, para as condições do material.....	41
5.7.2 Montagem das lâminas para palinologia.....	42
5.7.3 Identificação e contagem dos palinomorfos.....	43
5.8 Análise de diatomáceas.....	43
5.8.1 Pré-tratamento para diatomáceas.....	43
5.8.2 Montagem das lâminas.....	44
5.8.3 Contagem e identificação das diatomáceas.....	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1 Descrição de fácies.....	45
6.1.1 Praia do Pesqueiro – R <sub>IV</sub> .....	45
6.1.2 Lago São Luís – Jabuti.....	49
6.2 Datação <sup>14</sup> C.....	53
6.2.1 Praia do Pesqueiro – R <sub>IV</sub> .....	53
6.2.2 Lago São Luís – Jab .....	54

6.3 Isótopos estáveis e análises elementares de Carbono e Nitrogênio.....	55
6.3.1 Caracterização isotópica das plantas coletadas no entorno.....	55
6.3.1.2 Praia do pescador - R <sub>IV</sub> .....	55
6.3.1.3 Lago São Luís – Jab.....	56
6.3.2 Caracterização isotópica do sedimento coletado nos testemunhos.....	56
6.3.2.1 Praia do Pescador – R <sub>IV</sub> .....	57
6.3.2.1.1 Carbono Orgânico Total (COT) (%).....	59
6.3.2.1.2 Nitrogênio Total (NT) (%).....	59
6.3.2.1.3 C/N.....	59
6.3.2.1.4 $\delta^{13}\text{C}$ (‰).....	60
6.3.2.1.5 $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....	60
6.3.2.1.6 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) x C/N .....	60
6.3.2.2 Lago São Luís – Jabuti .....	61
6.3.2.2.1 Carbono Orgânico Total (COT) (%).....	65
6.3.2.2.2 Nitrogênio Total (NT) (%).....	65
6.3.2.2.3 C/N.....	66
6.3.2.2.4 $\delta^{13}\text{C}$ (‰).....	66
6.3.2.2.5 $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....	66
6.3.2.2.6 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) x C/N.....	67
6.4 Bioindicadores.....	68
6.4.1 Praia do Pescador.....	68
6.4.1.1 Palinologia.....	68
6.4.1.1.1 Zona polínica I .....	72
6.4.1.1.2 Zona Polínica II .....	72
6.4.1.1.3 Zona Polínica III .....	72
6.4.1.2 Diatomáceas.....	73
6.4.1.2.1 Zona I .....	75
6.4.1.2.2 Zona II .....	75
6.4.1.2.3 Zona III .....	75
6.4.2 Lago São Luís.....	76
6.4.2.1 Palinologia.....	76
6.4.2.1.1 Zona polínica I .....	79
6.4.2.1.2 Zona Polínica II .....	80
6.4.2.2 Diatomáceas.....	80
6.4.2.2.1 Zona I .....	82
6.4.2.2.2 Zona II .....	82
6.5 Integração dos dados.....	83
6.5.1 Praia do Pescador .....	83
6.5.1.1 Entre 1739 - 1567 e 614 - 552 anos cal AP.....	83
6.5.1.2 Entre 614 - 552 – e ~180 - 160 –anos cal AP.....	84
6.5.1.3 Entre 180 – 160 anos cal AP até o presente.....	85
6.5.2 Lago São Luís.....	85
6.5.2.1 Entre 7521- 7433 e ~3.100 anos cal AP.....	85
6.5.2.2 Desde ~3.100 anos AP até o presente.....	86
6.6 O nível relativo do mar e a dinâmica da vegetação na Ilha do Marajó no Quaternário tardio .....	86
7 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS.....	92
ANEXOS.....	103

## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos paleoambientais visam reconstruir através dos processos deposicionais, a sucessão dos ambientes e seus fatores controladores, como o clima, por exemplo, de modo que seja possível compreender a evolução da paisagem até os dias atuais, além de permitir previsões futuras.

Levando-se em consideração a extensão da região Amazônica, a sua complexidade e biodiversidade, ainda são poucos os estudos realizados acerca das mudanças paleoambientais ocorridas no Quaternário tardio, que envolvam dados isotópicos e elementares, bioindicadores, geomorfologia e sedimentologia, tais como Turq et al. (1998); Behling e Costa (2001); Cohen et al. (2005); Rossetti et al. (2008); Lima (2008); Castro (2010); Cordeiro et al. (2011).

A Ilha do Marajó, Pará, onde se realizou o presente trabalho, é um exemplo interessante quando se fala em biodiversidade na Amazônia. No local, é possível distinguir três tipos predominantes de vegetação: (1) floresta Amazônica de terra firme nas áreas mais altas, as quais nunca são inundadas, (2) vegetação de campo e cerrado costeiro, em áreas inundáveis e não inundáveis, e (3) manguezais em algumas regiões costeiras (PIRES; PRANCE, 1985; PRANCE, 1979).

A utilização de distintas ferramentas analíticas de modo interdisciplinar podem auxiliar na reconstrução dos eventos que atuam nas mudanças ambientais, tais como a ação humana, o clima, tectonismo, etc.

Os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ) podem revelar mudanças sobre a vegetação do passado. Isso ocorre devido ao fato de que plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  incorporam o isótopo  $^{13}\text{C}$  em proporções diferentes, conforme o ciclo fotossintético específico de cada uma. A razão isotópica  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  é apresentada na forma  $\delta^{13}\text{C}$ , cuja variação ocorre de acordo com o fracionamento isotópico natural (DESJARDINS et al., 1996, PESSENDA et al., 1998b).

Durante a decomposição da matéria orgânica do solo, por exemplo, pode ocorrer o fracionamento isotópico do  $\delta^{13}\text{C}$  da ordem de 2 a 3‰. Este fracionamento não impede que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  possam ser utilizados para registrar modificações do tipo de vegetação presente na região, pois os sinais isotópicos de planta  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  não se sobrepõem e podem se diferenciar em média de até 14 unidades de delta (PESSENDA et al., 1998a).

A utilização dos isótopos estáveis do N, caracterizados pela razão  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  e apresentados como  $\delta^{15}\text{N}$  do material orgânico permite determinar a origem das fontes de nitrogênio de plantas aquáticas e terrestres (HERCZEG et al., 2001). A diferença entre as

fontes de nitrogênio é preservada no valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de algas, +8,5‰, e plantas  $\text{C}_3$  terrestres, +0,5‰ (PETERSON et al., 1987; MEYERS, 2003).

Estudos palinológicos têm se mostrado adequados na reconstrução dos paleoambientes. O objetivo de pesquisas palinológicas no Quaternário é relacionar os palinomorfos que estão preservados em amostras de sedimento com a vegetação de origem, permitindo a reconstrução das mudanças locais, bem como fazer inferências sobre as mudanças climáticas (BLASCO, 1984; BRADLEY, 1999).

O conjunto de diatomáceas preservadas em sedimentos também pode refletir condições ambientais locais. As interpretações obtidas geralmente estão relacionadas com as mudanças de vegetação terrestre local e próxima, com o impacto de desmatamentos e incêndios, tectonismo e mudanças climáticas (BATARBEE, 1986). Em ambientes de água doce e salinos, diatomáceas são utilizadas para identificar possíveis eventos de regressão e transgressão marinha e a posição das linhas de costa no passado (BATARBEE, 1986; YBERT et al., 2003).

Não só as mudanças climáticas como também os processos geológicos, como a tectônica (ROSSETTI; TOLEDO, 2007; ROSSETTI et al., 2010) são responsáveis por influenciar a distribuição de florestas e cerrado na região amazônica. Assim sendo, outra ferramenta importante para entender a complexidade deste ambiente, são as análises sedimentológicas e estratigráficas.

Através do uso das análises químicas, elementares e isotópicas (C e N,  $^{14}\text{C}$ ), indicadores biológicos e litoestratigráficos, pretende-se reconstruir a dinâmica holocênica em alta resolução da vegetação com inferências climáticas para a Ilha do Marajó.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão serão enfocadas, as técnicas e métodos analíticos utilizados na pesquisa desenvolvida na Ilha do Marajó e trabalhos referentes à reconstrução paleoambiental no Quaternário tardio desenvolvidos na Amazônia.

### 2.1 Usos de Isótopos estáveis do Carbono e os estudos Paleoambientais

#### 2.1.1 Ciclo fotossintético das plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM

Dependendo do ciclo fotossintético realizado pelas plantas, a discriminação do <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> neste processo ocorre de forma diferente.

Plantas C<sub>3</sub> têm como principal enzima RuBP-carboxilase/oxigenase (Rubisco). Neste caso, duas moléculas de 2-forfoglicerato (4 carbonos) são necessárias para produzir uma molécula de 3 fosfoglicerato, com a perda de uma molécula de CO<sub>2</sub>. Então, teoricamente, um quarto do carbono que entra no ciclo fotossintético das C<sub>3</sub>, é perdido na forma de CO<sub>2</sub>. No entanto, cálculos indicam que a fotorrespiração reduz a fixação de carbono pela fotossíntese de 90% para aproximadamente 50%. Sendo assim, muito mais carbono é requerido para o ciclo fotossintético das plantas C<sub>3</sub> (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As plantas C<sub>4</sub>, por sua vez, têm o CO<sub>2</sub> incorporado à enzima PEP-carboxilase, formando ácido oxalacético, com 4 átomos de carbono na molécula (CALVIN; BENSON, 1949; PARK; EPSTEIN, 1960). A PEP-carboxilase apresenta alta afinidade com o ácido carbônico (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e deste modo, o oxigênio não compete com o carbono na reação. A alta eficiência desta enzima permite também que os estômatos fiquem praticamente fechados, o que reduz a perda de água e faz com que as plantas C<sub>4</sub> sejam aptas para habitar locais com baixa umidade e alta temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Plantas CAM realizam a fixação de CO<sub>2</sub> pela via metabólica chamada de ácido crassuláceo, um processo que ocorre durante o período noturno a fim de se evitar maiores perdas de água pela transpiração.

O mecanismo CAM integra ambos os mecanismos: C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> em um só ciclo fotossintético. Durante a noite, o CO<sub>2</sub> é capturado pela PEP-carboxilase no citosol, e o malato, formado a partir do oxaloacetato, é estocado no vacúolo das folhas. Durante o dia, o malato que foi estocado é transportado para o cloroplasto e é decarboxilado pela enzima NADP-

málico, que torna o CO<sub>2</sub> disponível para ser fixado pelo ciclo de Calvin, pela enzima RUBISCO.

Tais diferenças fisiológicas no processo de captura do CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, geradas devido às adaptações às diferentes condições ambientais, fazem com que a composição isotópica do carbono da matéria orgânica vegetal seja distinta, principalmente entre as plantas de ciclo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>.

### 2.1.2 δ<sup>13</sup>C

Os átomos <sup>13</sup>C e <sup>12</sup>C são isótopos estáveis do carbono. O <sup>12</sup>C é o mais abundante, e se apresenta na atmosfera em 98,89%, contra 1,11% de <sup>13</sup>C.

A composição isotópica das plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM varia consideravelmente, sendo possível distinguir os diferentes tipos fotossintéticos. Os resultados da razão isotópica <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C são expressos pela unidade “δ”, determinada em relação ao padrão internacional PDB (carbonato de cálcio de um molusco fóssil, a *Belemnitella americana* da formação Peedee da Carolina do Sul, USA). Amostras empobrecidas em <sup>13</sup>C em relação ao padrão apresentam valores negativos, enquanto as enriquecidas apresentam valores positivos. A composição isotópica da amostra com relação ao padrão PDB é dada pela equação 1:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \times 10^2 \quad (1)$$

Sendo R = <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C para a razão isotópica do carbono.

Os valores de δ<sup>13</sup>C para plantas C<sub>3</sub> (geralmente espécies arbóreas) variam entre -20‰ e -35‰, resultando em um valor médio de -27‰. Já entre as plantas C<sub>4</sub> (geralmente gramíneas) este valor varia de -9‰ a -16‰, com média de -13‰. Plantas CAM apresentam valores de δ<sup>13</sup>C que variam entre -10‰ e -28‰ (Figura 1).

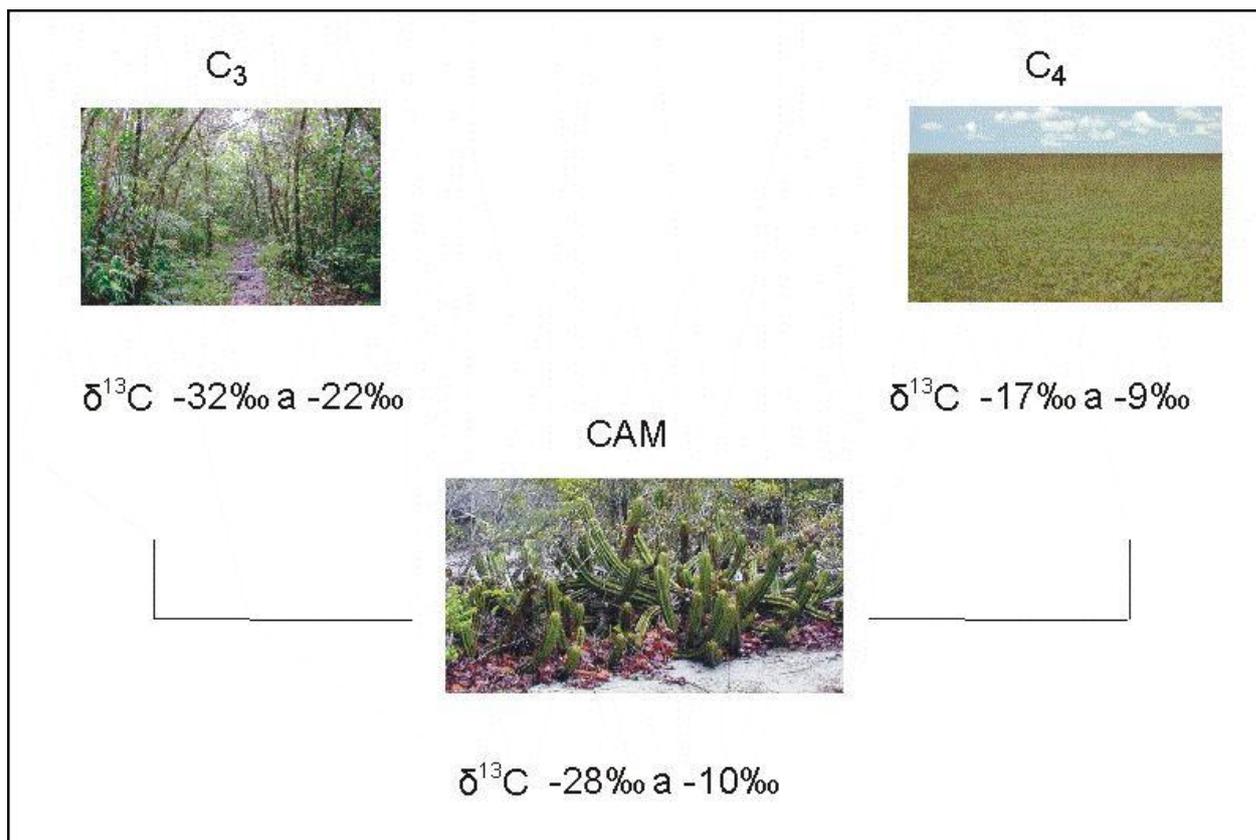


Figura 1 - Tipos de cobertura vegetal, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, e seu respectivo valor isotópico em ‰

## 2.2 Isótopos estáveis do Nitrogênio e os estudos paleoambientais

Nos organismos vivos, o nitrogênio ocorre em abundância, constituindo principalmente os ácidos nucleicos e as proteínas. As plantas não vasculares contêm uma reserva maior de nitrogênio em sua estrutura que as plantas vasculares, uma vez que lignina e celulose, componentes dominantes das plantas vasculares, principalmente as terrestres, são pobres em nitrogênio (TALBOLT; JOHANNESSEN, 1992).

Sendo assim, o nitrogênio elementar e o  $\delta^{15}\text{N}$ , presentes na matéria orgânica sedimentar, são ferramentas que podem auxiliar na determinação da origem das fontes de nitrogênio de um lago, sendo possível reconstituir taxas de produtividade (HERCZEG et al., 2001).

### 2.2.1 $\delta^{15}\text{N}$

O valor de  $\delta^{15}\text{N}$  é obtido a partir da razão entre  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  dos reservatórios de nitrogênio disponíveis para as plantas aquáticas e terrestres. A diferença entre as fontes de nitrogênio é

preservada na matriz e expressa na unidade de  $\delta$  (‰), sendo que, neste caso, o padrão é o nitrogênio atmosférico, e deve-se aplicar a equação 2:

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \times 10^2 \quad (2)$$

Sendo  $R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$  para a razão isotópica do nitrogênio

O valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de algas é de +8,5‰, e em plantas  $\text{C}_3$  terrestres +0,5‰ (PETERSON et al., 1987; MEYERS, 2003).

### 2.3 Carbono Orgânico Total (COT)

A concentração de carbono orgânico (COT) descreve a abundância da matéria orgânica presente no sedimento. Este valor é influenciado pela produção inicial de biomassa e o seu grau de degradação, integrando, portanto, as diferentes origens da matéria orgânica. Sua concentração representa a fração de matéria orgânica que escapou da remineralização durante o processo de sedimentação.

Geralmente, a matéria orgânica apresenta em média 50% de carbono, portanto, o valor da matéria orgânica presente no solo é o dobro do valor de carbono orgânico total (MEYERS, 2003).

### 2.4 Razão C/N

A matéria orgânica proveniente das algas de um lago apresentam riqueza de proteínas e pobreza de celulose, apresentando uma razão entre carbono e nitrogênio total (COT e NT) que varia entre 4 e 10. Plantas vasculares terrestres, por outro lado, são ricas em celulose e pobres em proteínas, e apresentam um valor de C/N igual ou superior a 20 (MEYERS, 1994).

Esta diferença fundamental na composição da matéria orgânica geralmente é mantida durante o processo de sedimentação. Conseqüentemente, as proporções da matéria orgânica sedimentar que originaram a relação C/N podem ser distinguidas por suas características (MEYERS, 2003).

## 2.5 Carbono-14

O  $^{14}\text{C}$  se forma constantemente na alta atmosfera, através de choques entre raios cósmicos e os átomos de gases presentes na estratosfera, se dividindo em prótons e nêutrons (LIBBY, 1955).

O choque de um nêutron com o núcleo do átomo de nitrogênio gera a emissão de um próton e absorção do nêutron (equação 3):



O carbono formado a partir desta reação é radioativo, e decai por emissão de partículas  $\beta^-$ , conforme mostra a reação (equação 4):



O Carbono-14 formado é então misturado aos outros gases atmosféricos, e é então absorvido pelos organismos vivos. Através da fotossíntese as plantas incorporam o  $^{14}\text{C}$  aos compostos orgânicos e, devido à cadeia alimentar, os seres vivos acabam por absorvê-lo também.

A datação de matéria orgânica se baseia na idéia de que o  $^{14}\text{C}$  deixa de ser incorporado pelo organismo vivo a partir da sua morte. A partir de então se inicia o decaimento radioativo do  $^{14}\text{C}$ , que apresenta meia-vida (tempo necessário para reduzir sua atividade pela metade) de  $5568 \pm 30$  anos, valor determinado no início da década de 50 que acabou sendo adotado por convenção, apesar de o valor  $5730 \pm 30$  anos ter sido determinado com precisão em 1961 pelo National Bureau of Standard.

Datações por  $^{14}\text{C}$  apresentam um limite de aproximadamente 50.000 anos antes do presente (AP), sendo o ano de 1950 considerado o presente.

A atividade radioativa do  $^{14}\text{C}$  pode ser medida através de diferentes metodologias, como a espectrometria de cintilação líquida, o  $\beta$ -counting (PESSENDA; CAMARGO, 1991) ou através da utilização de um acelerador de partículas acoplado a um espectrômetro de massas, AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

A realização de datação carbono-14 em estudos de reconstrução paleoambiental no Quaternário é de extrema importância, uma vez que este resultado permite a determinação da cronologia dos eventos ocorridos no passado.

## 2.6 Bioindicadores

### 2.6.1 Palinologia

A palinologia envolve o estudo de grãos-de-pólen produzidos pelas fanerógamas, esporos de criptógamas e outros materiais biológicos, resistentes ao tratamento com ácidos fortes, os quais estão presentes em meios que propiciam sua conservação. Para esse estudo é necessário que os grãos apresentem grande diversidade morfológica, estabilidade químico-física da membrana externa e preservação eficiente de seus caracteres morfológicos externos (SALGADO-LABOURIAU, 2007).

Para a análise palinológica é essencial o conhecimento da morfologia dos grãos-de-pólen e esporos. Eles apresentam em sua constituição uma parede celular, a mais interna, de intina (basicamente de celulose) e a mais externa, a exina, constituída de esporopolenina, um composto orgânico com relativa elasticidade e grande resistência ao ataque de agentes redutores, possibilitando sua conservação em lagoas e turfeiras. Apresentam também morfologia específica, com tamanho, estrutura, ornamentações e aberturas que permitem identificar o grupo taxonômico ao qual pertencem.

Devido à dispersão eficiente, à produção em abundância pelas plantas-mãe e ao fato dos grãos preservados nos sedimentos do Quaternário tardio e os encontrados no presente serem os mesmos, os polens e esporos podem ser utilizados em estudos de reconstrução do paleoambiente (TRAVERSE, 1988).

O objetivo de pesquisas palinológicas no Quaternário é relacionar os palinomorfos preservados em amostras de sedimento e solo com a vegetação de origem, permitindo a reconstrução das mudanças locais desta, bem como inferências sobre as mudanças climáticas (BLASCO, 1984; BRADLEY, 1999).

Técnicas com o intuito de preparar o sedimento para análise palinológica têm como objetivo concentrar os palinomorfos contidos nas amostras, através de tratamentos físicos e químicos, tornando possível a identificação e contagem destes, eliminando alguns contaminantes como restos orgânicos e outros elementos minerais (COLINVAUX et al., 1999).

### 2.6.2 Análise de diatomáceas

Diatomáceas podem ser muito bem aplicadas em estudos de reconstrução paleoambiental devido à resistência das suas paredes celulares, compostas basicamente por sílica, permitindo que sua estrutura permaneça preservada nos sedimentos lacustres e de mangue. Apresentam vantagem com relação aos palinórfos, uma vez que permanecem preservadas mesmo quando o sedimento foi exposto a um ambiente de oxidação. Outra característica vantajosa, é que as diatomáceas, por apresentar um ciclo mais rápido que as espécies arbóreas, são capazes de revelar mudanças ambientais praticamente no mesmo período que elas ocorrem.

São organismos abundantes e estão amplamente distribuídos, ocupando habitats diversos e distintos, sendo em alguns casos extremamente específicas quanto ao tipo de ambiente, o que faz com que possam ser consideradas como espécies indicadoras.

A estrutura da parede celular das diatomáceas é chamada de frústula, constituída de duas metades, as valvas, as quais são unidas por uma estrutura fina, o cingulo (ROUND et al., 1990). Assim como os grãos-de-pólen, as diatomáceas apresentam uma grande variedade de formas e ornamentações das suas frústulas, o que auxilia na sua identificação.

No Brasil, ainda são raros os trabalhos de reconstrução paleoambiental, principalmente com relação às variações do nível do mar, que fazem uso das diatomáceas, como DE OLIVEIRA et al., 1992; YBERT et al., 2003; SANTIAGO-HUSSEIN; DE OLIVEIRA, 2005; MORO et al., 2004; MEDEANIC et al., 2008; VIDOTTO, 2008; AMARAL, 2008; CASTRO, 2010.

### 2.6.3 Uso de *Lycopodium clavatum* como marcador exótico

O *Lycopodium* vem sendo usado frequentemente para análises polínicas por ser um esporo exótico no Brasil, e facilmente visualizado nas lâminas. Ele torna possível analisar os dados estatisticamente, uma vez que foi submetido ao mesmo tratamento que os demais grãos presentes no sedimento.

Algumas pastilhas, contendo uma concentração pré-determinada de esporos, são adicionadas a cada amostra antes do tratamento. A razão entre os marcadores de *Lycopodium* e os grãos de pólen/ esporos contados nas lâminas possibilita o cálculo da concentração polínica absoluta em grãos/cm<sup>3</sup> (COLINVAUX et al., 1999).

Em algumas regiões do Brasil, estão presentes espécies nativas do *Lycopodium*, no entanto, devido ao fato do *Lycopodium* utilizado como marcador ter sofrido quatro processos de acetólise (sendo que os três primeiros processos ocorrem na produção das pastilhas, e o quarto no momento do tratamento das amostras), ele apresenta uma coloração mais escura que os outros grãos, podendo ser facilmente diferenciado do nativo.

## 2.7 Estudos paleoambientais na Amazônia no Quaternário

Os estudos paleoambientais do Quaternário na Amazônia iniciaram a partir da década de 90. Em geral, os trabalhos registram um período de menor umidade no Holoceno médio, como será mostrado nesta revisão.

Fitólitos, carvão e datação  $^{14}\text{C}$  foram utilizados para entender a dinâmica da vegetação na Floresta Amazônica durante o Holoceno. Na região de Manaus, foi constada a presença de carvão, como resultado de queimadas entre 1795 e 550 anos AP, provavelmente devido a climas menos úmidos. Estes mesmos fatores pareceram estar presentes entre 7.000 e 5.000 anos AP (PIPERNO et al., 1996).

Na lagoa da Pata, Amazonas, análises palinológicas, estratigrafia e datação  $^{14}\text{C}$  em um testemunho de mais de 40.000 anos AP indicou a ausência de campos ou cerrado na região oeste da floresta Amazônica desde o último máximo glacial, sendo que a floresta não teria se fragmentado neste ponto, conforme propõe a teoria dos refúgios. No entanto, no período glacial, há registro de um clima mais frio, devido à presença de espécies como *Podocarpus*, *Drymis*, *Weinmannia* e *Alnus* (COLINVAUX et al., 1996).

Na Serra sul dos Carajás, ao sul do Pará, registros de um clima menos úmido entre 7.000 e 4.000 anos AP foram inferidos de análises de carvão e bioindicadores de sedimento lacustre. Neste período, é maior a presença de fragmentos de carvão, e a alta concentração de *Piper*, uma espécie rasteira, que surge como pioneira nesta região e indica processos contínuos de regeneração da floresta. Espículas de *Corvomeyenia thumi*, um porífero típico de lagos efêmeros, apresentaram estruturas reprodutivas mal desenvolvidas entre 7.000 e 4.000 anos AP, indicando curtos períodos de inundação ou pouca disponibilidade de nutrientes (TURQ et al., 1998).

Pessenda et al. (1998), através de análises isotópicas de carbono, verificaram em um transecto de mais de 500 km entre Vilhena e Ariquemes, RO, o domínio de plantas  $\text{C}_3$  durante o Holoceno inferior, seguido de uma expansão das plantas  $\text{C}_4$  típicas de cerrado, no Holoceno

médio, com retorno da floresta no Holoceno tardio. A partir da dinâmica da vegetação, pode-se inferir que no Holoceno médio o clima esteve menos úmido na região.

Um transecto de 200 km entre Porto Velho e Humaitá também retrata este período menos úmido no Holoceno médio, uma vez que se pode constatar a expansão das plantas C<sub>4</sub> no período entre 7.000 e 4.000 anos AP (FREITAS et al., 2001; PESSENDA et al., 2001).

Em Barreirinhas, Maranhão, um transecto de 78 km permitiu o estudo da dinâmica de 4 tipos de vegetação: restinga, cerrado, cerradão e florestas. Análises isotópicas e de fragmentos de carvão indicaram um período mais seco entre ~9.000 e 4.000 – 3.000 anos AP, com expansão do cerrado e presença de paleoincêndios constantes durante todo o Holoceno (PESSENDA et al., 2004).

Outro trabalho, em um lago ao norte de Carajás, também revelou um ambiente menos úmido entre 7.600 e 4750 anos AP, onde se pode verificar não só uma concentração alta de fragmentos de carvão como um aumento no acúmulo de *Botryococcus braunii*, uma alga que é resistente a secas episódicas. Atualmente, o maior acúmulo de carvão ocorre devido aos incêndios antropogênicos (CORDEIRO et al., 2008).

Um estudo dos últimos 50.000 anos na Lagoa da Pata revelou um período mais seco entre 26.300 e 15.300 anos cal AP, devido à menor produtividade, registrado pela menor concentração de carbono orgânico total e clorofila, além dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  típico de plantas C<sub>4</sub> e alta concentração de ferro. Entre 15.300 e 10.000 anos cal AP, o registro é de maior umidade que o período anterior (CORDEIRO et al., 2011).

No Pará, nos últimos 10 anos, estudos foram propostos a fim de se entender a dinâmica da vegetação, principalmente com relação aos manguezais presentes no estado, com inferências ao nível relativo do mar (NRM) na região norte do Brasil, ação antrópica e mudanças climáticas.

Behling e Costa (2001), a partir de dados palinológicos, estratigrafia, carvão, análises geoquímicas e mineralógicas e datação <sup>14</sup>C, registram um período de regressão marinha no Lago Crispim, Pará, que se inicia a partir de aproximadamente 7.000 anos AP, seguido de oscilações do NRM entre 6.620 e 3.630 anos AP. A partir de 3.630 anos AP inicia-se uma nova transgressão. Segundo os autores a redução da vegetação de mangue, a partir de 1.840 anos AP, pode ter ocorrido devido a um abaixamento no nível relativo do mar ou por ação antrópica.

Na península Bragança, foram coletados 3 testemunhos sendo um de floresta de *Avicennia*, um de pântano salgado (Campo Salgado), e uma área dominada por *Rhizophora* (Furo do Chato), em que foram realizadas análises palinológicas e datação carbono-14, para

reconstrução das mudanças ambientais ocorridas no Holoceno como também a dinâmica do ecossistema de manguezal. Foram também instalados coletores de pólen para analisar a chuva polínica moderna em cinco diferentes pontos da península. A vegetação de mangue se desenvolveu em períodos diferentes nas três áreas: 2170 anos AP, 5120 anos AP e 1440 anos AP, respectivamente. Desde o Holoceno médio, os manguezais encobriam as regiões mais elevadas da península, hoje recobertas por pântanos salgados, o que sugere um nível relativo do mar mais alto no passado. A frequência de inundação por marés diminuiu, provavelmente devido aos menores níveis relativos do mar durante o Holoceno tardio, em torno de 1770 anos AP no bosque de *Avicennia*, 910 anos AP no Furo do Chato e 750 anos AP no Campo Salgado (BEHLING et al., 2001).

Ainda buscando entender o desenvolvimento de manguezais e as mudanças no nível relativo do mar, outro trabalho realizado no Pará, na península Bragança, integrou informações geológicas, palinologia, datação carbono-14, além da observação da distribuição moderna dos manguezais. Entre 5100 e 1000 anos AP, o nível relativo do mar na costa a península Bragança provavelmente nunca foi maior que 0,6m acima do presente. A ocupação atual de manguezais na península Bragança iniciou seu desenvolvimento aproximadamente a partir de 5100 anos AP, quando o nível do mar era próximo do atual, originando-se ao centro da península. Entre 1800 e 1400 anos AP, esta área litorânea foi submetida ao menor nível relativo do mar, aproximadamente 1 m abaixo do atual, seguido por um aumento gradual a partir de 1000 anos AP, quando se atingiu o nível relativo moderno. O primeiro manguezal originado há 5100 anos AP, desapareceu da região com a queda do nível do mar e foi trocado por uma vegetação herbácea (*Cyperaceae* e *Poaceae*) (COHEN et al., 2005).

Em Taperebal, uma região de mangue no estado do Pará, na planície costeira de Bragança, realizaram-se análises palinológicas com o intuito de reconstruir a dinâmica do manguezal. No início do Holoceno, a região era recoberta por uma vegetação desigual, contendo vegetação amazônica costeira, restinga, pântano salgado e alguns manguezais, constituídos basicamente de *Avicennia*. No Holoceno médio, a vegetação de mangue era bastante representativa, sendo que a *Avicennia* se tornou menos frequente, enquanto que a *Rhizophora* passou a dominar a região. As mudanças na vegetação são um reflexo das mudanças no nível relativo do mar, mais alto em 6500 anos AP, com redução a partir de 5950 anos AP. Um hiato de sedimentação provavelmente entre 5950 – 5750 anos AP sugere um baixo nível relativo do mar, o que pode explicar porque no Holoceno tardio houve uma regressão dos manguezais, registrado em outros locais da costa brasileira, e que não foi observado em Taperebal (VEDEL et al., 2006).

Mais recentemente, iniciaram-se os estudos na ilha do Marajó, um local que apresenta uma dinâmica de vegetação um tanto peculiar, quando comparada ao restante da Amazônia, principalmente na porção leste da Ilha, que permanece inundada grande parte do ano, o que aparentemente impede o avanço florestal.

Em dois testemunhos de mangue coletados na porção oriental da Ilha do Marajó, um em Barra Velha e outro na Praia do Pesqueiro, foram realizadas análises palinológicas e datação carbono-14, a fim de reconstruir a dinâmica e mudanças ambientais ocorridas nesta vegetação no Holoceno. O manguezal se estabeleceu em Barra Velha a partir de 2880 anos cal. AP e na Praia do Pesqueiro em 670 anos cal. AP. Remanescentes da Floresta Amazônica foram trocadas por vegetação de mangue entre 2880 e 760 anos cal. AP, e na Praia do Pesqueiro entre 670 e 540 anos cal. AP, o que sugere um aumento no nível relativo do mar, ou um aumento no volume de descarga do Rio Amazonas. A larga área de mangue nas duas regiões sugere que o maior nível do mar provavelmente foi atingido em nos últimos 250 – 200 anos (BEHLING et al., 2004).

A integração de sensoriamento remoto com sedimentologia, além de dados de subsuperfície e sismografia disponíveis na literatura, serviram de base para o entendimento da tectônica durante o período do Quaternário nas bacias marginais. Ao contrário do proposto por muitas publicações, estas análises mostraram que, além dos eventos tectônicos ocorridos na Ilha do Marajó, houve também a sedimentação como controle da evolução dos sistemas deposicionais. A tectônica pode ter favorecido a evolução dos sistemas deposicionais, criando sítios de acomodação para novos sedimentos (ROSSETTI et al., 2007).

Mapas antigos, imagens de satélite, dados da paleovegetação extraídos de sedimentos, antropologia e inferências ao clima, com foco na evolução do estuário da Amazônia (Ilha do Marajó), e nas oscilações das descargas do Rio Amazonas ao longo de séculos, forneceram informações sobre o passado da Ilha. O local de estudo foi próximo ao Lago Arari, onde se coletou testemunhos sedimentares para palinologia. Há 500 anos, ampla porção da costa leste da Ilha provavelmente estava submersa. Entre 800 – 1050 AD, o testemunho apresenta uma sedimentação típica de ambiente estuarino ou de intermaré. De 1100 – 1350 AD, surgem os manguezais, devido a uma redução no nível relativo do mar, devido à menor descarga do Rio Amazonas e consequente aumento da salinidade, entre 1200 – 1400 AD. Em 1450 AD o aumento na descarga do Rio Amazonas, até 1540 AD, induz a dominância da vegetação de várzea. Entre 1540 – 1750 AD, a porção leste da Ilha emerge, devido à redução no NRM, e o processo se finaliza no século XVIII, com a estabilização do NRM (LARA; COHEN, 2008).

O estudo isotópico e mineralógico da evolução dos paleocanais presentes na Ilha, desenvolvido por Lima (2008), indica um período mais seco (menos úmido) no Holoceno médio. Segundo a autora, os canais estavam ativos desde o Pleistoceno tardio até o Holoceno inferior. O abandono destes canais teria ocorrido devido à atividade tectônica na região (ROSSETTI et al., 2007). Plantas  $C_3$  foram dominantes desde o Pleistoceno superior/Holoceno inferior/médio, no entanto, partículas carbonizadas e minerais instáveis aos intemperismo químicos, são indícios de um clima menos úmido no Holoceno inferior/médio. No Holoceno médio (entre 5.000 e 3.000 anos AP) esses canais foram abandonados e houve um aumento na concentração da vegetação herbácea  $C_4$ , conforme indicam os valores isotópicos mais enriquecidos. O evento de abandono pode ter ocorrido devido a um clima mais menos úmido que o atual. A partir do Holoceno superior até o presente, esses canais abandonados foram preenchidos por sedimento e ocupados por uma vegetação arbórea. Os campos com misturas de plantas  $C_3$  e  $C_4$  ficaram restritos às áreas de inundação

O progressivo abandono do sistema estuarino onde atualmente se localiza o Lago Arari e uma rede de canais largos sugere um processo de regressão marinha desde o Holoceno tardio na Ilha do Marajó. Neste período, pode-se dizer que a dinâmica do NRM é controlada basicamente pela reativação de falhas locais (ROSSETTI et al., 2008).

Estudo realizado no Lago Ararí, reconstruiu o paleoambiente dos últimos 1000 anos. Nos testemunhos sedimentares, coletados no interior do lago e na planície herbácea, realizaram-se análises palinológicas e datação carbono-14. A palinologia indica que a vegetação herbácea começou a se desenvolver no local há 800 anos AP. A porcentagem de grãos-de-pólen entre 750 e 500 anos indica expansão dos manguezais. A predominância de herbáceas e vegetação de várzea ocorre entre 500 e 200 anos AP, sendo que a porcentagem dos grãos-de-pólen típicos de várzea são mais representativos durante os últimos 200 anos (COHEN et al., 2008).

A análise isotópica e de fácies realizada em um testemunho de 124 m, coletado no Lago Arari, indicaram que antes de 50.795 anos AP houve deposição de diversos ambientes, incluindo: canais fluviais, planície de maré, bacia estuarina exterior para marinho raso, bacia interior do estuário, canais estuários e lagunares. O uso de carbono e nitrogênio, elementares e isotópicos, foi relevante na identificação de tais fontes, principalmente para as interpretações do nível relativo do mar no passado. Entre 50.795 anos AP e 40.950 anos AP, há indícios de deposição fluvial, e em seguida, o aumento do nível relativo do mar entre 39.079 anos AP e 35.567 anos AP, sendo que em torno de  $29.340 \pm 340$  anos AP iniciou a transgressão marinha de fato. Depois da queda do nível do mar, a formação e estabelecimento da depressão da

lagoa foi favorecido. Em  $10.479 \pm 34$  até o presente, o estuário foi trocado por uma lagoa. No final do Holoceno, a costa regrediu 45 km, sendo que a lagoa se transformou em um sistema lagunar (MIRANDA et al., 2009).

Coletas foram realizadas em dois pontos distintos no manguezal da Praia do Pesqueiro, um próximo à praia e outro mais distante, sendo que o último está perto de uma várzea. Análises isotópicas e elementares, datação Carbono-14, análises granulométricas, palinologia e estratigrafia indicaram maior influência continental entre 1200 anos cal AP até ~760 – 480 anos cal AP, com presença significativa de uma vegetação herbácea, provavelmente resultante de um clima menos úmido, devido à menor frequência de inundação da maré. A partir de 760 – 480 anos cal AP até o presente, se torna maior a contribuição das fontes de matéria orgânica algal, juntamente à expansão da vegetação típica de mangue, principalmente as *Rhizophora*. Pode-se atribuir tais mudanças a um aumento no nível relativo do mar, gerado ou por um processo de subsidência, por aumento no nível eustático do mar ou mesmo uma elevação da descarga das águas dos rios presentes na ilha do Marajó, devido ao aumento das chuvas (FRANÇA, 2010).

Registros de transgressão holocênica no Marajó, entre 9.000 e 5.000 anos AP, são atribuídos principalmente aos fatores tectônicos. Estes também são influentes nas mudanças da vegetação, com o estabelecimento de campos abertos ricos em gramíneas  $C_3$  a partir de 6.700 anos AP, devido ao processo de subsidência da porção oriental da Ilha do Marajó. Neste momento, estaria presente um sistema paleoestuarino, que se estabeleceu entre ~42.000 e 3.000 anos AP (CASTRO, 2010).

### 3 OBJETIVOS

#### Gerais:

- Contribuir com os estudos de reconstrução do paleoambiente, associados às trocas da vegetação e clima no Quaternário tardio, em alta resolução, na região amazônica do Brasil;
- Estudar a dinâmica dos processos de expansão e regressão da floresta, do campo/cerrado e dos manguezais durante o Holoceno;
- Inferir sobre as variações paleoclimáticas ocorridas na área no período estudado,

#### Específicos:

- Descrição faciológica dos dois testemunhos sedimentares coletados na Ilha do Marajó;
- Determinação da composição isotópica e elementar de carbono e nitrogênio na matéria orgânica do sedimento da região;
- Caracterização dos palinomorfos e diatomáceas nos materiais coletados;
- Correlação dos dados isotópicos e elementares da matéria orgânica do sedimento com litoestratigrafia, análises palinológicas e de diatomáceas, para a otimização das interpretações paleoambientais;
- Correlação com outros dois testemunhos coletados em um transecto num dos sítios de estudo (manguezal), parte do trabalho de mestrado de FRANÇA, 2010.

## 4 AREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

### 4.1 Localização

Localizada ao norte do Estado do Pará (entre 48°00' - 51°00' W e 0°00' - 2°00' S), na foz do Rio Amazonas, a Ilha do Marajó faz parte do arquipélago do Marajó e é a maior ilha fluviomarina do mundo, com 40.100 Km<sup>2</sup>. Faz limites com o Oceano Atlântico ao norte, o Rio Pará ao sul, o Amapá ao leste e o Rio Amazonas ao oeste. O acesso à Ilha é feito por meio de balsa, partindo de Icoraci até a cidade de Soure, percorrendo aproximadamente 80 km. A Figura 2 é um mapa do projeto RADAMBRASIL, 1974 e mostra toda porção da Ilha do Marajó, sua localização e as cidades mais importantes.

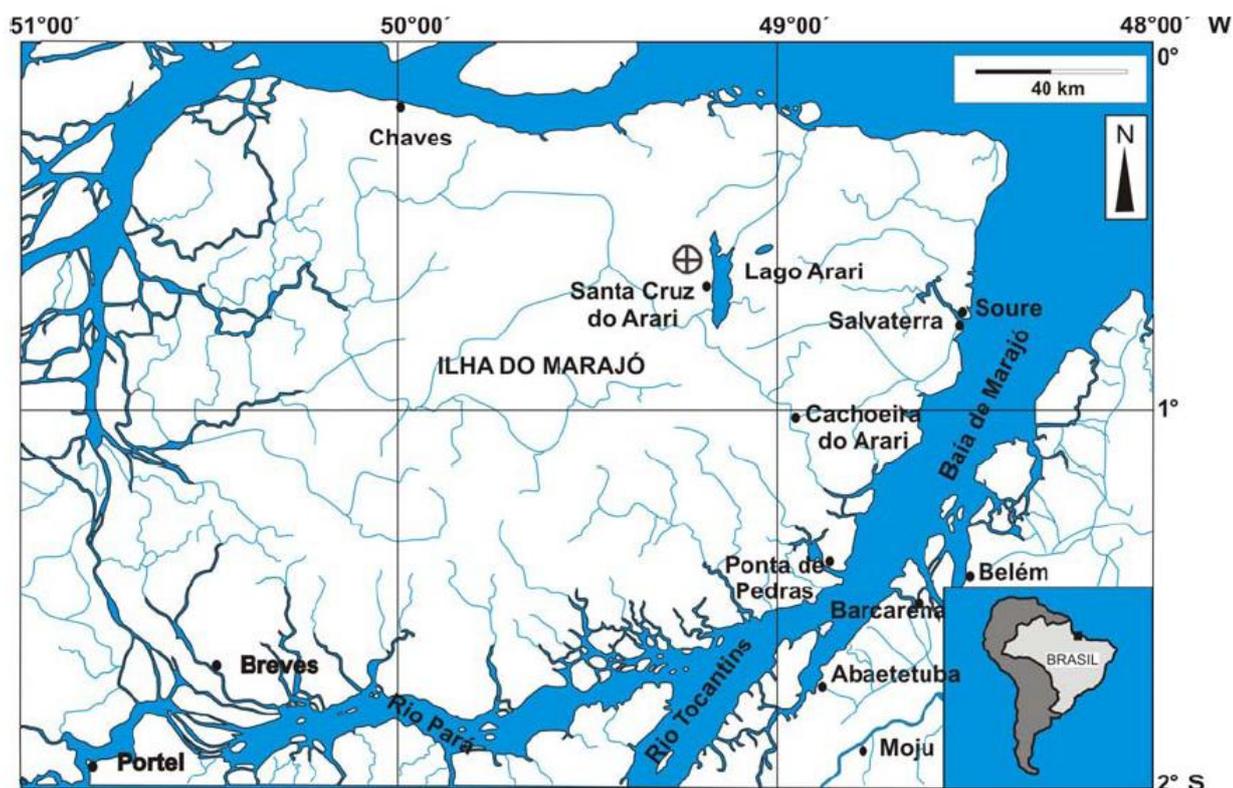


Figura 2 - Localização da Ilha do Marajó, ao norte do Pará. RADAMBRASIL, 1974

## 4.2 Clima

A região costeira do Nordeste do Pará é caracterizada como clima tropical quente e úmido. Um período relativamente seco, com menor quantidade de chuvas, ocorre entre junho e novembro (BEHLING et al., 2004). A temperatura média anual é de 28°C, com precipitação média entre 2500-3000 mm por ano (ROSSETTI; TOLEDO, 2006).

