UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Centro de Energia Nuclear na Agricultura

JAIME RISSI PASSARINI JUNIOR

# Estudo interdisciplinar em sedimentos lacustres da região sul do estado de São Paulo.

# Reconstrução da vegetação e do clima no Quaternário tardio

Piracicaba

2009

JAIME RISSI PASSARINI JUNIOR

# Estudo interdisciplinar em sedimentos lacustres da região sul do estado de São Paulo.

## Reconstrução da vegetação e do clima no Quaternário tardio

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 no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Piracicaba

2009

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**

Passarini Junior, Jaime Rissi
Estudo interdisciplinar em sedimentos lacustres da região sul do estado de São Paulo. Reconstrução da vegetação e do clima no Quaternário tardio / Jaime Rissi Passarini Junior; orientador Luiz Carlos Ruiz Pessenda. - - Piracicaba, 2009.
115 p.: 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. Carbono 14 2. Holoceno 3. Isótopos estáveis 4. Paleobotânica 5. Paleoclimatologia 6. Paleopalinologia 7. Pólen I. Título

CDU 902.67:551.7949(815.6)

## AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus Pais, Célia e Jaime e aos meus irmãos, Gustavo e Guilherme.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda.

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira.

Ao Prof. Dr. José Albertino Bendassoli.

À Dra Susy Eli Marques Gouveia.

Ao Dr. Ramon Aravena.

Aos amigos do Laboratório $^{14}C$: Aline Briques, Aline Nunes, Álvaro, Cláudia, Elaine, Marcos, Mariah, Rodrigo, Soraya e Victor.

Aos meus amigos, Camilla,Carolina, Darciléa, Kátia,Tiago, Vanda e Wagner.

Aos professores e funcionários do Centro de Energia Nuclear na Agricultura

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

**MUITO OBRIGADO!**

# RESUMO

PASSARINI JUNIOR, 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 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

O estudo de um testemunho coletado às margens de uma lagoa situada em meio a vegetação de Mata Atlântica no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, sul do estado de São Paulo, permitiu a reconstituição da história da vegetação local ao longo dos últimos 2500 anos. Para isso, foram realizadas análises elementares, isotópicas e palinológicas. Também a partir de material retirado deste testemunho procedeu-se a comparação entre dois protocolos de tratamento químico para análises palinológicas do Quaternário. Os protocolos utilizados seguiram as metodologias propostas por Faegri e Iversen, 1989 (Protocolo 2) e por Colinvaux et al., 1999 (Protocolo 1). Foi desenvolvido um método de comparação que envolveu a quantidade de palinomorfos e a quantidade de matéria orgânica amorfa encontrados em 450 pontos escolhidos aleatoriamente em lâminas de ambos os protocolos e também foram levados em consideração o tempo, a praticidade de aplicação em rotina laboratorial, os custos e as quantidades e tipos de resíduos para cada protocolo. Cinco amostras de sedimento foram utilizadas para comparação e o Protocolo 1 apresentou em média 10% menos matéria orgânica amorfa e quase três vezes mais palinomorfos que o Protocolo 2. Os resultados das análises isotópicas e da palinologia mostraram que a vegetação da área em estudo teve uma fisionomia florestal pelo menos desde os últimos 2550 anos. Os valores de $\delta^{13}C$, em torno de -29‰, indicaram a presença de plantas C3 em todo o período estudado e registraram um enriquecimento isotópico (-24,9‰) entre aproximadamente 1650 e 1480 anos AP. A análise palinológica apontou para a ocorrência de um clima mais frio que o atual entre 2550 anos AP e 2000 anos AP, com aumento na freqüência de *Araucaria* e diminuição de Arecaceae. Também foi detectada a ocorrência de um período de clima mais quente e mais úmido entre aproximadamente 1000 anos AP e 680 anos AP, com desaparecimento de *Araucaria* e aumento de Arecaceae, *Weinmannia* e de pteridófitas. A maior umidade deste período também é apontada pelos valores de C/N que indicam aumento de influência terrestre no sedimento e pelo aumento de *Botryococcus*. Em todas as camadas foram encontradas partículas carbonizadas, indicando períodos de ocorrência de paleoincêndios e de abertura florestal provavelmente associados à presença humana na região.