## 4.3 Geologia

O planalto costeiro do norte brasileiro é formado por barreiras de depósitos. O grupo Barreiras, que ocorre desde o norte até o sudeste do Brasil é do Eoceno-Mioceno (ARAI et al., 1994).

A superfície relativamente plana da Ilha do Marajó é um pouco mais baixa na parte leste que na parte oeste, sendo que a região leste é mais inundada durante a estação das chuvas, junto aos níveis de água mais altos do Rio Amazonas (BEHLING et al., 2004).

O terreno que apresenta menor topografia está a 25-30 m acima do nível do mar. Houve erosão na área, causada pela drenagem durante flutuações climáticas ocorridas no pleistoceno. Concreções lateríticas são encontradas freqüentemente na base das falésias, oferecendo proteção às ondas e correntes marinhas (ROSSETTI; TOLEDO, 2006).

A Ilha encontra-se cercada por terrenos mais elevados, constituídos de rochas do pré-Cambriano do Escudo da Guiana, à noroeste; rochas Cretáceas da Formação Alter do Chão a oeste e sudeste; rochas do pré-Cambriano do Escudo Central do Brasil e rochas Cretáceas da Bacia do Grajaú do sul ao sudeste; rochas Cretáceas do Grupo Itapecurú e depósitos do Terciário tardio da Formação Pirabas/Barreiras do leste ao nordeste (Figura 3) (ROSSETTI, 2004).



O ecossistema de mangue, por sua vez, é extremamente produtivo e tem grande importância econômica para as populações que vivem na região costeira. A costa brasileira abrange a maior região de mangue no planeta, com aproximadamente 13.800km<sup>2</sup> (KJERVE; LACERDA, 1993). Na área de estudo, os manguezais colonizam a área entre marés, mas na parte sul-oriental da ilha, os mangues se tornam cada vez menos frequentes, e são restritos às margens dos rios e mares. Estes mangues podem ser classificados como sistema ribeirinho de borda, com árvores que atingem 20 m de altura. Há também pequenas áreas de restinga ao longo da linha de costa (BEHLING et al., 2004).

A ampla distribuição de, principalmente, duas espécies de *Rhizophora*, *R. racemosa* e *R. harrisonii*, se deve principalmente ao fato de ser forte a influência da água doce, devido à descarga do Rio Tocantins, na baía do Marajó, uma vez que essas espécies não são tão competitivas em áreas de salinidade muito alta (MENEZES et al., 2008).

#### **4.5 Hidrografia**

Estudos de paleocanais mostram que a reativação de falhas geológicas foi o principal fator atuante no desenvolvimento desses antigos sistemas de drenagem meandrantés, os quais foram abandonados devido aos movimentos tectônicos, formando diversos lagos (ROSSETTI et al., 2008). No entanto, atualmente, são inúmeros os pequenos rios que compõem o sistema hidrográfico da Ilha do Marajó, devido à alta pluviosidade e à ação das marés (BEMERGUY, 1981).

Pequenos igarapés e lagoas, nos períodos das chuvas, entre janeiro e julho, se interligam, inundando principalmente os campos abertos da porção leste da ilha.

#### **4.6 Descrição da área de coleta**

Com o objetivo de caracterizar as áreas de estudo, serão apresentadas descrições dos pontos de coleta amostrados nos trabalhos de campo, realizados no período de seca na Ilha de Marajó (mês de novembro).

As coletas foram realizadas em 2 pontos, o Lago São Luís e a Praia do Pesqueiro. O mapa contextualizando esses locais é apresentado na Figura 4.

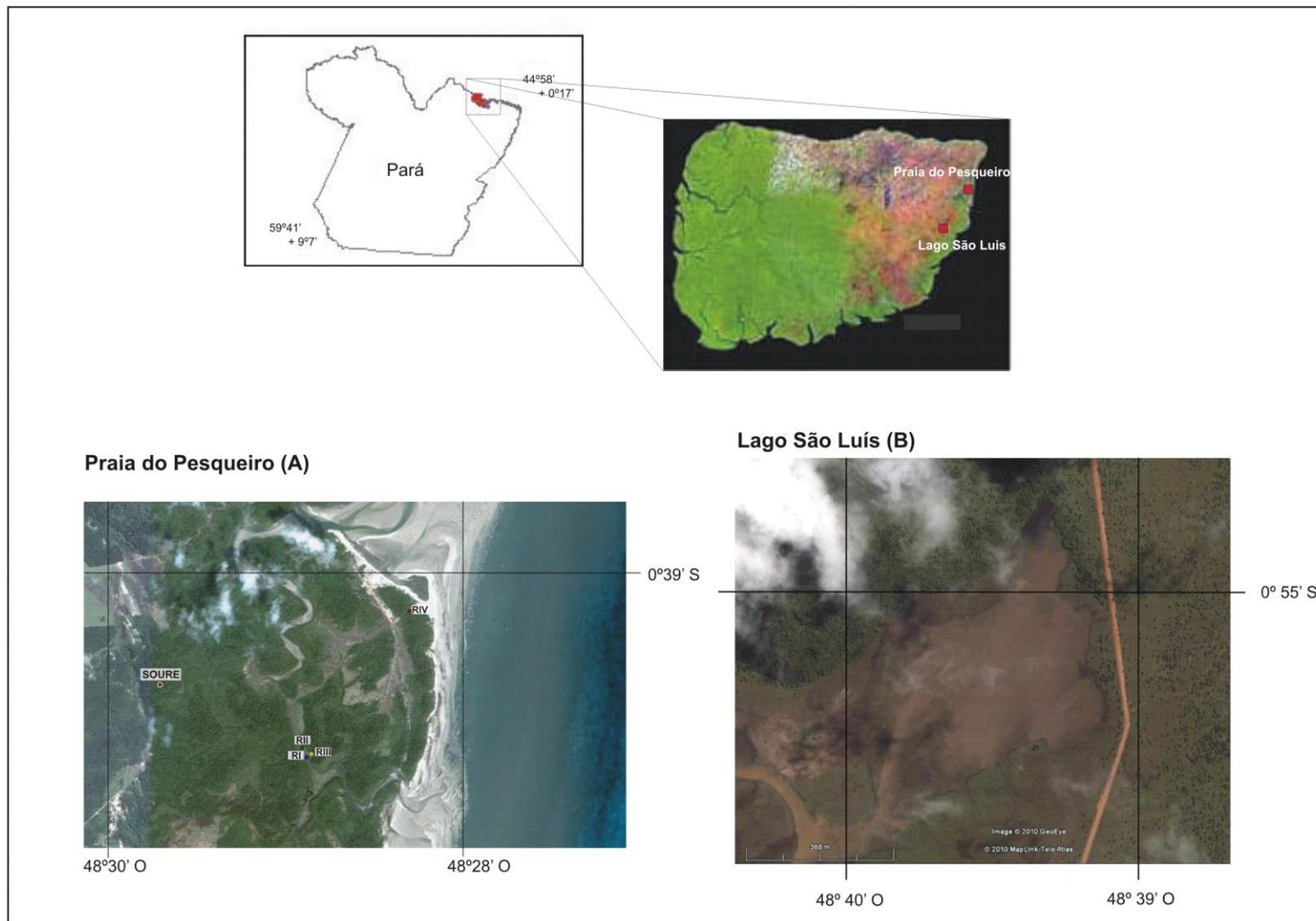


Figura 4 - Mapa e imagem de satélite da Ilha do Marajó, indicando os pontos de coleta dos dois testemunhos: A Praia do Pesqueiro (A) e o Lago São Luís (B). Google Earth® e IBGE

#### 4.6.1 Lago São Luís

Localizado à 0° 55' 41" S / 48°39' 47" W, o lago apresenta uma vegetação em seu entorno que pode ser caracterizada como uma zona de campo, apresentando uma vegetação rasteira de Convovulaceae, Rubiaceae, Cyperaceae e Poaceae. Uma mata mais alta e levemente densa, contendo exemplares de Melastomataceae e Myrtaceae se concentra nos pontos mais altos.



Figura 5 - Vista do Lago São Luís, a vegetação rasteira de Poaceae, Cyperaceae e Convovulaceae em evidência, e ao fundo a vegetação tipicamente arbóreo-arbustiva

#### 4.6.2 Manguezal – Praia do pescador

O testemunho foi coletado no ponto 0°39'37" S/ 48°29'3,3" W, próximo à praia, em uma vegetação típica de manguezal, composto somente pelo gênero *Rhizophora*, as quais atingiam até 20 m de comprimento. Neste local, o sedimento apresenta uma camada rica em matéria orgânica, com folhas em decomposição, formando a serrapilheira.



Figura 6 - Manguezal da Praia do Pesqueiro.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Atividades de campo - coletas

O trabalho de campo foi realizado no mês de novembro de 2008. Coletaram-se dois testemunhos sedimentares através de um vibrotestemunhador, cujo modelo encontra-se descrito em Martin e Flexor (1989). O equipamento consiste em uma sonda formada por um vibrador conectado a um motor de 3,4 HP, 3.600 RPM e 1.000 vibrações por minuto. O tubo de alumínio é posicionado verticalmente no topo do tripé e penetra no solo através da vibração gerada pelo motor. No momento em que o tubo atinge um material mais compactado, ele é vedado na parte superior e retirado com auxílio de uma talha. O tubo é então vedado na parte inferior, tomando-se os cuidados para que o material não se perca. O topo e a base são devidamente identificados, bem como o ponto de coleta.

O testemunho coletado no Lago São Luís atingiu 2,56 m de profundidade e foi identificado como “Jabuti” recebendo a sigla “Jab” nas amostras (Figura 7).

O testemunho coletado no manguezal na Praia do Pesqueiro atingiu 2,26 m de profundidade e foi identificado como “Resex IV”, recebendo a sigla “R<sub>IV</sub>” nas amostras (Figura 8).

Os dois testemunhos foram levados para o CENA/USP e permaneceram em câmara fria até o momento da sua abertura.



Figuras 7 e 8 - coleta de sedimento com vibro testemunhador no Lago São Luís (3) e no mangue da Praia do Pesqueiro (4)

Coletaram-se também algumas amostras das folhas da vegetação que estava no entorno, próximo ao ponto de coleta dos dois testemunhos, para que fossem verificados os valores isotópicos das fontes de carbono atuais. A identificação destas ocorreu no próprio local de coleta, sendo possível chegar apenas ao nível de família de cada exemplar. Dois tipos diferentes foram coletados no manguezal, da Praia do Pesqueiro (testemunho R<sub>IV</sub>), e sete tipos no Lago São Luís (testemunho Jab). As folhas foram guardadas separadamente em sacos de papel identificados.

## **5.2 Abertura e caracterização do sedimento: perfil litoestratigráfico**

Em janeiro de 2010 os dois testemunhos foram abertos, serrados longitudinalmente buscando preservar a feição do sedimento. Uma fita métrica foi colocada ao lado dos tubos, para marcar a profundidade e facilitar na caracterização e amostragem do material.

Para a descrição sedimentológica do testemunho contou-se com a colaboração da Profa. Dra. Dilce de Fátima Rossetti, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A análise do perfil constituiu na descrição das fácies sedimentares. Foram observadas características das estruturas, textura, conteúdos fossilíferos e arranjo arquitetural. As feições foram fotografadas e as características foram registradas em um perfil litoestratigráfico.

A descrição das fácies, em conjunto com as outras análises utilizadas - datação <sup>14</sup>C, análises isotópicas e elementares de carbono e nitrogênio, palinologia e diatomáceas - possibilitarão uma melhor interpretação dos processos de sedimentação, bem como a reconstrução do paleoambiente.

## **5.3 Amostragem**

Primeiramente foram selecionados e coletados 12 pontos para datação <sup>14</sup>C, sendo 6 pontos do testemunho R<sub>IV</sub> e 6 pontos do Jab.

Em seguida, sub amostras foram coletadas, em ambos os testemunhos, a cada 2 cm, desde o topo até a base.

Para a palinologia e análise de diatomáceas, coletou-se o sedimento em um amostrador de aço inox de 1 cm<sup>3</sup>, seguindo a metodologia de Colinvaux et al. (1999).

Para as análises isotópicas e elementares, as amostras coletadas foram mantidas em sacos plásticos devidamente identificados e guardados sob refrigeração.

#### 5.4 Pré-tratamento das amostras sedimentares para Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio total (NT), $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$

Foram pré-tratadas 22 amostras do testemunho R<sub>IV</sub> (a cada 10 cm), e 61 amostras do testemunho Jab, (a cada 4 cm). A diferença na quantidade de amostras selecionadas de cada testemunho se deve ao fato de que o testemunho R<sub>IV</sub> apresenta um pacote arenoso que vai desde aproximadamente 52 cm até a base do testemunho (2,26 m), o que dificultou as análises de carbono e principalmente nitrogênio. Sendo assim, as análises em R<sub>IV</sub> inicialmente atuaram como uma triagem, em que se verificou a impossibilidade de determinar o nitrogênio total em uma melhor resolução, devido a sua ausência na porção arenosa do testemunho.

Os procedimentos adotados no pré-tratamento das amostras foi baseado nos métodos descritos por Pessenda et al. (1996c).

Cerca de 5 g de cada amostra selecionada para as análises isotópicas foram inicialmente mantidas em solução de HCl com concentração 0,01 M, para retirar contaminantes, como raízes e folhas, através de flutuação e peneiramento.

Depois de peneirado, o material decantou, e descartou-se a solução de HCl sobrenadante. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 50°C por aproximadamente 3 dias. O material seco foi pulverizado em almofariz de porcelana e guardado em frascolex, devidamente identificado.

Para as amostras do Jab, foram pesados cerca de 2 mg de cada amostra para análise de Carbono orgânico total (%) e  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) e 7 mg (entre 0 e 32 cm) ou 20 mg (entre 40 e 254 cm) para Nitrogênio total e  $\delta^{15}\text{N}$ .

Para as amostras R<sub>IV</sub>, foram pesados cerca de 80 mg tanto para as análises de carbono quanto para as de nitrogênio, e acondicionadas em cápsulas de estanho. Vale ressaltar que esta é a massa máxima que pode ser analisada no espectrômetro de massas.

O material foi enviado ao Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP, e analisado em um espectrômetro de massas ANCA GSL 20-20, da Europa Scientific, que contém um analisador elementar acoplado.

Os resultados de Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) são expressos em porcentagem de peso seco da amostra. As análises apresentam uma precisão de 0,1 % para COT e 0,02% para NT. A partir destes valores, é possível calcular a razão C/N de cada amostra.

As análises isotópicas de carbono e nitrogênio são expressas pela unidade relativa “ $\delta$ ”, e tem como padrão o VPDB e o ar, respectivamente. Os valores de “ $\delta$ ” foram calculados conforme as equações 1 e 2 (itens 2.2.1 e 2.1.2), e são expressos em por mil (‰).

### 5.5 Pré-tratamento para $\delta^{13}\text{C}$ das plantas coletadas no entorno

Primeiramente, as folhas foram lavadas com água desionizada e secas em estufa a 50°C. Em seguida, foram trituradas em um moinho e homogeneizadas.

Pesou-se entre 0,5 e 1 g de cada amostra, também em cápsulas de estanho, e enviadas ao Laboratório de Isótopos Estáveis para análise em espectrômetro de massas.

### 5.6 Pré-tratamento para datação $^{14}\text{C}$

No testemunho Jab, foram selecionados e pré-tratadas 7 amostras, sendo 5 sedimentares e 2 fragmentos de madeira. Do testemunho R<sub>IV</sub> foram selecionados e pré-tratadas 6 amostras, sendo todas sedimentares.

Iniciou-se com a flutuação e peneiramento para retirada de contaminantes (raízes, folhas, etc.) em solução de HCl 0,01 m. Esperou-se decantar o sedimento e descartou-se o sobrenadante.

As amostras foram submetidas ao pré-tratamento químico com HCl 4%, com temperatura entre 60°C e 70°C por cerca de 4 horas (Figura 9). Foram realizadas lavagens sucessivas (aproximadamente 8 lavagens) com água desionizada até atingir pH > 4.

Amostras de sedimento transformados em CO<sub>2</sub>, encapsulados, e amostras de madeira *in natura*, foram enviadas ao Center for Applied Isotope Studies da Universidade da Georgia (CAIS), EUA, para análise por AMS. Os resultados obtidos são apresentados em anos AP e suas respectivas idades calibradas calculadas pelo software CALIB 5.0 com erro estimado de 2 $\sigma$  (REIMER et al., 2005).



Figura 9 - pré-tratamento químico para datação  $^{14}\text{C}$ . Amostras submetidas a 60 – 70° C por 4 horas com HCl 4%

### 5.7 Tratamento para extração dos palinomorfos

O tratamento do sedimento para análises palinológicas tem como objetivo concentrar os palinomorfos, eliminando o máximo de contaminantes, como restos orgânicos e elementos minerais, o que facilita a contagem e identificação dos grãos. A parede celular dos palinomorfos apresenta uma resistência tal que permite que sejam realizados diversos tratamentos químicos. Ao final do tratamento, o resíduo que persiste, contém os grãos-de-pólen concentrados.

Baseou-se na metodologia descrita por Colinvaux et al. (1999) para tratar o material, sendo que adaptações foram feitas conforme o tipo de amostra tratada. Amostras ricas em sílica, como as do R<sub>IV</sub>, foram submetidas a um tratamento mais longo com ácido fluorídrico, por exemplo. Já as amostras do Jab, ricas em matéria orgânica e argila, foram submetidas a uma acetólise mais intensa.

Foram tratadas 60 amostras, sendo 24 amostras do R<sub>IV</sub> e 36 amostras do Jab. Para escolher as amostras a serem tratadas buscou-se conciliar tanto a variação das fácies nos testemunhos como também uma sequência uniforme (a cada 6 cm, por exemplo).

### 5.7.1 Protocolo palinológico adaptado de COLINVAUX et al., 1999, para as condições do material

Inicialmente, as amostras selecionadas foram transferidas para tubos de centrífuga identificados, com capacidade para 15 mL cada um. Foram tratadas 12 amostras por vez.

As centrifugações mencionadas ocorreram a 3000 rpm durante 3 minutos.

- Padronizou-se o uso de duas pastilhas de *Lycopodium clavatum*, marcador exótico de concentração conhecida, em todas as amostras tratadas. Primeiramente são adicionadas as pastilhas, para que estas sejam submetidas ao mesmo tratamento que o material, de modo que elas possam indicar, estatisticamente, as perdas ocorridas no processo.
- As pastilhas são dissolvidas adicionando aproximadamente 5 mL de HCl 10%. O material foi misturado, centrifugado e descartou-se o sobrenadante. A sequência: mexer, centrifugar e descartar, foi realizada a cada passo do tratamento.
- Depois de lavado duas vezes com 15 mL de água destiladas, adicionou-se 8 mL de HF, para retirar a sílica contida no material, durante aproximadamente 40 – 50 minutos em banho-maria.
- O resíduo de HF foi eliminado da amostra através de duas lavagens consecutivas com HCl 10%.
- Após uma lavagem com água deionizada, adicionou-se 8 mL de KOH a quente durante 5 minutos, para aumentar o pH do meio e iniciar a retirada da matéria orgânica. Opcionalmente, esta etapa pode ser realizada duas vezes, em casos de amostras muito argilosas como, por exemplo, a do testemunho Jab.
- Em seguida, o material foi lavado duas vezes com água deionizada, para iniciar a acidificação do meio com 8 mL de ácido acético glacial, 2 vezes, permitindo o início da acetólise.
- A acetólise é composta de 9 partes de anidrido acético 95% para 1 parte de ácido sulfúrico 95 – 97%. Cerca de 8 mL da mistura foi adicionado nas amostras e submetidos ao banho-maria por 10 – 20 minutos, dependendo das características do material, uma vez que a principal função desta etapa é, além

da coloração dos grãos-de-pólen e esporos, a retirada do excesso de matéria orgânica.

- A seguir, foram feitas duas lavagens com ácido acético glacial para reduzir o pH, seguindo-se a lavagem com água deionizada.
- Para a retirada da água contida no resíduo final do tratamento, adicionou-se etanol absoluto. Este processo de desidratação propicia o aumento do tempo de vida útil das lâminas utilizadas na análise polínica.
- Depois de descartado o etanol, o resíduo foi transferido para frascolex de polipropileno de 5 mL com tampa, identificados. A cada amostra foram adicionadas aproximadamente 10 gotas de glicerina bidestilada, secas em estufa a 40°C até que o álcool evaporasse por completo. O uso da glicerina nas análises palinológicas é bastante interessante, pois permite que os grãos sejam “virados” e vistos tanto na sua posição equatorial quanto polar, o que facilita o processo de identificação.
- Os resíduos permaneceram em geladeira para a posterior montagem das lâminas de microscopia.

### **5.7.2 Montagem das lâminas para palinologia**

Para a identificação e contagem dos palinomorfos – pólen, esporos, algas e outros – foram montadas cerca 5 lâminas para cada profundidade, para uma melhor representatividade das análises. Foram contados aproximadamente 60 grãos-de-pólen de espécies arbóreas em cada lâmina, gerando um total de 300 grãos, um valor considerado estatisticamente adequado para o propósito de reconstrução da vegetação dos locais.

O resíduo gerado ao final do tratamento é misturado com auxílio de um palito e uma gota é transferida para a lâmina. Em uma chapa aquecedora a 60°C, coloca-se a lâmina, coberta por uma lamínula previamente circundada com parafina. A parafina e a glicerina derretem e se espalham de modo homogêneo, de modo que um círculo contendo o resíduo é formado no centro da lâmina. As lâminas foram devidamente identificadas e seladas com base para unha incolor.

### 5.7.3 Identificação e contagem dos palinomorfos

A maior referência para a identificação palinológica foi a palinoteca do Laboratório de Carbono-14, CENA/USP, a qual já conta com mais de 2500 lâminas, representando aproximadamente 1200 gêneros. O material foi coletado nos herbários ESA da ESALQ/ USP e da Reserva Natural da Vale, Linhares, ES, de exsicatas identificadas por especialistas da área de botânica.

Esteve também disponível a palinoteca do Laboratório de Palinologia e Paleobotânica da Universidade Guarulhos (UnG), que conta com cerca de 4.000 espécies tropicais e, além disso, a contou-se com a colaboração do Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira, especialista em pólen do Quaternário.

No Laboratório de Carbono-14 já foram concluídas duas teses de doutorado, a de SAIA, 2006 e de VIDOTTO, 2008 e três dissertações de mestrado, de MOFATTO, 2005; PASSARINI-JUNIOR, 2009 e BUSO-JUNIOR, 2010, fazendo uso da palinologia, gerando um material de referência disponível para a conclusão de outros trabalhos.

Outras referências bibliográficas estão disponíveis na literatura, como Colinvaux et al. (1999); Roubik et al. (1991) e Salgado-Labourial (1973).

## 5.8 Análise de diatomáceas

O tratamento para as diatomáceas tem a mesma finalidade que o tratamento para a palinologia, porém, neste caso, elimina-se basicamente a matéria orgânica. O protocolo usado neste tratamento foi adaptado de BATARBEE, 1986 e consiste principalmente no uso de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) para reagir com a matéria orgânica.

### 5.8.1 Pré-tratamento para diatomáceas

- Em 1 cm<sup>3</sup> do material *in natura* foi adicionado ( $H_2O_2$ ) e aquecido em uma chapa a aproximadamente 60°C até que a oxidação do material assegurasse a ausência de matéria orgânica, ou seja, no momento em que não ocorre mais reação.
- Lavagens sucessivas com água deionizada permitiu que fosse obtido um pH neutro.

- Novamente na chapa aquecedora, adicionou-se 10 ml de HCl 10% por 10 minutos. Este processo com ácido elimina o resíduo final da matéria orgânica. A amostra fica mais clara, tornando a visualização das diatomáceas melhor.
- Após as lavagens com água deionizada, o material foi guardado em pequenos recipientes, contendo 10 mL da mistura do resíduo e água deionizada.

### **5.8.2 Montagem das lâminas**

As lâminas foram montadas utilizando-se Naphrax®, que além de permitir a fixação do resíduo na lâmina, apresenta um índice de refração que auxilia na visualização e identificação das diatomáceas.

Primeiramente, 0,2 ml do resíduo foram espalhados na lamínula, e deixou-se que esta secasse de um dia para o outro em uma sala onde havia um desumidificador do ar.

Uma gota do Naphrax foi colocada em uma lâmina pré-aquecida em chapa, e a lamínula, com o material seco virado para a lâmina, foi delicadamente colocada sobre o Naphrax quente.

A lâmina foi aquecida até que o Naphrax formasse bolhas e se espalhasse por toda lamínula. O material foi levemente pressionado para eliminar as bolhas e em seguida retirado da chapa, para secar. Cada lâmina foi devidamente identificada, para posterior análise em microscópio óptico.

### **5.8.3 Contagem e identificação das diatomáceas**

De cada amostra selecionada, foram contadas 500 valvas de diatomáceas. Estas foram fotografadas em um microscópio óptico, no aumento de 630 vezes, e identificadas com auxílio de referências, como: Vidotto, 2008; Amaral, 2008; Bigunas, 2009; Castro, 2010.

Contou-se também com o Auxílio do Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira, que além da palinologia, também tem bastante conhecimento na área das diatomáceas.

As pranchas contendo as fotografias das diatomáceas identificadas encontram-se no anexo.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Descrição de fácies

O material sedimentar foi devidamente descrito, em suas características litológicas, coloração e granulometria.

Serão apresentadas fotografias e esquemas, que facilitarão o entendimento e a interpretação paleoambiental em conjunto com outros resultados.

#### 6.1.1 Praia do Pesqueiro – R<sub>IV</sub>

As Figuras 10 e 11 e a Tabela 1 mostram respectivamente as fotografias, ilustrações e as descrições das fácies do testemunho R<sub>IV</sub>, bem como as possíveis interpretações paleoambientais dos eventos ocorridos na Praia do Pesqueiro.

O sedimento contido no testemunho é constituído basicamente por areia fina e muito fina, com estratificação plano-paralela ou com filmes de argila do tipo *flaser* ou *wavy*, entre 226 e aproximadamente 60 cm. Tais características foram associadas a canais de maré e antepraia (foreshore) inferior e superior.

Na superfície, entre 60 cm e 0 cm, a argila é predominante, sendo na forma maciça, pelítica ou laminada, e presença de grãos de areia dispersos em alguns pacotes. Essas características foram associadas á laguna, delta de maré e mangue.

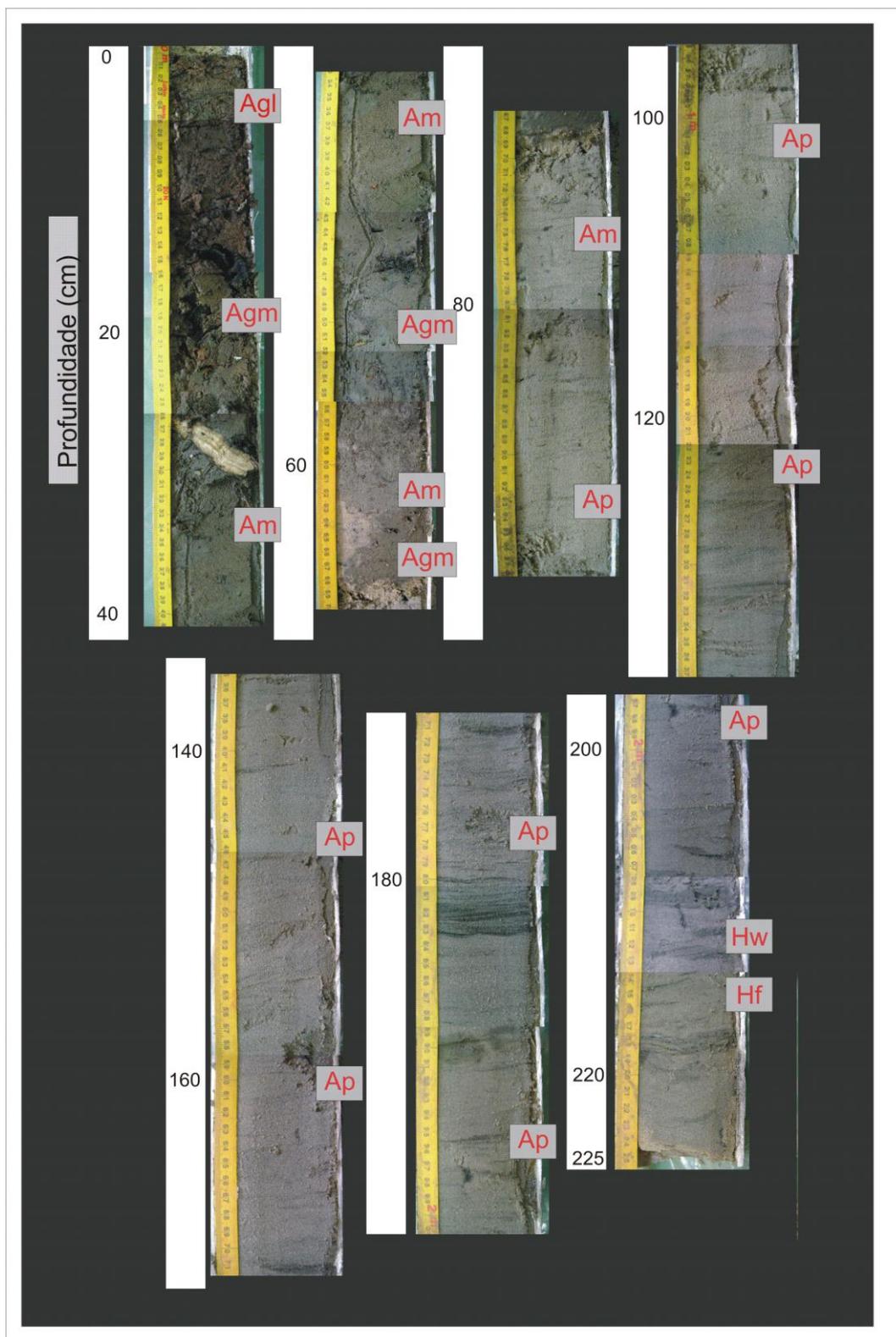


Figura 10 - Fotografias com as características sedimentares do testemunho R<sub>IV</sub>, Praia do Pesqueiro. Siglas: Agl – argila laminada; Agm – argila maciça; Am – Areia maciça; Ap – Areia com laminação plano-paralela; Hw – Areia com filmes de argila em wavy; Hf – Areia com filmes de argila em flaser

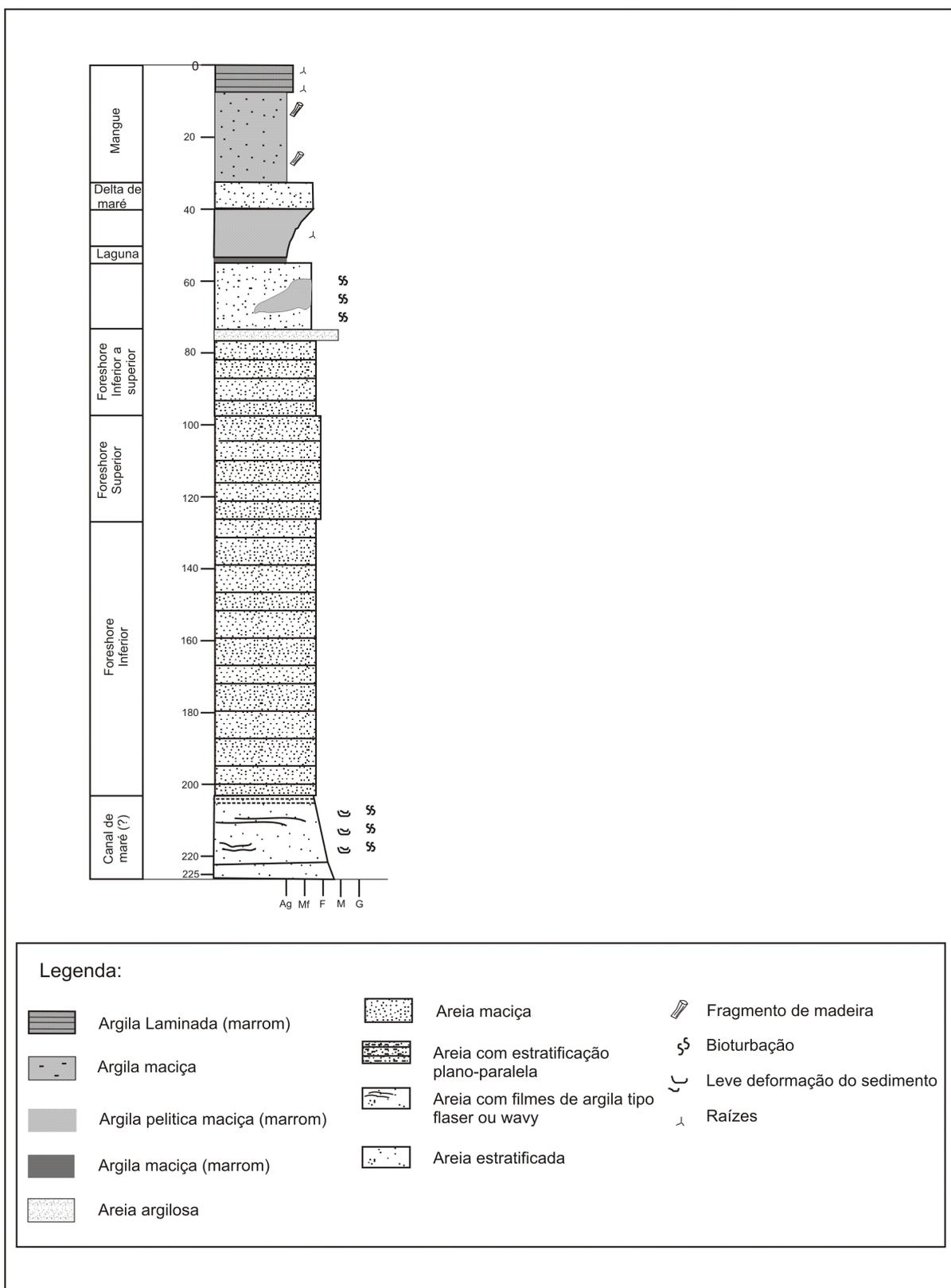


Figura 11 - Perfil litoestratigráfico e associação de fácies, resultante da descrição sedimentológica do testemunho R<sub>IV</sub>, do manguezal da Praia do Pesqueiro

Tabela 1 - Associação de fácies com sua respectiva descrição e os processos deposicionais envolvidos

Fácies	Descrição	Processos deposicionais
Argila laminada (Agl)	Argila com estrias de areia síltica muito fina e com filmes de matéria orgânica.	Deposição por suspensão em condições de fluxos de baixa energia, com influxos episódicos de silte.
Argila pelítica maciça (Agm)	Argila maciça, com grãos de areia dispersos e abundantes restos vegetais.	Homogeneização do sedimento por atividade biológica e/ou processos pedogênicos.
Argila Maciça (Agm)	Argila com fragmentos de matéria orgânica.	Deposição de argilas por suspensão, sob condições de baixa energia, com influxo periódico de areia. Deformação sedimentar. Pedogênese.
Areia com estratificação plano-paralela (Ap)	Areia fina/muito fina, bem selecionada, arredondada, estratificação plano-paralela ou cruzada truncada de baixo ângulo.	Deposição em regime de fluxo superior. Deformação sedimentar.
Areia com filmes de argila tipo <i>flaser</i> ou <i>wavy</i> (Hw e Hf)	Areia fina/muito fina com filmes e camadas de argila intercaladas plano-paralelas, formando pacotes heterolíticos de “flaser” e “wavy”.	Alternância de energia do fluxo, com deposição de areia e episódica sedimentação de argila a partir de suspensões. Deposições de areia que formam camadas onduladas contínuas.
Areia Maciça (Am)	Areia fina/muito fina.	Deposição episódica a partir de influxos de areia em ambiente. Deformação sin-sedimentar.
Areia argilosa	Areia média, intensamente bioturbada.	Bioturbação

Tabela 2 - Descrição das fácies com as interpretações paleoambientais correspondentes, da Praia do Pesqueiro, testemunho R<sub>IV</sub>

Interpretação Paleambiental	Descrição
Mangue	Argila laminada marrom, com estrias de areia síltica, muito fino, marrom claro com filmes de matéria orgânica. Argila marrom com grãos de areia dispersos, estruturação maciça, com abundantes restos vegetais.
Delta de maré	Areia marrom claro, fina/muito fina, maciça
Laguna	Argila pelítica, marrom maciça, com restos vegetais. Argila cinza amarronzada e maciça com fragmentos de argila de coloração cinza escuro/ negra e matéria orgânica. Areia argilosa, intensamente bioturbada.
Foreshore inferior a superior/ Foreshore inferior	Areia médio/ fina, creme, maciça. Areia cinza/creme, fina/muito fina, bem selecionado, grãos arredondados, sub-arredondados, bem estratificado, com estratificação plano-paralela e cruzada truncada de baixo ângulo. Bioturbação esporádica dispersa. Planos de estratificação marcados por minérios pesados e/ou filmes de argila. Fragmentos vegetais dispersos.
Foreshore superior	Idem ao foreshore inferior, porém com areia fina.
Canal de maré	Areia fina/muito fina, cinza, com filmes e camadas de argila intercaladas plano-paralelas, formando pacotes heterolíticos do tipo “ <i>flaser</i> ” e “ <i>wavy</i> ”. Areia médio, creme clara, estratificada, bem selecionada.

### 6.1.2 Lago São Luís – Jabuti

O sedimento do testemunho Jabuti é basicamente constituído de argila maciça ou argila com laminação plano/paralela e intensa bioturbação (Figuras 12 e 13). Tais características foram associadas como fase de supramaré (mangue ou pântano) da base do testemunho aos 40 cm e como fase lacustre, dos 40 cm até o topo (Tabela 3).

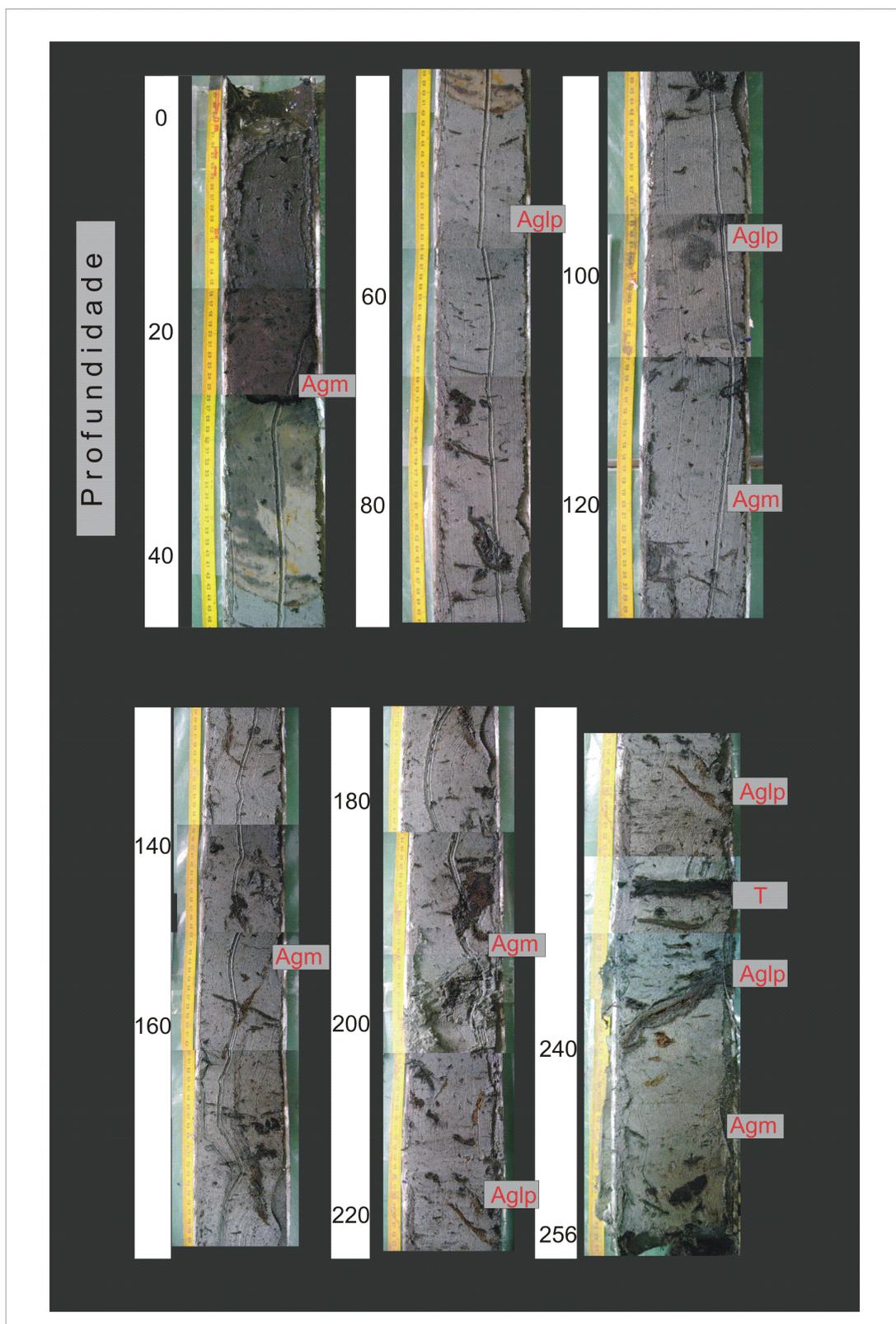


Figura 12 - Fotografias com as características do sedimento do testemunho Jabuti, Lago São Luís. Siglas: Agm - Argila maciça; Aglp - Argila com laminação plano-paralela; T: - Turfa)

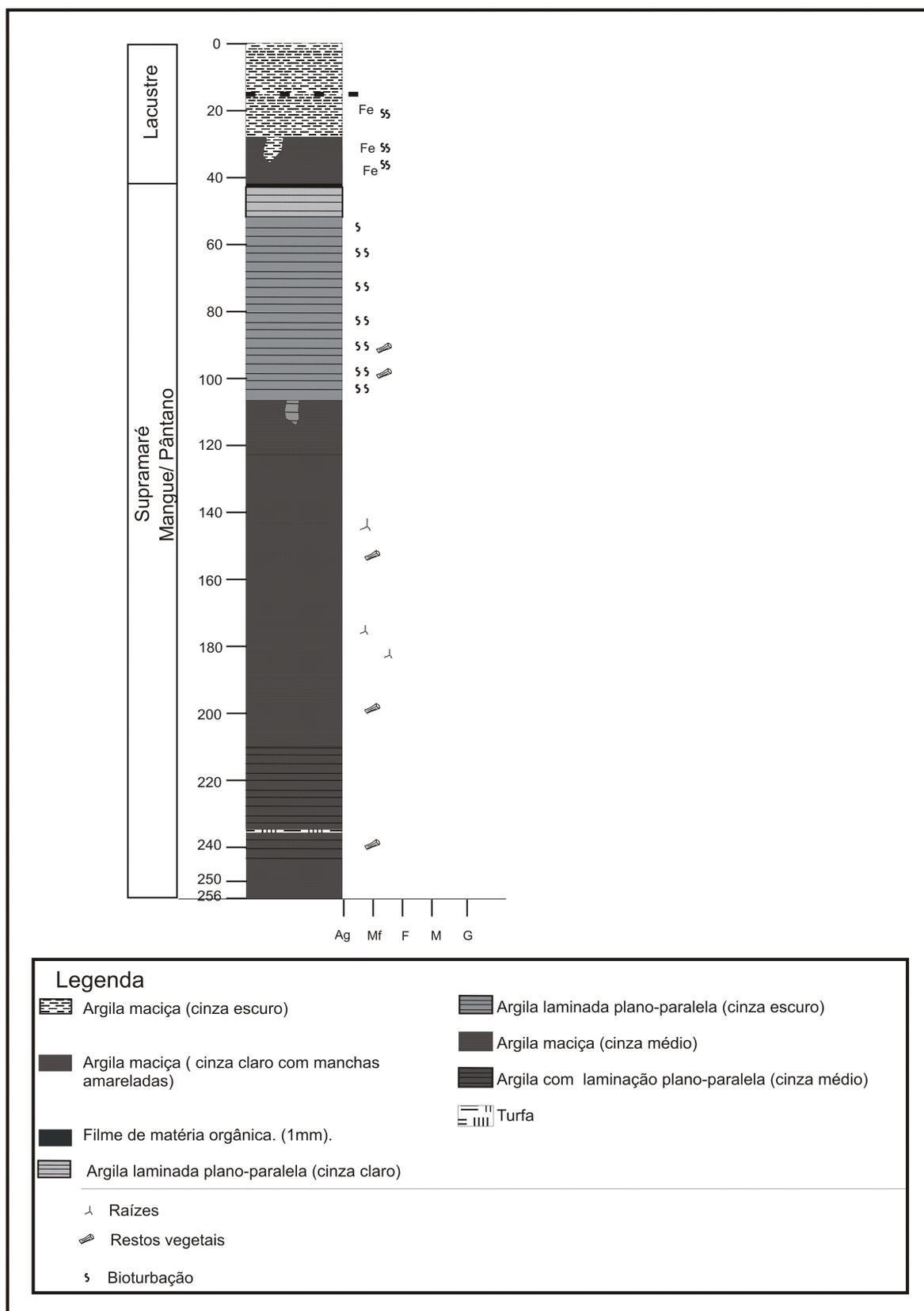


Figura 13 - Perfil litoestratigráfico e associação de fácies, resultante da descrição sedimentológica do testemunho Jabuti, do Lago São Luís

Tabela 3 - Associação de fácies com sua respectiva descrição e os processos deposicionais envolvidos

Fácies	Descrição	Processos deposicionais
Argila Maciça (Agm)	Argila maciça de cor cinza escuro, com alguns fragmentos de argila de coloração mais escura.	Deposição de argilas por suspensão sob condição de baixa energia, com influxo periódico de areia. Deformação sedimentar. Pedogênese.
Argila laminada plano-paralela (Aglp)	Argila cinza com laminação plano-paralela e fragmentos vegetais dispersos.	Deposição por suspensão em condições de fluxos de baixa energia.
Turfa (T)	Filme de 2 cm de matéria orgânica.	Material de origem vegetal, relacionado a ambientes lagunares.