**Palavras-chave:** Floresta Atlântica. Isótopos Carbono (C-12,C-13,C-14) e Nitrogênio. Matéria orgânica sedimentar. Paleovegetação. Pólen. Quaternário tardio.

## ABSTRACT

PASSARINI JUNIOR., J.R. **Interdisciplinary study of lacustrine sediments from Southeastern São Paulo state (Brazil). Late Quaternary vegetation and climate changes.** 2009 115 p. Dissertation (Master) – Centro de Energia Nuclear na Agricultra, Universidade de São Paulo, 2009.

One sediment core collected at the margins of a lake surrounded by Atlantic rainforest vegetation at Parque Estadual do Alto Ribeira (PETAR), southern São Paulo state (Brazil), was analyzed, in order to reconstruct the history of the local vegetation over the last 2500 years. Elemental (Total Organic Carbon – TOC and Total Organic Nitrogen), isotopic (C and N), pollen analysis and radiocarbon dating were integrated on this work. Also was made a comparison of two protocols for Quaternary pollen chemical treatment. The tested protocols were proposed by Faegri and Iversen, 1989 (*Protocol 2*) and by Colinvaux et al., 1999 (*Protocol 1*). The comparison methods developed in this study checked the protocols performance on the quantity of palinomorphs and of organic matter found in 450 random areas of microscope slides of each protocol. The time consuming, laboratory routine, costs and residue production by the protocols were considered for comparison. Five samples were used for comparison and the *Protocol 1* showed an average of 10% less organic matter and more palinomorphs than *Protocol 2*. According to the isotopic and pollen results, the study area vegetation maintained as a forest for the last 2500 years BP. $\delta^{13}C$ values of -29‰ indicated the presence of C3 plants during all the sediment study and a isotopic enrichment (-24,9‰) was observed between 1650 and 1480 yrs BP. Pollen analysis suggested the occurrence of colder climatic conditions between 2550 and 2000 yrs BP and a warmer and humid period was suggested between 1000 and 680 yrs BP. Charcoal particles were found since 2550 yrs BP indicating paleofire probably associated to the human activities.



**Keywords:** Atlantic rainforest. Carbon (C-12, C-13, C-14) and N isotopes. Late Quaternary. Palaeoenvironment. Pollen analysis protocol. Stable isotopes (C, N). Sedimentary Organic Matter.