Tabela 4 - Descrição das fácies com as interpretações paleoambientais correspondentes, do Lago São Luís, testemunho Jab

Interpretação Paleoambiental	Descrição
Lacustre	Argila cinza-escuro, maciço na base com abundantes fragmentos de argila de coloração cinza escuro e negro, gradativamente para cima e argila com volume menor de fragmentos de argila. Argila maciça localmente contorcida de coloração cinza claro e manchas amareladas localmente contorcidas e com introdução de sedimentos da camada superior.
Supramaré mangue/pântano	Filme com matéria orgânica (1mm). Argila cinza laminada plano-paralela com fragmentos de vegetação dispersos. Argila cinza, pouco mais escura que a anterior, com laminação plano-paralela, diferenciada da camada superior devido ao aumento no volume de matéria orgânica vegetal, tanto sob forma de <i>coffee ground</i> , como de fragmentos lenhosos maiores (até 6 – 7 cm). Argila cinza média maciça, com abundantes restos de matéria orgânica vegetal, fragmentada fina, e sem fragmentos grandes. Idem ao item 6, porém com abundantes restos de matéria orgânica vegetal, fragmentada fina e sem fragmentos grandes. Igual às anteriores, porém, com laminação plano-paralela, localmente com couplets de argila com matéria orgânica vegetal. Turfa (2cm).

## 6.2 Datação $^{14}\text{C}$

### 6.2.1 Praia do Pesqueiro – R<sub>IV</sub>

Na Tabela 5 estão as amostras selecionadas para datação carbono-14 via AMS do manguezal da Praia do Pesqueiro. Os resultados da datação se encontram em anos AP e os respectivos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e taxa de sedimentação e profundidade correspondente.

A idade calibrada em anos de calendário foi calculada fazendo uso do software calib600<sup>®</sup>, em  $2\sigma$  (REIMER et al., 2009).

Tabela 5 - Datação carbono-14 por AMS das amostras selecionadas do manguezal da Praia do Pesqueiro, testemunho R<sub>IV</sub>

Código do laboratório	Profundidade (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Datação (anos AP)	Idade calibrada ( $2\sigma$ ) (anos cal AP)	Taxa de sedimentação (cm/ano)
UGAMS 4931	4 - 2	-29,3	Moderno	(1958 AD*)	-
UGAMS 5316	46 - 44	-27,9	Moderno	(1958 AD*)	-
UGAMS 5317	69 - 65	-27,5	$620 \pm 25$	614 - 552	0,111
UGAMS 4932	192 - 190	-26,1	$1530 \pm 30$	1518 - 1350	0,125
UGAMS 5318	211 - 209	-26,4	$1510 \pm 25$	1419 - 1334	0,139
UGAMS 4933	220 - 218	-26,6	$1760 \pm 30$	1739 - 1567	0,125

\* AD – Ano domini

A base do testemunho R<sub>IV</sub>, entre 220 – 218 cm, registrou  $1760 \pm 30$  anos AP ou 1739 - 1567 anos cal AP, com taxa de sedimentação de 0,125 cm/ ano.

Levando-se em consideração as datações obtidas, pode-se afirmar que a taxa de sedimentação ao longo do testemunho apresentou pequenas variações, sendo que entre 211 - 209 cm e 69 – 65 a datação obtida foi de  $1510 \pm 25$  anos AP (ou 1419 – 1334 anos cal AP) e  $620 \pm 25$  anos AP (ou 614 – 552 anos cal AP), com taxa de sedimentação de 0,139 cm/ano e 0,111 cm/ano, respectivamente.

Entre as camadas 211-209 cm ( $1510 \pm 25$  anos AP) e 192 e 190 cm (~1530 anos AP) se observa uma inversão nas datações. Um efeito de bioturbação pode ter misturado a matéria orgânica entre as camadas. Os dados isotópicos são muito similares (~-26.1 e -26.4‰) e não auxiliam na definição. As fácies, no entanto, mostram um ambiente de sedimentação de canal de maré neste intervalo, com intensa bioturbação e deformação do sedimento.

Entre 46 – 44 cm e 4 – 2 cm, o registro indicou que o sedimento é moderno, e ambos foram depositados em 1958, ou seja, este material orgânico foi depositado durante/após os testes nucleares no Hemisfério norte entre meados de 1950 e 1960. Tal valor era esperado, uma vez que a superfície do manguezal é um local onde existe intensa atividade biológica e conseqüente mistura de materiais recentes, como observado em sedimentos de mangues da região da Ilha do Cardoso, São Paulo (PESSENDA et al., 2011).

Os valores isotópicos de carbono da Praia do Pesqueiro mostram dominância de plantas  $C_3$  (valores registrados variando entre -26,4‰ a 211 – 209 cm e -29,3‰ a 4 - 2cm) durante todo o período. Esta análise, porém, será apresentada com maiores detalhes no tópico 6.3.2.1.

## 6.2.2 Lago São Luís – Jab

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos de datação Carbono-14 em anos AP e em idade calibrada ( $2\sigma$ ), os respectivos valores de  $\delta^{13}C$  e taxa de sedimentação de 7 amostras em diferentes profundidades selecionadas do testemunho do Lago São Luís.

Tabela 6 - Datação carbono-14 por AMS das amostras selecionadas do Lago São Luís, testemunho Jab

Código do Laboratório	Material	Profundidade (cm)	$\delta^{13}C$ (‰)	Datação (anos AP)	Idade calibrada ( $2\sigma$ ) (cal anos AP)	Taxa de sedimentação (cm/anos AP)
UGAMS 4928	Sedimento	24 - 22	-25,3	1920 $\pm$ 30	1974 - 1813	0,011
UGAMS 8209	Madeira	83 – 78	-30,2	5730 $\pm$ 30	6633 - 6444	0,014
UGAMS 4929	Sedimento	146 - 142	- 27	5840 $\pm$ 30	6737 - 6597	0,025
UGAMS 5319	Sedimento	160 - 158	-26,5	6750 $\pm$ 30	7662 - 7573	0,023
UGAMS 8207	Madeira	194 - 185–	-29,1	6150 $\pm$ 30	7159 - 6959	0,029
UGAMS 8208	Sedimento	240 – 234	-29,3	5860 $\pm$ 30	6772 - 6568	0,040
UGAMS 4930	Sedimento	251 - 248	-27,1	6600 $\pm$ 30	7521 - 7433	0,038

A datação registrada na base do testemunho Jab, entre 251 -248 cm, foi de 6.600  $\pm$  30 anos AP e 7521 - 7433anos cal AP, e apresentou uma taxa de sedimentação de 0,038 cm/ano.

A datação da amostra de sedimento entre 240 – 234 cm foi de 5860  $\pm$  30 anos AP (6772 – 6568 anos cal AP), com taxa de sedimentação de 0,04 cm/ ano AP, e apresentou inversão, uma vez que é mais recente que o registro entre 194 – 185 cm (5860  $\pm$  30 anos AP ou 6772 – 6568 anos cal AP) e 160 – 158 cm (6750  $\pm$  30 anos AP ou 7159 – 7573 anos cal AP).

Outra inversão ocorreu na amostra entre 160 – 158 cm, em que o resultado de  $6570 \pm 30$  anos AP (7159 – 7573 anos cal AP) é mais antigo que o valor registrado na base do testemunho, entre 251 – 248 cm, de  $6600 \pm 30$  anos AP (7521 – 7433 anos cal AP).

A litoestratigrafia indica que, da base até aproximadamente 42 cm, o ambiente de sedimentação é típico de manguezal ou pântano. Como será descrito no tópico 6.4.2.1., referente à palinologia, a alta concentração de *Rhizophora* está associada à presença de um manguezal. Neste tipo de ambiente, é comum a intensa atividade biológica, o que provoca revolvimentos no material mais profundo para a superfície e vice-versa. As bioturbações provavelmente esclarecem as inversões registradas nos pontos 240 – 234 e 160 – 158 cm.

Os outros pontos datados foram: 146 – 142 (sedimento), e 83-78 (madeira) e 24 - 22 cm (sedimento), sendo os registros de  $5840 \pm 30$  anos AP (6737 - 6597 anos cal AP),  $5730 \pm 30$  anos AP (6633 - 6444 anos cal AP)  $1920 \pm 30$  anos AP (1974 - 1813 anos cal AP), com taxas de sedimentação de 0,025; 0,014 e 0,011 cm/ano, respectivamente.

### **6.3 Isótopos estáveis e análises elementares de Carbono e Nitrogênio**

#### **6.3.1 Caracterização isotópica das plantas coletadas no entorno**

Determinar os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas, que estão atualmente próximas ao local onde se coletaram os testemunhos, tem a função de indicar qual o registro da vegetação moderna e nortear no entendimento das mudanças destas, que ficaram registradas no sedimento. Alguns exemplares, coletados no mangue e no lago, e seus respectivos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  estão contidos na Tabela 7.

##### **6.3.1.2 Praia do pescador - R<sub>IV</sub>**

No entorno do ponto em que o testemunho foi coletado, havia espécies de *Rhizophora* e de Pteridophyta.

As *Rhizophora mangle*, que são dominantes e muito bem desenvolvidas neste local, apresentaram valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de -33,5‰. Algumas Pteridophyta também estavam presentes, com  $\delta^{13}\text{C}$  de -32,28 ‰. As duas apresentam valor de  $\delta^{13}\text{C}$  típico de ciclo fotossintético de planta C<sub>3</sub>.

### 6.3.1.3 Lago São Luís – Jab

São basicamente 2 tipos diferentes de vegetação que se encontram ao redor do lago São Luis. Mais próximo a ele, está uma vegetação mais herbácea, com espécies de Convovulaceae, Rubiaceae, Cyperaceae e Poaceae. Mais distante, em locais mais altos, está uma vegetação mais arbóreo-arbustiva, bastante representada com espécies de Myrtaceae e Melastomataceae. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de cada planta coletada estão organizados na Tabela 7.

Tabela 7 - As plantas coletadas no Lago São Luis e seus respectivos valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰)

Identificação	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<u>Vegetação herbácea</u>	
Convovulaceae - <i>Ipomea asarifolia</i>	-28,90
Rubiaceae	-32,53
Cyperaceae	-27,44
Poaceae	-12,52
<u>Vegetação arbóreo-arbustiva</u>	
Melastomataceae tipo 1	-29,45
Melastomataceae tipo 2	-27,23
Myrtaceae tipo 1	-31,64

A vegetação herbácea é composta por plantas  $\text{C}_3$ , com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variando entre -27,44 (Cyperaceae) e -32,53‰ (Rubiaceae). No entanto, as Poaceae são tipicamente do ciclo  $\text{C}_4$ , com valor de  $\delta^{13}\text{C}$  -12,52‰.

A vegetação arbóreo-arbustiva, com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -27,23 e -29,45 ‰ são de ciclo  $\text{C}_3$ , como esperado.

### 6.3.2 Caracterização isotópica do sedimento coletado nos testemunhos

Serão apresentados os resultados isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) e elementares de C e N, que se encontram na Tabela 8 e Figura 14.

### 6.3.2.1 Praia do Pesqueiro – R<sub>IV</sub>

Os resultados obtidos das análises isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) e elementares (COT, NT e C/N), das amostras selecionadas do testemunho da praia do pesqueiro estão apresentados na Tabela 8. Os resultados se encontram em um gráfico, correlacionado com as datações e a litoestratigrafia do testemunho (Figura 14).

Tabela 8 - Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio da Praia do Pesqueiro – R<sub>IV</sub>

Amostra (cm)	COT (%)	NT (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
2 – 0	9,52	0,52	18,31	-29,34	1,21
14 – 12	6,06	0,31	19,55	-28,92	0,76
24 – 22	6,89	0,35	19,68	-28,13	1,26
34 – 32	2	0,09	22,2	-27,9	2,68
44 – 42	2,91	0,12	24,25	-27,69	2,02
58 – 56	0,3	Pouco gás	-	-25,81	-
68 – 66	1,19	0,05	23,80	-27,17	2,44
80 – 78	0,04	Pouco gás	-	-26,03	-
90 – 88	0,02	Pouco gás	-	-26,47	-
100 – 98	0,03	Pouco gás	-	-25,8	-
110 – 108	0,02	Pouco gás	-	-25,92	-
118 – 116	0,03	Pouco gás	-	-25,88	-
128 – 126	0,04	Pouco gás	-	-26,03	-
138 – 136	0,03	Pouco gás	-	-25,59	-
148 – 146	0,02	Pouco gás	-	-25,02	-
158 – 156	0,03	Pouco gás	-	-26,38	-
168 – 166	0,05	Pouco gás	-	-26,79	-
178 – 176	0,03	Pouco gás	-	-25,34	-
188 – 186	0,03	Pouco gás	-	-25,39	-
198 – 196	0,04	Pouco gás	-	-25,1	-
210 – 208	0,32	Pouco gás	-	-26,61	-
222 – 220	0,06	Pouco gás	-	-25,7	-

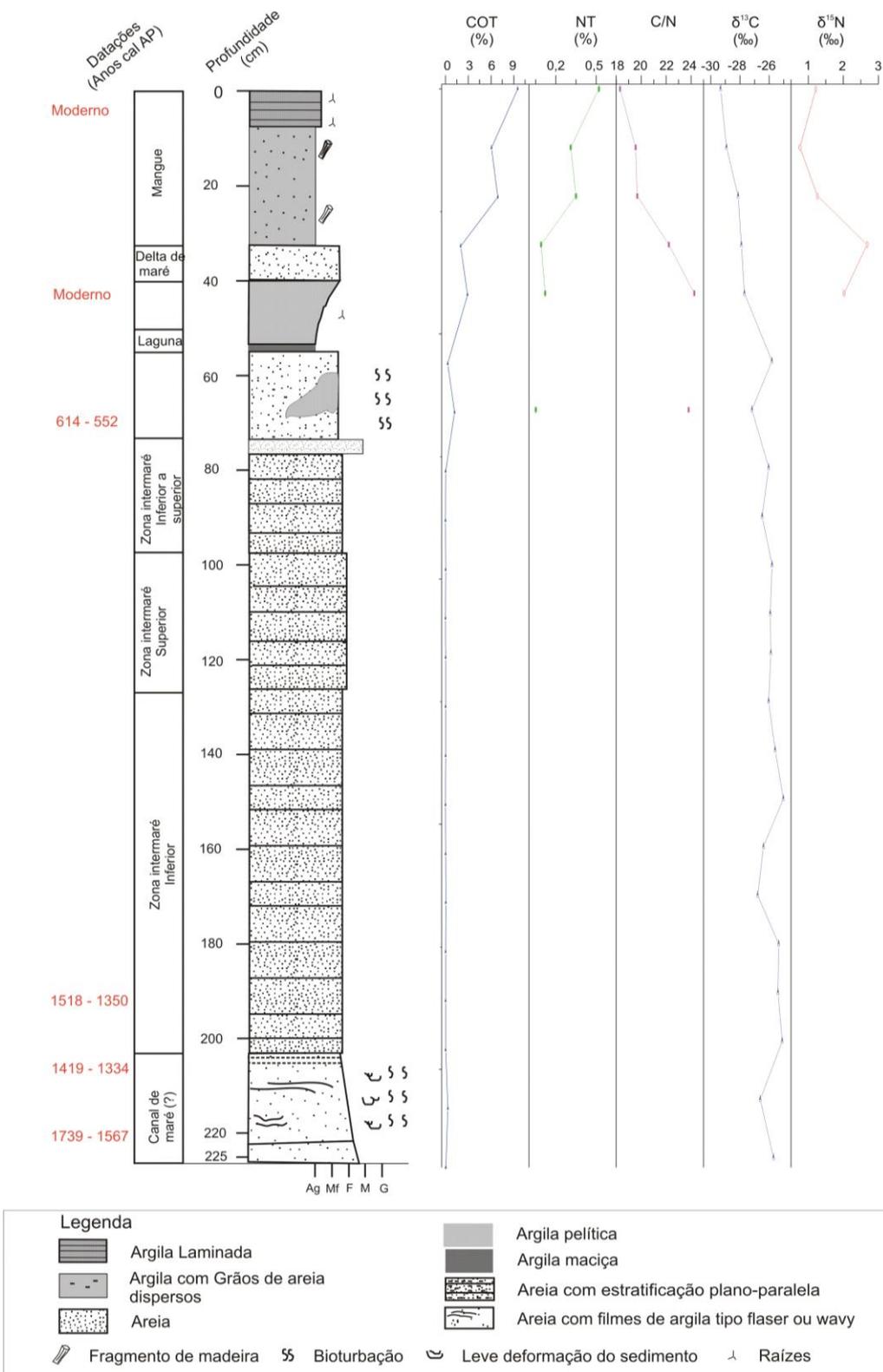


Figura 14 - Datações, litologia e análises elementares (C e N), isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) e C/N do manguezal da Praia do Pesqueiro – testemunho R<sub>IV</sub>

#### **6.3.2.1.1 Carbono Orgânico Total (COT) (%)**

Os valores de COT registrados desde 1739 - 1567 anos cal AP são extremamente baixos, atingindo valores próximos a 0,02% em alguns pontos, com pequenas variações até ~ 614 - 552 anos cal AP (entre 66 - 68 cm), onde se registra 1,19 %. O maior valor é encontrado na superfície, com datação moderna para o sedimento entre 2 - 0 cm, com 9,52%.

A baixa preservação do carbono orgânico era esperada, uma vez que o testemunho apresentou uma camada de areia que vai desde 1739 - 1567 anos cal AP (226 cm) até aproximadamente 614 - 552 anos cal AP (60 cm), e segundo as fácies, corresponde a um ambiente de ante-praia, pobre em matéria orgânica.

#### **6.3.2.1.2 Nitrogênio Total (NT) (%)**

Não foi possível a detecção de nitrogênio entre 1739 - 1567 até 614 - 552 anos cal AP (da base até ~56 cm). Mesmo os valores registrados no topo do testemunho (moderno) - de 44 a 0 cm - foram extremamente baixos, sendo o maior valor o da superfície (2 - 0 cm) com 0,52%.

Do mesmo modo como ocorreu com o carbono, o ambiente de ante-praia não colaborou na preservação do nitrogênio, sendo sua concentração tão baixa que não pode ser possível registrá-la.

#### **6.3.2.1.3 C/N**

A ausência de resultados de nitrogênio registrados desde a base do testemunho até os 56 cm impossibilitou o cálculo de C/N nas mesmas amostras.

Os valores determinados na superfície variam entre 24,25 (44 - 42 cm) e 18 (2 - 0 cm), ambos com datação moderna, e indicam o predomínio de matéria orgânica de origem de plantas terrestres C<sub>3</sub> (como será apresentado no item 6.3.2.1.4), porém, com mistura do material fitoplânctônico, mais representativo para a amostra superficial (2 - 0 cm).

#### 6.3.2.1.4 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  registrados no testemunho se mantiveram entre -25,02‰ -29,34‰ e ( 148 – 146 cm e 2 - 0 cm, respectivamente) e indicam a dominância, desde pelo menos 1739 - 1567 anos cal AP, das plantas  $\text{C}_3$ .

#### 6.3.2.1.5 $\delta^{15}\text{N}$ (‰)

Assim como ocorreu com o nitrogênio total e o C/N, não foi possível obter os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de 1739 - 1567 anos cal AP (base) até ~ 614 - 552 anos cal AP (56cm). No entanto, os valores obtidos em todo o período de 1739 - 1567 anos cal AP até o presente, indicam a mistura de algas e plantas terrestres, com predomínio de plantas terrestres, uma vez que os valores se concentram entre 2,68‰ (entre 34 - 32cm) e 0,76‰ (entre 14 - 12 cm) e, onde a datação é moderna.

#### 6.3.2.1.6 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) x C/N

Todos os pontos obtidos a partir da correlação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N no testemunho R<sub>IV</sub> (Figura 15), são referentes aos dados da superfície (desde aproximadamente 70 cm), uma vez que toda porção arenosa do testemunho (de 225 a ~60 cm) não apresentou resultados para nitrogênio. Os pontos entre 44 a 0 cm sugerem mistura de plantas  $\text{C}_3$  e algas em ambiente lacustre. Essa mesma tendência foi observada nos testemunhos Resex I e Resex II, de França (2010), distantes aproximadamente 1,8 e 1,85 Km do local de coleta do Resex IV.

Por ser uma ilha fluvio-marinha, influenciadas pelos rios Pará, Tocantins e Amazonas, na foz do estuário amazônico, as águas que banham a porção leste da Ilha do Marajó apresentam uma salinidade de 3 – 7 ‰ (COHEN et al., 2008). Por esse motivo, a matéria orgânica sedimentar local apresenta-se como uma fonte muito mais lacustre do que marinha.

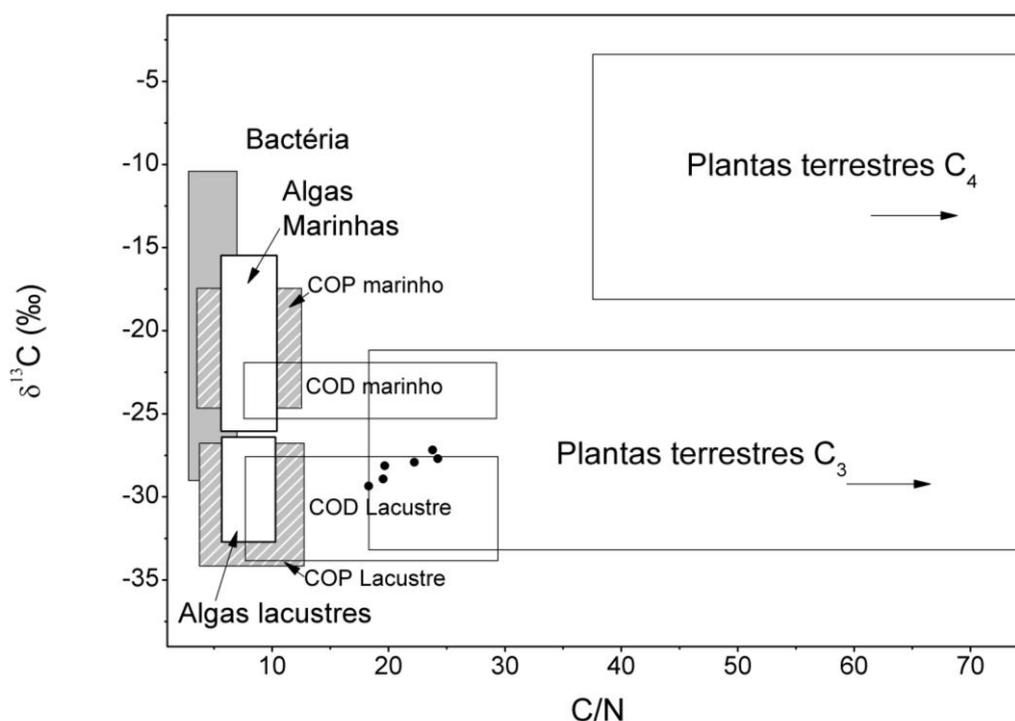


Figura 15 - Correlações entre  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) e C/N, nas faixas dos ambientes costeiros típicos, do testemunho Resex IV. (MEYERS, 2004; WILSON et al. 2005; LAMB et al., 2006)

### 6.3.2.2 Lago São Luís – Jabuti

Os resultados obtidos das análises elementares (COT e NT) e os valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras estão apresentados na Tabela 9 e juntamente com as datações na Figura 16.

Tabela 9 - Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio do Lago São Luís – Jab

Amostra (cm)	COT (%)	NT (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
2 - 0	6,2	0,32	19,37	-25,13	6,04
6 - 4	6,14	0,31	19,80	-25,34	2,22
10 - 8	6,43	0,33	19,48	-25,19	2,99
12 - 10	6,13	0,32	19,16	-25,15	1,7
18 - 16	5,24	0,28	18,71	-25,13	2,18
22- 20	4,4	0,23	19,13	-24,27	2,45
28 - 26	5,04	0,25	20,16	-24,82	2,72
32 - 30	1,94	0,08	24,25	-22,7	3,63
36 - 34	4,37	0,21	20,81	-24,55	3,56

(Continua)

Tabela 9 - Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio do Lago São Luís – Jab (continuação)

Amostra (cm)	COT (%)	NT (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
40 - 38	2,06	0,1	20,60	-25,53	2,04
44 - 42	1,31	0,06	21,83	-25,29	4,68
48 - 46	1,27	0,06	21,17	-26,8	5,08
54 - 52	1,7	0,07	24,28	-26,22	4,24
58- 56	1,81	0,07	25,86	-26,53	3,48
62 - 60	1,71	0,07	24,43	-26,16	4,31
66 - 64	2,25	0,08	28,12	-26,93	3,37
70 - 68	1,96	0,07	28	-27,05	4,15
74 - 72	1,96	0,07	28	-27,15	3,57
80 - 78	2,17	0,07	31	-27,11	4
84 - 82	1,76	0,07	25,14	-27,01	3,46
88 - 86	1,84	0,07	26,28	-27,36	3,3
92 - 90	2,25	0,07	32,14	-26,87	2,09
96 - 94	2,74	0,06	45,67	-26,74	3,74
100 - 98	2,32	0,07	33,14	-27	2,99
104 - 102	2,57	0,08	32,12	-27,14	1,54
108 - 106	1,45	0,08	18,12	-26,86	4,3
112 - 110	2,57	0,1	25,70	-27,75	3,81
116 - 114	1,01	0,06	16,83	-26,18	4,84
120 - 118	1,06	0,06	17,67	-27,24	4,63
124 - 122	1,38	0,08	17,25	-26,76	4,04
128 - 126	2,1	0,09	23,33	-27,2	4,29
132 - 130	1,14	0,06	19	-26,74	4,15
140 - 138	1,62	0,07	23,14	-27,22	4,16
144- 142	1,3	0,07	18,57	-27	4,35
148 - 146	1,23	0,07	17,57	-26,45	4,44
152 - 150	1,06	0,07	15,14	-26,52	4,69
156 - 154	1,37	0,07	19,57	-26,58	4,75
160 - 158	1,33	0,07	19	-26,17	4
164 - 162	1,28	0,07	18,28	-26	4,59
168 - 166	1,81	0,08	22,62	-27,19	3,79
172 - 170	2,28	0,09	25,33	-27	3,96
176 - 174	1,48	0,07	21,14	-27,16	4,46
180 - 178	1,24	-	-	-25,56	-

(Continua)

Tabela 9 - Valores elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio do Lago São Luís – Jab (conclusão)

Amostra (cm)	COT (%)	NT (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
182 – 180	1,15	0,06	19,16	-27,12	4,52
188 – 186	1,64	0,07	23,43	-26,79	4,36
192 – 190	1,14	0,06	19	-26,42	4,73
196 – 194	1,02	0,06	17	-26	4,77
200 – 198	2,02	0,08	25,25	-27,38	4,21
206 – 204	1,07	0,06	17,83	-26,39	4,82
210 – 208	0,91	0,06	15,17	-26,68	4,82
214 – 212	1,15	0,06	19,17	-26,97	4,5
218 – 216	1,45	0,07	20,71	-26,77	4,02
222 – 220	1,59	0,06	26,5	-27,34	4,11
226 – 224	1,66	0,07	23,71	-27,26	4,44
230 – 228	2,67	0,08	33,37	-27,49	3,81
234 – 232	1,65	0,07	23,57	-27,42	3,24
238 – 236	1,76	-	-	-27,62	-
242 – 240	2,41	0,08	30,12	-27,44	2,98
246 – 244	2,61	0,08	32,62	-27,48	3,35
250 – 248	3,05	0,86	3,55	-27,1	2,77
254 – 252	4,98	0,13	38,31	-27,98	1,34

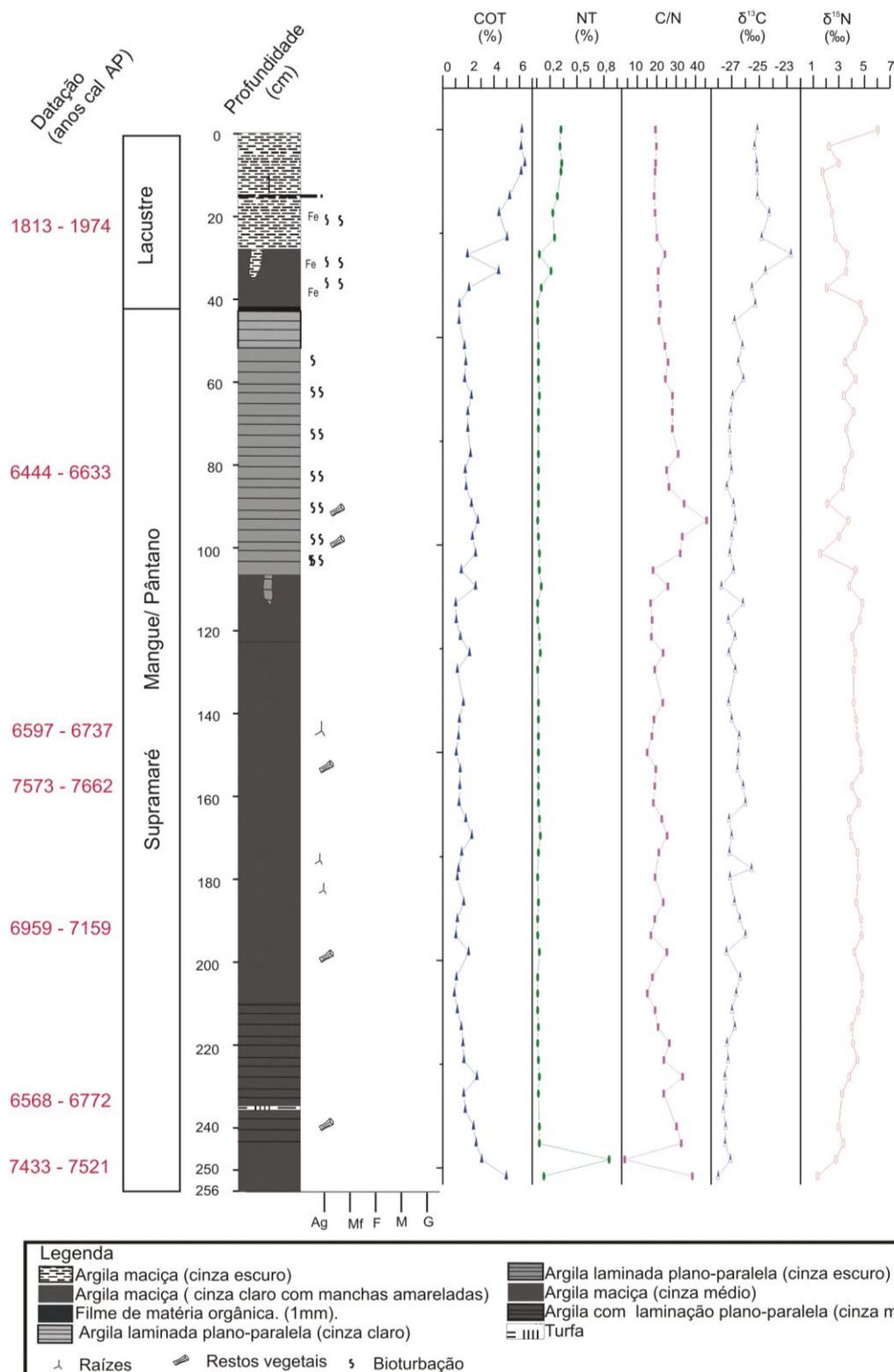


Figura 16 - Datações, litologia e análises elementares (C e N), isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) e C/N do sedimento do Lago São Luís – testemunho Jab

### 6.3.2.2.1 Carbono Orgânico Total (COT) (%)

Os valores de COT registrados na base, a partir de 7521 - 7433 anos cal AP (entre ~254 e 244 cm), são relativamente altos, entre 2,61% e 4,98%, quando comparado aos valores registrados na parte central do testemunho de 7521 - 7433 a ~2.907 anos cal AP (entre ~242 e 38 cm), onde os valores se mantêm entre 0,91% (210 - 208 cm) e 2,74% (96 - 94 cm).

O COT atinge seu máximo no topo do testemunho, de ~2766 anos cal AP até o presente (entre 36 e 0 cm), em que os valores se concentram entre 1,94% (32 - 30 cm) e 6,43% (10 - 8 cm).

Correlacionando os valores descritos desde ~7180 anos cal AP (210-208 cm) até à superfície do testemunho com a sua litoestratigrafia, é possível notar que o trecho que corresponde ao ambiente de manguezal é também o que apresenta os menores valores de COT.

Esta mesma relação foi verificada em Buso Junior (2010), em que, os valores de COT reduzem muito na base do testemunho até aproximadamente 75 cm (entre 7700 - 7438 e 1376 - 1293 anos cal AP), uma fase correspondente a um manguezal, segundo as análises.

Provavelmente, isso ocorre por que o mangue é um sistema aberto, exposto à dinâmica da maré, diferentemente do ambiente lacustre, a preservação do COT é mais efetiva.

### 6.3.2.2.2 Nitrogênio Total (NT) (%)

Os valores de Nitrogênio total apresentaram-se entre 0,06 e 0,33%, sendo que o maior valor, de 0,86%, é encontrado em apenas um ponto próximo à base do testemunho a ~7521 - 7433 anos cal AP (250 - 248 cm). Entre 7521 - 7433 e ~3100 anos cal AP (246 e 42 cm) os valores de NT se mantêm constantes, variando de 0,06% a 0,09%. Na parte superficial (40 a 0 cm), de ~3100 anos cal AP até o presente a concentração aumenta e fica entre 0,08% e 0,33%.

Assim como ocorreu com COT, os valores de NT são menores onde as fácies indicam sedimentação típica de manguezal. Buso Junior (2010) também verifica essa relação.

Neste caso, como o manguezal é um ambiente redutor, os processos de desnitrificação ocorrem intensamente (LIBBES, 1992), sendo que grande parte do nitrogênio é perdido para o ar na forma de  $N_2$  (g), e outra parte do Nitrogênio é removido junto à liteira, pelo constante movimento da maré, e levado para os estuários (CLARKE, 1983).

### 6.3.2.2.3 C/N

Os valores da razão C/N apresentaram variações relevantes em todo o testemunho. Entre 7521 - 7433 anos cal AP até ~ 6366 anos cal AP houve predomínio das plantas terrestres C<sub>3</sub>, uma vez que os valores se concentram entre 23,57 e 38,31, com um valor médio de 26,47. De ~6366 anos cal AP até ~ 5787 anos cal AP os valores variam entre 15,14 e 25,33, com média de 19,63, indicando uma maior influência de algas em mistura com plantas terrestres. Entre ~5787 anos cal AP e ~3100 anos cal AP (44 - 42 cm), valores variam de 18,12 a 45,67, com média de 27,70, e novamente as plantas terrestres passam a predominar. De ~3100 anos cal AP até o presente, os valores variam entre 18,71 e 24,25, com média de 20,14, indicativo de mistura de plantas terrestres e algas e provavelmente associado ao surgimento do lago, confirmando a litoestratigrafia apresentada na Figura 13.

O valor 3,55 registrado isoladamente na base do testemunho ocorreu devido à alta concentração de NT observada neste único ponto.

### 6.3.2.2.4 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram entre -27,98‰ a 7521 - 7433 anos cal AP (254 - 252 ) e -22,7‰ a ~2766 anos cal AP (32 - 30 cm), sendo típico de predomínio de plantas C<sub>3</sub> na matéria orgânica sedimentar.

Valores mais enriquecidos de  $\delta^{13}\text{C}$  de - 25,53 a -22,7 ‰ se concentram na superfície entre ~ 3100 anos cal AP e o presente (de 40 a 0 cm), indicando a mistura de gramíneas C<sub>4</sub> e plantas C<sub>3</sub>. Este período coincide com o surgimento do lago e desaparecimento do manguezal, conforme será mostrado na palinologia, tópico 6.4.3.1. Neste período, as *Rhizophora* antes dominantes, desaparecem e dão espaço à nova vegetação que se forma ao redor do lago, similar a atual.

### 6.3.2.2.5 $\delta^{15}\text{N}$ (‰)

Os resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  variam desde 1,34‰ a 7521 - 7433 –anos cal AP (254 - 252 cm) até 6,04‰ no presente (2 – 0 cm), indicando mistura das fontes de nitrogênio, algas e plantas terrestres em todo o período.

Antes de 7521 -7433 anos cal AP, estão concentrados os valores mais empobrecidos (~ entre 1,34 e 4,44 ‰ ), indicando provável predominância das plantas terrestres. De 7521-

7433 –anos cal AP (238 cm) até ~3.100 anos AP (42 cm), o  $\delta^{15}\text{N}$  se apresenta mais enriquecido, próximo a 4 ‰, típico de mistura de fontes terrestres e fitoplanctônica

De 1974 - 1813 anos cal AP os registros retornam à condição mais empobrecida de  $\delta^{15}\text{N}$ , e variam entre 1,7‰ e 3,63‰, exceto pelo registro obtido no presente, entre 2 - 0 cm de 6,04‰, que indica o predomínio de algas na matéria orgânica sedimentar.

Tanto no ambiente de mangue quanto no de Lago, é de se esperar a mistura das duas fontes. Porém, no ambiente de mangue, espera-se que a maior contribuição algal seja das espécies marinhas, e que as plantas dominantes sejam aquelas típicas de mangue, como *Rhizophora*, *Lagunculária* e *Avicennia*. Já no ambiente lacustre, espera-se encontrar algas de água doce e vegetação típica de floresta e campo. Com a utilização dos bioindicadores (pólen e diatomáceas) estima-se obter maiores detalhes na interpretação do paleoambiente.

#### 6.3.2.2.6 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) x C/N

Os dados obtidos a partir da correlação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) e C/N (Figura 17) mostram uma variação nas tendências da origem das fontes da matéria orgânica presente no testemunho Jab, do Lago São Luís.

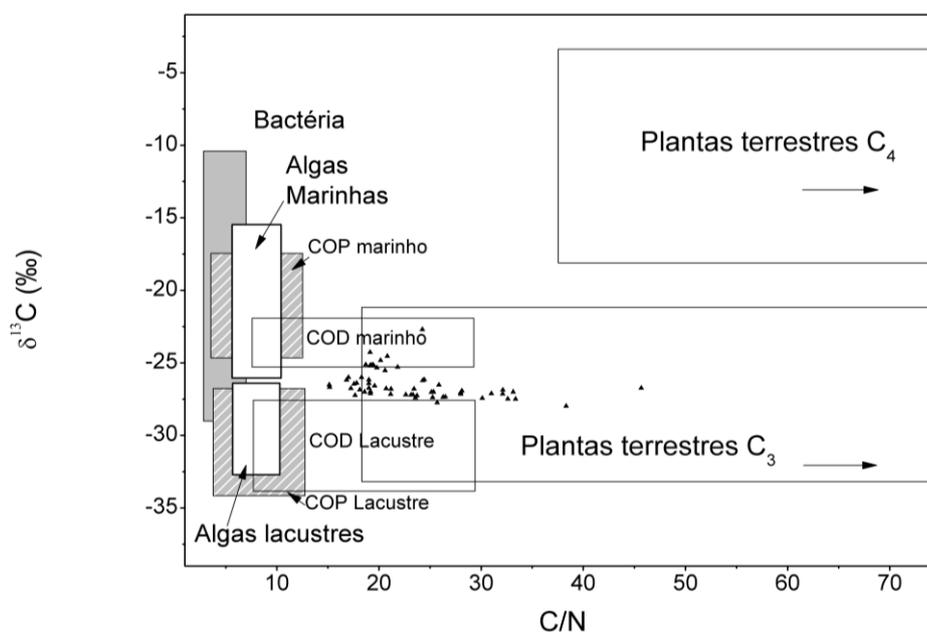


Figura 17 - Correlações entre  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) e C/N, nas faixas dos ambientes costeiros típicos, do testemunho Jab. (MEYERS, 2004; WILSON et al., 2005; LAMB et al., 2006).

Os valores que se concentram no quadro das plantas terrestres C<sub>3</sub> são os que estão próximos à superfície do testemunho, exceto um ponto de amostra obtida da porção mais próxima da base (254 - 252 cm). De modo geral, desde ~ 7521 - 7433 anos cal AP há uma tendência na transformação da matéria orgânica do ambiente marinho para mistura em ~3.100 anos cal AP e após para o predomínio de plantas terrestres C<sub>3</sub> até o presente.

## 6.4 Bioindicadores

Nesta sessão serão apresentados e discutidos os resultados referentes às análises de palinologia e de diatomáceas.

### 6.4.1 Praia do Pesqueiro

#### 6.4.1.1 Palinologia

Foram selecionadas e pré-tratadas 21 amostras do testemunho R<sub>IV</sub>, porém, da base do testemunho (225 cm) até aproximadamente 80-78 cm, os grãos-de pólen não foram encontrados. Deste modo, a análise palinológica foi realizada em apenas 9 pontos superficiais, desde ~614 -552 anos cal AP até o presente (entre 70 - 68 e 2 - 0 cm).

Foram fotografados 222 tipos diferentes de palinomorfos, identificados em 31 grupos, por morfologia (esporo monolete ou trilete e subdivisões), famílias (Fabaceae, Rizophora, Avicennia, Melastomataceae/Combretaceae, Myrtaceae, Poaceae, Asteraceae, etc.) e em alguns casos identificou-se ao nível de gênero (*Sebatiania*, *Alchornea*, *Byrsonima*, *Diocléa*, etc.) e, somente em *Hediosmum racemosum*, até o nível de espécie. Foram separados também os tipos indeterminados e destruídos.

Agrupamentos maiores reúnem as espécies típicas de manguezal (3 famílias), as arbóreas (16 famílias, 6 gêneros e 1 espécie), as ervas (6 famílias) e os esporos (de 4 diferentes morfologias). Dos 222 tipos, 72 estão indeterminados, apesar disso, como a representatividade de cada um foi baixa, eles não interferiram na análise final

O anexo E traz as concentrações (em grão/cm<sup>3</sup>) de cada grupo. No anexo I e Figura 18 estão as concentrações absolutas em grãos/cm<sup>3</sup>, detalhados e por agrupamento, respectivamente.

As concentrações relativas (%), tanto detalhada como por agrupamento, estão no anexo J e Figura 19. As análises de cluster (CONISS) estão apresentadas nas Figuras 18 e 19, para facilitar a visualização e interpretação dos dados.

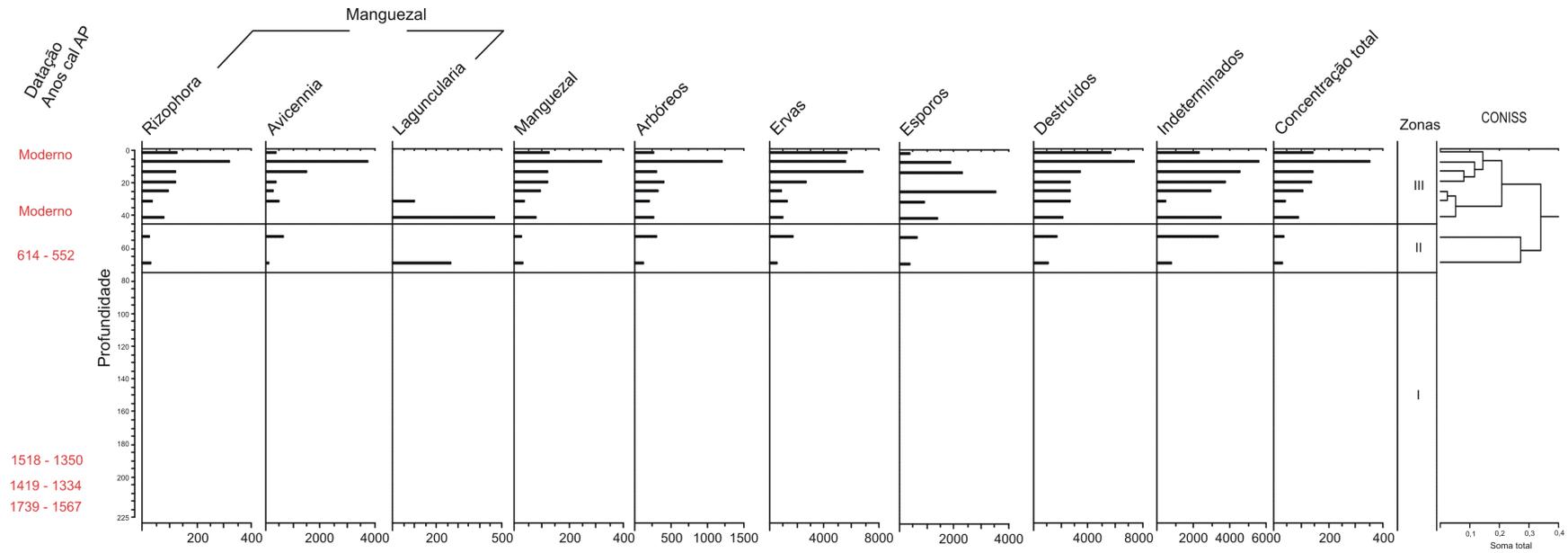


Figura 18 - Diagrama polínico em concentração absoluta (grãos/cm<sup>3</sup>) e as zonas delimitadas pelo CONISS do testemunho R<sub>IV</sub>

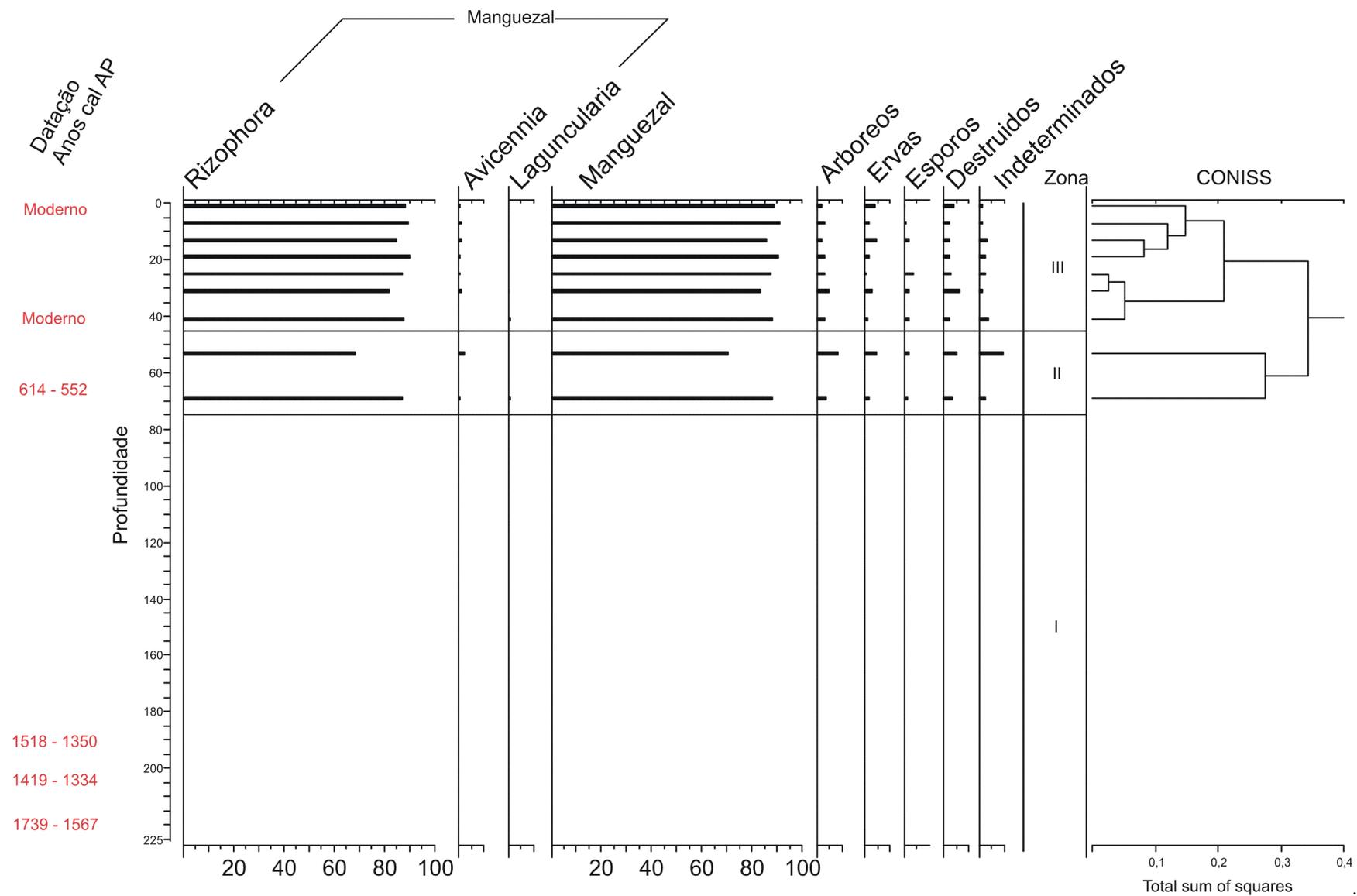


Figura 19 - Diagrama polínico em concentração relativa (%) e as zonas delimitadas pelo CONISS

#### 6.4.1.1.1 Zona polínica I (Entre 1739 - 1567 e 614 - 552 anos cal AP)

Esta zona é caracterizada pela ausência de palinomorfos, e também das diatomáceas, como será visto no item 6.4.1.2.

A camada de areia fina, presente entre pelo menos 1739 -1567 até 614 - 552 anos cal AP, provavelmente impediu a preservação destes bioindicadores. Este é o mesmo período em que as fácies indicam a presença de uma ante-praia (*foreshore* superior e inferior) e os resultados isotópicos de C e N apresentam-se em baixa concentração ou ausentes.

#### 6.4.1.1.2 Zona Polínica II (614 – 552 anos cal AP até ~180 - 160– anos cal AP)

Pode-se inferir que este é o período de transição, em que se inicia o aparecimento do manguezal encontrado atualmente na Praia do Pesqueiro. Apesar da alta representatividade da população de *Rhizophora*, de aproximadamente 24.135 grãos/cm<sup>3</sup> (68,7%), vale enfatizar que sua polinização é feita pelo vento, portanto, ela não necessariamente se apresentava em uma concentração tão expressiva *in loco*.

Espécies arbóreas florestais, como as Fabaceae, Melastomataceae/Combretaceae, Myrtaceae, mantiveram concentrações variando entre 1406 (ou 4% de Fabaceae) e 296 grãos/cm<sup>3</sup> (ou 0,8% de Myrtaceae).

O agrupamento das espécies arbóreas florestais apresenta neste intervalo a maior concentração, quando comparado ao restante do testemunho, e varia entre 3,5 e 8,6%. Já o manguezal (mais especificamente as *Rhizophora*), representa 70,4 a 88,2% da vegetação.

Neste período, as fácies indicam a presença de uma laguna e os dados isotópicos são típicos de um ambiente com influencia terrestre, porém, com mistura de material fitoplanctônico.

#### 6.4.1.1.3 Zona Polínica III (~180 - 160 anos cal AP até o presente)

Desde 180 - 160 anos cal AP, o manguezal com predomínio das *Rhizophora*, estabilizou-se na Praia do Pesqueiro, sendo que sua concentração polínica no testemunho R<sub>IV</sub> atinge a representatividade de 89,8% do total, com 317.769 grãos/cm<sup>3</sup>.

Espécies arbóreas e herbáceas, praticamente ausentes, apresentam maior concentração nas Fabaceae e as Poaceae, com 2,9 e 4,2%, respectivamente.

As fácies mostram um ambiente deposicional típico de delta de maré seguido de manguezal no presente, entre 40 e 0 cm do testemunho R<sub>IV</sub> e os dados isotópicos mostram influência terrestre com mistura algal (tópico 6.3.2.1.6).

#### **6.4.1.2 Diatomáceas**

Para a análise das diatomáceas, foram tratadas 11 amostras, sendo que estiveram presentes em apenas 5 das camadas selecionadas, desde aproximadamente 64 - 62cm até 2 - 0 cm.

Neste testemunho foram encontrados 130 diferentes tipos de diatomáceas. Foram identificadas 23 Famílias, divididas em 35 Gêneros, sendo que em 40 casos, chegou-se ao nível de espécie. 19 tipos permanecem indeterminados.

As diatomáceas foram organizadas em grupos conforme o ambiente habitado. Tal organização se deu com base na literatura de referência, sendo que os grupos foram divididos de modo subjetivo, conforme os relatos dos trabalhos. Os grupos são: diatomáceas de água doce, de água doce que suportam condições de baixa salinidade, de manguezal, marinhas e marinhas que suportam salinidade mais baixa.

O anexo G contém as porcentagens de cada táxon, por profundidade, bem como as espécies indeterminadas.

O anexo K e a Figura 20 mostram as concentrações relativas (%) das diatomáceas, detalhadas e por agrupamento, respectivamente; e as zonas definidas pelo CONISS.

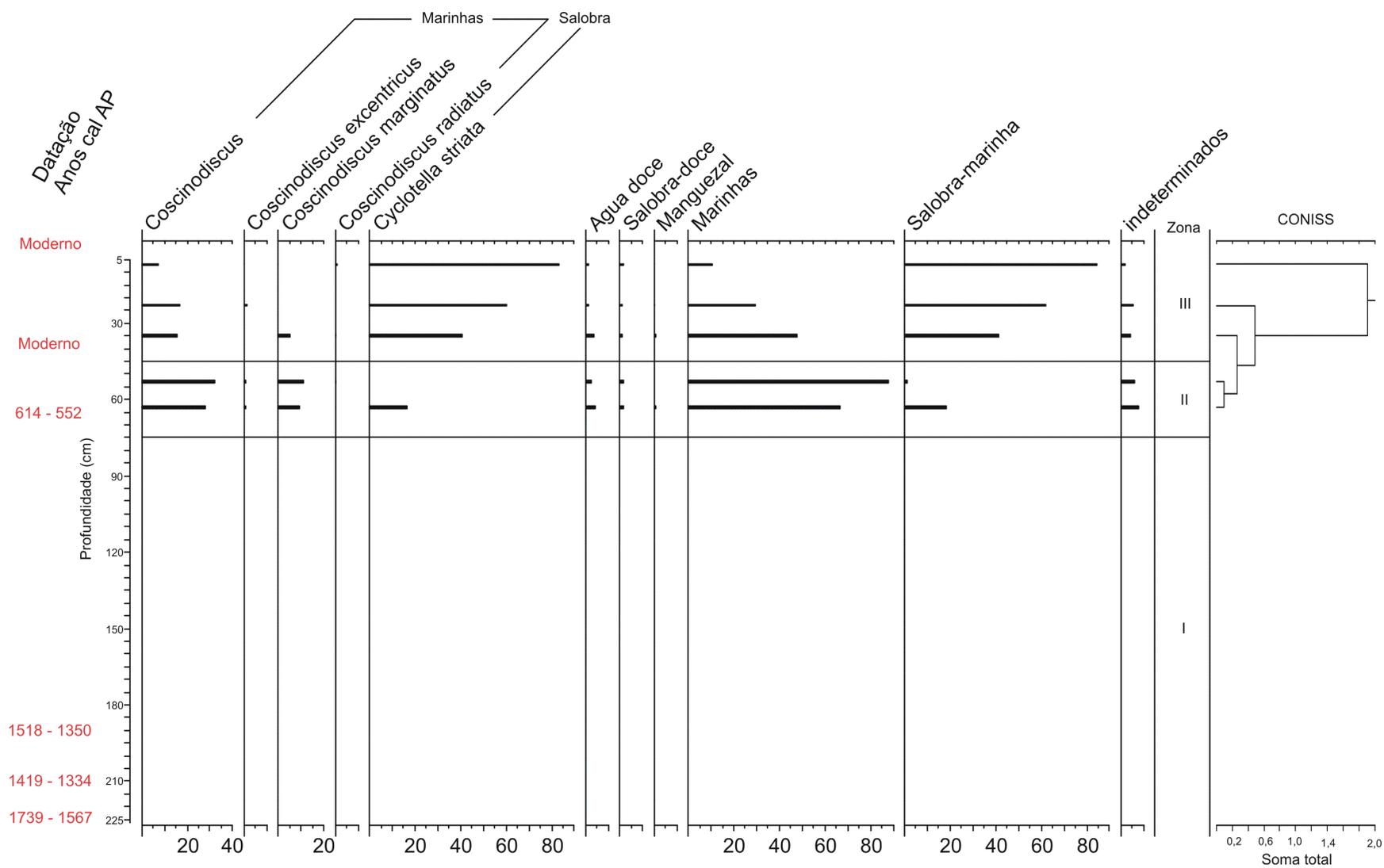


Figura 20 - Diagrama de percentagem dos agrupamentos de diatomáceas e alguns dos táxons mais relevantes, com as zonas delimitadas pelo CONISS

#### 6.4.1.2.1 Zona I (Entre 1739 - 1567 e 614 - 552 anos cal AP)

Assim como na palinologia, a zona I é caracterizada pela ausência das diatomáceas. Mesmo em ambiente de praia, é possível encontrar diatomáceas preservadas, misturadas à areia. No caso do testemunho R<sub>IV</sub>, tal preservação não ocorreu. Pode-se supor que a oscilação do fluxo de alta energia, gerado por uma ação de correntes de maré, retrabalhou consideravelmente o sedimento, de modo que impossibilitou a permanência e a preservação das diatomáceas na ante-praia. A ausência de NT e a baixa concentração de COT também são resultantes dessa dinâmica da maré, que não permitiu a preservação da matéria orgânica. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  próximos à -25‰ indicam influência marinha, conforme discutido em 6.3.2.1.

#### 6.4.1.2.2 Zona II (614 - 552 anos cal AP até ~180 - 160 anos cal AP)

Neste período, houve preservação das diatomáceas no sedimento e a concentração das espécies de tipicamente marinhas é bastante alta, chegando a representar 87,8%. O gênero *Coscinodiscus* é o mais frequente, variando entre 37,9 - 44,1% na representatividade de diatomáceas.

As diatomáceas que vivem tanto em condições salobras quanto marinhas, também apresentam uma concentração relevante, de 18,4%, sendo *Cyclotella striata* a mais frequente, chegando a representar 16,5% das diatomáceas.

Diatomáceas típicas de água doce, de manguezal e aquelas que suportam tanto as condições doces quanto salinas, estão sempre presentes, em uma concentração baixa e constante.

#### 6.4.1.2.3 Zona III (~180 - 160 anos cal AP até o presente)

Entre ~180 - 160 anos cal AP até o presente, ocorre uma troca nas concentrações das diatomáceas marinhas e salobras, quando comparado à zona II.

As diatomáceas marinhas apresentam uma concentração de no máximo 47,7%, e os *Coscinodiscus* reduzem a representatividade para 7,7 - 21% do total de diatomáceas. Por outro lado, as diatomáceas salobra-marinha, chegam a 84,7%, e as *Cyclotella striata*, variam entre 40,7 e 83,5%.

Neste período, pode-se inferir que a salinidade na Praia do Pesqueiro era menor que a das zonas I e II.

## 6.4.2 Lago São Luís

### 6.4.2.1 Palinologia

Foram pré-tratadas e analisadas 15 amostras do testemunho Jabuti. Dentre estas, somente na amostra 228 - 226 cm estiveram ausentes os palinomorfos. Nesta camada, foi possível visualizar em microscópio óptico, a presença de um material orgânico de cor avermelhada (Figura 22). O mesmo tipo de material parece ter sido o encontrado por Lima, 2008, em um testemunho do Lago Arari, na Ilha do Marajó, que foi identificado como fragmentos vegetais. Neste ponto, o que foi identificado nas fácies como sendo uma turfeira, pode estar associado a um tronco ou outro resto de matéria orgânica vegetal, que sofre decomposição lenta devido ao ambiente redutor.

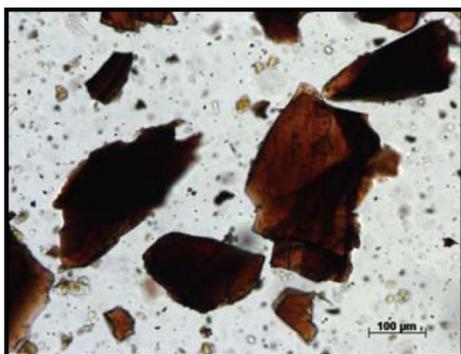


Figura 21 - Imagem em microscópio óptico dos fragmentos vegetais presentes nos paleocanais e nas planícies de inundação, identificados por Lima, 2008

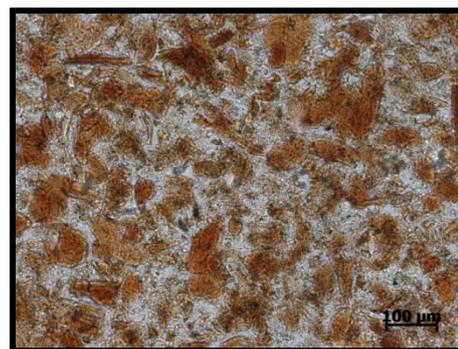


Figura 22 - Imagem em microscópio óptico dos fragmentos presentes na amostra JAB 226 – 228 cm

Quanto aos palinomorfos, foram fotografados 271 tipos diferentes de grãos associados a 30 famílias, sendo 15 arbóreos, 3 típicos de manguezal, 10 herbáceos, 2 aquáticos. Treze grãos foram identificados até o nível de gênero. Os esporos foram separados conforme o número de aberturas (monoletes e triletes) e morfologia da parede (psilados, escabrados, verrucados). Dentre os esporos, somente *Salvinia* foi identificada até o nível de gênero. 115 estão indeterminados, porém, se encontram em baixa concentração nas amostras.

No anexo F se apresenta as concentrações (em grão/cm<sup>3</sup>) dos palinomorfos identificados, não identificados e destruídos.

O anexo L e Figura 23 trazem as concentrações absolutas em grãos/cm<sup>3</sup>, tanto detalhados como por agrupamento, respectivamente. As concentrações relativas (%), detalhadas e por agrupamento, estão no anexo M e Figura 24.

As zonas polínicas definidas através do CONISS estão em todas as Figuras.

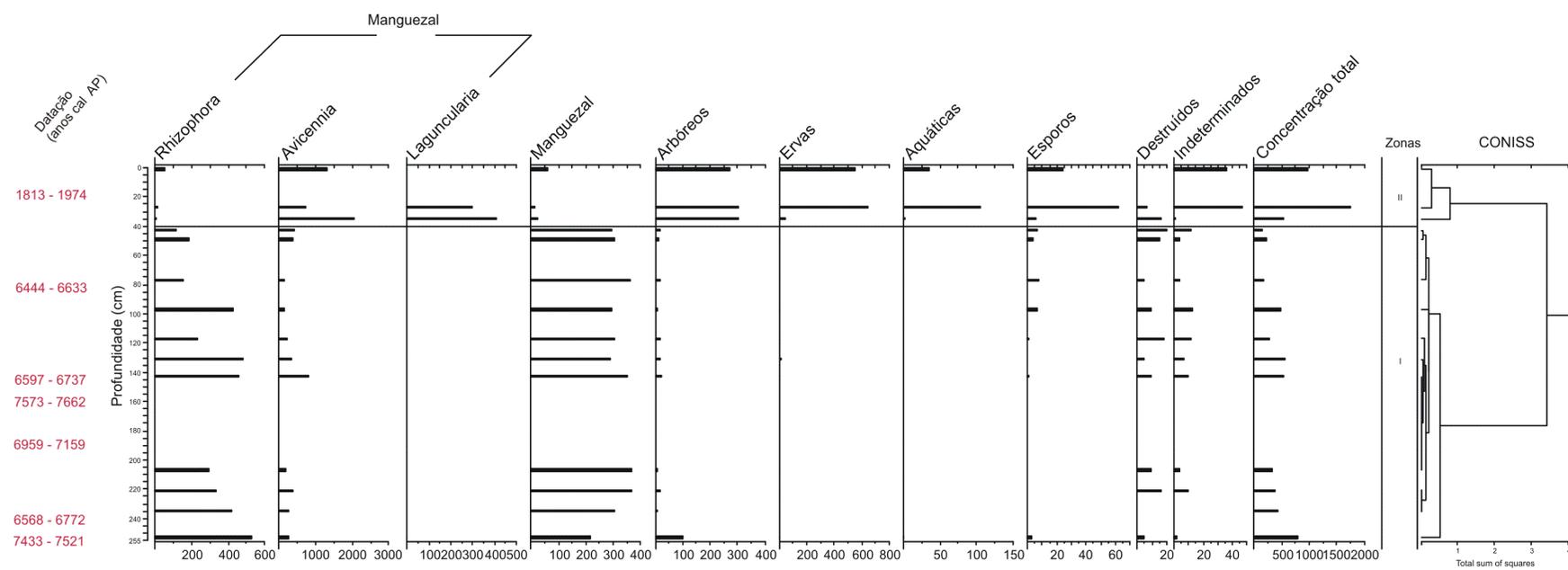


Figura 23 - Diagrama polínico em concentração absoluta (grãos/cm<sup>3</sup>) e as zonas delimitadas pelo CONISS do testemunho Jab

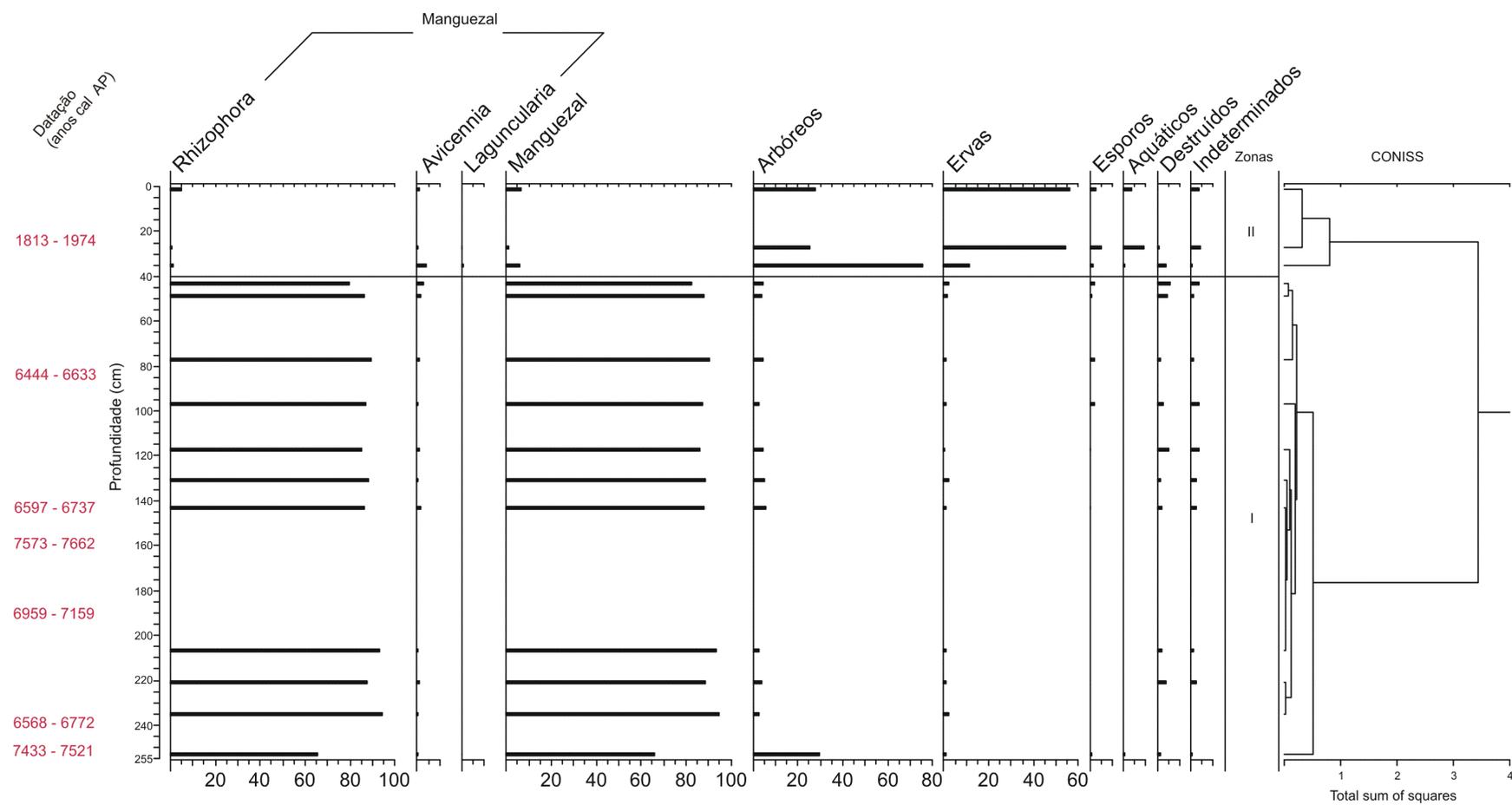


Figura 24 - Diagrama polínico em concentração relativa (%) e as zonas delimitadas pelo CONISS do testemunho Jabotão

#### 6.4.2.1.1 Zona polínica I (entre 7433 – 7521 e ~3.100 anos cal AP)

A concentração da vegetação de mangue varia entre 65 a 95% sendo que a *Rhizophora* é mais frequente, no local onde atualmente se encontra o Lago São Luís. Sua concentração varia entre 11 e 52 mil grãos/cm<sup>3</sup>, e os maiores valores estão na base do testemunho, atingindo 94,4% da concentração total dos palinomorfos.

Espécies arbóreas florestais ficam entre 2,8 a 29%, uma concentração relativamente baixa quando comparado ao intervalo ~2542 anos cal AP até o presente. Fabaceae apresenta entre 354 e 1.976 grãos/cm<sup>3</sup> (de 3,7 a 29,6%) Mestomataceae/ Combretaceae atinge o máximo de 273 grãos/cm<sup>3</sup>, *Byrsonima*, 578 grãos/cm<sup>3</sup> e Piperaceae, 131 grãos/cm<sup>3</sup>.

A concentração das herbáceas é sempre baixa, porém constante, e elas representam entre 0,6 e 2,5% dos grãos-de-pólen. Poaceae é a mais freqüente, com até 1,5% dos grãos, seguida de *Borreria*, com no máximo 0,5%.

Os espécimes aquáticos e os esporos de Pteridophytas, no entanto, reduzem-se à concentração zero.

A palinologia está de acordo com a interpretação das fácies, que indica a presença de um mangue ou um pântano no mesmo período compreendido na zona polínica I. A análise isotópica de C e N indica influência marinha, principalmente quando correlacionados os valores de C/N com o  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 17, no item 6.3.2.2.6).

Na base do testemunho, ocorre um aumento considerável na concentração de Fabaceae (23 mil grãos/cm<sup>3</sup>), Poaceae (424 grãos/cm<sup>3</sup>), *Borreria sp* (485 grãos/cm<sup>3</sup>) e esporos (de 242 a 485,8 grãos/cm<sup>3</sup>), sendo também o registro da concentração mais alta de *Rhizophora*, com 52.572 grãos/cm<sup>3</sup>. É possível que no período 7521 - 7433 anos cal AP seja uma fase de transição de uma provável vegetação florestal e o manguezal. Os dados isotópicos indicam, neste momento, o predomínio de vegetação terrestre, evidenciado pelo valor de C/N de 38,31 e  $\delta^{15}\text{N}$  de 1,34, além da relação entre C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 17, item 6.3.2.2.6), em que um único ponto da base (254 – 252 cm, 7521 – 7433 anos cal AP) aparece no quadrante que corresponde ao ambiente terrestre, junto aos pontos da superfície do testemunho (40 – 0 cm, moderno).

#### 6.4.2.1.2 Zona Polínica II (desde ~3.100 anos cal AP até o presente)

A vegetação típica de manguezal, principalmente pela presença das *Rhizophora*, reduz significativamente sua representatividade, chegando a apresentar uma porcentagem inferior a 5% e uma concentração de 819,8 grãos/cm<sup>3</sup>. A presença de ervas, como as Poaceae, no entanto, atingem uma concentração de 47,6% (65.709,5 grãos/cm<sup>3</sup>).

Espécies florestais também apresentam a maior concentração, de aproximadamente 300 grãos/cm<sup>3</sup>, representando até 75,8% do total. As Fabaceae estão presentes em maior quantidade, chegando a 74,8% (41.031,3 grãos/cm<sup>3</sup>).

As plantas aquáticas, *Limnocharitaceae* e *Azola sp*, aparecem com 8,9 e 3,3%, respectivamente. Os esporos monoletes e triletes também são mais representativos que no passado, com concentração variando entre 1,5 e 5,2%.

A palinologia e as fácies indicam que, desde ~3.100 anos cal AP, o ambiente de manguezal mudou consideravelmente para vegetação florestal característica do moderno, com influência aquática, que pode estar associada ao início do desenvolvimento do lago. Os dados isotópicos de C e N (item 6.3.2.2) indicam o domínio de plantas terrestres, com mistura de algas, e apóiam a interpretação ambiental.

#### 6.4.2.2 Diatomáceas

Para as diatomáceas foram tratadas e analisadas 8 amostras do testemunho Jabuti, sendo que em 3 ocasiões (camadas 220 - 218, 44 - 42 e 38 - 36 cm) estiveram praticamente ausentes, o que impossibilitou a contagem das 500 valvas. Em todos os casos as diatomáceas estavam muito destruídas, sendo possível notar que entre 220 - 118 cm (~7250 anos cal AP), as cêntricas apresentavam maior concentração e entre 44 - 42 (~3529 anos cal AP) e 38 - 36 (~3010 anos cal AP) cm, as penadas eram as mais representativas.

Nas análises, foram registrados 125 diferentes tipos diferentes de diatomáceas, sendo estas identificadas a 25 famílias e 33 gêneros. 31 diatomáceas foram identificadas até o nível de espécie. 27 estão indeterminadas.

As diatomáceas identificadas foram separadas em grupos, conforme seu nicho. Água doce, água salobra de superfície, água salobra de fundo, manguezal e cosmopolitas.

No anexo H estão as contagens de diatomácea de cada táxon e as indeterminadas, por profundidade. O anexo N e Figura 25 revelam as concentrações relativas (%), detalhadas e por agrupamento, respectivamente, e suas zonas definidas por CONISS.

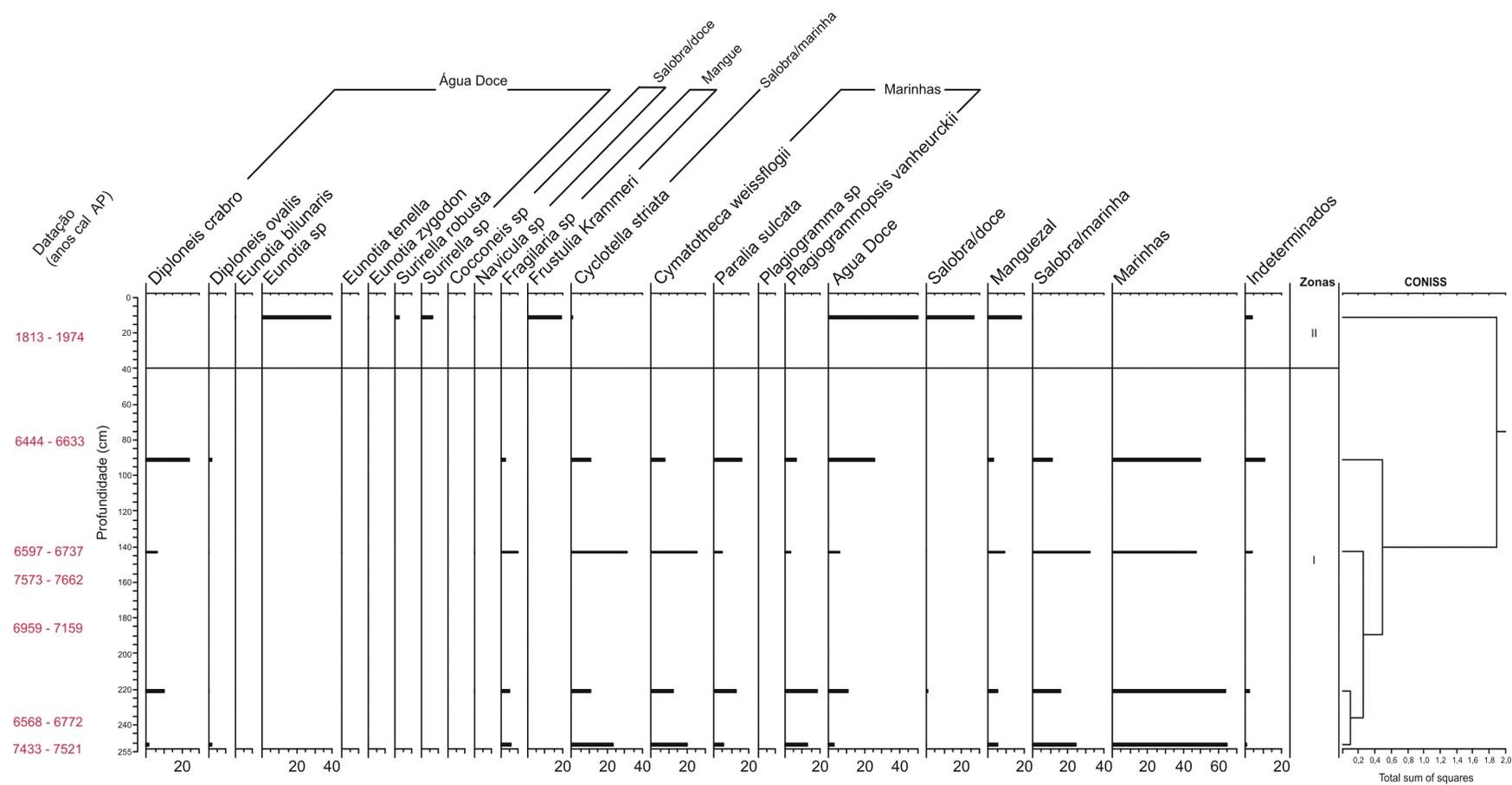


Figura 25 - Diagrama de percentagem dos agrupamentos de diatomáceas e alguns dos táxons mais relevantes, com as zonas delimitadas pelo CONISS

#### 6.4.2.2.1 Zona I (entre 7521 - 7433 –e ~3.100 anos cal AP)

Neste período, as espécies de diatomáceas que aparecem com maior frequência no testemunho Jab, são as marinhas e as marinhas que vivem bem em condições salobras. Entre 47,3 e 65% das diatomáceas são marinhas, sendo que as espécies mais representativas são as *Cymatotheca weissflogii*, com 25,4%, *Paralia sulcata*, com 16,2% e *Plagiogramopsis venheurk*, com 18,2%. As salobras apresentam concentração de 11 a 32,3% do total e a espécie que aparece com mais frequência é a *Cyclotella striata*, com até 31,1% das diatomáceas visualizadas neste intervalo do testemunho.

Diatomáceas de mangue aparecem em uma concentração que varia entre 2,9 e 9,5%, sendo que a única espécie considerada de manguezal (segundo as referências consultadas) que está efetivamente presente, é a *Fragilaria sp.*

Espécies de água doce ou de água doce que suporta condições salinas, aparecem em menor frequência, entre 3,1 e 25,9% e 0 a 0,6%, respectivamente. As únicas espécies típicas de água doce presentes são *Diploneis ovalis* e *Diploneis crabro*, com uma soma de no máximo 25,8%, e de água salobra/doce, é *Cocconeis sp* e *Navicula sp*, com no máximo 0,4 e 0,2% , respectivamente.

De acordo com o descrito, pode-se inferir que neste período a influência marinha é bastante considerável, e esta interpretação paleoambiental está em consonância com os dados litoestratigráficos, palinológicos e isotópicos, que indicam a presença de um manguezal, com valores de C/N e  $\delta^{15}\text{N}$  típicos de mistura terrestre e fitoplanctônica.

#### 6.4.2.2.2 Zona II (desde ~3.100 anos AP até o presente)

Nas amostras das camadas 44 - 42 cm e 38 - 36 cm, as diatomáceas estiveram presentes em uma concentração muito baixa, sendo que geralmente estavam muito destruídas. No entanto, foi possível observar que grande parte daquelas que estavam presentes, eram penadas. Pode-se supor que, estes intervalos seriam ainda uma transição para um ambiente com influência marinha e para o lago, o que provavelmente não auxiliou na preservação das diatomáceas.

A única amostra em que foi possível realizar a contagem das diatomáceas foi entre 12 e 10 cm, sendo que se observou também a dominância das espículas de esponja (Figura 26). É interessante que, nos intervalos anteriormente citados, em que as diatomáceas estavam quase ausentes, foi pequena também a presença das espículas.

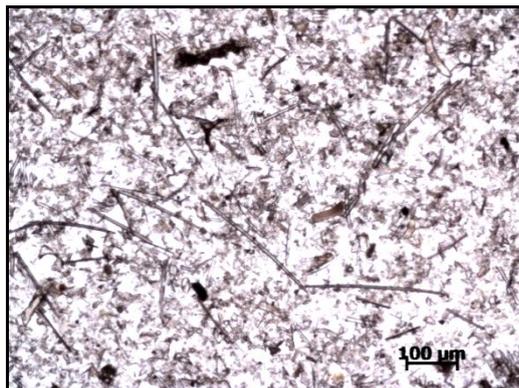


Figura 26 - Espículas de esponja presentes nas lâminas de 12 – 10 cm, do testemunho Jab

As diatomáceas de água doce chegam a apresentar uma concentração de 50% do total, e *Eunotia* é o gênero mais frequente, com aproximadamente 40%, seguida de *Surirella*, com 6,7%. Diatomáceas que suportam condições de baixa salinidade chegam a 27% e as espécies de *Brachysira* representam, 24,4%. *Frustulia krammeri* apresentam 18,9%, são típicas de manguezal e as únicas representando este ambiente.

Diatomáceas marinhas, que eram as mais representativas no intervalo entre ~7500 e 2646 anos cal AP, neste intervalo de 2500 anos cal AP até o presente, pouco aparecem, ficando com um valor de concentração relativa de 0%.

Portanto, o período de ~3100 anos cal AP até o presente é caracterizado pela alta concentração das diatomáceas de água doce, água doce que suportam condições de baixa salinidade e de manguê. Neste período, segundo a litologia, já estaria formado o atual Lago São Luis. A presença das diatomáceas de água doce reforça a indicação das fácies. Os dados palinológicos, que revelaram um aumento na concentração das espécies florestais e herbáceas, e isotópicos ( $C/N \times \delta^{13}C$ ) reforçam a interpretação paleoambiental.

## 6.5 Integração dos dados

### 6.5.1 Praia do Pesqueiro

#### 6.5.1.1 Entre 1739 - 1567 e 614 - 552 anos cal AP

Este intervalo é caracterizado principalmente pela ausência de Nitrogênio, de grãos-de-pólen, e diatomáceas, e baixas concentrações de Carbono orgânico total. Tendo em vista as fácies do sedimento, a única informação efetiva é de que o ambiente seria, primeiramente um

canal de maré e em seguida, uma ante-praia (*foreshore* superior e inferior). Muito provavelmente, a ausência dos bioindicadores ocorreu devido à exposição desse ambiente à oxidação, uma vez que ele está muito exposto às variações do nível da maré.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se apresentam mais enriquecidos neste período, quando comparados ao período mais recente, em que, devido à presença de *Rhizophora*, cujo  $\delta^{13}\text{C}$  é de -33‰. A variação de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -25,1 e -26,79‰ pode ser indicativo de influência do ambiente marinho, cujo valor de  $\delta^{13}\text{C}$  nas baixas latitudes de águas mais quentes é de aproximadamente -20‰, devido à fixação do carbono pelo fitoplâncton, que ocorre de modo diferente de acordo com essas condições ambientais (RAU et al., 1989; PETERS et al., 1978).

Showers e Angle (1985) realizaram análises de  $\delta^{13}\text{C}$  na foz do Rio Amazonas e verificaram um enriquecimento isotópico quanto mais se afasta do continente em direção ao mar, sendo que os valores variam entre -19,5‰ e -25,7‰. Tal variação está relacionada às diferentes produtividades, turbidez, densidade da água do mar e principalmente a influência do carbonato das conchas, cujo  $\delta^{13}\text{C}$  é praticamente zero.

Conforme indicam outros trabalhos realizados na Ilha (BEHLING et al., 2004; LIMA, 2008; CASTRO, 2010; FRANÇA, 2010; MIRANDA, 2010), neste período de ~2.000 anos AP até ~600 anos AP, a linha de costa na Ilha do Marajó estaria mais para o interior do continente, caracterizando o processo de regressão marinha.

#### **6.5.1.2 Entre 614 - 552 – e ~180 - 160 –anos cal AP**

A litoestratigrafia indica o desenvolvimento de uma laguna no local. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  um pouco mais empobrecidos do que o registrado no passado podem estar associados à presença das *Rhizophora*, cujo  $\delta^{13}\text{C}$  é de -33‰. A concentração de diatomáceas marinhas é a mais alta e a correlação entre os valores de C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  indicam uma mistura entre plantas terrestre  $\text{C}_3$  e ambiente lacustre.

A alta concentração de espécies arbóreas florestais e espécies típicas de manguezal (principalmente *Rhizophora*) mostram a ocupação deste ambiente que antes era uma ante-praia.

Possivelmente, este período demarca a transição de um ambiente anteriormente marinho regressivo para um ambiente continental de mangue.

### 6.5.1.3 Entre 180 – 160 anos cal AP até o presente

A litoestratigrafia indica primeiramente o desenvolvimento de um delta de maré e, em seguida, o estabelecimento do manguezal. Valores de C/N indicam um ambiente tipicamente continental, mas a correlação com  $\delta^{13}\text{C}$  mostra também a influencia lacustre.