## SUMÁRIO

**1. INTRODUÇÃO..... 8**

**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 11**

2.1. Estudos paleoambientais no Brasil..... 11

2.2. Isótopos do carbono..... 12

2.3. Análise palinológica..... 14

2.4. A relação entre clima e vegetação..... 16

2.5. Estudo da composição isotópica e elementar de sedimentos lacustres..... 17

2.6. Tipos funcionais de plantas..... 19

2.6.1. As plantas $C_3$..... 20

2.6.2. A via do ácido dicarboxílico..... 21

2.6.3. Plantas $C_4$..... 21

2.6.4. As plantas CAM..... 23

2.6.5. O fracionamento isotópico e os tipos funcionais de plantas..... 24

2.7. Análises palinológicas na reconstrução paleoambiental no Brasil..... 25

**3. A ÁREA EM ESTUDO..... 32**

**4. MATERIAL E MÉTODOS..... 36**

4.1. Abertura do testemunho e amostragem..... 36

4.2. Datação $^{14}C$..... 37

4.3. Análises elementares e isotópicas..... 38

4.4. Análise palinológica..... 39

4.5. Identificação e contagem de palinomorfos..... 41

4.6. Comparação entre protocolos de tratamento químico..... 41

4.6.1. Os protocolos utilizados..... 42

4.6.2. Sub-amostragem ..... 44

4.6.3. Montagem das lâminas..... 45

4.6.4. Metodologia de comparação..... 45

4.6.5. Palinomorfos encontrados por protocolo..... 49

4.6.6. Comparação de custos entre protocolo..... 49

4.6.7. Praticidade e tempo consumido..... 50

**5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 51**

5.1. Comparação entre protocolos..... 51

5.1.1. Tratamentos químicos..... 51

5.1.2. Palinomorfos encontrados por protocolo..... 52

5.1.3. Matéria orgânica amorfa..... 54

5.1.4. Custos por protocolo ..... 59

5.1.5. Tempo e praticidade..... 60

5.1.6. Geração de resíduos..... 60

5.1.7. Resultados e Considerações finais da comparação entre protocolos..... 61

5.2. Descrição litológica..... 62

5.3. Datações $^{14}C$ e taxas de sedimentação..... 64

5.4. Palinologia e partículas carbonizadas..... 66

5.5. Análises isotópicas de Carbono e Nitrogênio..... 81

5.6. Dados isotópicos e palinológicos..... 86

**6. CONCLUSÃO..... 88**

**REFERÊNCIAS..... 90**

**ANEXOS..... 101**

# 1. INTRODUÇÃO

O termo *clima* diz respeito às médias das condições atmosféricas que se repetem em uma determinada região, de modo que seus padrões possam ser conhecidos e previstos através de observações regulares ao longo de algumas décadas. Embora suficientemente estável para que possa ser caracterizado em diferentes escalas geográficas, o clima sofre alterações significativas (SORRE, 2006) e ao longo do tempo geológico desde a formação da Terra, influenciado por uma série de fatores endógenos e exógenos, rege agentes que modelam a paisagem.

O clima influencia continuamente os padrões de distribuição dos seres vivos, a disponibilidade e a abundância de nichos ecológicos e atua como um importante componente dos mecanismos da seleção natural. Desta forma, populações de cada espécie ocorrem em áreas nas quais as variáveis ambientais, entre elas o clima, permitem que as taxas de natalidade supere a taxa de mortalidade, sendo as áreas periféricas da distribuição populacional situadas em zonas onde populações menores provavelmente estejam em seus limites fisiológicos e ecológicos de forma que tais taxas tornam-se virtualmente iguais (GASTON, 2003; BROWN; LOMOLINO, 2006).

Uma vez que o clima é uma das variáveis que determina a distribuição dos seres vivos, certos grupos de organismos podem ser associados aos tipos de clima em que ocorrem. Tal afirmação é especialmente verdadeira para espécies vegetais, cujas associações constituem fisionomias distintas que podem ser relacionadas a faixas climáticas que variam de acordo com a latitude e a altitude, conforme já apontado por Alexander Von Humboldt, Alphonse De Candolle e outros naturalistas dos séculos XVIII e IXX.

Embora as fisionomias impressas na paisagem pela vegetação possam indicar diferentes faixas climáticas, ambas, fitofisionomia e faixas climáticas, constituem uma

característica instável e, não raro, efêmera diante da escala de tempo geológico. Com a alteração constante da fitofisionomia e da paisagem, a vegetação e os processos geológicos deixam sinais e indicadores, que podem registrar históricos ambientais em escalas temporais e geográficas variáveis.

Os microfósseis, a assinatura isotópica produzida pela vegetação e os produtos da atividade geológica ao longo do tempo constituem exemplos de matérias-primas que permitem reconstruir as condições paleoambientais, abrindo uma janela através da qual a evolução da paisagem e a dinâmica paleoclimática podem ser inferidas.

Os sedimentos lacustres destacam-se pela boa preservação que proporcionam a microfósseis, como diatomáceas (ROUND, 1990), espículas de esponjas e palinomorfos (TRAVERSE, 1988), além da preservação dos sinais elementares e isotópicos provenientes da matéria orgânica neles depositada (MEYERS, 1994). Estudos isotópicos e elementares do Carbono e do Nitrogênio têm o potencial de fornecer informações sobre o tipo de fonte de matéria orgânica associado a depósitos sedimentares, enquanto a sedimentologia liga tais dados aos processos que originaram o substrato.

Entre os microfósseis, grãos de pólen e esporos são amplamente utilizados com o propósito da reconstituição paleoambiental, através de métodos e técnicas agregadas sob o nome de Análise Palinológica e cujas aplicações visaram desde o início o entendimento das flutuações climáticas durante o Quaternário (FAEGRI; IVERSEN, 1989).

Associados a métodos para determinação da cronologia, como a datação por Luminescência Opticamente Estimulada e a datação $^{14}C$, projetos interdisciplinares de reconstituição paleoambiental realizados ao redor do mundo fornecem dados que podem ser utilizados em estudos arqueológicos, biogeográficos e em conjunto com as informações climáticas atuais são importantes para a modelagem climática.