A palinologia evidencia o que é bastante visível na vegetação da Praia do Pesqueiro atual, a alta representatividade das *Rhizophora*. A concentração dos grãos-de-pólen de *Rhizophora* neste intervalo do testemunho é muito alta, chegando a atingir 90% do total. O sedimento amostrado apresenta um valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de -32‰, ou seja, é aproximadamente o mesmo valor isotópico típico desta espécie.

As diatomáceas marinhas,, altamente representativas no intervalo passado, dão lugar àquelas que são típicas de um ambiente de salinidade mais baixa, o que condiz com a condição atual das águas no litoral da Ilha do Marajó.

## 6.5.2 Lago São Luís

### 6.5.2.1 Entre 7521- 7433 e ~3.100 anos cal AP

A integração entre os bioindicadores e as fácies indicam a presença de um manguezal antes de ~3000 anos AP. A *Rhizophora* atinge 95% de representatividade total dos grãos no testemunho. Os isótopos de C e N, bem como os valores de C/N indicam uma forte influencia do ambiente continental, porém, com uma mistura com o ambiente aquático. Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  refletem valores mais enriquecidos do que das *Rhizophora*, entre -25,29 e -27,98 ‰, talvez ocasionado pela influência marinha, que aparece bem caracterizado nas maiores concentrações das diatomáceas marinhas e as típicas de condições salinas. A relação entre C/N e  $\delta^{13}\text{C}$ , revela a influencia do mar no local (Figura 17).

O conjunto das informações indica neste momento um nível de mar mais alto, iniciando seu processo de regressão marinha, conforme registrado em trabalhos anteriores na região (ROSSETTI et al, 2007, 2008; LIMA, 2008, MIRANDA et al., 2009; CASTRO, 2010).

### 6.5.2.2 Desde ~3.100 anos AP até o presente

A sedimentação de argila maciça em associação com os valores isotópicos de C e N, que indicam a mistura de matéria orgânica de origem continental e lacustre, e a alta concentração das diatomáceas de água doce, principalmente *Eunotia*, permitem inferir sobre um ambiente lacustre desde ~2.500 anos AP. O lago se forma no ambiente antes dominado por uma vegetação de mangue, e as espécies arbóreas florestais, ervas e plantas aquáticas típicas do entorno do lago se estabelecem no local. O  $\delta^{13}\text{C}$  mais enriquecido, variando entre -22,7 a -25,53‰, indica a mistura de plantas  $\text{C}_3$  (árvores/gramíneas) e  $\text{C}_4$  (ervas).

## 6.6 O nível relativo do mar e a dinâmica da vegetação na Ilha do Marajó no Quaternário tardio

Os objetivos iniciais deste trabalho não previam estudos sobre a dinâmica marinha holocênica e sua influência na dinâmica da vegetação nos locais pesquisados. Entretanto, no desenvolvimento dos trabalhos e dos resultados obtidos verificou-se que esse aspecto também foi registrado nos testemunhos sedimentares, sendo que se apresenta na sequência uma discussão sobre o assunto.

Rossetti et al. (2007) revela a existência de um paleoestuário onde atualmente se localiza o Lago Arari, pelo menos desde o Pleistoceno tardio até o início do Holoceno, justamente por que o lago está instalado em uma estrutura caracterizada pela morfologia de funil. Assim que se iniciou a abertura do Rio Tocantins, no Holoceno médio, ocorreu a formação da Baía do Marajó. Durante o Holoceno tardio, na área se iniciou um processo de progradação, que culminou no abandono do estuário e no estabelecimento dos sistemas lagunares e de pântanos (ROSSETTI et al., 2008). O esquema da Figura 27 mostra como ocorreu a evolução destes sistemas.

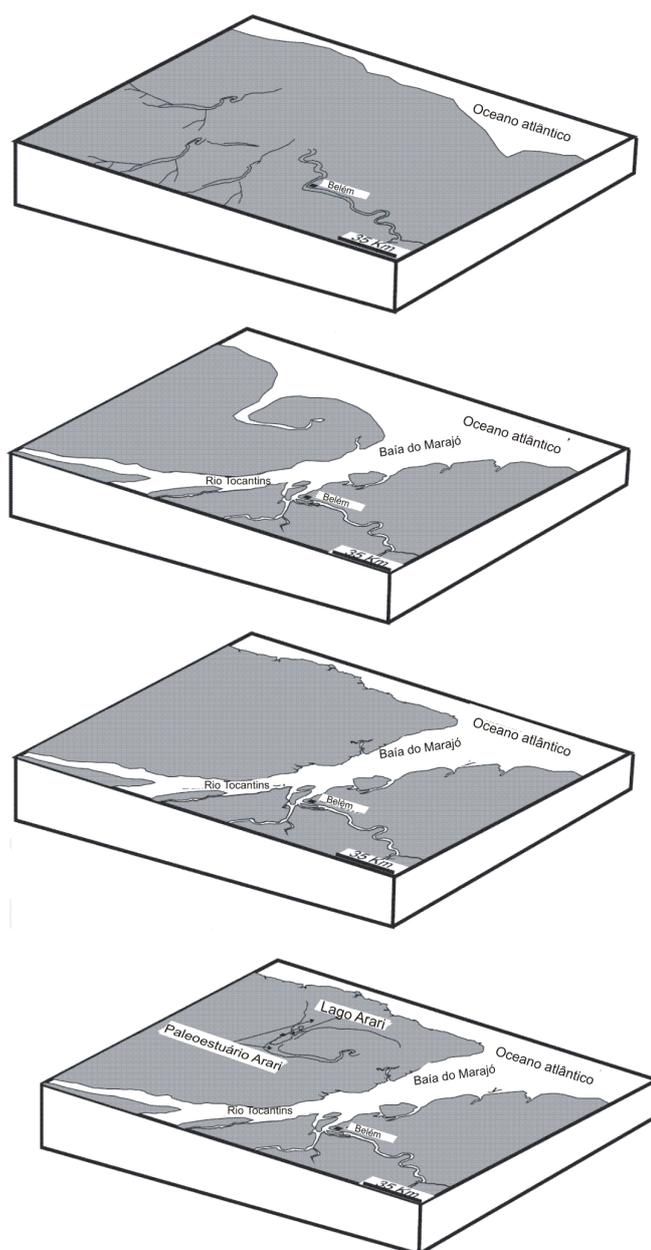


Figura 27 - evolução do sistema estuarino no final do pleistoceno e início do Holoceno (ROSSETTI et al. 2008)

A união da porção leste da Ilha do Marajó ao continente no Pleistoceno é reforçada pela análise mineralógica, que mostra que a área fonte de depósitos do Holoceno não se insere no domínio da Ilha, tendo origem provavelmente continental (LIMA, 2008).

Castro (2010), fazendo uso dos bioindicadores (pólen e diatomáceas) além das fácies, mostra a presença de um sistema deposicional de estuário formado por ondas desde ~42.000 anos AP até 3.000 anos AP, em uma área que abrange também o Lago São Luis.

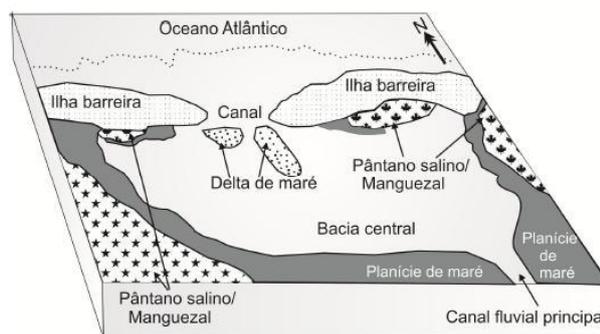


Figura 28 - Esquema do sistema deposicional dominado por ondas no leste da Ilha do Marajó do Pleistoceno tardio ao Holoceno médio/inferior. (CASTRO, 2010)

A existência de um estuário na porção leste da ilha, pode ser evidenciada também no testemunho Jab, coletado no Lago São Luis, em que foi possível verificar a alta concentração de diatomáceas marinhas e salobras e de grãos-de-pólen de *Rhizophora* nas fácies identificadas como típicas de mangue ou pântano, entre 7521 - 7433 e ~3.100 anos cal AP.

O abandono dos antigos canais que faziam parte do paleoestuário e o seu preenchimento sedimentar, durante o Holoceno Tardio, permitiu que se estabelecesse uma vegetação arbóreo arbustiva sobre os mesmos. Nas áreas mais baixas, estabeleceu-se uma vegetação tipicamente herbácea, rica em gramíneas C<sub>3</sub> (LIMA, 2008; CASTRO, 2010). Ao mesmo tempo, porções dos antigos sistemas de drenagem foram abandonados, formaram lagos, como o Ararí e o São Luis (ROSSETTI et al., 2008; CASTRO, 2010).

Segundo Rossetti et al. (2008), influências tectônicas seriam a melhor explicação para a evolução de um sistema estuarino e dinâmica marinha na porção leste da Ilha durante o Holoceno, uma vez que o processo de transgressão registrado no Holoceno é inconsistente quando comparado ao registro global.

As curvas de nível do mar propostas por Martín et al. (2003) e Angulo et al. (2006), mostram um período de transgressão marinha entre 7.000 e 6.500 anos AP, com um pico em 5.500 anos AP e regressão até os níveis atuais (Figura 29). Este processo pode ter ocorrido de modo oscilatório (SUGUIO et al., 1985; MARTIN et al., 2003) ou de modo contínuo (ANGULO et al., 2006). Apesar de se referir ao litoral do Brasil desde o sul até o nordeste, estas curvas parecem estar de acordo com o processo verificado nos testemunhos coletados Jab e R<sub>IV</sub>, onde observou-se registros de influência marinha a partir de ~7.500 anos cal AP seguida de menores influências (fase regressiva), com formação do Lago São Luís a partir de ~3000 anos cal AP, e com o aparecimento do manguezal na Praia do Pesqueiro em ~650 anos cal AP.

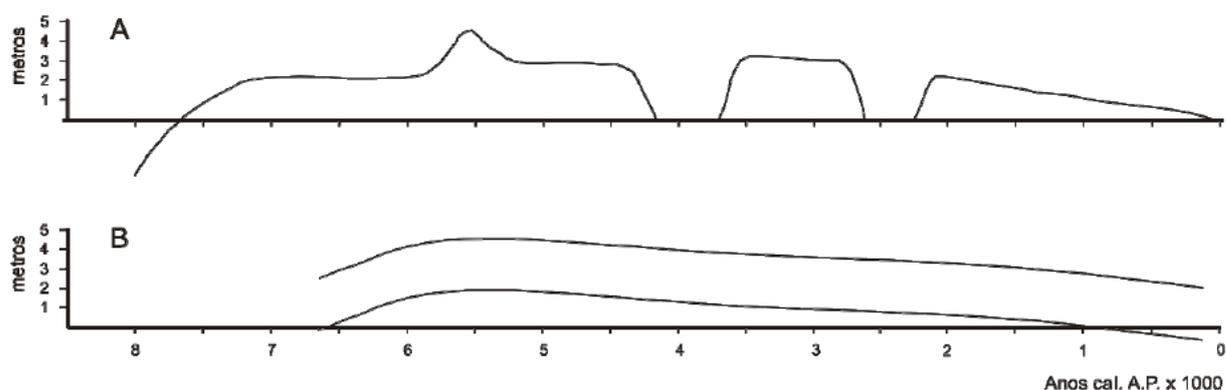


Figura 29 - Esquema do nível relativo do mar registrado na costa brasileira, comparando o que foi proposto por MARTIN et al. 2003 (A) e ANGULO et al. 2006 (B). Figura de BUSO-JR, 2010

Miranda (2010) também se refere ao processo de transgressão, iniciada a partir de 9.110 anos cal AP, com pico em 7450 anos cal AP, quando o nível relativo do mar atinge o estuário interno, previamente formado, com estabilização e recuo iniciado a partir de 5400 anos AP, e progradação em direção ao norte. No Lago Crispim, na porção continental do Pará, tal processo de regressão do NRM é registrado a partir de 7.000 anos AP (BEHLING; COSTA, 2001).

Muitos trabalhos relatam um período de menor umidade na Amazônia no Holoceno médio, entre aproximadamente 10000 anos cal AP e 3000 anos cal AP (GOUVEIA et al.; 1997; PESSENDA et al., 1998; 2001; FREITAS et al., 2001; VIDOTTO et al., 2007; LIMA, 2008). Sendo assim, a transgressão observada na Ilha do Marajó, tanto no Lago São Luís, como na Praia do Pesqueiro, muito provavelmente não teria ocorrido devido a um aumento no fluxo do Rio Amazônas.

Outro fator que deve ser levado em consideração com relação ao aumento na vazão do Rio Amazonas, é a redução da salinidade da água da maré, o que propiciaria um melhor desenvolvimento da vegetação de várzea quando comparada ao manguezal (COHEN et al., 2008). Neste caso, não seria verificada a presença das *Rhizophora* em concentração tão alta entre ~7.500 e 3.000 anos cal AP no Lago São Luís, apesar da mesma não ser muito tolerante às altas salinidades (MENEZES et al., 2008).

Diversos trabalhos relatam o processo de retração dos manguezais na costa do Pará entre, pelo menos, ~2.000 anos AP até ~600 anos AP. Behling et al. (2004), revela que os manguezais se estabeleceram na Praia do Pesqueiro há 670 anos AP, e em Bragança, PA, têm indícios de uma redução do NRM entre 1770 e 750 anos AP (BEHLING et al., 2001). Cohen

et al. (2005) também trataram desta questão da redução do NRM entre 1800 e 1400 anos AP em Bragança, sendo que a partir de 1000 anos AP o nível do mar esteve próximo do atual.

Os testemunhos coletados em transecto com o testemunho R<sub>IV</sub>, cujos resultados estão em França (2010), mostram esta mesma tendência: uma forte influência continental entre 1200 e 760 – 480 anos cal AP, sendo que nos últimos 500 anos, surgiram os manguezais.

No testemunho R<sub>IV</sub>, o registro indica que pelo menos entre 1739 - 1567 anos cal AP, um ambiente de ante-praia esteve presente no local. Com a contínua regressão do mar, que vem desde pelo menos ~5.000 anos cal AP, e registrado no testemunho Jab, do Lago São Luís, verifica-se que entre 614 – 552 anos cal AP até ~160 – 120, inicia-se o período do estabelecimento do manguezal, em que, a princípio, ainda estavam presentes algumas espécies arbóreas florestais, até que o ambiente fosse totalmente dominado pelo mangue, principalmente pelas espécies de *Rhizophora*. Pode-se dizer que entre 160 – 120 anos cal AP a vegetação do mangue se estabeleceu de fato na área, sendo que, assim como cita FRANÇA, 2010, Nos últimos anos este mangue vem sendo soterrado pelos depósitos arenosos, muito provavelmente devido às ações das ondas e correntes de maré com retrogradação da linha de costa (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006).

Este processo de regressão fica claro também em Cohen et al. (2005), em que os autores, através da palinologia, estratigrafia e datação <sup>14</sup>C relacionam o processo de regressão marinha que ocorreu entre 1130 - 1510 anos AD (~820 - 450 anos AP) e entre 1560 AD até o século 19 (~390 – 150 anos AP) ao Little Ice Age (ou pequena idade do gelo), que ocorreu entre 550 e 200 anos AP.

## 7 CONCLUSÕES

Litoestratigrafia, análises isotópicas e elementares de carbono e nitrogênio, palinologia e análises de diatomáceas, permitiram inferências acerca da dinâmica de vegetação e marinha, nos últimos ~7.000 anos em dois pontos distintos na porção leste da Ilha do Marajó. Neste trabalho, não era previsto o estudo da dinâmica marinha, no entanto, os resultados indicam este registro no testemunho sedimentar coletado tanto no Lago São Luís como no Manguezal da Praia do Pesqueiro. Não foi possível fazer inferências a cerca de mudanças climáticas neste período na ilha.

Um processo de regressão do NRM iniciado a pelo menos 5.000 anos cal AP, contribuiu com o processo de formação do Lago São Luís a partir de ~3.100 anos cal AP, tendo em seu entorno vegetação florestal e herbácea similar à atual, que foi dominado por vegetação de manguezal desde pelo menos ~7500 anos cal AP. Muito provavelmente, este ambiente fazia parte de um sistema estuarino, como proposto por outros autores

O mangue da Praia do Pesqueiro, que desde ~1739 - 1567 até ~614 - 552 anos cal AP era uma ante-praia, progressivamente se estabelece no local até que em ~160 - 120 anos cal AP se estabelece, associado ao processo de regressão marinha, iniciado a pelo menos 5.000 anos cal AP.

## REFERÊNCIAS

ABSY, M.L.; CLEEF, A.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SIFEDDINE, A.; FERREIRA da SILVA, M.; SOUBIES, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B.; VAN DER HAMMEN, Th. Mise en evidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60,000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Serie II**, Paris, t. 312, p. 673–678 1991.

AMARAL, P. **Evolução da sedimentação lagunar Holocênica na região de Jaguariuna, Estado de Santa Catarina: Uma abordagem sedimentológica-micropaleontológica integrada**. 2008. 165 p. Tese (Doutorado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ÂNGULO, R.J.; LESSA, G.C.; DE SOUZA, M.C. A critical review of mid to late Holocene Sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 25, p. 486-506, 2006.

ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W; NOGUEIRA, A.C.R.; GÓES, A.M.; ROSSETI, D.F. Novos dados sobre a estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos barreiras, NE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Anais...** Belém, PA: SBG-Núcleo Norte, 1994. p. 185–187.

BATTARBEE R.W. Diatom analysis. In: BERGLUND, B.E. **Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology**. Chichester: John Wiley, p. 527-570, 1986.

BEHLING H.; COHEN M.C.L.; LARA R.N.J. Late Holocene mangrove dynamics of Marajó Island in Amazonia, northern Brazil. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, v. 13 p. 73–80, 2004.

BEHLING, H.; COSTA, M.L. Holocene vegetational and coastal environmental changes from the Lago Crispim record, in northeastern Pará State, eastern Amazonia. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 114, p. 145-155, 2001.

BEHLING, H.; COHEN, M.C.L.; LARA, R.J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 167, p. 225-242, 2001.

BEMERGUY, R.L. **Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do Rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará**. 1981. 95p. Dissertação (Mestrado) – NCGG, Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.

BIGUNAS, P.I.T. **Diatomáceas (Ochrophyta) do Rio Guaraguaçu, litoral do Paraná, Brasil**. 2005. 489p. Dissertação de Mestrado. UFPA. Curitiba (PA), 2005.

BLASCO, F. Mangrove evolution and palynology. In: SNEDAKER, S.C.; SNEDAKER, J.G. (Ed.). **The mangrove ecosystem: research methods**. London: UNESCO, 1984. p. 36-49.

BRADLEY, R.S. **Paleoclimatology reconstruction climates of the Quaternary**. San Diego: Academic Press, 1999. 613 p.

BUSO-JUNIOR, A.A. **Dinâmica ambiental holocênica (vegetação, clima e nível relativo marinho) baseada em estudos interdisciplinares de alta resolução, no litoral norte do estado do Espírito Santo**. 2010. 190 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CALVIN, M.; BENSON, A.A. The path of carbon in photosynthesis, IV: The Identity and sequence of intermediates in sucrose synthesis. **Science**, Washington, DC, v. 109, n. 2824, p. 140-142, 1949.

CASTRO, D.F. **Sedimentologia, estratigrafia, palinologia, diatomáceas e geoquímica de depósitos quaternários na margem leste da Ilha do Marajó, Para, Brasil**. 2010. 214 p. Tese (Doutorado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CLARKE, P. J. Nitrogen pools in a mangrove-saltmarsh system. **Wetlands** (Australia) 3, 85-95. 1983.

COCQUYT, C. Diatoms from the Northern Basin of lake Tanganyika. **Bibliotheca diatomologica**, n. 39, p. 1 – 274, 1998.

COHEN, M.C.L.; SOUZA-FILHO, P.W.M.; LARA, R.J.; BEHLING, H.; ÂNGULO, R. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (northern Brazil). **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 13, p. 433–443, 2005.

COHEN, M.C.L.; LARA, R.J.; SMITH, C.B.; ANGELICA, R.S.; DIAS, B.S.; PEQUENO, T. wetland dynamics of Marajó Island, northern Brazil during the last 1000 years. **Catena**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 70-77, 2008.

COLINVAUX, P.; DE OLIVEIRA, P.E.; MORENO, E.P. **Amazon pollen manual and atlas = Manual e atlas palinológico da amazônia**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1999. 322 p.

COLINVAUX, P.A.; DE OLIVEIRA, P.E.; MORENO, E.P.; MILLER, M.C.; BUSH, M. A long pollen record from Lowland Amazonia: Forest and cooling in glacial times. **Science**, Washington, DC, v. 274, p. 85-88, 1996.

CORDEIRO, R.C.; TURQ, B.; SIFEDDINE, A.; LACERDA, L.D.; SILVA FILHO, E.V.; GUEIROS, B.; POTTY, Y.P.; SANTELLI, R.E.; PÁDUA, E.O.; PATCHINELAM, S.T. Biogeochemical indicators of environmental changes from 50 Ka to 10 Ka in a humid region of the Brazilian Amazon. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 299, p. 426-436, 2011

CORDEIRO, R.C.; TURCQ, B.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA da SILVA, A.; SIFEDDINE, A.; VOLKMER-RIBEIRO, C. Holocene fires in East Amazonia (Carajás), new evidences, chronology and relation with paleoclimate. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 61, p. 49-62, 2008.

DENYS, L. A Check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian Coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements – I. Introduction, ecological code and complete list. **Professional Paper Service Geologique de Belgique**, 246: 1 – 41.1991.

DE OLIVEIRA, P.E.; STEINITZ-KANNAN, M. The diatom flora (Bacillariophyceae) of the Cuyabeno Faunistic Reserve, Ecuadorian Amazonia. **Nova Hedwigia**, Weinheim, v. 54, n. 3-4, p. 515-552, 1992.

DESJARDINS, T.; FILHO, A.C.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. **Oecologia**, Berlin, v. 108, p. 749-756, 1996.

FOGED, N. Diatoms in egypt. **Nova Hedwigia**, v.33, n 3-4, p. 629 – 707, 1980.

FOGED, N. Freshwater and littoral diatoms from Cuba. **Bibliotheca Diatomologica**, 5: 243p.1984

FRANÇA, M.C. **Mudanças na vegetação do litoral leste da Ilha de Marajó durante o Holoceno superior**. 2010. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

FRANÇA, C.F.; SOUSA FILHO, P.W.M. Compartimentação morfológica da margem leste da ilha de Marajó: zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 1, p. 33-32, 2006.

FREITAS, H.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; DE SOUZA RIBEIRO, A.; BOULET, R. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, San Diego, v. 55, n. 1, p. 39-46, 2001.

FRENGELLI, J. Diatomeas marinas de La costa atlântica de Miramar. **Anales Del Museo Nacional de Historia Natural**, v.37, p. 365 – 476, 1933.

FURLEY PA The nature and diversity of Neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 8, p. 223–241, 1999.

GOUVEIA, S.E.M. **Estudos das alterações de paleovegetações na Amazônia central utilizando a datação radiocarbônica e razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da matéria orgânica do solo**. 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R.; GOMES, B.M. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do amazonas indicada pelos isótopos do carbono (C-12, C-13, C- 4) do solo. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 355-367, 1997.

GRIMM, E.C.; THOOSTHEIDE, C.D. **Tilia 2.00** - Program for plotting palynological diagrams. Springfield: Illinois State Museum, 1994.

- GRIMM, E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of square. **Computers and Geosciences**, Elmsford, v. 13, p. 13-35, 1987.
- HASLE, G.R.; FRYXELL, G.A. The genus *Thalassiosira*: species with lineae areola array. **Nova Hedwigia**, n. 54, p. 15 – 66, 1977.
- HASLE, G.R.; SYVERTSEN, E.E. Marine diatoms. In: TOMAS, C.R. **Identifying Marine Phytoplankton**, p. 5-385, 1997.
- HASLE, G.R. *Thalassiosira decipiens* (Grun.) Jörg. (Bacillariophyceae). **Bacillaria**, v.2, p 85- 108, 1979.
- HASLE, G.R. Some freshwater and brackish water species of the diatom genus *Thalassiosira* Cleve. **Phycologia**, v.17, n.3, p 263- 292, 1978.
- HENDEY, N. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters – V. Bacillariophyceae (diatoms). **Fischery investigations Series**, London: Her Majesty's Stationary Office, v.4, n.5, p 317, 1964.
- HERCZEG, A.L.; SMITH, A.K.; DIGHTON, J.C. A 120 year record of changes in nitrogen and carbon cycling in Lake Alexandrina, south Australia: TOC/TN,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in sediments. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, p. 73–84, 2001.
- HODGSON, D.; VYVERMAN, W.; TYLER, P. Diatoms of meromictic lakes adjacent to the Gordon river, and the Gordon river estuary in south-west Tasmania. *Bibliotheca diatomologica*, v.35, p. 1- 173, 1997.
- HUSTEDT, F. Marine littoral diatoms of Beaufort, North Carolina. **Duke University Marine Station**, North Carolina: Duke University Press, n.6, p. 1 – 67, 1955.
- HYDE, H.A.; WILLIAMS, D.A. The right word? **Pollen Analysis Circular**, Oberlin, OH, n. 8, p. 6, 1944.
- KJERVE, B.; LACERDA, L.D. Mangroves of Brazil. In: LACERDA, L.D. (Coord.). **Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa regions**. Part 1: Latin America. Okinawa, Japan: International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), 1993. p. 245–272.
- KRAMER, K. LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl, H; Gerloff, J. Heyning, H. Mollehnauer, D. *Subwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart & Jena: **G. Fisher**, v.2, parte 2, 196 p., 1988.
- KRAMER, K. LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: 1991 Ettl, H; Gerloff, J. Heyning, H. Mollehnauer, D. *Subwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart & Jena: **G. Fisher**, v.2, parte 3, 1991.
- LAMB, A.L.; WILSON, G.; LENG, M.J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic material. **Earth Science Reviews**, Amsterdam, v. 75, p. 29-57, 2006.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula Sensu strictu – 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. **Diatoms of Europe**, v.2, p 1 – 526, 2001.

LARA, R.J.; COHEN, M.C.L. Palaeolimnological studies and ancient maps confirm secular climate fluctuations in Amazonia. **Climatic Change**, Heidelberg, v. 94, n. 3-4, p. 399-408, 2009.

LEDRU, M.-P. Late Quaternary and climatic changes in central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v. 39, p. 90-98, 1993.

LEDRU, M.-P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; LORSCHREITER, M.L. vegetation Dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr BP. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, p. 131-142, 1998a.

LEDRU, M.-P.; BERTAUX, J.; SIFEDINE, A. Absence Last Glacial Maximum records in lowland tropical forests. **Quaternary Research**, San Diego, v. 49, p. 233-237, 1998b.

LEDRU, M.-P.; BRAGA, P.I.S.; SOUBIÈS, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. The last 50,000 years in the neotropics (southern Brazil): evolution of vegetation and climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 123, p. 239-257, 1996.

LIBBY, W.F. **Radiocarbon dating**. 2. ed. Chicago: Chicago University of Chicago Press, 1955.

LIU, K.-B.; COLINVAUX, P.A. A 5200-year history of Quaternaire recent. Institute Francais Ponichgry, tray. Sec. Amazon rain forest. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 15, p. 231-248, 1988.

LORSCHREITER, M.L.; MATTOZO, TAKEDA I.J. Reconstituição paleoambiental da região dos Campos Gerais, Paraná, através da palinologia de sedimentos da Lagoa Dourada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5., 1995, Niterói. **Anais...** Niterói: ABEQUA, 1995.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Fluctuating Holocene sea-levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 19, p. 101-124, 2003.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. Vibro-testemunhador leve: construção, utilização e possibilidades. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2., 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEQUA, 1989. 15 p.

MEDEANIC, S.; CORREA, I.C.S.; WESCHENFELDER, J. Resultados preliminares sobre as diatomáceas dos sedimentos superficiais do fundo da Laguna dos Patos. **Gravel**, Porto Alegre, v. 6, p. 15-25, 2008.

MENEZES, M.P.M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 3, p. 403-420, 2008.

MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 34, p. 261–289, 2003.

MEYERS, P.A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 114, p. 289–302, 1994.

MIRANDA, M.C.C. **Sedimentologia, isótopos estáveis e palinologia de depósitos quaternários no leste da Ilha do Marajó, Estado do Pará**. 2010. 214 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MIRANDA, M.C.; ROSSETTI, D.F.; PESSEDA, L.C.R. Quaternary paleoenvironments and relative sea-level changes in Marajó Island (Northern Brazil): Facies,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  and C/N. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 282, p. 19-31, 2009.

MOFATTO, M. **Estudo multi/interdisciplinar de reconstrução da vegetação e clima do Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Curucutu, São Paulo, S.P. no Quaternário tardio**. 2005. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MOREIRA FILHO, H & KUTNER, M. B.. Contribuição para o conhecimento das diatomáceas do Manguezal de Alexandra. **Bol. Univ. Fed. Parana**, Bot. 4:1-24, 1962.

MOREIRA FILHO, H. Diatomáceas do trato digestivo de *Tegula viridula* Gmeelin. **Bol. Univ. Fed. Parana**, Bot. 1:1-24, 1960.

MOREIRA FILHO, H. Diatomáceas da Baía de Guaratuba. **Bol. Univ. Fed. Parana**, Bot. 3:1-35, 1961.

MOREIRA FILHO, H. & MÔMOLI, D. M. Sobre a presença de diatomáceas em alguns sambaquis do litoral paranaense. **Bol. Univ. Fed. Parana**, Bot. 5:1-9. 1962.

MOREIRA-FILHO, H. & MÔMOLI, D.M. Diatomáceas em alguns focos larvários de anofelinos de curitiba (Paraná-Brasil). **Bol. Univ. Fed. Parana**, Bot. 15:1-6. 1966.

MORO, R.S.; BICUDO, C.E.M.; MELO, M.S.; SCHIMITT, J. Paleoclimate of the Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná state, southern Brazil. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 114, p. 87 – 99, 2004.

MORO, R.S.; BICUDO, C.E.M.; MELO, M.S.; SCHIMITT, J. Paleoclimate of the Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná state, southern Brazil. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 114, p. 87-99, 2004.

NAVARRO J.N. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico. II. Suborder Biddulphiineae: Families Biddulphiaceae, Lithodesmiaceae and Eupodiscaceae. **Botanica Marina**, v.24, n. 12, p. 615 – 630, 1981.

NAVARRO, J.N. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico. III. Suborder Araphidineaceae: Families Diatomaceae and Protoraphidaceae. **Botanica Marina**, v.25, p.247 – 263. 1982

NEVES, P.C.P.; LORSCHREITER, M.L. Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Devon, v. 9, p. 39-67, 1995.

PARK, R.; EPSTEIN, S. Metabolic fraction during photosynthesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 21, p. 110-126, 1960.

PASSARINI-JÚNIOR, J.R. **Estudo interdisciplinar em sedimentos lacustres da região sul do estado de São Paulo**. Reconstrução da vegetação e do clima no Quaternário tardio. 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PATRICK, R.; REIMER, C. W. The Diatoms of United States: exclusive of Alaska and Hawaii. **Philadelphia: Academy of natural sciences**, v. 1, n. 13, 688 p. 1966

PATRICK, R.; REIMER, C. W. The Diatoms of United States: exclusive of Alaska and Hawaii. **Philadelphia: Academy of natural sciences**, v. 2, n. 13, 213 p. 1975

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.C.; MARTINELLI, L.A.; CERRI, C.C.; ARAVENA, R. ROZANSKI, K. Natural radiocarbon measurements in brazilian soils developed on basic rocks. **Radiocarbon**, vol. 38, n. 2, p 203 – 208, 1996c.

PESSENDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 98-103, 1991.

PESSENDA, L.C.R.; GOMES, B.M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R.; GOUVEIA, S.E.M. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondônia state, southwestern Brazilian Amazon region. **The Holocene**, London, v. 8, n. 5, p. 599-603, 1998a.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; GOMES, B.M.; BOULET, R.; RIBEIRO, A.S.  $^{14}\text{C}$  dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. **Radiocarbon**, New Haven, v. 40, n. 2, p. 1013-1022, 1998b.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes ( $\text{C}-13$ ,  $\text{C}-14$ ) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 191-201, 1996a.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; MARTINELLI, L.A.; CERRI, C.C.  $^{14}\text{C}$  measurements in tropical soil developed on basic rocks. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 203-208, 1996b.

PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest transition zone, Brazilian Amazon region. **The Holocene**, London, v. 11, n. 2, p. 250-254, 2001

PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; GOUVEIA S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R. BENDASSOLLI, J.A. Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão State, northeastern Brazil, Based on carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, San Diego, v. 63, p. 183-193, 2004.

PESSENDA, L.C.R.; DE OLIVEIRA, P.E.; MOFATTO, M.; MEDEIROS, V.B.; FRANCISCHETTI, R.J.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.A.; ZUNIGA LEITE, A.; SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L. The evolution of a tropical Rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, San Diego, v. 71, p. 437-452, 2009.

Pessenda, L.C.R., E. Vidotto, A. A. Buso Jr J.Passarini Jr, P.E. De Oliveira, F. Macias, F. Ricardi-Branco, J.A. Bendassolli. Late Pleistocene vegetation, climate and relative sea-level changes in the southeastern Brazilian coast, based on c and n isotopes and bio indicators analysis of mangrove organic matter - **IAEA International Symposium on Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems, and Climate Change Studies**, Monaco Museum, Monaco. 6 p., 2011.

PETERS, K.E.; SWEENEY, R.E.; KAPLAN, I.R. Correlation of carbon and nitrogen stable isotope ratios in sedimentary organic matter. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 23, n. 4, p. 589-604, 1978.

PETERSON, B.J.; HOWARTH, R.W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 32, n. 6, p. 1195-1213, 1987.

PIPERNO, D.; BECKER, P. Vegetational history of a site in the central Amazon Basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. **Quaternary Research**, San Diego, v. 45, p. 202-209, 1996.

PIRES, J.M.; PRANCE, G.T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T.E. (Ed.). **Key environments: Amazonia**. Oxford: Pergamon, 1985.

PRANCE, G.T. Notes on the vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazon forest types subject to inundation. **Brittonia**, New York, v. 31, p. 26-38, 1979.

PRASAD, A.K.S.K.; LIVINGSTON, R.J. Frustule morphology of the planktonic pinnate diatom *Fragillaria grassneri* Hustedt (Bacillariophyta) from the Florida coast of the Gulf of Mexico, with a description of the *Desikaneiss* gen. nov. **Phycologia**, v.32, n.6, p. 434-443, 1993.

PRASAD; A.K.S.K.; NIENOW J.A.; LIVINGSTON,R.J. The marine diatoms genus *Tryblioptychus* Hendey (Thalassiositaceae, Coscinodiscophyceae): fine structure, taxonomy, systematic and distribution. **Diatom Research**, v.17, n.2, p. 291 – 308, 2002.

PUNT, W.; BLACKMORES, S.; NILSSON, S.; THOMAS, A. **Glossary of pollen and spores terminology**. Utrecht: IPP Foundation, 1994. 71 p. (Series, 1).

PROJETO RADAM. **Folha SA. 22 Belém**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1974.

RAU, G.H.; TAKAHASHI, T.; MARAIS, D.J.D. Latitudinal variations in plankton  $\delta^{13}\text{C}$ : implications for  $\text{CO}_2$  and productivity in past oceans. *Letters to Nature*, **Nature**, London, v. 341, p. 516-518, 1989.

REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BLACKWELL, P.G.; BRONK RAMSEY, C.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; EDWARDS, R.L.; FRIEDRICH, M.; GROOTES, P.M.; GUILDERTSON, T.P.; HAJDAS, I.; HEATON, T.J.; HOGG, A.G.; HUGHEN, K.A.; KAISER, K.F.; KROMER, B.; MCCORMAC, F.G.; MANNING, S.W.; REIMER, R.W.; RICHARDS, D.A.; SOUTHON, J.R.; TALAMO, S.; TURNEY, C.S.M.; VAN DER PLICHT, J.; WEYHENMEYER, C.E. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0– 50,000 years cal BP. **Radiocarbon**, New Haven, v. 51, n. 4, p. 1111–1150, 2009.

ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 169, p. 151–174, 2004.

ROSSETTI, D.F.; TOLEDO, P.M. Biodiversity from a historical geology perspective: a case study from Marajó Island, lower Amazon. **Geobiology**, Oxford, v. 4, p. 215–223, 2006.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integrations of geological and SRTM topographic data. **Catena**, Amsterdam, v. 70, p. 253-265, 2007.

ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M. Late Quaternary drainage dynamics in northern Brazil based on the study of a large paleochannel from southwestern Marajó Island. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 80, n. 3, p. 1-15, 2008.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; THALES, M. An abandoned estuary within Marajó Island: Implications for late Quaternary Paleogeography of northern Brazil. **Estuaries and Coasts**. Oxford, v. 30, n. 5 p. 813-826, 2007a.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; MIRANDA, M.C. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, Chichester, v. 22, p. 1-15, 2007b.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; GOES, A.M.; THALES, M. Palaeodrainage on Marajó Island, northern Brasil, in relation to Holocene relative sea-level dynamics. **The Holocene**, New Haven, v. 18, p. 1–12, 2008.

ROSSETTI, D.F.; ALMEIDA, S.; AMARAL, D.D.; LIMA, C.M.; PESSENDA, L.C.R. Coexistence of forest and savanna in an Amazonian area from a geological perspective. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 21, p. 120-132, 2010.

ROUBIK, D.W.; MORENO, J.E. **Pollen and spores of Barro Colorado Island**. St. Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden, 1991. 268 p. (Monograph in Systematic Botany, 36).

ROTH, L.; LORSCHREITER, M.L. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, east plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Devon, v. 8, p. 39-69, 1993.

ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M.; MANN, D.G. **The diatoms: biology & morphology of the genera**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 747 p.

SAIA, S.E.M.G.; PESSEDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.A. Last glacial maximum vegetation in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. **Quaternary International**, Oxford, v. 184, p. 195-201, 2008.

SAIA, S.E.M.G. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no Vale do Ribeira (sul do estado de São Paulo)**. 2006. 137 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007. 402 p.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **Contribuição à palinologia dos cerrados**. 1971. 279 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971.

SANTIAGO-HUSSEIN, M.C.; DE OLIVEIRA, P.E. Taxonomia de diatomáceas fósseis do Holoceno da Lagoa Olho D'água (Recife - PE). **Revista Universidade de Guarulhos**, Guarulhos, v.X, p. 17-34, 2005.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 273-286, 1985.

SUNDBÄCK, K. The epipsammic marine diatom *Opephora olsenii* Müller. **Diatom Research**, v.2, n.2, p. 241 – 249, 1987.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TALBOT, M.R.; JOHANNESSEN, T.A. High resolution paleoclimatic record from the last 27.500 years in the tropical west África from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 100, p. 23-37, 1992.

TRAVERSE, A. **Paleopalynology**. Boston: Unwin Hyman, 1998. 600 p. (Review of Palaeobotany and Palynology).

TURQ, B.; SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; ABSY, M.L.; SOUBIES, F.; SUGUIO, K.; VOLKMER-RIBEIRO, C. Amazonia Rainforest fires: A lacustrine Record of 7.000 years. Royal Swedish Academy of sciences. **Ambio**, Oxford, v. 27, n. 2, p. 139-142, 1998.

VAN HEURCK, H. **A treatise on diatomaceae**. Willian Wesley & Son: London, 558p. 1896

VEDEL, V.; BEHLING, H.; COHEN, M.C.L.; LARA, R.J. Holocene mangrove dynamics and sea-level changes in northern Brazil, inferences from the Taperebal core in northeastern Pará State. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, v. 15, p. 115–123, 2006.

VIDOTTO, E.; PESSEDA, L. C. R.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A.; BENDASSOLLI, J.A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 389-404, 2007.

VIDOTTO, E. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP durante o Quaternário Tardio**. 2008. 138 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VOIGT, M. Some new diatoms from the far East. **Journal of Royal Microscopical Society**, v. 78, p. 92–94, 1960

WILSON, G.P.; LAMB, A.L.; LENG, M.J.; GONZALES, S.; HUDDART, D. Variability of organic  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 64, p. 685–698, 2005.

YBERT, J.P.; BISSA, W.M.; CATHARINO, E.L.M.; KUTNER, M. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. **Paleogeography Paleoclimatology and Paleoecology**, Amsterdam, v. 189, p. 11-24, 2003.

WITKOWSKI, A.H.; LANGE-BERTOLAT, H.; METZELTIN, D. Diatom flora of Marine Coasts I. **Iconografia Diatomologica**, v.7, p. 1 – 925, 2000.

## **ANEXOS**

## **Anexo A**

### **Descrição dos grãos-de-pólen e esporos**

## PRANCHA I

### **Pteridophyta**

#### **Salviniaceae**

*Salvinia sp*

(1 A e B)

Esporo trilete psilado, 20µm  
(BUSO-JR; 2010)

#### **Esporos triletes**

Esporo trilete escabrado

(2 A)

Esporo trilete baculado

(4 A e B)

Esporo trilete psilado tipo 1

(3 A)

Esporo trilete psilado tipo 2

(5 A)

Esporo trilete verrucado

(6 A e B)

Esporo trilete reticulado

(8 A)

Esporo trilete microescabrado

(10 A)

#### **Esporos monoletes**

Esporo monolete verrucado

(7 A)

Esporo monolete psilado

(10 A)

## PRANCHA II

### **Angyosperma**

#### **Poaceae**

Poaceae tipo 1 (1 A e B)

Monoporado, poro anulado, escabrado

(2 A)

Poaceae tipo 2

Monoporado, poro anulado, psilado

(3 A)

Poaceae tipo 3

Monoporado, poro anulado, microescabrado

(4 A e B)

Poaceae tipo 4

Monoporado, poro anulado, escabrado

(5 A)

Poaceae tipo 5

Monoporado, poro anulado, psilado

(6 A)

Poaceae tipo 6

Monoporado, poro anulado, psilado

(7 A)

Poaceae tipo 7

Monoporado, poro anulado, microescabrado

(COLINVAUX et al., 1999; ROUBIK E MORENO, 1991)

#### **Cyperaceae**

Cyperaceae tipo 1

(8 A)

Inaperturado, escabrado

(9 A)

Cyperaceae tipo 2

Inaperturado, escabrado

(10 A)

Cyperaceae tipo 3

Inaperturado, escabrado

(COLINVAUX et al., 1999; ROUBIK E MORENO, 1991; BUSO-JR; 2010;

MIRANDA, 2010)

#### **Bromeliaceae**

*Vriesea sp*

(11 A)

(ROUBIK E MORENO, 1991)

### PRANCHA III

#### **Arecaceae**

*Euterpe sp*

(1 A)

*Monosulcado, psilado*

(COLINVAUX et al., 1999; CASTRO, 2010)

*Mauritia sp*

(2 A e B)

Monoporado, equinado

(COLINVAUX et al., 1999; CASTRO, 2010)

Arecaceae tipo 1

(3 A e B)

Monosulcado, escabrado

Arecaceae tipo 2

(4 A e B)

Monosulcado escabrado

(5 A e B)

Arecaceae tipo 3

Monosulcado reticulado

(COLINVAUX et al., 1999; ROUBIK E MORENO, 1991)

#### **Acanthaceae**

*Avicennia* tipo 1

(6 A, B, C e D)

Tricolporado, reticulado, 20 a 30  $\mu\text{m}$

(7 A, B C e D)

*Avicennia* tipo 2

Tricolporado, reticulado, 20 a 30  $\mu\text{m}$

## PRANCHA IV

### **Acanthaceae**

*Avicennia* tipo 3 (1 A, B, C e D)

Tricolporado, reticulado, 20 a 30  $\mu\text{m}$

*Avicennia* tipo 4 (2 A, B e C)

Tricolporado, reticulado, 20 a 30  $\mu\text{m}$

### **Amaranthaceae**

*Gomphrena* sp (3 A e B)

Lofado,, grão esferoidal, sexina baculada. 12  $\mu\text{m}$   
(COLINVAUX et. al., 1999)

Amaranthaceae tipo 1 (4 A e B)

Esférico, lofado

(COLINVAUX et al., 1999; BUSO-JR, 2010)

### **Anacardiaceae**

Anacardiaceae tipo 1 (5 A, B, C e D)

Tricolporado, estriado

Anacardiaceae tipo 2 (6 A e B)

Tricolporado, reticulado

Anacardiaceae tipo 3 (7 A e B)

Tricolporado, reticulado, poro lalongado

Anacardiaceae tipo 4 (8 A, B e C)

Tricolporado, estriado

Anacardiaceae tipo 5 (9 A e B)

Tricolporado, estriado

Anacardiaceae tipo 6 (10 A, B e C)

Tricolporado, reticulado

(COLINVAUX et al. 1999; ROUBIK E MORENO, 1991; BUSO-JR, 2010)

### **Asteraceae**

Asteraceae tipo 1 (11 A e B)

Tricolporado, equinado

Asteraceae tipo 2 (12 A e B)

Tricolporado, equinado

Asteraceae tipo 3 (13 A e B)

Tricolporado, equinado

(COLINVAUX et al., 1999)

## PRANCHA V

### **Aquifoliaceae**

*Ilex sp* (1 A e B)  
Tricolporado, baculado, grão deformado.  
(BUSO-JR, 2010)

### **Araliaceae**

Araliaceae tipo 1 (2 A, B e C)  
Tricolporado, reticulado  
(COLINVAUX et. al., 1999)

### **Betulaceae**

*Alnus sp* (3 A)  
Estefanoporado, psilado, poro circular, 20 - 25µm  
(COLINVAUX, et. al, 1999; CASTRO, 2010)

### **Bignoneaceae**

Bignoneaceae tipo 1 (4 A e B)  
Tricolpado, escabrado, 55 – 60µm  
(ROUBIK & MORENO, 1991)

Bignoneaceae tipo 2 (5 A e B)  
Tricolporado, reticulado, 25 – 30µm  
(COLINVAUX et al., 1999; VIDOTTO, 2008)

### **Chloranthaceae**

*Hediosmum racemosum* (6 A e B)  
Inaperturado, clavado, amb circular, sulco rudimentar. 30 - 35µm  
(COLINVAUX et al. 1999)

### **Euphorbiaceae**

*Alchornea* tipo 1 (7 A e B)  
Tricolporado, escabrado, presença de opérculo, 20 - 25µm

*Alchornea* tipo 2 (8 A e B)  
Tricolporado psilado, presença de opérculo, 20 - 25µm

*Alchornea* tipo 3 (9 A e B)  
Tricolporado escabrado, presença de opérculo, 20 - 25µm  
(ROUBIK & MORENO, 1991; COLINVAUX et al., 1999; VIDOTTO, 2008; BUSO-JR, 2010)

*Sebastiania sp* (10 A, B, C e D)  
Tricolporado, oblado-esferoidal, reticulado, 30 – 35 µm  
(COLINVAUX et al., 1999; BUSO-JR, 2010)

*Mabea sp* (11 A e B)  
Tricolporado, baculado, 30 x 40 µm  
(COLINVAUX et al., 1999)

## PRANCHA VI

### **Fabaceae-Faboidae**

*Dalbergia sp*

(1 A, B e C)

Tricolporado, poro lalongado, psilado, 30 x 35µm

(COLINVAUX et.al., 1999)

*Dioclea sp*

(2 A)

Tricolporado, oblado, parede com espessura de até 5µm

(BUSO-JR, 2010)

Fabaceae tipo 1

(3 A e B)

Tricolporado, psilado, poros lalongados 15 - 25µm

Fabaceae tipo 2

(4 A e B)

Tricolporado, escabrado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 3

(5 A, B e C)

Tricolporado, escabrado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 4

(6 A e B)

Tricolporado, psilado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 5

(7 A, B e C)

Tricolporado, escabrado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 6

(8 A, B, C e D)

Tricolporado, escabrado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 7

(9 A, B, C e D)

Tricolporado, psilado 15 - 25µm

Fabaceae tipo 8

(10 A, B e C)

Tricolporado microescabrado 15 - 25µm

(COLINVAUX et al., 1999; MIRANDA, 2010; CASTRO, 2010)

## PRANCHA VII

### **Fabaceae-Faboidae**

Fabaceae tipo 9 (1 A, B, C e D)

Tricolporado psilado, poro lalongado 15 - 25 $\mu$ m

Fabaceae tipo 10 (2 A, B, C e D)

Tricolporado, escabrado, poros lalongados 15 - 25 $\mu$ m

Fabaceae tipo 11 (3 A e B)

Tricolporado, escabrado 15 - 25 $\mu$ m

(COLINVAUX et al., 1999; MIRANDA, 2010; CASTRO, 2010)

### **Fabaceae-Caesalpinoideae**

Cf. *Cassia* sp (4 A, B, C e D)

Tricolporado, escabrado, poros lalongados. 30 x 25 $\mu$ m

(COLINVAUX et al., 1999)

### **Fabaceae-Mimosoidae**

Mimosoidae (5 A)

Políade, com 5 grãos psilados.

(COLINVAUX et al. 1999; BUSO-JR, 2010)

### **Limnocharitaceae**

Limnocharitaceae tipo 1 (6 A e B)

Inaperturado, micro-equinado, esférico. 20 - 25 $\mu$ m

(BUSO-JR, 2010)

### **Malpighiaceae**

*Byrsonima* (7 A, B e C)

Tricolporado, poros lalongados, amb. Circular, 12 -15 $\mu$ m

(ROUBIK & MORENO, 1991; COLINVAUX et al., 1999, BUSO-JR, 2010)

### **Malvaceae/Bombacaceae**

*Pseudobombax* sp. (8 A)

Tricolpado, densamente reticulado. 47 $\mu$ m

(ROUBIK & MORENO, 1991; COLINVAUX et al. 1999)

### **Melastomataceae/ Combretaceae**

*Laguncularia* sp (9 A, B e C)

Tricolporado, psilado, poro pouco visível

(BUSO-JR, 2010; Palinoteca CENA/USP)

*Melastomataceae* tipo 1 (10 A e B)

Heterocolpado, psilado, 12 - 15 $\mu$ m

*Melastomataceae* tipo 2 (11 A e B)

Heterocolpado, triporado, poros lalongados, psilado

(COLINVAUX et. al, 1999)

## PRANCHA VIII

### **Melastomataceae/Combretaceae**

Melastomataceae tipo 3 (1 A, B e C)

Heterocolpado, triporado, escabrado 12 - 15µm

Melastomataceae tipo 4 (2 A, B e C)

Heterocolpado, triporado, escabrado 12 - 15µm

Melastomataceae tipo 5 (3 A, B e C)

Heterocolpado, triporado, psilado 12 - 15µm

Melastomataceae tipo 6 (4 A e B)

Heterocolpado, triporado, psilado 12 - 15µm

(COLINVAUX et. al, 1999)

### **Meliaceae**

Meliaceae tipo 1 (5 A, B C e D)

Tetracolporado, poro lalongado, psilado, amb. Circular

(VIDOTTO, 2008)

### **Moraceae/ Urticaceae**

Moraceae Urticaceae tipo1 (6 A, B, C e D)

Diporado, poro circular, escabrado 10 - 12µm

(BUSO-JR, 2010)

### **Myristicaceae**

*Virola sp* (7 A, B e C)

Monosulcado, reticulado

(BUSO-JR, 2010)

### **Myrtaceae**

Myrtaceae tipo 1 (8 A)

Tricolporado, sincolpado, amb, triangular, peroblado, escabrado 12 - 15 µm

Myrtaceae tipo 2 (9 A)

Tricolporado, sincolpado, amb, triangular, peroblado, psilado 12 - 15 µm

Myrtaceae tipo 3 (10 A e B)

Tricolporado, sincolpado, amb, triangular, peroblado, escabrado 12 – 15 µm

Myrtaceae tipo 4 (11 A)

Tricolporado, sincolpado, amb, triangular, peroblado, escabrado 12 – 15 µm

(ROUBIK & MORENO, 1991; COLINVAUX et. al., 1999)

## PRANCHA IX

### **Piperaceae:**

*Piper sp* (1 A e B)  
Tricolpado, escabrado, tectado 10µm  
(ROUBIK & MORENO, 1991)

### **Polygonaceae:**

Polygonaceae tipo 1 (2 A)  
Periporado, poros circulares, grão esférico. 50µm  
(BUSO-JR, 2010)

### **Rhizophoraceae:**

*Rizophora* tipo 1 (3 A e B)  
Tricolporado, poros lalongados, escabrado, 12 – 15 µm

*Rizophora* tipo 2 (4 A, B, C e D)  
Tricolporado, poros lalongados, microescabrado 12 – 15 µm

*Rizophora* tipo 3 (5 A, B, C e D)  
Tricolporado, poros lalongados, microescabrado 12 – 15 µm

*Rizophora* tipo 4 (6 A e B)  
Tricolporado, poros lalongados, sexina psilada 15 – 20 µm

*Rizophora* tipo 5 (7 A, B, C e D)  
Tricolporado, poros lalongados, escabrado 15 – 20 µm

*Rizophora* tipo 6 (8 A, B e C)  
Tricolporado, poros lalongados, escabrado 15 – 20 µm

*Rizophora* tipo 7 (9 A, B e C)  
Tricolporado, poros lalongados, microescabrado 15 – 20 µm  
(MIRANDA, 2010; CASTRO, 2010)

## PRANCHA X

### **Rhizophoraceae:**

<i>Rizophora</i> tipo 8 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 20 $\mu$ m	(1 A, B, C e D)
<i>Rizophora</i> tipo 9 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m	(2 A, B, C e D)
<i>Rizophora</i> tipo 10 Tricolporado, poros lalongados, psilado 12 - 15 $\mu$ m	(3 A, B e C)
<i>Rizophora</i> tipo 11 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m	(4 A, B e C)
<i>Rizophora</i> tipo 12 Tricolporado, poros lalongados, microescabrado 12 - 15 $\mu$ m	(5 A, B, C e D)
<i>Rizophora</i> tipo 13 Tricolporado, poros lalongados, microescabrado 12 - 15 $\mu$ m	(6 A, B, C)
<i>Rizophora</i> tipo 14 Tricolporado, poros lalongados, psilado 12 - 15 $\mu$ m	(7 A, B e C)
<i>Rizophora</i> tipo 15 Tetracolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m	(8 A, B, C e D)
<i>Rizophora</i> tipo 16 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m	(9 A, B)
<i>Rizophora</i> tipo 17 Tricolporado, poros lalongados, verrucado 12 - 15 $\mu$ m	(10 A, B, C e D)
<i>Rizophora</i> tipo 18 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m	(11 A, B, C)
<i>Rizophora</i> tipo 19 Tricolporado, poros lalongados, escabrado 12 - 15 $\mu$ m (MIRANDA, 2010; CASTRO, 2010)	(12 A, B, C e D)

## PRANCHA XI

### **Rubiaceae**

*Borreria sp* tipo 1 (1 A, B, C e D)

10-colporado, amb circular, reticulado 35 - 40 $\mu$ m

(BUSO-JR, 2010)

*Borreria sp* tipo 2 (2 A, B, C e D)

5-colporado com poros inconspícuos, amb circular, reticulado, 20  $\mu$ m

(COLINVAUX et al., 1999)

### **Sapindaceae:**

Sapindaceae tipo 1 (3 A e B)

Tricolporado, sincolpado, amb triangular, escabrado. 20 - 25 $\mu$ m

(ROUBIK & MORENO, 1991)

### **Salicaceae:**

*Salix sp* (4 A, B e C)

Tricolpado, verrucado, perprolado, 33 x 22 $\mu$ m

(BUSO-JR, 2010)

Cf. Salicaceae tipo 1 (5 A, B e C)

Tricolporado, baculado, 25 x 17  $\mu$ m

(BUSO-JR, 2010)

### **Solanaceae:**

Solanaceae tipo 1 (6 A, B, C e D)

Tricolporado, poro lalongado, amb triangular, escabrado 15 - 20 $\mu$ m

(ROUBIK & MORENO, 1991)

Solanaceae tipo 2 (7 A, B, C e D)

Tricolporado, poros lalongados, escabrado 20 - 23 $\mu$ m

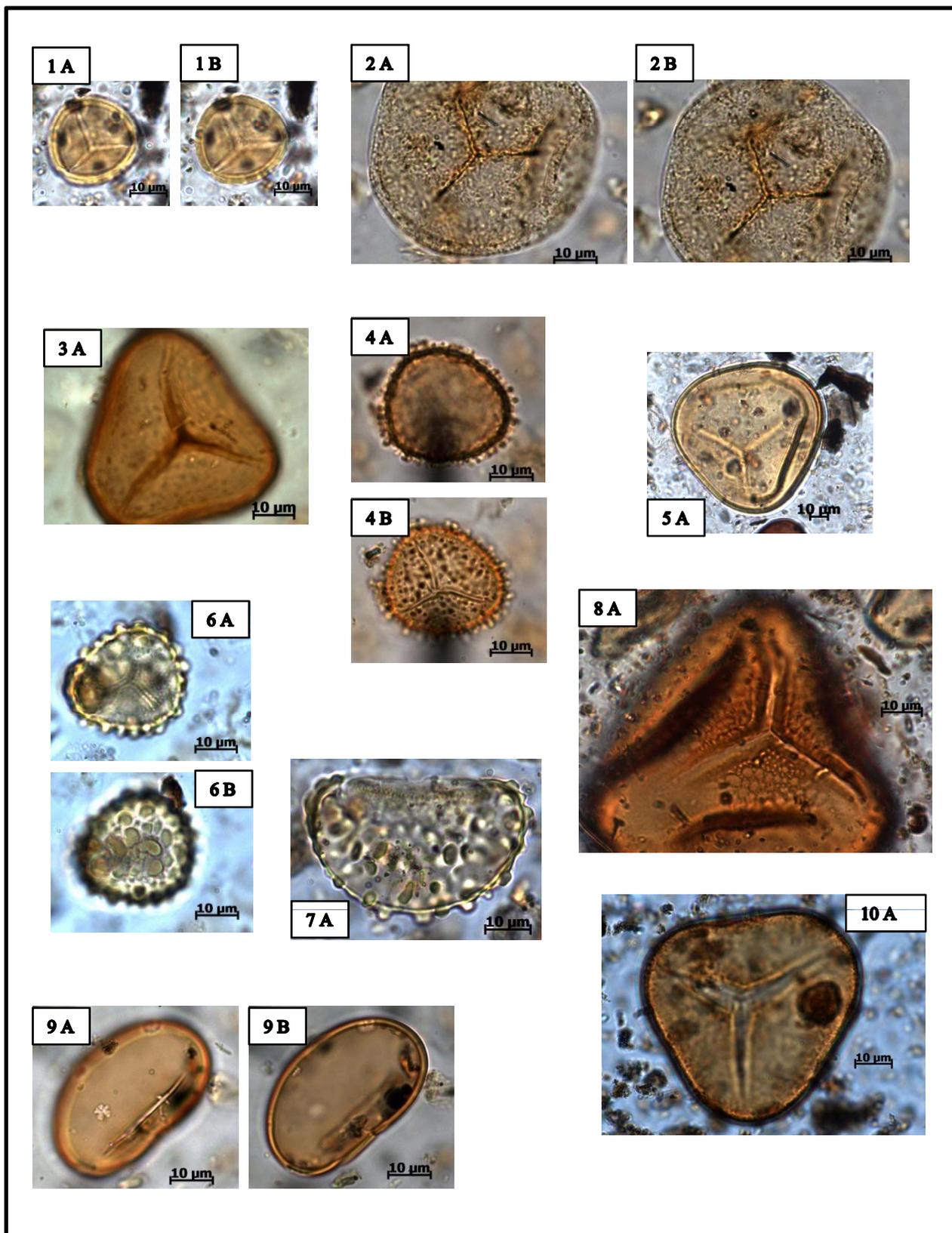
(ROUBIK & MORENO, 1991)

Solanaceae tipo 3 (8 A, B, C e D)

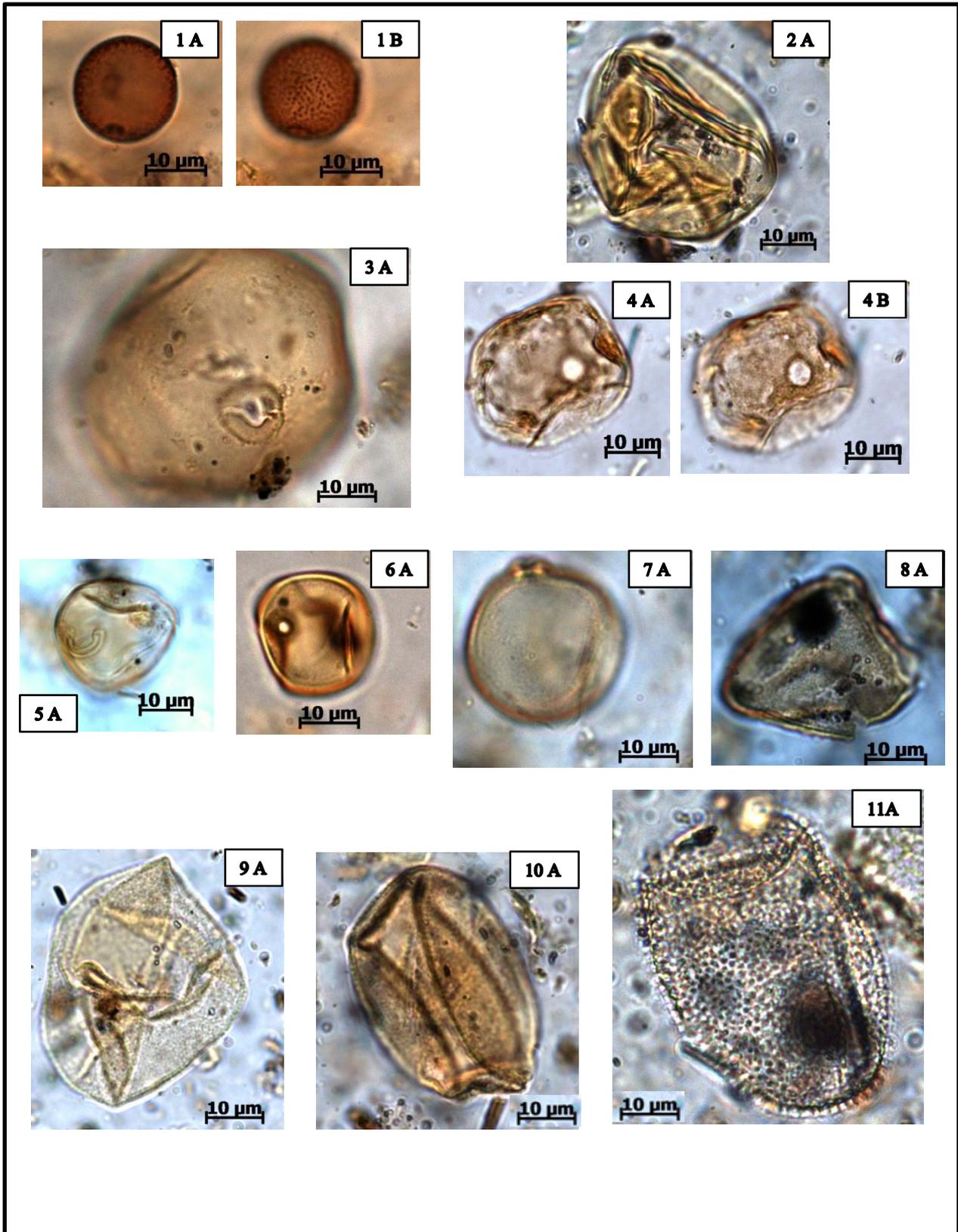
Tricolporado, poros lalongados, escabrado, amb. Triangular 20 - 23 $\mu$ m

(ROUBIK & MORENO, 1991)

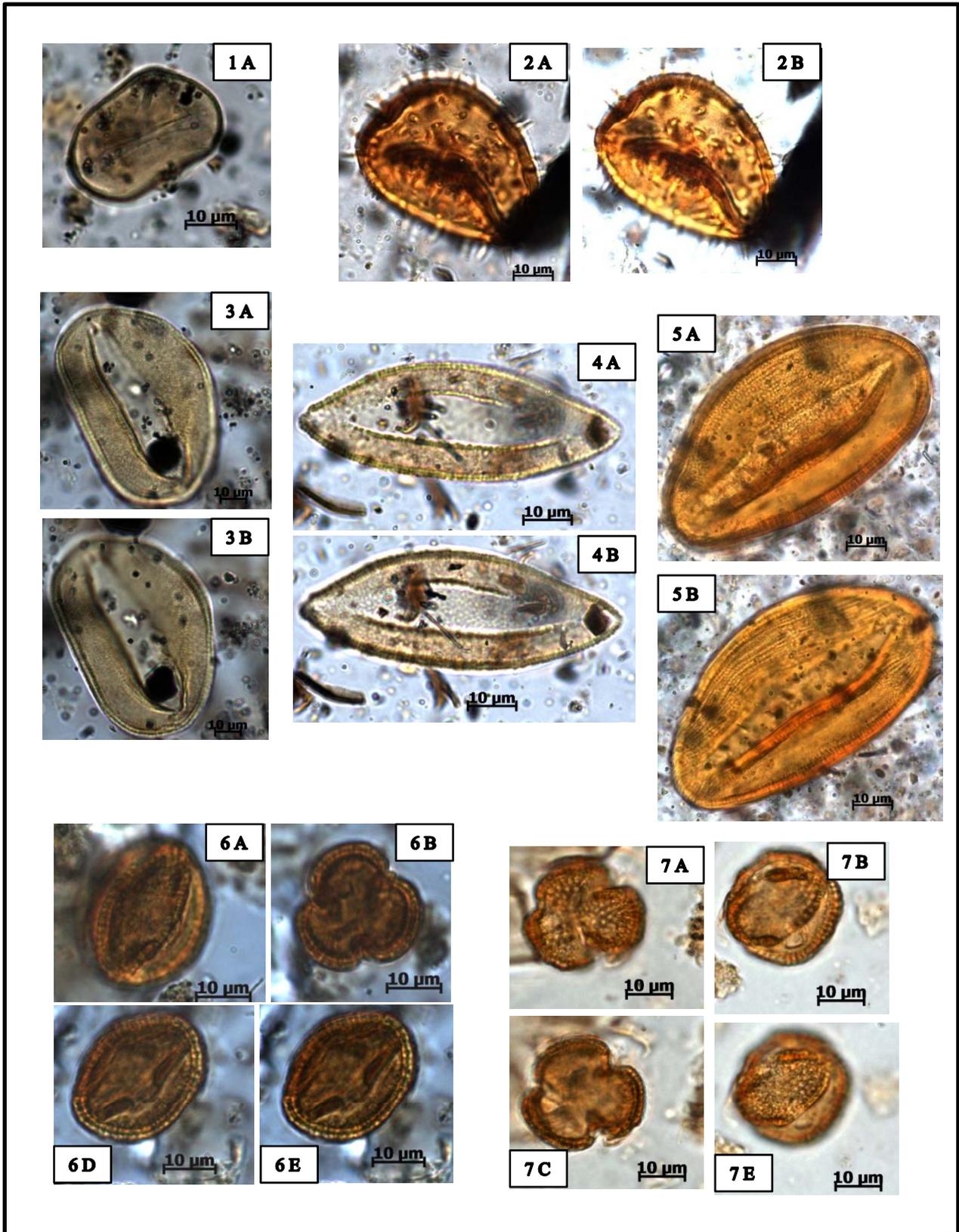
Anexo B  
Fotografias dos grãos-de-pólen e esporos



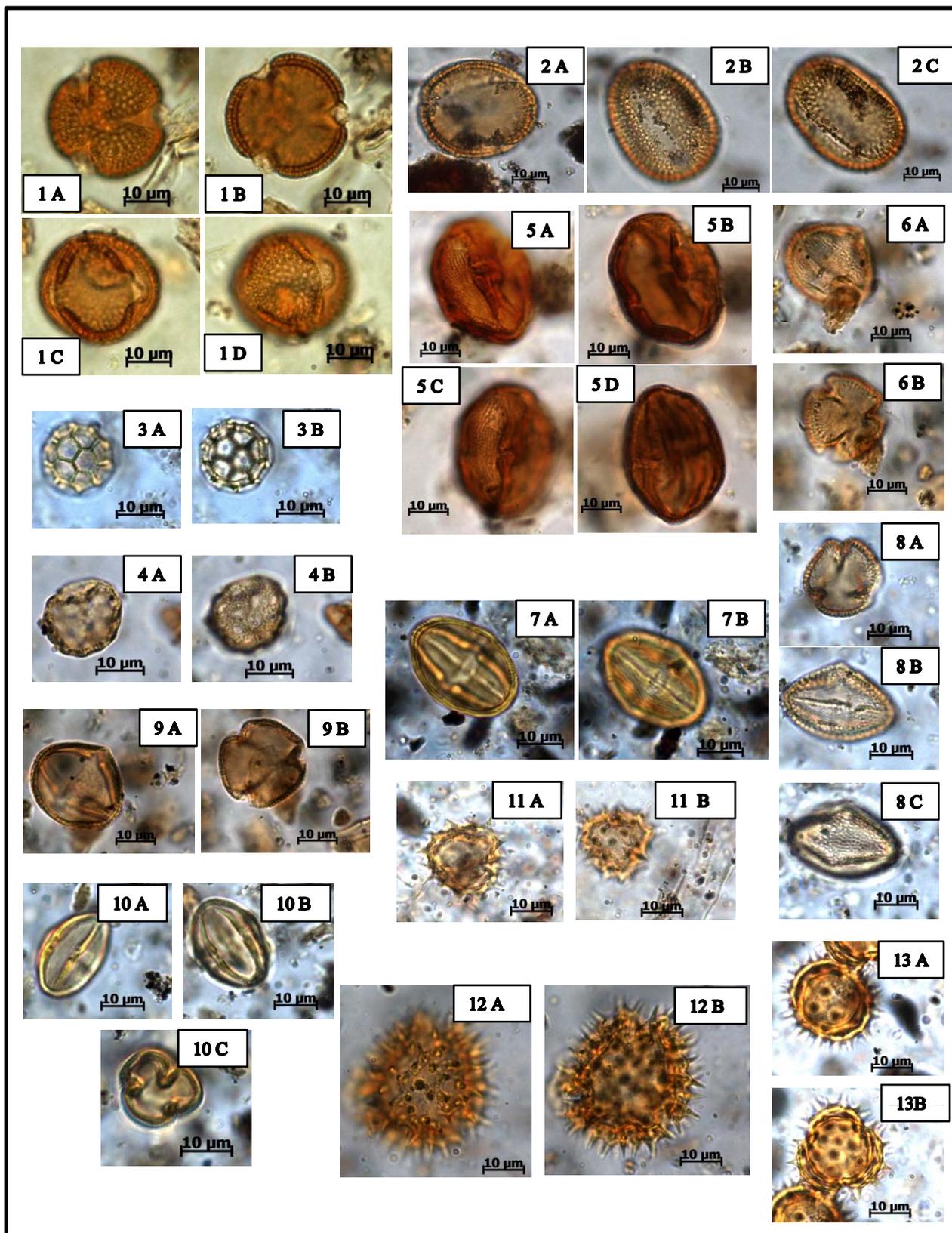
PRANCHA I: **Salviniaceae: *Salvinia*** (1 A e B); **Esporos** : Trilete escabrado tipo 1 (2 A, B); Trilete psilado tipo 1 (3 A); Trilete baculado (4 A e B); Trilete psilado tipo 2 (5 A); Trilete verrucado (6 A e B); Monolete verrucado (7 A); Trilete reticulado (8 A); Monolete psilado (9 A e B); Trilete microescabrado (10 A).



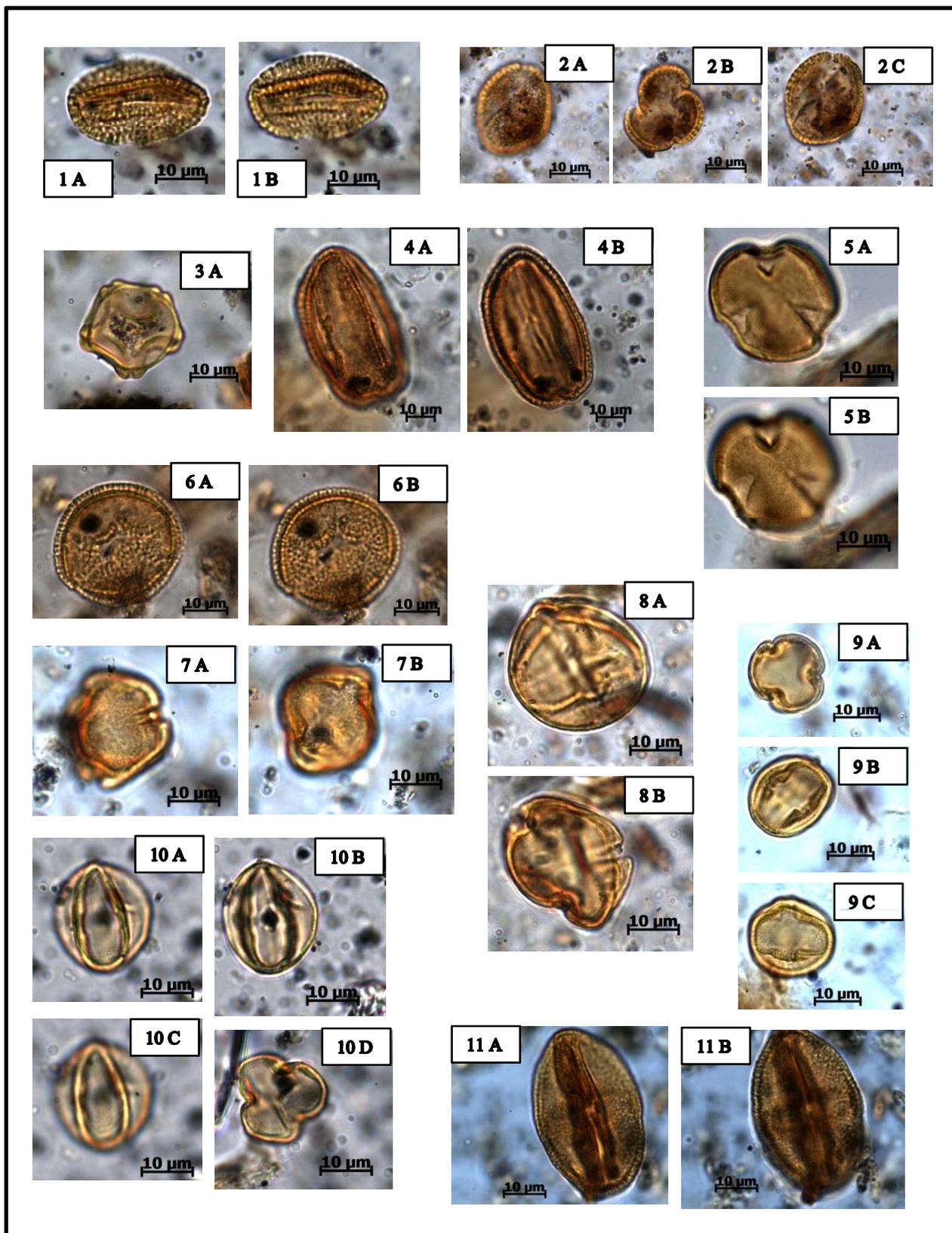
PRANCHA II: **Angyosperma: Poaceae** :Poaceae tipo 1 (1 A e B); Poaceae tipo 2 (2 A ); Poaceae tipo 3 (3 A); Poaceae tipo 4 (4 A e B); Poaceae tipo 5 (5 A) ; Poaceae tipo 6 (6 A); Poaceae tipo 7 (7 A); **Cyperaceae**: Cyperaceae tipo 1 (8 A); Cyperaceae tipo 2 (9 A); Cyperaceae tipo 3 (10 A); **Bromeliaceae**: *Vriesea sp*(11 A).



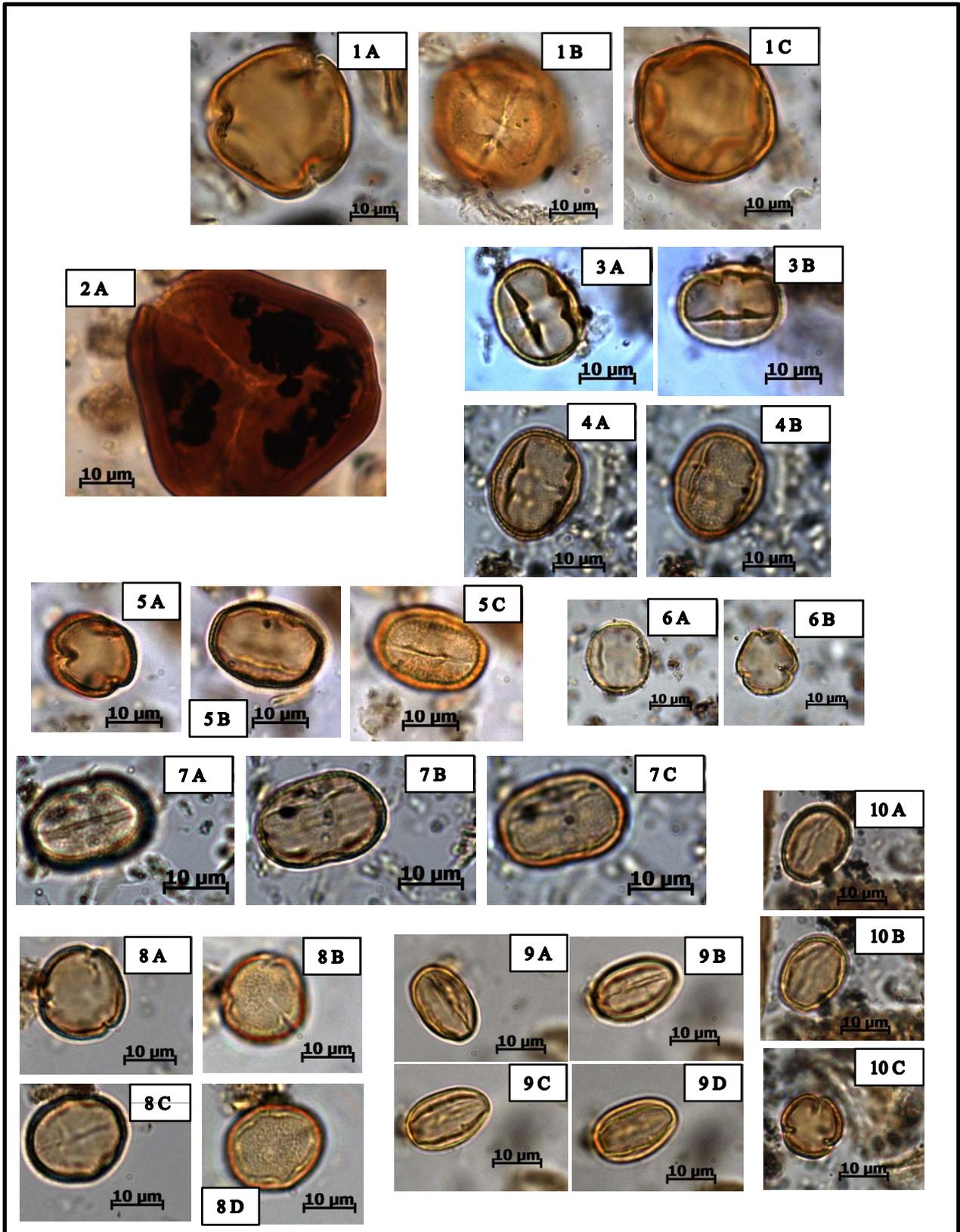
PRANCHA III: **Arecaceae:** *Euterpe* sp. (1 A); *Mauritia* (2 A e B); Arecaceae tipo 1 (3 A e B); Arecaceae tipo 2 (4 A e B); Arecaceae tipo 3 (5 A e B); **Acanthaceae:** *Avicennia* sp tipo 1 (6 A, B, C, e D); *Avicennia* sp tipo 2 (7 A, B, C e D).



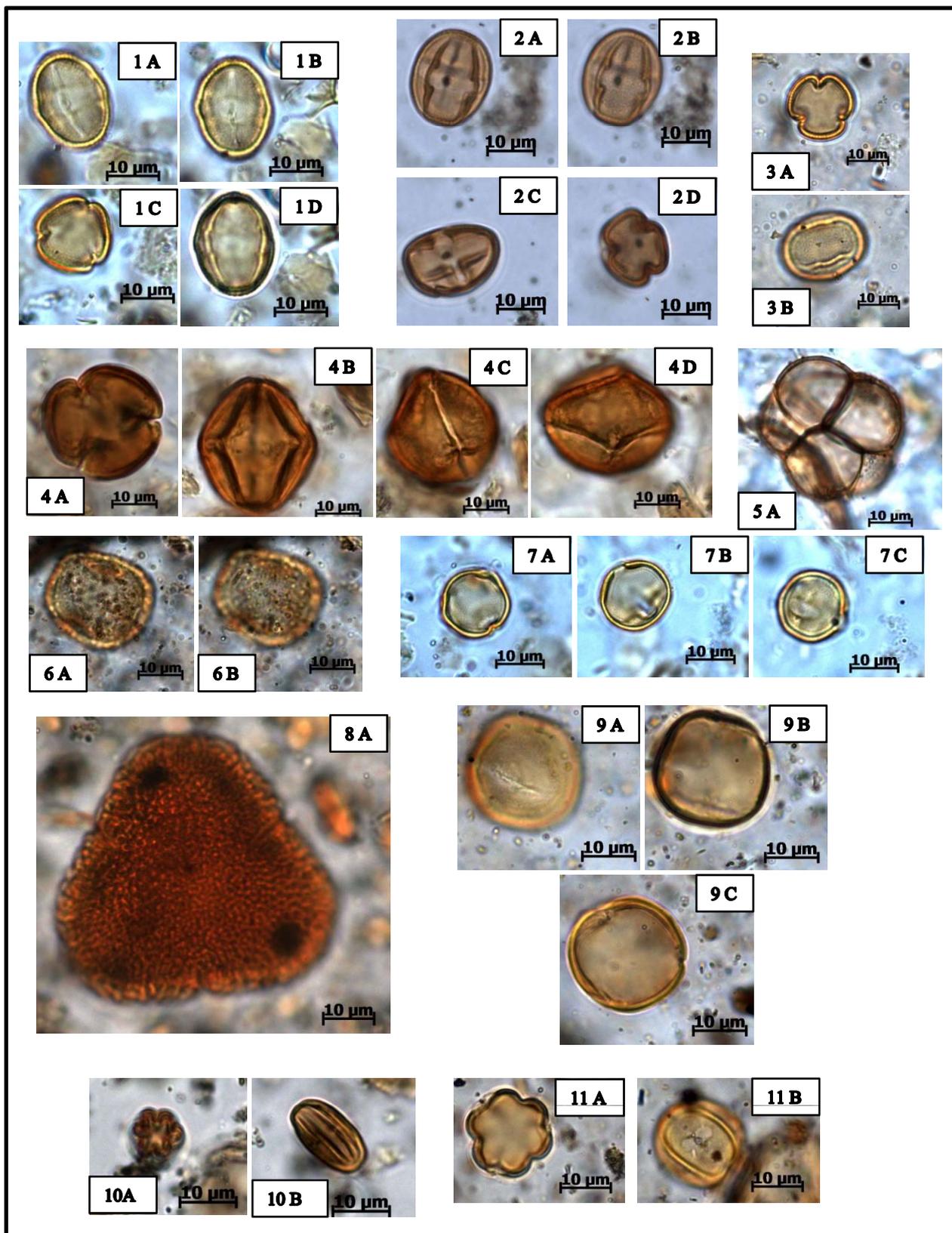
PRANCHA IV: **Acanthaceae:** *Avicennia* sp tipo 3 (1 A, B, C e D); *Avicennia* sp tipo 4 (2 A, B e C); **Amaranthaceae:** *Gamphrena* sp (3 A e B); Amaranthaceae tipo 1 (4 A e B)  
**Anacardiaceae:** Anacardiaceae tipo 1 (5 A, B, C e D); Anacardiaceae tipo 2 (6 A e B)  
 Anacardiaceae tipo 3 (7 A, B ); Anacardiaceae tipo 4 (8 A, B e C); Anacardiaceae tipo 5 ( 9 A, B );  
 Anacardiaceae tipo 6 (10 A, B e C); **Asteraceae:** Asteraceae tipo 1 (11 A e B); Asteraceae tipo 2 ( 12 A e B); Asteraceae tipo 3 (13 A e B);



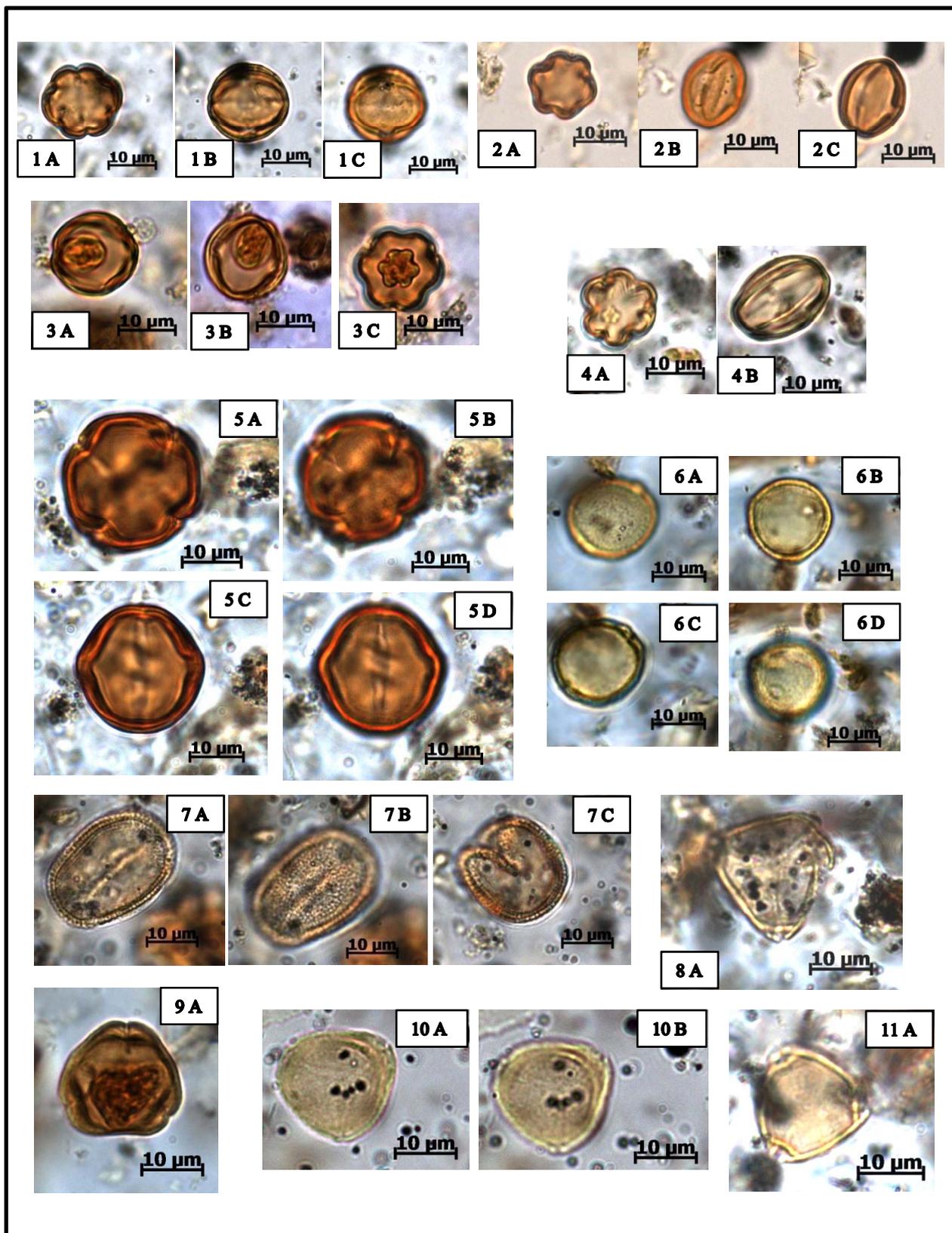
PRANCHA V: **Aquifoliaceae:** *Ilex sp* ( 1 A e B); **Araliaceae:** Araliaceae tipo 1 (2 A, B e C); **Betulaceae:** *Alnus sp* (3 A); **Bignoneaceae:** Bignoneaceae tipo 1 (4 A e B); Bignoneaceae tipo 2 (5A e B).; **Chloranthaceae:** *Hediosmum racemosum* (6 A e B); **Euphorbiaceae:** *Alchornea* tipo 1(7 A e B); *Alchornea* tipo 2 (8 A e B); *Alchornea* tipo 3 (9 A, B e C); *Sebastiania sp* (1 0 A, B, C e D) ;*Mabea sp* (11 A e B)



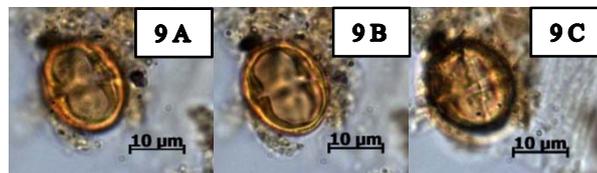
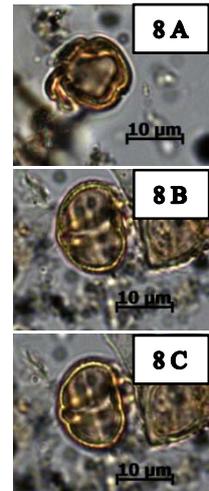
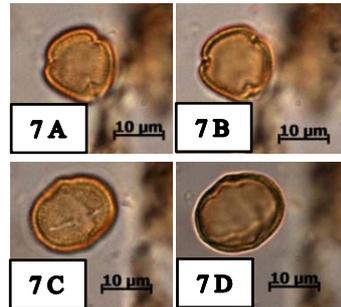
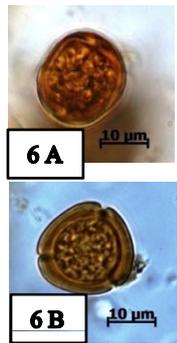
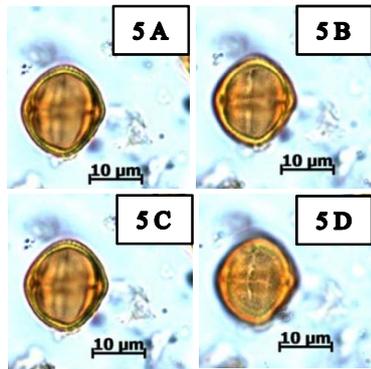
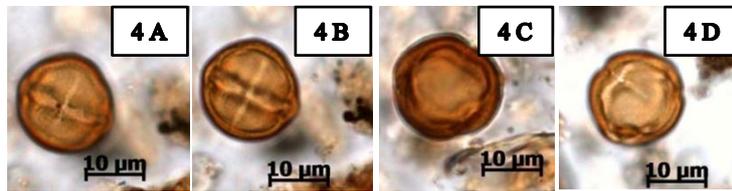
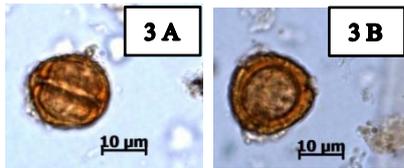
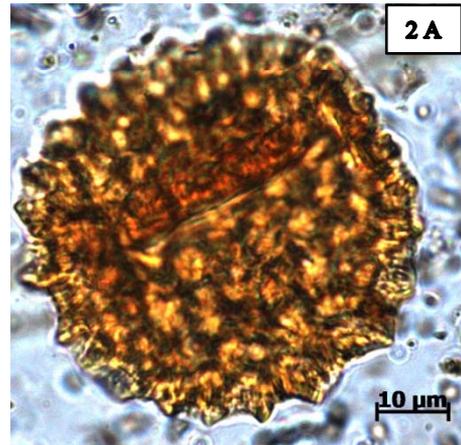
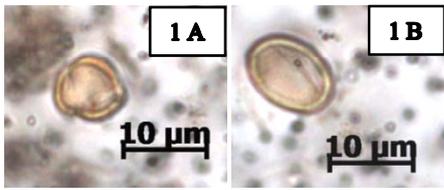
PRANCHA VI: **Fabaceae- Faboidae:** *Dalbergia sp* (1 A, B e C); *Dioclea sp* (2 A); Fabaceae tipo 1 ( 3 A e B); Fabaceae tipo 2 (4 A e B); Fabaceae tipo 3 ( 5 A, B e C); Fabaceae tipo 4 (6 A e B); Fabaceae tipo 5 ( 7 A, B e C); Fabaceae tipo 6 (8 A, B, C e D); Fabaceae tipo 7 (9 A, B, C e D); Fabaceae tipo 8 ( 10 A, B e C).



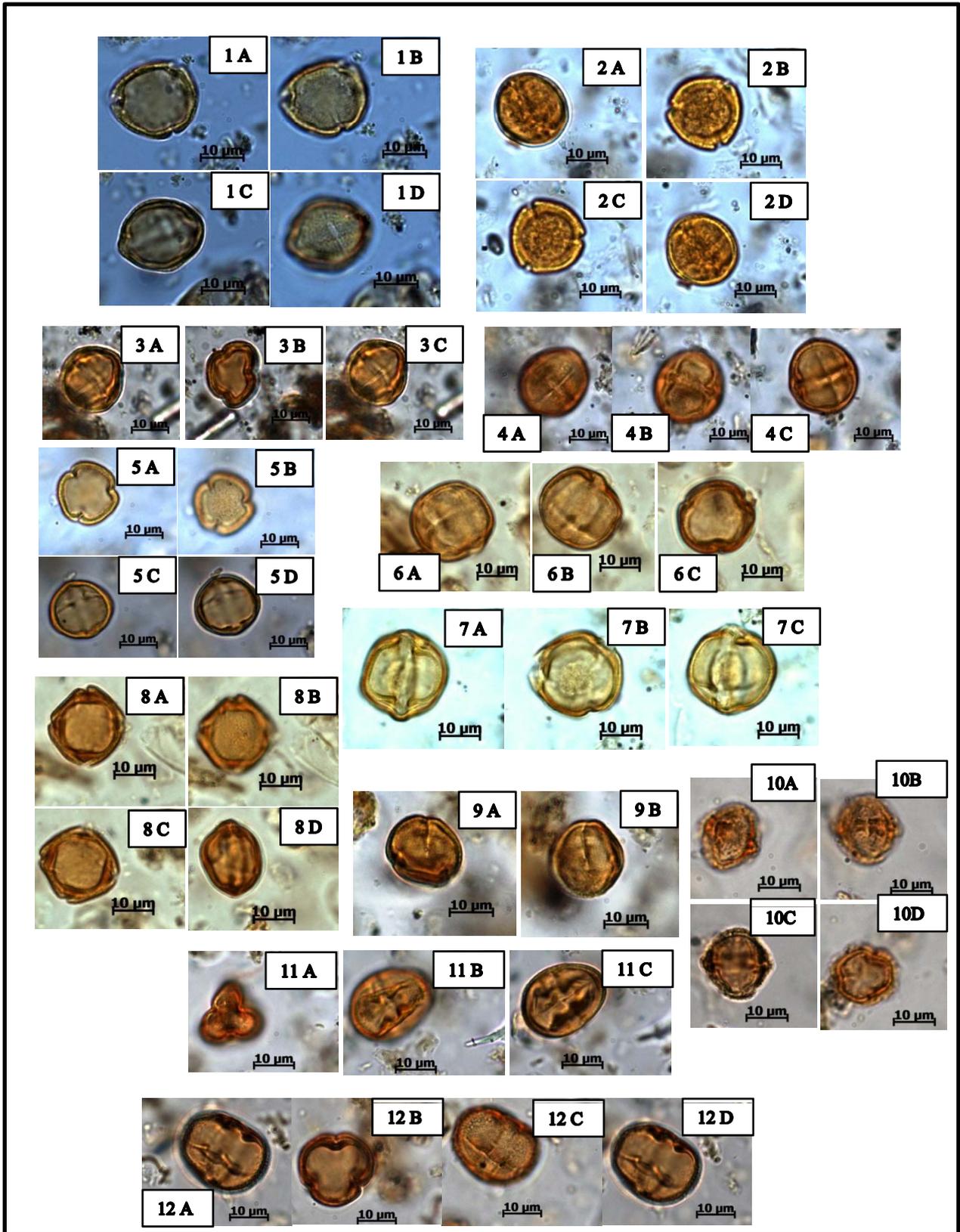
PRANCHA VII: Fabaceae – Faboidae: Fabaceae tipo 9 (1 A, B, C e D); Fabaceae tipo 10 (2 A, B, C e D); Fabaceae tipo 11 (3 A e B); **Fabaceae – Caesalpinioideae:** Cf. *Cassia* sp (4 A, B, C e D); **Fabaceae – Mimosoidae:** Mimosoidae (5 A); **Limnocharitaceae:** Limnocharitaceae tipo 1 (6 A e B) **Malpighiaceae:** *Byrsonima* sp (7 A, B e C); **Malvaceae/bombacaceae:** *Pseudobombax* sp (8A); **Melastomataceae/Combretaceae:** *Laguncularia* sp (9 A, B e C); Melastomataceae tipo 1 (10 A e B); Melastomataceae tipo 2 (11 A e B).



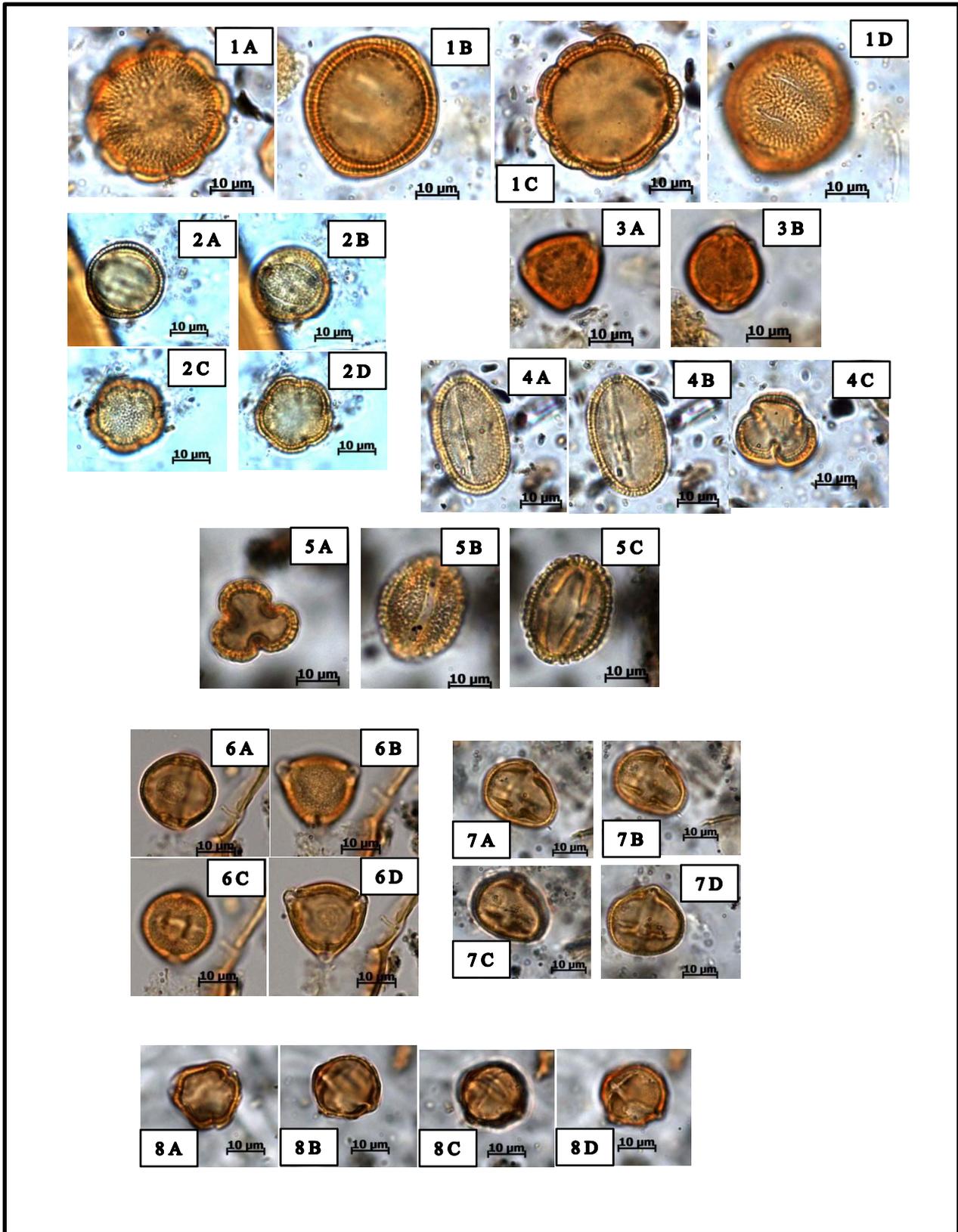
PRANCHA VIII: **Melastomataceae/ Combretaceae:** Melastomataceae tipo 3 (1 A, B e C); Melastomataceae tipo 4 (2 A, B e C); Melastomataceae tipo 5 (3 A, B e C); Melastomataceae tipo 6 (4 A e B); **Meliaceae:** Meliaceae tipo 1 ( 5 A, B, C e D); **Moraceae/ Urticaceae:** tipo 1 (6 A, B, C e D) **Myristicaceae:** *Virola sp* (7 A, B e C); **Myrtaceae:** Myrtaceae tipo 1 (8 A); Myrtaceae tipo 2 (9 A); Myrtaceae tipo 3 (10 A e B); Myrtaceae tipo 4 (11 A).



PRANCHA IX: ; **Piperaceae:** *Piper sp* (1 A e B) ; **Polygonaceae:** Polygonaceae tipo 1 (2 A); **Rhizophoraceae:** *Rizophora* tipo 1 (3 A e B); *Rizophora* tipo 2 (4 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 3 (5 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 4 (6 A e B); *Rizophora* tipo 5 (7 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 6 (8 A, B e C); *Rizophora* tipo 7 (9 A, B e C).



PRANCHA X: **Rhizophoraceae**: *Rizophora* tipo 8 (1 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 9 (2 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 10 (3 A, B e C); *Rizophora* tipo 11 ( 4 A, B e C); *Rizophora* tipo 12 (5 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 13 (6 A, B, C); *Rizophora* tipo 14 (7 A, B e C); *Rizophora* tipo 15 ( 8 A, B, C e D); *Rizophora* tipo 16 (9 A, B); *Rizophora* tipo 17 (10 A ,B, C e D); *Rizophora* tipo 18 ( 11 A, B, C); *Rizophora* tipo 19 (12 A, B, C e D);



PRANCHA XI: **Rubiaceae:** *Borreria sp* tipo 1 (1 A, B, C e D); *Borreria sp* tipo 2 (2, A, B, C e D)  
**Sapindaceae:** Sapindaceae tipo 1 ( 3 A e B); **Salicaceae:** *Salix sp* ( 4 A , B e C ) ; Cf. Salicaceae;  
 tipo 1 ( 5 A, B e C) **Solanaceae:** Solanaceae tipo 1 (6 A, B, C e D) ; Solanaceae tipo 2 (7 A, B, C e D); Solanaceae tipo 3 (8 A, B, C e D);

Anexo C

DIATOMÁCEAS

Parâmetros ecológicos

## PRANCHA I

### COSCINODISCOPHYCEAE:

#### **Thalassiosiraceae:**

<i>Thalassiosira</i> sp tipo 1	(1 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 2	(2 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 3	(3 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 4	(4 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 5	(5 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 6	(6 A e B)
<i>Thalassiosira</i> sp tipo 7	(7 A)

Em geral, gênero marinho, cosmopolita, podendo ser encontrada em estuários (HASLE, 1979, 1978; NAVARRO 1981; HASLE & FRYXELL, 1977; HASLE & SYVERTSEN, 1997, BIGUNAS, 2009).

(8 A)

*Tryblioptychus cocconeiformis* tipo 1

*Tryblioptychus cocconeiformis* tipo 2

(9 A)

Marinhas (PRASAD; NIENOW; LIVINGSTON, 2002)

#### **Stephanodiscaceae:**

<i>Cyclotella striata</i>	(10 A)
---------------------------	--------

Águas marinhas e salobras, abundante no plâncton de estuários durante a primavera (HENDEY, 1964; BIGUNAS, 2009)

#### **Lauderiaceae:**

<i>Lauderia annulata</i>	(11 A)
--------------------------	--------

Comum no fitoplâncton dos oceanos (ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990; BIGUNAS, 2009)

#### **Paraliaceae:**

<i>Paralia sulcata</i> tipo 1	(12 A)
<i>Paralia sulcata</i> tipo 2	(13 A)

Espécie marinha, cosmopolita, que ocorre principalmente no litoral de mares calmos e tropicais (FRENGELLI, 1928; MOREIRA FILHO & KUTNER, 1962; BIGUNAS, 2009; CASTRO, 2010)

## PRANCHA II

### COSCINODISCOPHYCEAE:

#### **Coscinodiscaceae:**

<i>Coscinodiscus excentricus</i> ;	(1 A e B)
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	(2 A)
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	(3 A e B)
<i>Coscinodiscus sp</i> tipo 1	(4 A)
<i>Coscinodiscus sp</i> tipo 2	(5 A)
<i>Coscinodiscus sp</i> tipo 3	(6 A)
<i>Coscinodiscus sp</i> tipo 4	(7 A e B)

Oceânica (HENDEY, 1964), cosmopolita (NAVARRO; 1981), planctônico, mangue com condições marinhas (DE OLIVEIRA, informação pessoal, 2010). (VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009; CASTRO, 2010)

## PRANCHA III

### COSCINODISCOPHYCEAE:

#### **Hemidiscaceae:**

*Hemidiscus ovalis*

(1 A e B)

Oceânica (MOREIRA FILHO, 1962; HENDEY, 1964)

(2 A)

*Actinocyclus octanarius*

*Actinocyclus sp*

(3 A e B)

Marinha, nerítica, planctônica (MOREIRA FILHO et al., 1971; ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990; VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009)

(4 A)

*Cymatotheca weissflogii*

Águas costeiras (VOIGT, 1960) marinha planctônica (MOSIMANN et al., 1993). (VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009)

#### **Heliopeltaceae:**

*Actinoptychus splendens*

(5 A e B);

*Actinoptychus undulatus*

(6 A e B);

*Actinoptychus sp*

(7 A);

Litorânea (HENDEY, 1964), marinha, nerítica, ocasionalmente planctônica (MOREIRA FILHO & KURTNER, 1962). (BIGUNAS, 2009)

#### **Triceratiaceae:**

*Pleurosira sp*

(8 A)

Marinha (VAN HEURK, 1896). (BIGUNAS, 2009)

## PRANCHA IV

### COSCINODISCOPHYCEAE:

#### **Plagiogrammaceae:**

*Plagiogramma sp;* (1 A e B)

Marinhas (FRENGELLI, 1928; HENDEY, 1964; ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990)

*Dimegramma minor* (2 A e B)

Marinhas (VAN HEURK, 1896). (BIGUNAS, 2009)

#### **Cymatosinaceae:**

*Plagiogramopsis vanheurckii* (3 A)

Marinhas (FRENGELLI, 1928). (BIGUNAS, 2009)

#### **Biddulphiaceae:**

*Biddulphia plana* (4 A e B)

### FRAGILARIOPHYCEAE:

#### **Fragilariaceae:**

*Fragilaria sp* (5 A)

Mangue (DE OLIVEIRA, informação pessoal, 2010), típica do Rio Amazonas (METZELTIN, LANGE-BERTOLAT, 1998) Água moderadamente salobra (HODGSON; VYVERMAN, TYLER, 1997)

*Opephora sp* (6 A)

Água salobra (SUNDBÄCK, 1987), marinha (ROUND et al., 1990). VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009)

*Trachysphenia acuminata* (7 A e B)

Marinha (WITKOWSKI, LANGE-BERTOLAT, METZELTIN, 2000). (BIGUNAS, 2009)

*Desikaneiss grassneri* (8 A)

Salobra (PRASAD, LIVINGSTON, 1993). (BIGUNAS, 2009)

PRANCHA IV (continuação)

**Thalassionemathaceae:**

*Thalassionema nitzschioides*

(9 A e B)

Marinha e estuarina, cosmopolita em águas temperadas e tropicais (NAVARRO, 1982). Neríticas e planctônicas (MOREIRA- FILHO, 1961). (BIGUNAS, 2009)

**BACILLARIOPHYCEAE:**

**Eunotiaceae:**

*Eunotia bilunaris*

(10 A e B)

*Eunotia tenella*

(11 A e B)

*Eunotia zygodon*

(12 A e B)

Gênero restrito à água doce. (ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990)

## PRANCHA V

### BACILLARIOPHYCEAE:

#### **Eunotiaceae:**

<i>Eunotia</i> sp tipo 1	(1 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo 2	(2 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo 3	(3 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo 4	(4 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo5	(5 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo 6	(6 A)
<i>Eunotia</i> sp tipo 7	(7 A)

Gênero restrito à água doce. (ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990). (BIGUNAS, 2009)

#### **Achnanthaceae**

<i>Achnanthes parvula</i>	(8 A)
---------------------------	-------

Regiões costeiras e salobras (KRAMMER E LANGE-BERTALOT, 1991) Litorais com baixa salinidade (MOREIRA- FILHO, 1960). (VIDOTTO,2008)

#### **Cocconeidaceae:**

<i>Cocconeis</i> sp	(9 A)
---------------------	-------

Água doce, podendo suportar condições salobras (PATRICK; REIMER, 1966). (VIDOTTO, 2008)

#### **Diadesmidaceae:**

<i>Luticola</i> sp	(10 A)
--------------------	--------

Gênero de água doce ou levemente salobra (ROUND, CRAWFORD, MANN, 1990)

#### **Amphipleuridaceae:**

<i>Frustilia krammeri</i>	(11 A)
---------------------------	--------

Comum em água doce, pântanos e lagos, podendo ocorrer no litoral (HENDEY, 1964; PATRICK, REIMER, 1966). (BIGUNAS, 2009)

<i>Frustulia crassinervia</i>	(12 A)
-------------------------------	--------

Água doce e litorânea (KRAMMER E LANGE-BERTALOT, 1991; COCQUYT, 1998)

<i>Frustulia</i> sp	(13 A)
---------------------	--------

Água doce ou levemente salobra (MOREIRA-FILHO & KUTNER, 1962). (VIDOTTO, 2008)

PRANCHA V (continuação)

**Brachysiraceae:**

*Brachysira brebissonii*

(14 A)

*Brachysira serians*

(15 A)

Água doce (HODGSON; VYVERMAN, TYLER, 1997) e salobra  
(COCQUYT, 1998)

## PRANCHA VI

### BACILLARIOPHYCEAE:

#### **Pinnulariaceae:**

*Pinnularia divergens* (1 A)

Água doce (VAN HEURCK, 1896)

*Pinnularia sp* (2 A)

Água doce, bentônica (ROUND et al., 1990)

*Caloneis sp* (3 A)

Água doce, levemente salobra (PATRICK & REIMER, 1966) baías e estuários (MOREIRA FILHO & KUTNER, 1962). (VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009).

#### **Diploneidaceae:**

*Diploneis ovalis* (4 A)

*Diploneis crabro* (5 A)

Água doce, aerófila (COCQUYT, 1998; MOREIRA FILHO, 1966). (AMARAL, 2008; BIGUNAS, 2009).

#### **Naviculaceae:**

*Navicula anglica* (6 A e B)

Água salobra (PATRICK & REIMER, 1966).

*Navicula humerosa* (7 A)

*Navicula luxoriensis* (8 A e B)

Água doce (FOGED, 1980).

*Navicula monilifera* (9 A e B)

Aerófila, oligosalina, perifítica (FOGED, 1984)

*Navicula mutica* (10 A)

*Navicula sp* tipo 1 (11 A)

*Navicula sp* tipo 2 (12 A)

(AMARAL, 2008; BIGUNAS, 2009)

PRANCHA VI (continuação)

*Hippodonta hungarica* (13 A e B)

Água doce, levemente salobra (LANGE-BERTALOT, 2001).  
(BIGUNAS, 2009)

*Capartogramma sp tipo 1* (14 A e B)

*Capartogramma sp tipo 2* (15 A)

Água levemente salobra e doce (PATRICK & REIMER, 1966)

## PRANCHA VII

### BACILLARIOPHYCEAE:

#### **Pleurosigmataceae:**

*Gyrosigma* sp (1 A)

Salobra, marinho costeiro, enseadas e estuários (HENDEY, 1964; PATRICK; REIMER, 1966) mares de baixa salinidade (MOREIRA FILHO & KUTNER, 1962). (VIDOTTO, 2008; BIGUNAS, 2009)

#### **Plagiotropidaceae:**

*Plagiotropsis seriata* (2 A)

Regiões costeiras (HUSTED, 1955)

#### **Catenulaceae:**

*Amphora coffaeiformis* (3 A)

Salobros marinhos (VAN HEURCK, 1896)

*Amphora ovalis* (4 A e B)

Água doce, bentônica (PATRICK & REIMER; 1975). (VIDOTTO, 2008).

*Amphora* sp (5 A e B)

#### **Bacillariaceae:**

*Tryblionella debilis* (6 A)

Água doce (VAN HEURCK, 1986) aerófilo (KRAMER et al., 1988). (BIGUNAS, 2009)

*Tryblionella granulata* (7 A)

Bentônico de ambiente marinho (COCQUYT, 1998). (BIGUNAS, 2009).

*Tryblionella perversa* (8 A)

(BIGUNAS, 2009).

*Tryblionella Punctata* var. *elongata*. (9 A)

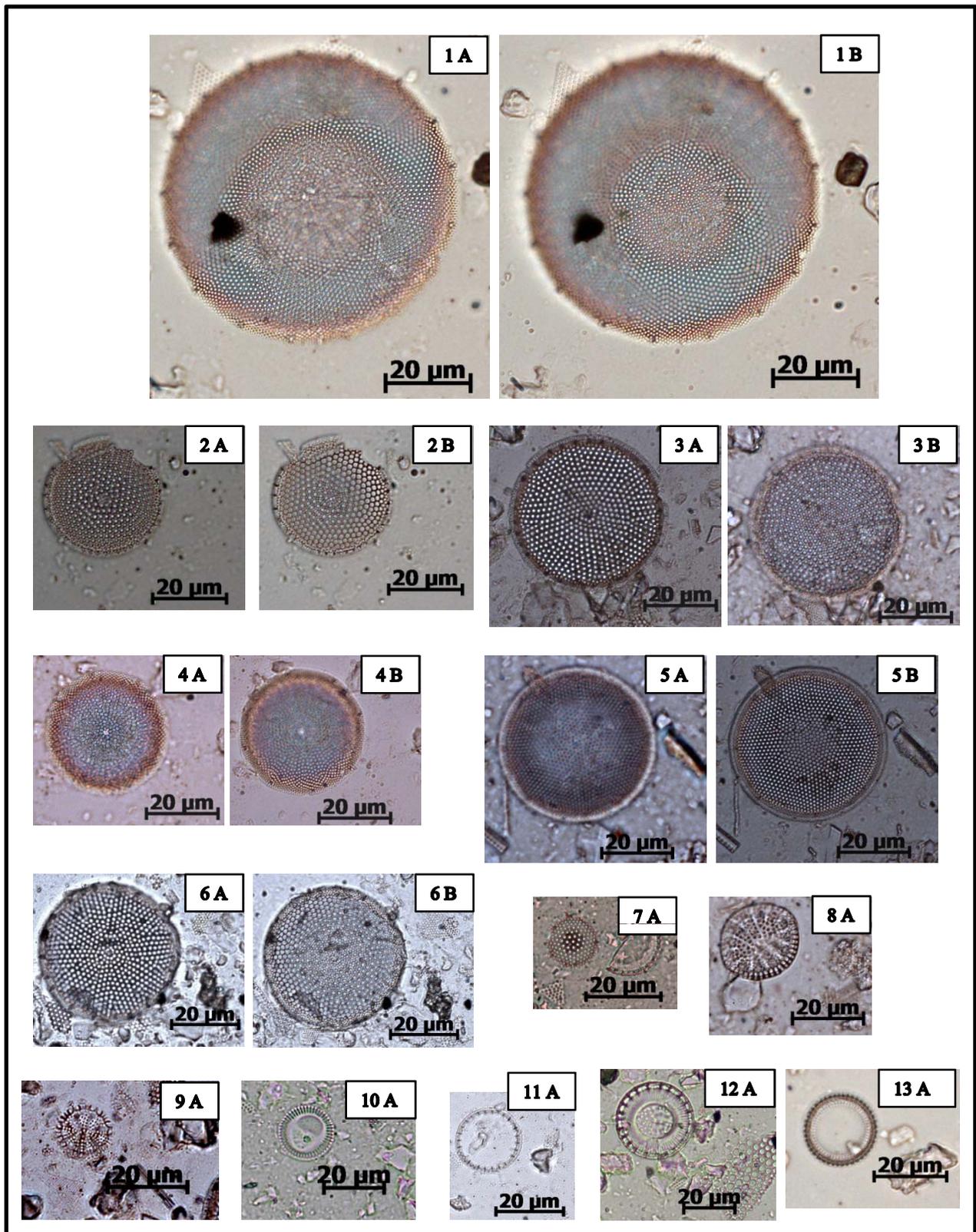
Marinhas (VAN HEURCK, 1896). (BIGUNAS, 2009)

PRANCHA VII (continuação)

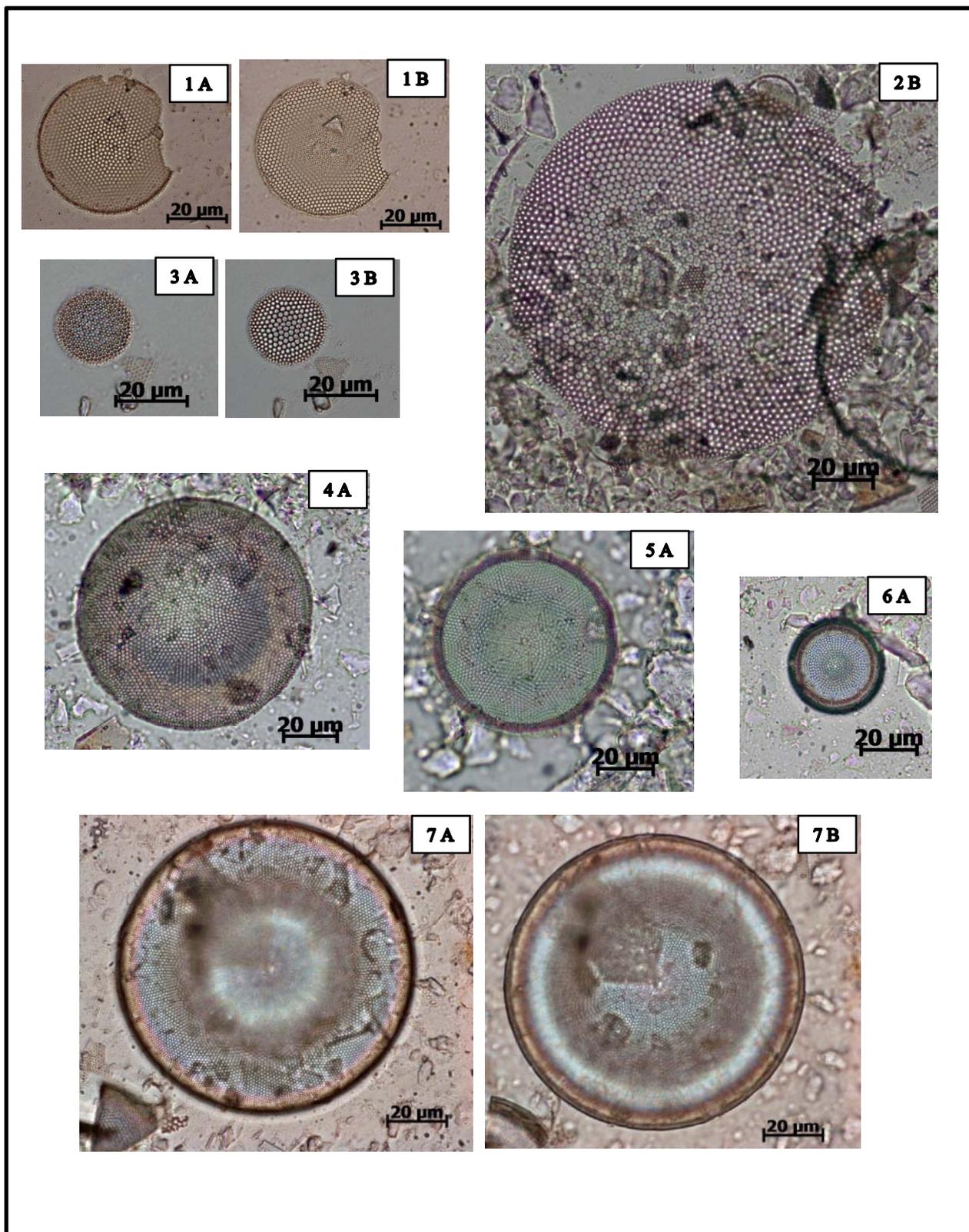
- Nitzschia granulata* var. *hyalina* (10 A)  
Eusalina, mesosalina, planície de maré, bentônica (WITKOWSKI, 2001; DENYS, 1991). (AMARAL, 2008).
- Nitzschia navicularis* (11 A)  
Perifítica, mesosalina (DENYS, 1991). (AMARAL, 2008).
- Nitzschia granulata grunowii* Cleve & möller (12 A)  
Marinha, estuarina, de águas salobras (MOREIRA FILHO & KUTNER, 1962). (VIDOTTO, 2008; AMARAL, 2008).
- Nitzschia punctata* (13 A)  
Salobra (MORO & FÜRSTENBERGER, 1997). (VIDOTTO, 2008).
- Nitzschia simplex* (14 A)  
(BIGUNAS, 2009)
- Nitzschia terrestris* (15 A)  
Planctônico (MORO & FÜRSTENBERGER, 1997). (VIDOTTO, 2008).
- Nitzschia triblionella* (16 A)  
Salobra, perifítico, planctônico. (MORO & FÜRSTENBERGER, 1997)
- Hantzschia amphioxys* (17 A)  
Água doce, levemente salobra (VAN HEURCK, 1896)
- Roupalodiaceae:**
- Roupalodia gibberula* (18 A)  
Salobra (HODGSON et al., 1997) litoral, planctônica (MORO & FÜRSTENBERGER, 1997).
- Surirellaceae:**
- Surirella robusta* (9 A)  
Água doce (VAN HEURCK, 1986), litorânea, planctônica (MORO & FÜRSTENBERGER, 1997)

## Anexo D

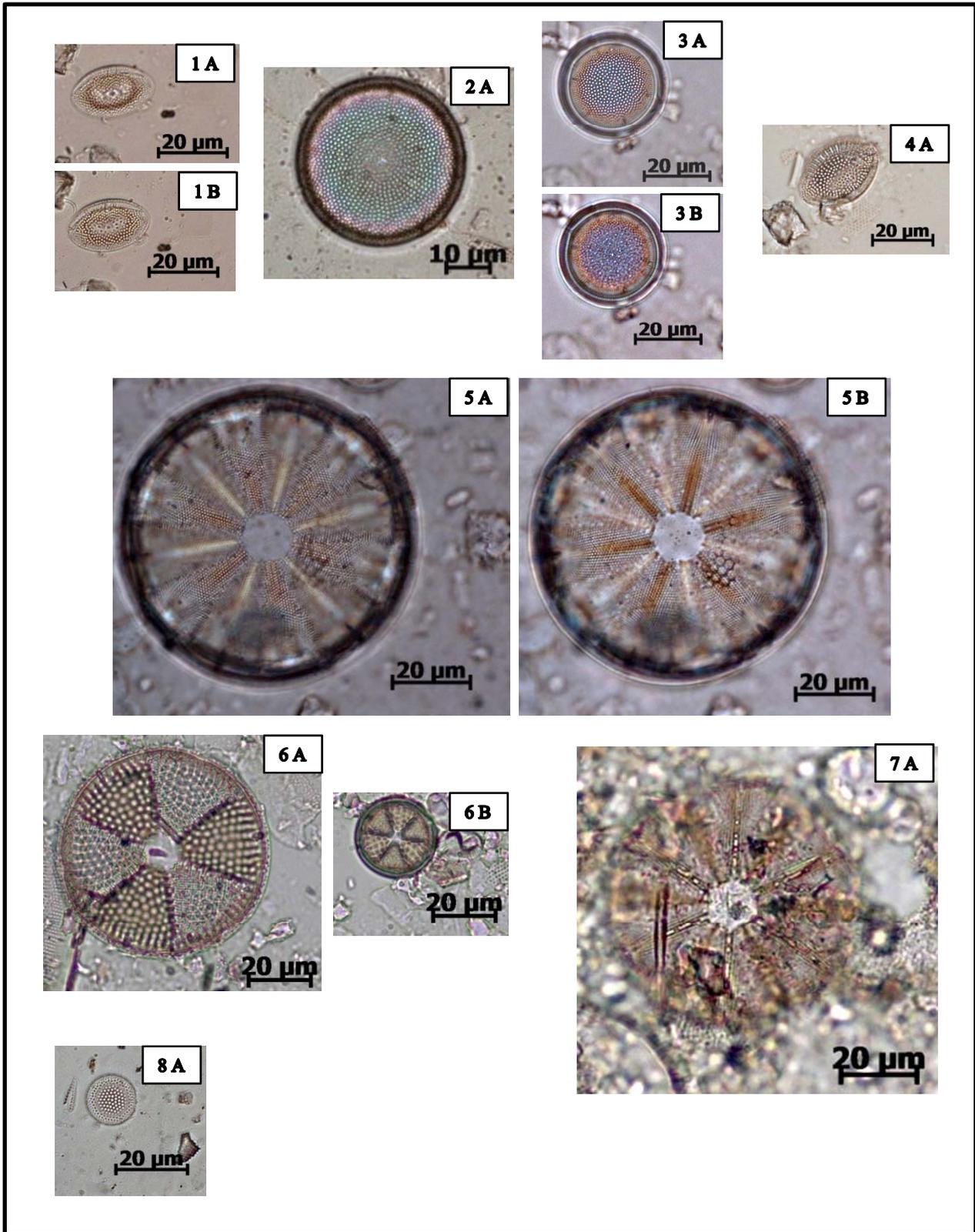
### Fotografias das diatomáceas



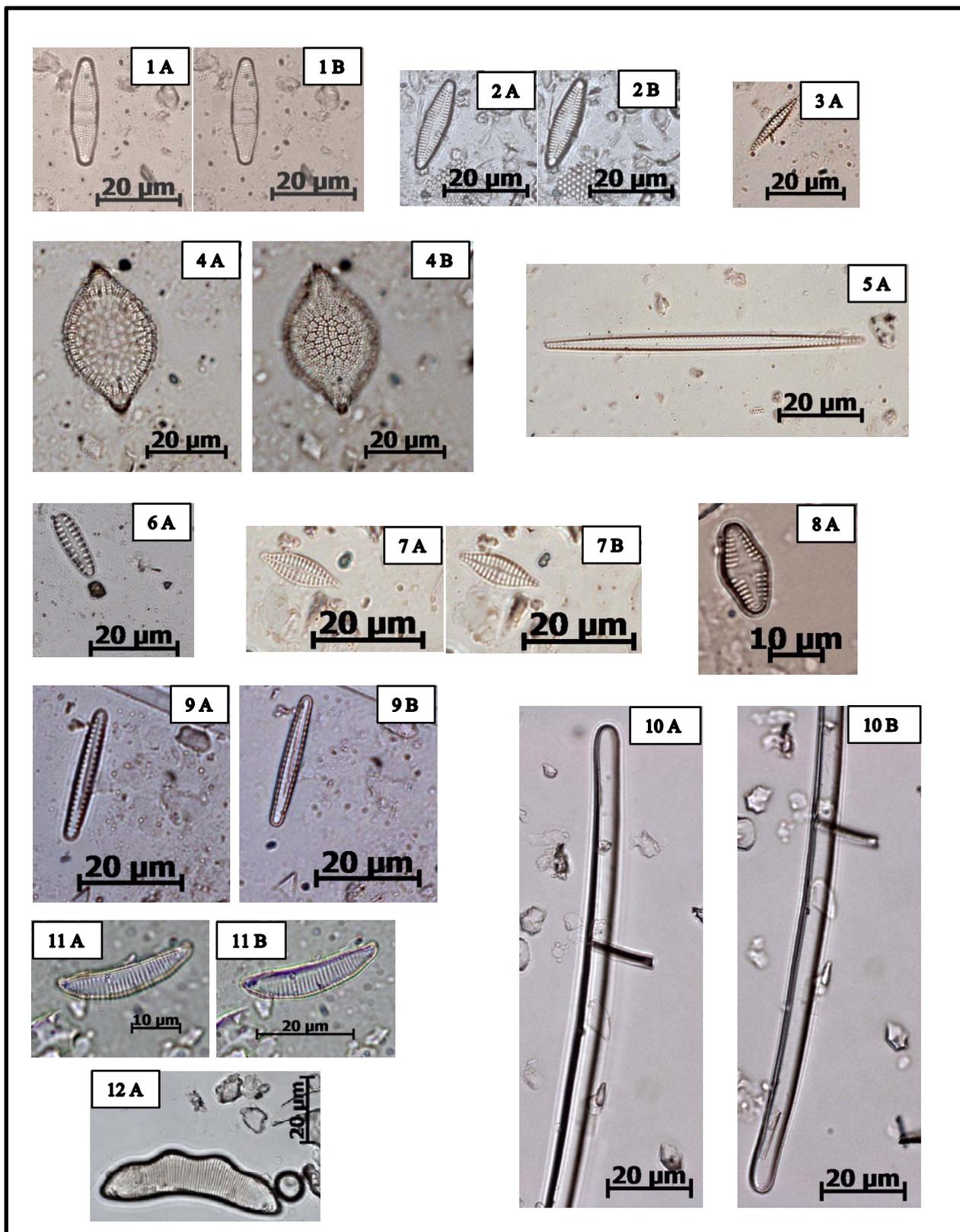
PRANCHA I: COSCINODISCOPHYCEAE: **Thalassiosiraceae**: *Thalassiosira* sp tipo 1 (1 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 2 (2 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 3 (3 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 4 (4 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 5 (5 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 6 (6 A e B); *Thalassiosira* sp tipo 7 (7 A); *Tryblioptychus cocconeiformis* tipo 1 (8 A); *Tryblioptychus cocconeiformis* tipo 2 (9 A); **Stephanodiscaceae**: *Cyclotella striata* (10 A); **Lauderiaceae**: *Lauderia annulata* (11 A); **Paraliaceae**: *Paralia sulcata* tipo 1 (12 A); *Paralia sulcata* tipo 2 (13 A)



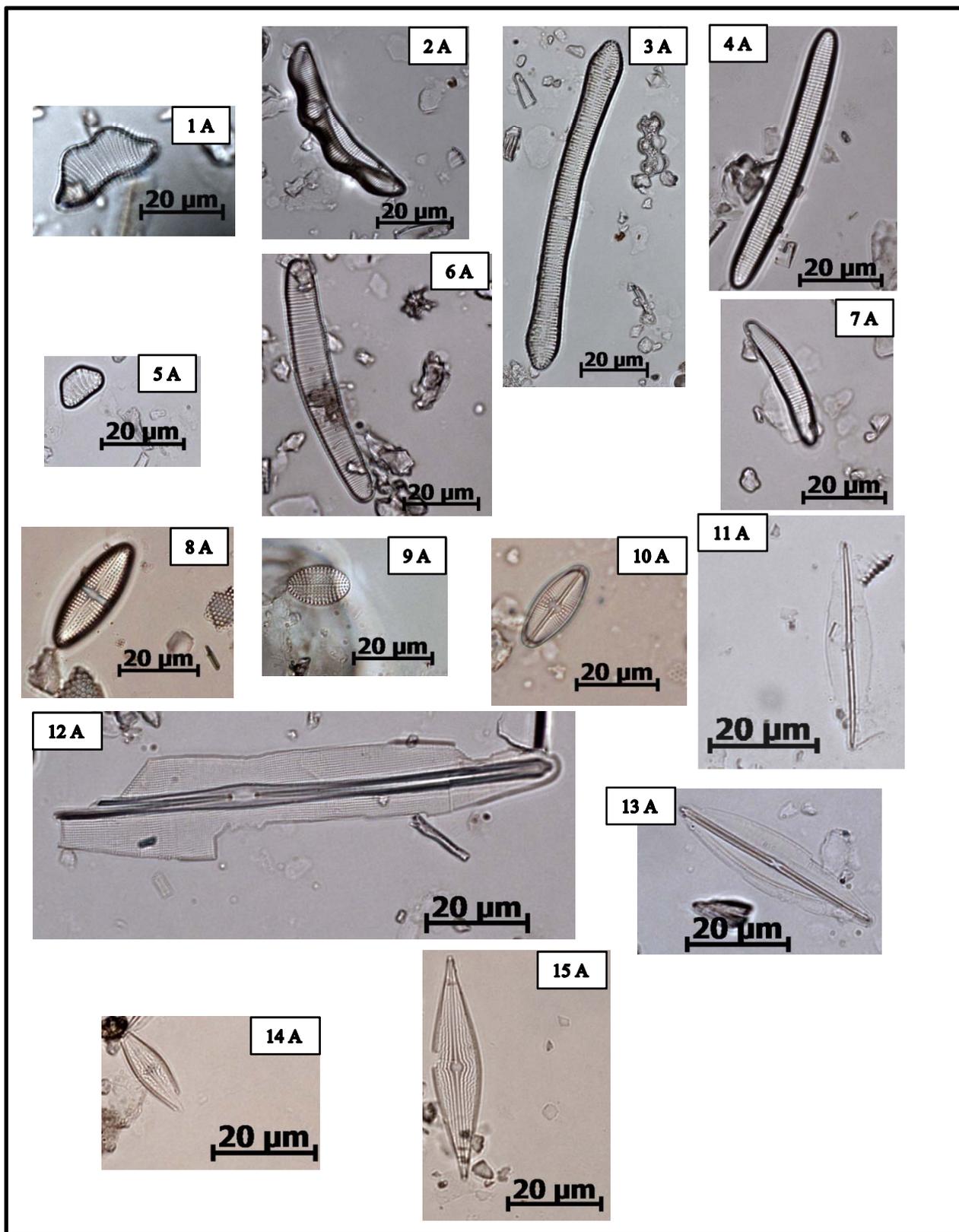
PRANCHA II: COSCINODISCOPHYCEAE: **Coscinodiscaceae**: *Coscinodiscus excentricus*; (1 A e B) *Coscinodiscus marginatus* (2 A); *Coscinodiscus radiatus* (3 A e B) *Coscinodiscus* sp tipo 1 (4 A); *Coscinodiscus* sp tipo 2 (5 A); *Coscinodiscus* sp tipo 3 (6 A); *Coscinodiscus* sp tipo 4 (7 A e B)



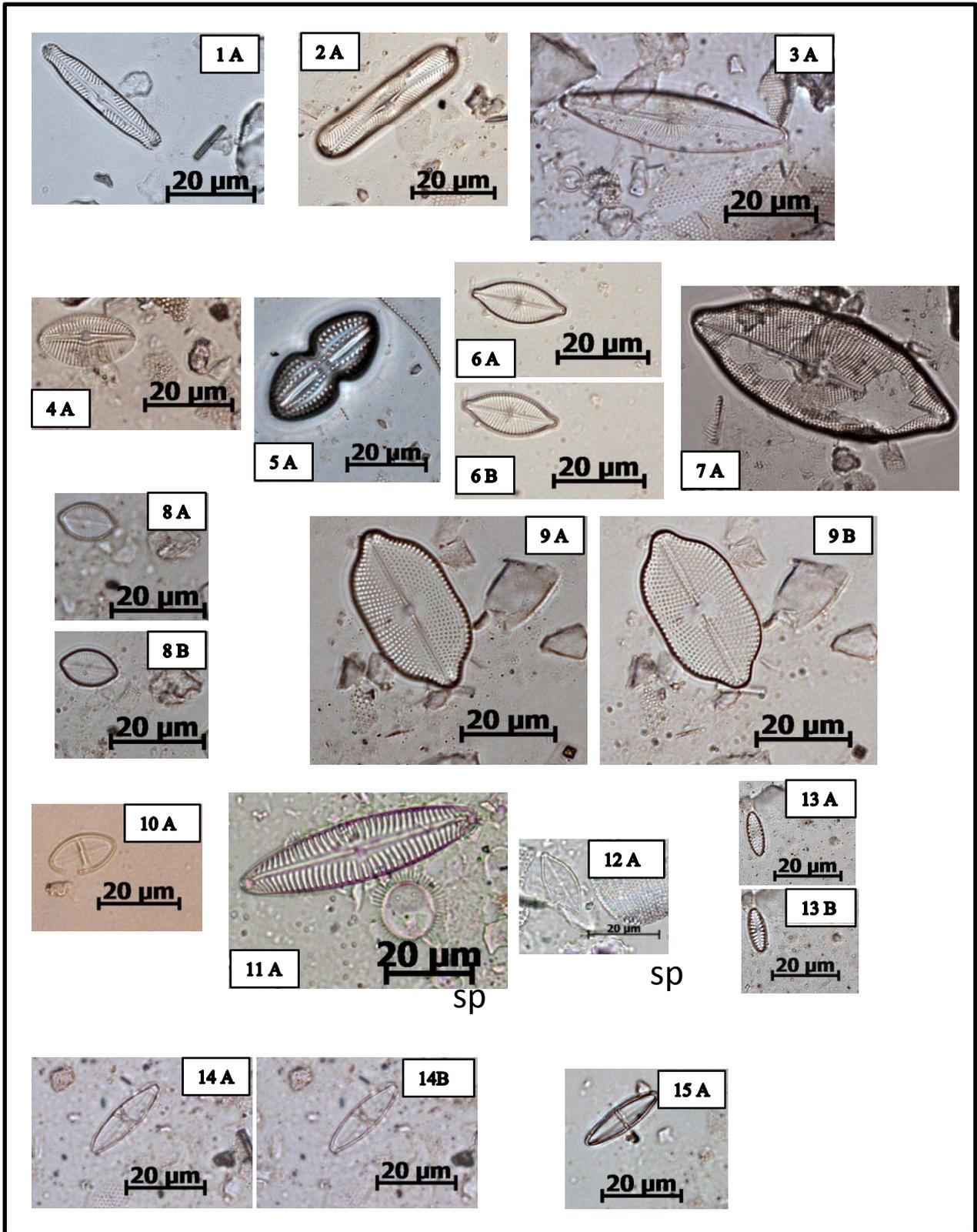
PRANCHA III: COSCINODISCOPHYCEAE: **Hemidiscaceae:** *Hemidiscus ovalis* (1 A e B) *Actinocyclus octanarius* (2 A); *Actinocyclus* sp (3 A e B); *Cymatotheca weissflogii*; (4 A) **Heliopeltaceae:** *Actinoptychus splendens* (5 A e B); *Actinoptychus undulatus* (6 A e B); *Actinoptychus* sp (7 A); **Triceratiaceae:** *Pleurosira* sp (8 A)



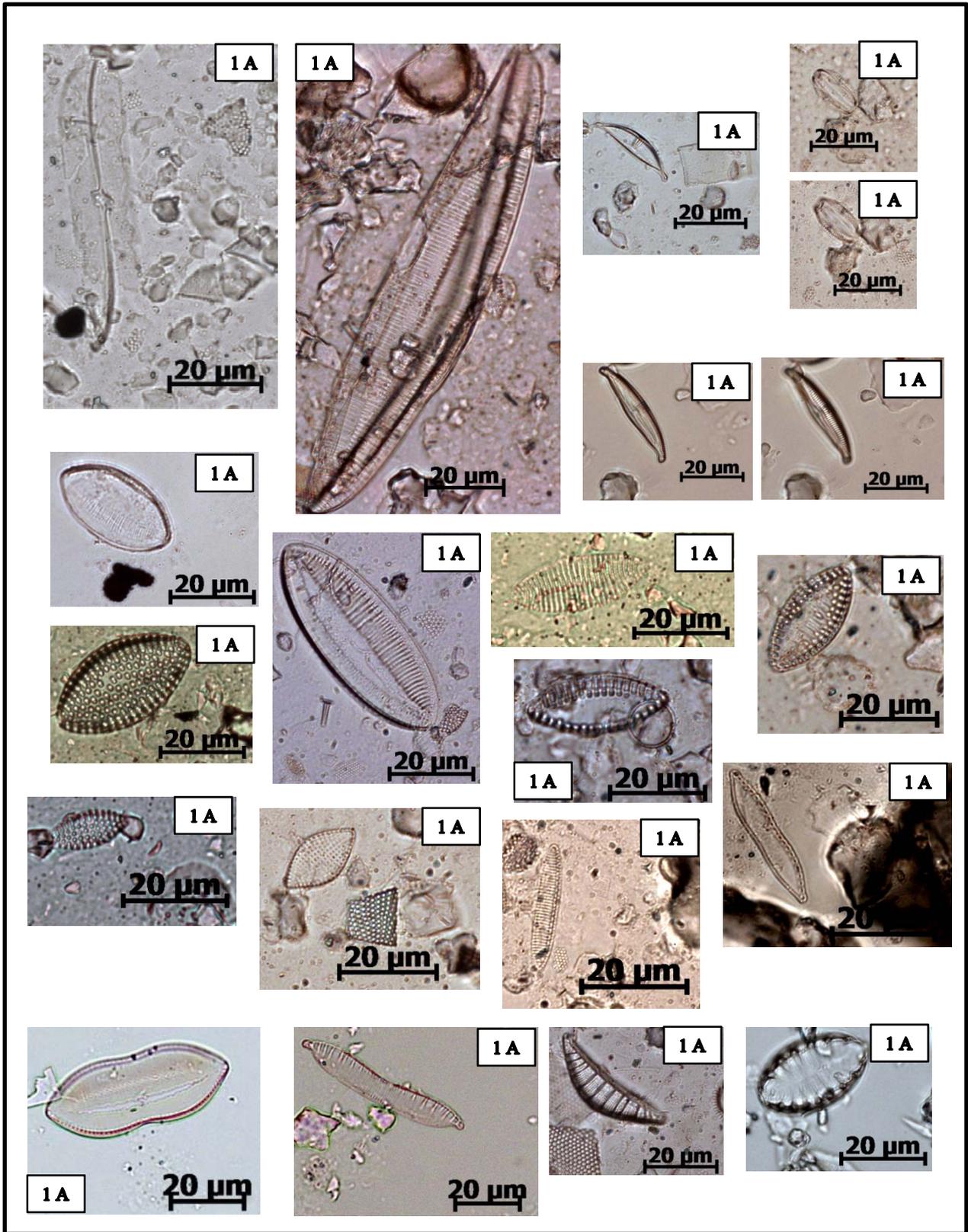
PRANCHA IV: COSCINODISCOPHYCEAE: **Plagiogrammaceae:** *Plagiogramma* sp; (1 A e B) *Dimegramma minor* (2 A e B) ; **Cymatosinaceae:** *Plagiogramopsis vanheurckii* (3 A) ; **Biddulphiaceae:** *Biddulphia plana* (4 A e B) ; FRAGILARIOPHYCEAE: **Fragilariaceae:** *Fragilaria* sp (5 A) ; *Opephora* sp (6 A) ; *Trachysphenia acuminata* (7 A e B) ; *Desikaneiss grassneri* (8 A) ; **Thalassionemathaceae:** *Thalassionema nitzschioides* (9 A e B) ; BACILLARIOPHYCEAE: **Eunotiaceae:** *Eunotia bilunaris* (10 A e B) , *Eunotia tenella* (11 A e B) ; *Eunotia zygodon* (12 A e B).



PRANCHA V: BACILLARIOPHYCEAE: **Eunotiaceae**: *Eunotia* sp tipo 1 (1 A); *Eunotia* sp tipo 2 (2 A); *Eunotia* sp tipo 3 (3 A); *Eunotia* sp tipo 4 (4 A); *Eunotia* sp tipo 5 (5 A); *Eunotia* sp tipo 6 (6 A); *Eunotia* sp tipo 7 (7 A); **Achnanthaceae**: *Achnanthes parvula* (8 A); **Cocconeidaceae**: *Cocconeis* sp (9 A); **Diadesmidaceae**: *Luticola* sp (10 A); **Amphipleuridaceae**: *Frustulia krammeri* (11 A); *Frustulia crassinervia* (12 A); *Frustulia* sp (13 A); **Brachysiraceae**: *Brachysira brebissonii* (14 A); *Brachysira seriens* (15 A)



PRANCHA VI: BACILLARIOPHYCEAE: **Pinnulariaceae:** *Pinnularia divergens* (1 A); *Pinnularia* sp (2 A); *Caloneis* sp (3 A); **Diploneidaceae:** *Diploneis ovalis* (4 A); *Diploneis crabro* (5 A); **Naviculaceae:** *Navicula anglica* (6 A e B); *Navicula humerosa* (7 A); *Navicula luxoriensis* (8 A e B); *Navicula monilifera* (9 A e B); *Navicula mutica* (10 A); *Navicula* sp tipo 1 (11 A); *Navicula* sp tipo 2 (12 A); *Hippodonta hungarica* (13 A e B); *Capartogramma* sp tipo 1 (14 A e B); *Capartogramma* sp tipo 2 (15 A).



PRANCHA VII: BACILLARIOPHYCEAE: **Pleurosigma** sp; **Plagiotropidaceae**: *Plagiotropsis seriata*; **Catenulaceae**: *Amphora coffaeiformis*; *Amphora ovalis*; *Amphora* sp; **Bacillariaceae**: *Tryblionella debilis*; *Tryblionella granulata*; *Tryblionella perversa*; *Tryblionella Punctata*; *Nitzschia granulata* var. *hyalina* ; *Nitzschia navicularis*; *Nitzschia granulata*; *Nitzschia punctata*; *Nitzschia simplex*; *Nitzschia terrestris*; *Nitzschia triblionella*; *Hantzschia amphioxys*; **Roupalodiaceae**: *Rhoupalodia gibberula*; **Surirellaceae**: *Surirella robusta*.

Anexos E F G H

TABELAS

Anexo E - Concentração em Grãos/cm<sup>3</sup> dos palinórfos encontrados no testemunho R<sub>IV</sub>

	0 - 2	6 - 8	12 - 14	18 - 20	24 - 26	30 - 32	40 - 41	52 - 54	68 - 70
Amaranthaceae	0	929.2	0	0	0	0	0	0	0
Anacardiaceae	0	0	758.5	0	0	0	0	74	0
Arecaceae	0	0	0	0	0	98.6	233.7	74	89.1
Mauritia	0	0	0	0	0	0	233.7	74	89.1
Bignoneaceae	0	0	0	0	271.3	98.6	0	0	0
Alchornea	0	0	0	0	271.3	197.2	0	0	0
Bombacaceae	0	0	0	0	0	0	0	74	0
Euphorbiaceae	0	1858.3	0	0	0	0	0	0	0
Sebastiania	0	0	0	0	0	0	0	0	89.1
Fabaceae	1517	0	758.5	2627.9	244.6	1281.6	1168.7	1406.7	534.8
Dioclea	379.2	1858.3	379.2	0	0	0	0	0	0
Byrsonima	379.2	0	379.2	375.4	271.3	98.6	701.2	74	0
Melastomataceae*	379.2	0	758.5	0	0	0	0	518.3	89.1
Meliaceae	0	0	0	0	0	0	0	74	0
Virola	0	0	0	0	0	0	0	74	0
Myrtaceae	0	3716.6	0	375.4	0	295.8	233.7	296.1	267.4
Podocarpus	0	0	0	0	0	0	0	74	0
Sapindaceae	0	3716.6	0	750.8	0	0	0	74	0
Asteraceae	0	2787.5	0	375.4	0	0	233.7	148.1	0
Hediosmum racemosum	0	0	0	0	0	0	233.8	148.2	0
Cyperaceae	1896.2	0	0	0	0	0	0	74	0
Poaceae >50	758.5	0	379.2	0	0	591.5	0	888.4	178.3
Poaceae <50	3034	2787.5	6067.9	2254.5	542.6	394.3	233.7	370.2	89.1
Borreria	0	0	379.2	0	271.3	197.2	233.7	0	0
Solanaceae	0	0	0	0	0	98.6	0	0	267.4
Avicennia	379.2	3716.6	1517	375.4	271.3	492.9		666.3	89.1
Rhizophora	128564	317769.3	121358.4	123511.3	94949.6	35983	78773.2	24135.7	28966.3

(Continua)

Anexo E - Concentração em Grãos/cm<sup>3</sup> dos palinomorfos encontrados no testemunho R<sub>IV</sub> (conclusão)

	0 - 2	6 - 8	12 - 14	18 - 20	24 - 26	30 - 32	40 - 41	52 - 54	68 - 70
Laguncularia	0	0	0	0	0	98.6	467.5	0	267.4
Esporos monolete psilado	0	0	379.2	0	0	0	0	0	178.3
Esporo monolete verrucado	0	929.2	0	0	0	0	0	0	0
Esporo trilete psilado	0	929.2	1517	0	2712.8	887.3	1168.7	370.2	178.3
Esporo trilete verrucado	379.2	0	379.2	0	813.9	0	233.7	148.1	0
Destruídos	5688.7	7433.2	3413.2	2627.9	2712.8	2661.8	2103.7	1702.8	1069.5
Indeterminados	2275.5	5574.9	4550.9	3754.1	2984.1	429.9	3506.2	3331.6	802.1

Anexo F - Concentração em Grãos/cm<sup>3</sup> dos palinomorfos encontrados no testemunho Jab

	0 - 2	26 - 28	34 - 36	42 - 44	48 - 50	76 - 78	96 - 98	116 - 118	130 - 132	142 - 144	206 - 208	220 - 222	226 - 228	234 - 236	252 - 254
Alchornea	198,7	0	0	0	0	0	0	0	167,4	0	0	0	0	0	0
Anacardiaceae	198,7	0	0	119,4	0	0	0	155,2	0	0	0	457,7	0	273,3	0
Ilex SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Araliaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arecaceae	993,7	892	0	0	0	44,4	0	0	167,4	0	0	0	0	0	0
Mauritia	99,4	297,3	0	39,8	61,8	44,4	144,6	0	0	263,6	0	0	0	0	242,9
Alnus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euphorbiaceae	0	0	136,6	0	61,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sebastiania	0	0	0	39,8	0	88,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabaceae	23452,3	41031,3	40582	358,1	494,7	354,8	0	543,1	1674,1	1976,9	484,8	457,7	0	409,9	23805,7
Dalbergia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136,6	0
Mimosoidae	0	0	0	0	61,8	0	578,5	0	0	0	0	183,1	0	136,6	0
Byrsonima	198,7	0	0	39,8	0	0	578,5	155,2	0	395,4	80,8	91,5	0	0	0
Melast/Combre*	795	148,7	136,6	39,8	61,8	177,4	144,6	232,8	334,8	0	161,6	91,5	0	273,3	0
Moraceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161,6	91,5	0	0	0
Myrtaceae	0	148,7	0	0	0	0	0	0	167,4	131,8	0	183,1	0	0	0
Piperaceae	894,4	1189,3	136,6	0	0	0	0	0	0	131,8	0	0	0	0	0
Prockia	0	0	0	0	0	0	0	155,2	0	131,8	0	0	0	0	0
Salix	198,7	1189,3	136,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tilia	0	0	0	39,8	0	0	0	0	167,4	0	0	0	0	0	0
Amaranthaceae	99,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asteraceae	0	10555,1	0	39,8	0	0	0	0	167,4	0	0	0	0	136,6	0
Bromeliaceae	99,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cyperaceae	2186,2	2824,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erytroxylaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136,6	
Poaceae <50	36371	65709,5	5192,3	159,2	185,5	88,7	433,8	77,6	837,1	131,8	80,8	366,2	0	273,3	485,8
Poaceae >50	10434,3	8622,5	1093,1	39,8		44,4	144,6		334,8	131,8	80,8	91,5	0	136,6	

(continua)

Anexo F – Concentração em Grãos/cm<sup>3</sup> dos palinomorfos encontrados no testemunho Jab (conclusão)

	0 - 2	26 - 28	34 - 36	42 - 44	48 - 50	76 - 78	96 - 98	116 - 118	130 - 132	142 - 144	206 - 208	220 - 222	226 - 228	234 - 236	252 - 254
Onagraceae	99,4	2378,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poligonaceae	2186,2	4013,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Borreria	3577,5	1338	0	39,8	61,8	44,4	0	77,6	0	263,6	80,8	0	0	273,3	424,9
Solanaceae	0	0	0	0	123,7	0	0	0	0	131,8	0	0	0	0	0
Avicennia	1291,9	743,3	2049,6	397,9	371	133,1	144,6	232,8	334,8	790,8	161,6	366,2	0	273,3	242,9
Laguncularia	0	297,3	409,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rhizophora	4968,7	1338	819,8	11380,6	18490,6	15833,2	42372,1	23354,8	48215,4	45732,6	29652	33046,6	0	41538,5	52712,6
Utricularia	198,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limnocharitaceae	3478,1	15609,7	409,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242,9
Azola	397,5	5797,9	136,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monolete psilado	397,5	892	0	0	61,8	88,7	289,2	77,6	0	0	0	0	0	0	0
Monolete verrucado	198,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242,9
Trilete escabrado	99,4	446	0	39,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trilete psilado	1291,9	1932,6	683,2	238,8	185,5	266,1	723,1	0	0	131,8	0	0	0	0	485,8
Trilete reticulado	0	148,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Destruídos	0	1040,6	2186,2	795,8	927,6	221,8	1301,5	1396,6	837,1	1186,1	727,2	1464,7	0	0	1214,6
Indeterminados	3577,5	6987,2	136,6	477,5	247,4	177,4	1880	931,1	1171,9	1317,9	323,2	915,4	0	0	485,8

Anexo G - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho R<sub>IV</sub>.

	6 - 8	22 - 24	34 - 36	52 - 54	62 - 64
<i>Amphora ovalis</i>	0,2	0	0	0	0
<i>Diploneis crabro</i>	0	0,4	1,6	1	1,1
<i>Diploneis ovalis</i>	0,6	0	0,2	0,8	1,5
<i>Diploneis sp</i>	0	0,2	0	0	0
<i>Eunotia tenella</i>	0,2	0,2	0,4	0	0,2
<i>Hippodonta hungarica</i>	0	0,2	0,2	0	0

(continua)

Anexo G - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho R<sub>IV</sub>. (continuação)

	6 - 8	22 - 24	34- 36	52 - 54	62 - 64
<i>Luticola sp</i>	0	0,2	0,2	0	0,7
<i>Navicula luxoriensis</i>	0	0	0,4	0	0
<i>Navicula monilifera</i>	0	0	0,2	0	0
<i>Pinnularia sp</i>	0	0,2	0	0	0,6
<i>Tryblionella debilys</i>	0	0	0,2	0,8	0,2
<i>Fragilaria sp</i>	0	0,4	1	0	0,7
<i>Biddulphia plana</i>	0	0	0,2	0	0
<i>Curviturus grun</i>	0,2	0	1	1,3	0,7
<i>Triceratum favus</i>	0,2	0	0	0	0
<i>Actinoptichus splendens</i>	0,8	3,3	4,6	2,3	1,5
<i>Actinocyclus octanarius</i>	0	0	0,6	0	0,2
<i>Actinocyclus sp</i>	0	0,4	0,2	0	0,2
<i>Actinoptychus undulatus</i>	0	0	0,4	0,8	0,4
<i>Actinoptychus sp</i>	0,6	0,2	0,2	0	0,2
<i>Coscinodiscus sp</i>	7,1	16,7	15,8	31,9	27,7
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	0	1	0	0,8	0,7
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	0	0	5	11,1	9,5
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0,6	0	0,2	0,3	0
<i>Cymatotheca weissflogii</i>	0	0,8	0,6	1,6	3
<i>Hemidiscus ovalis</i>	0	1,2	4,2	1	0
<i>Navicula mutica</i>	0	0,2	0	0	0,7
<i>Nitzschia granulata</i>	0	0	0,4	0,5	0
<i>Nitzschia navicularis</i>	0	0	0,4	0	0
<i>Nitzschia terrestris</i>	0	0	0	0	0,6
<i>Nitzschia triblyonella</i>	0	0	0	0,3	0,2
<i>Paralia sulcata</i>	1,6	4,3	8,4	6,5	4,3
<i>Plagiogramopsis vanheurck</i>	0	0	1	6,7	0,9
<i>Pleurosira sp</i>	0	0,8	0,2	0,5	0,2
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	0	0	0	0,3	0
<i>Thalassiosira sp</i>	0	0,4	3,2	4,9	1,5
<i>Trachysphenia acuminata</i>	0	0,2	0	0	0,2

(continua)

Anexo G - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho R<sub>IV</sub> (conclusão)

	6 - 8	22 - 24	34- 36	52 - 54	62 - 64
<i>Tryblionella perversa</i>	0	0	0	0,3	0,2
<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>	0,2	0,2	2,2	18,1	14,5
<i>Achnanthes parvula</i>	0	0,2	0	0	0
<i>Amphora (cf) coffeaeformis</i>	0	0,2	0	0	0
<i>Amphora sp</i>	0	0,2	0	0	0,2
<i>Cyclotella striata</i>	83,5	60,2	40,7	0	16,5
<i>Desikaneis grassneri</i>	0	0	0	0	0,7
<i>Navicula anglica</i>	0	0,2	0,4	0	0
<i>Nitzschia punctata</i>	0,6	0,2	0	0,3	0,4
<i>Nitzschia simplex</i>	0	0	0	0	0,2
<i>Nitzschia sp</i>	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2
<i>Plagiotrops seriata</i>	0	0	0	0,5	0,2
<i>Rhoupalodia gibberula</i>	0,4	0,8	0	0	0
<i>Caloneis sp</i>	0,2	0,6	0,2	0	0
<i>Capartogramma sp</i>	0,2	0	0,4	0	0
<i>Cocconeis sp</i>	0	0	0,4	1	0
<i>Hantzschia amphioxys</i>	0,2	0	0	0,3	0,2
<i>Navicula sp</i>	0,8	0,4	0,2	0	1,1

Anexo H - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho Jab.

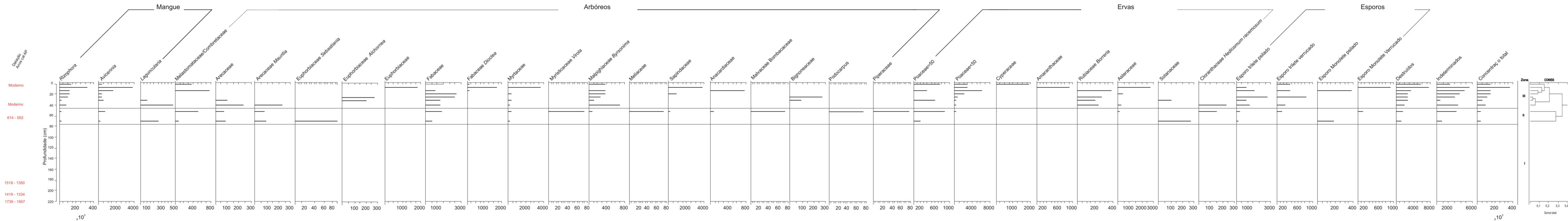
	10 - 12	90 - 92	142 - 144	220 - 222	250 - 252
<i>Diploneis crabro</i>	0	23,9	5,9	10,30	1,40
<i>Diploneis ovalis</i>	0	1,9	0,40	0,60	1,60
<i>Eunotia</i>	39,4	0	0	0	0
<i>Eunotia bilunaris</i>	0,2	0	0	0	0
<i>Eunotia tenella</i>	0	0	0,2	0	0
<i>Eunotia zygo</i>	0,6	0	0	0	0
<i>Luticola</i>	0	0	0	0,2	0
<i>Pinnularia div</i>	0,2	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i>	0,4	0	0	0,2	0
<i>Surirella robusta</i>	2,6	0	0	0	0
<i>Surirella sp</i>	6,7	0	0	0	0
<i>Fragillaria sp</i>	0	2,9	9,5	5,3	5,5
<i>Frustulia krammeri</i>	18,9	0	0	0	
<i>Biddulphia plana</i>	0	0	0	0,6	0,2
<i>Curvitulus</i>	0		0,2	0,2	
<i>Actinoptychus O</i>	0	1	1,1	0,4	0,2
<i>Actinoptychus sp</i>	0	0,2	0,2	0,4	
<i>Coscinodiscus sp</i>	0	0,2	6,3	6,4	8,9
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	0	0	0	0,8	
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	0	2,9	0	9,4	8,7
<i>Coscinodiscus R</i>	0	0	0	0,2	
<i>Cymatotheca weissformis</i>	0	7,1	25,4	12	20,5
<i>Dineminoptichus</i>	0	0	0	0	0,4
<i>Hemidiscus ovalis</i>	0	0	0	0,2	0
<i>Lauderia annulata</i>	0	0,8	0,6	0	0

Anexo H - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho Jab (conclusão).

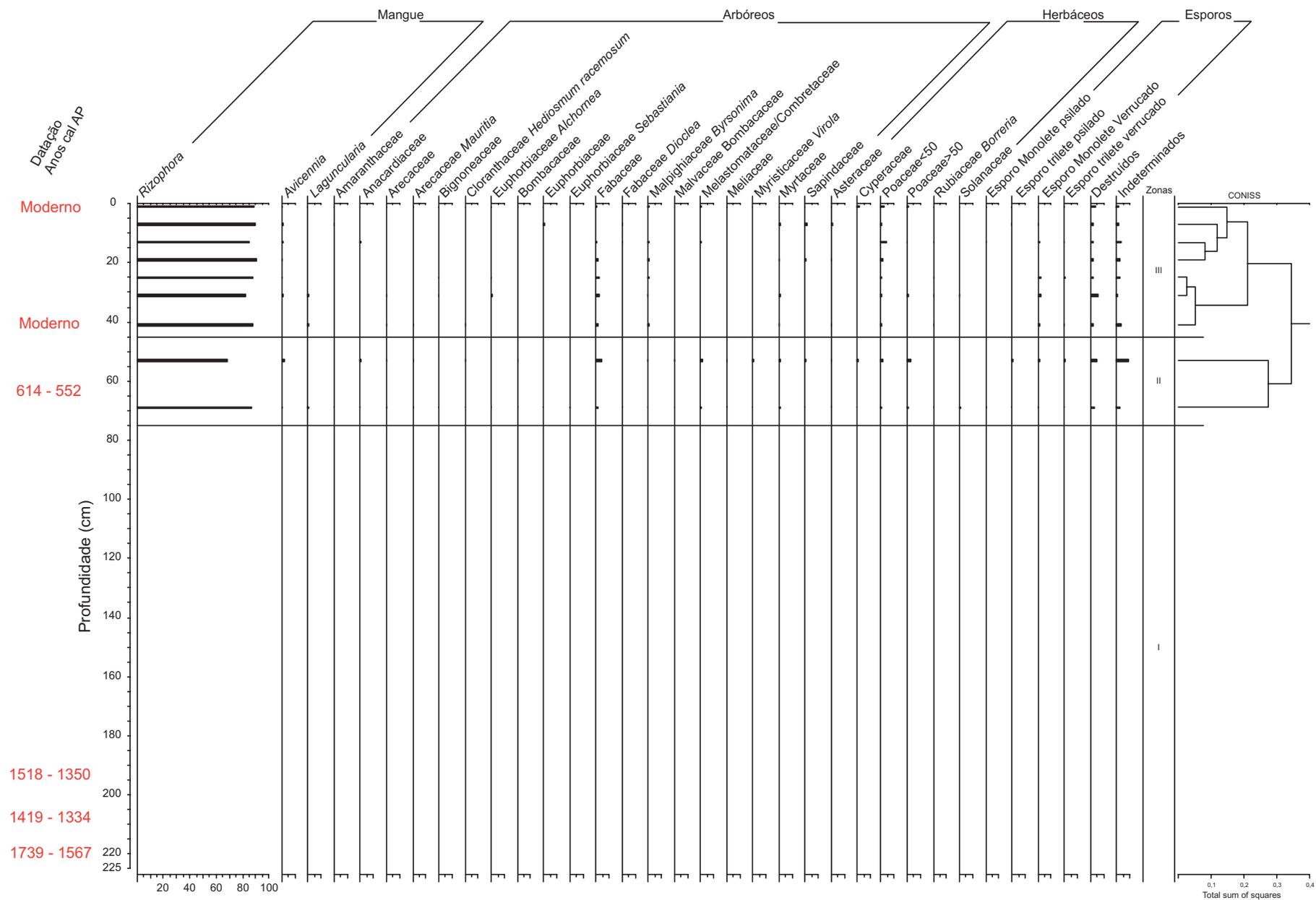
	10 - 12	90 - 92	142 - 144	220 - 222	250 - 252
<i>Nitzschia granulata</i>	0	9,5	2,3	1,1	0,4
<i>Nitzschia navicularis</i>	0	3,3	0,2	0	1,6
<i>Nitzschia terrestris</i>	0	0	0	0,4	0
<i>Paralia sulcata</i>	0	16,2	5,2	12,9	5,7
<i>Plagiogrammopsis</i>	0	0	0	0,2	0,2
<i>Pragiogramma vanheurck</i>	0	6,4	3,4	18,2	12,8
<i>Pleurosira sp</i>	0	0,6	0,4	0	1,8
<i>Thalassiosira sp</i>	0	0,2	1,9	0,8	1,2
<i>Tryblionella granulata</i>	0	1,4	0,4	0,6	2,4
<i>Tryblionella punctata</i>	0	0	0	0	0,2
<i>Tryblionella cocconeiformis</i>	0	0	0	0,2	0,2
<i>Achnanthes parvula</i>	0	0,2	0,6	1,9	0,2
<i>Amphora sp</i>	0	0	0	0,2	0
<i>Cyclotella striata</i>	0,2	10,8	31,1	11,1	23,2
<i>Desikaneiss gra</i>	0	0	0,2	0,4	0,2
<i>Gyrosigma sp</i>	0	0	0	0,2	0,4
<i>Nitzschia punctata</i>	0	0	0,2	0,2	0
<i>Nitzschia sp</i>	0	0	0,2	0,2	0
<i>Opephora sp</i>	0	0	0	1,1	0,2
<i>Rhoupalodia gibbe</i>	0	0	0	0,6	0,6
<i>Brachyosira br</i>	7,3	0	0	0	0
<i>Brachyosira e</i>	18,1	0	0	0	0
<i>Cocconeis sp</i>	0	0	0	0,4	0,2
<i>Frustulia sp</i>	1,4	0	0	0	0
<i>Hantzschia amp</i>	0	0	0	0	0,2
<i>Navicula</i>	0,2	0	0,2	0,2	0

Anexos I J K L M N

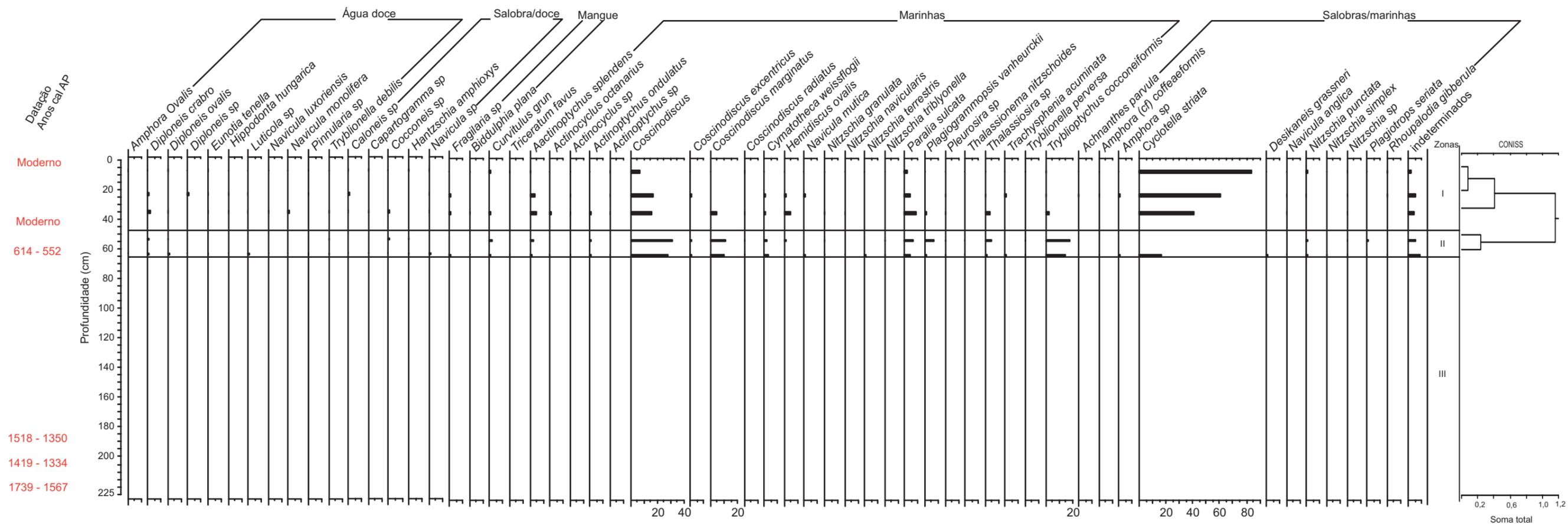
Diagramas polínicos e de diatomáceas



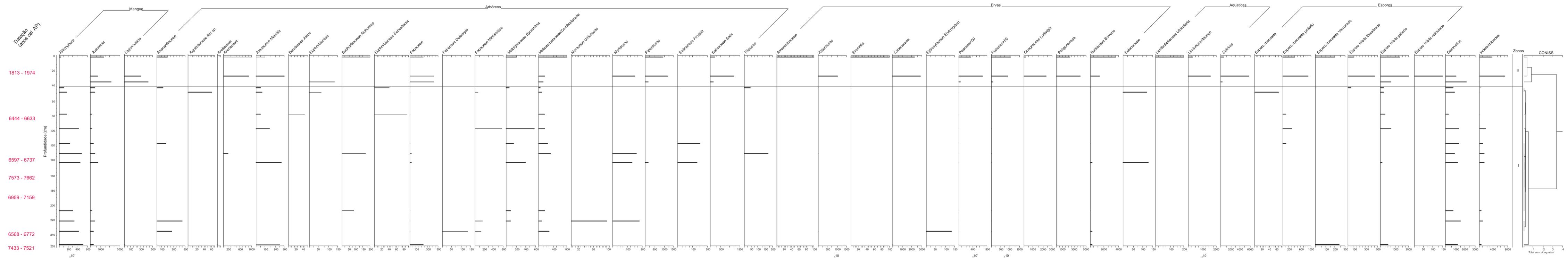
Anexo I - Concentração em gramas/cm³ dos grãos-de-pólen presentes no testemunho R<sub>v</sub>.



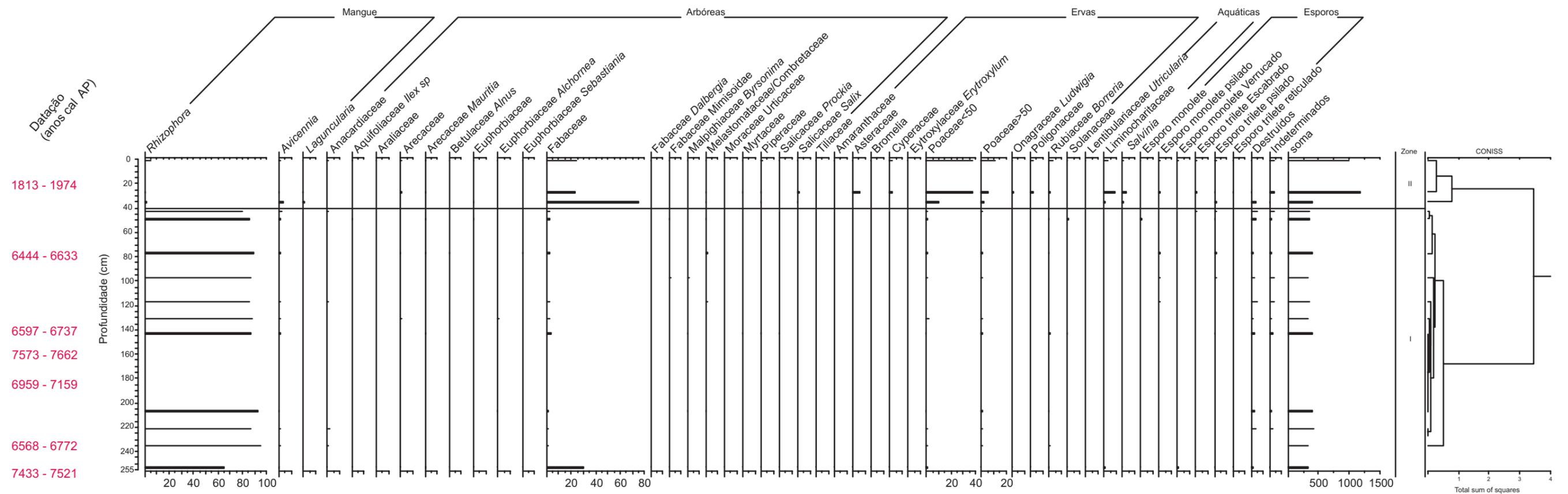
Anexo J - Concentração em porcentagem dos grãos-de-pólen presentes no testemunho R<sub>v</sub>



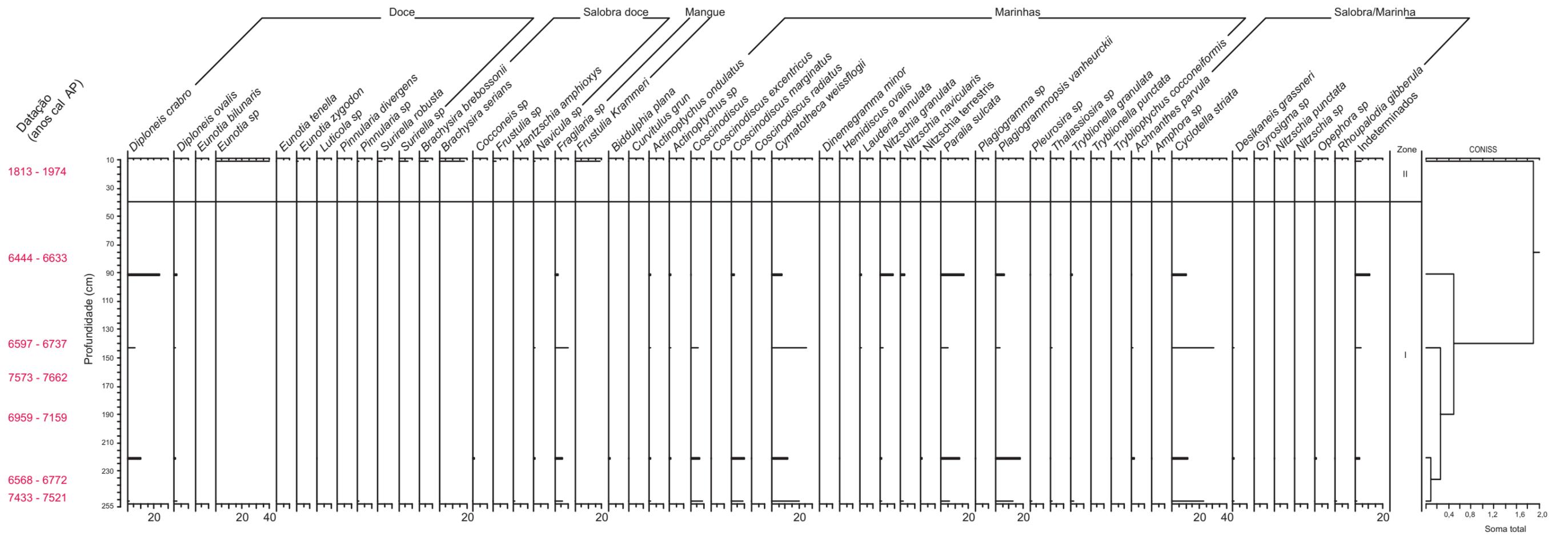
Anexo K - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho R<sub>IV</sub>



Anexo L - Concentração em grãos/cm<sup>3</sup> dos palinóforos presentes no testemunho Jab.



Anexo M: Concentração em porcentagem dos palinóforos presentes no testemunho Jab.



Anexo N - Concentração em porcentagem das diatomáceas presentes no testemunho Jab.