Muitos ecossistemas, especialmente no Hemisfério Sul e em áreas tropicais, necessitam de maiores esforços para que a história climática que acompanhou suas evoluções seja conhecida. Entre estes ecossistemas destacam-se aqueles pertencentes ao Domínio da Mata Atlântica, cuja área original foi fortemente reduzida e ainda sofre pressões relacionadas à mudança da ocupação e uso da terra, que dificultam a preservação de condições adequadas para estudos paleoambientais.

Um dos maiores contínuos de Mata Atlântica ainda bem preservada encontra-se no Sudeste do estado de São Paulo, formado pelo Parque Estadual de Carlos Botelho, pelo Parque Estadual Intervales (PEI) e pelo Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR). Neste ultimo localiza-se a Lagoa Vermelha (LV), onde foi coletado o testemunho sedimentar LV II, utilizado no estudo interdisciplinar descrito nesta dissertação.

A Lagoa Vermelha mostrou-se um ambiente propício à coleta de testemunhos sedimentares com a finalidade de reconstrução paleoambiental por estar localizada em um local de difícil acesso, cercado por vegetação nativa, onde a interferência de atividades antrópicas foi pequena até os dias de hoje e as informações ambientais registradas em seu sedimento provavelmente não foram desta forma adulteradas.

Como projeto de pesquisa interdisciplinar foram utilizadas técnicas de análises elementares e isotópicas de Carbono e Nitrogênio, análise palinológica e de datação $^{14}C$. Com a realização de análises em alta resolução, buscou-se contribuir para a caracterização da variabilidade paleoclimática desde o Holoceno médio em uma escala temporal refinada, associada ao comportamento da vegetação ao redor da área em estudo. Foi também realizado um estudo de comparação entre dois protocolos de tratamento químico para palinologia do Quaternário, a partir do qual foi selecionado o protocolo a se seguir neste trabalho.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão sobre os princípios dos métodos e técnicas empregados nos trabalhos de reconstituição paleoambiental e sobre os resultados de pesquisas desta natureza já realizadas, com foco no Holoceno médio e tardio do estado de São Paulo.

## 2.1. Estudos paleoambientais no Brasil

No Brasil, estudos de reconstituição paleoambiental (vegetação e clima) têm sido mais intensamente desenvolvidos a partir da década de 90, utilizando-se grãos de pólen e esporos depositados em sedimentos lacustres e turfeiras (VICENTINI, 1993; ROTH; LORSCHEITTER, 1993; LEDRU, 1993; NEVES; LORSCHEITTER, 1995; LORSCHEITTER; MATTOZO, 1995; LEDRU et al., 1996; 1998a, b; BEHLING, 1995a, 1997a, 2005; FERRAZ-VICENTINI; SALGADO-LABOURIAU, 1996; DE OLIVEIRA et al., 1999; BARBERI et al., 2000; GARCIA et al., 2004), isótopos do carbono da matéria orgânica do solo (DESJARDINS et al., 1996; PESSENDA et al., 1996a, b, 1998a, b, c, 2005a, b VIDOTTO et al., 2007 SAIA et al., 2008) e nos fragmentos de carvão encontrados nos solos (DESJARDINS et al., 1996; PESSENDA et al., 1996a, 2004, 2005 a; GOUVEIA et al.; 1999; 2002; SANTOS et al., 2000; SCHEEL-YBERT et al., 2003), entre outros indicadores. Nos últimos anos, trabalhos desenvolvidos no Laboratório de $^{14}C$ do CENA como MOFATTO, 2005, SAIA, 2006, PESSENDA et al., 2008 e PESSENDA et al., 2009 têm reforçado a importância de uma abordagem interdisciplinar envolvendo matrizes como plantas, sedimentos e solos.

Antes de apresentar os conhecimentos obtidos através dos estudos paleoambientais, serão resumidos os fundamentos dos métodos utilizados nestes estudos.

## 2.2. Isótopos do Carbono

Ocorrem na natureza três isótopos do carbono, dois estáveis ($^{12}C$ e $^{13}C$) e um radioativo ($^{14}C$). Os isótopos estáveis do carbono podem ser utilizados para determinar o tipo de fonte do carbono orgânico encontrado em solos ou sedimentos. O isótopo radioativo é amplamente utilizado para datação, ideal para aplicações em estudos referentes a eventos do Pleistoceno tardio e do Holoceno.

O $CO_2$ atmosférico é formado a partir de isótopos naturais do carbono, $^{12}C$, $^{13}C$ e $^{14}C$, na proporção de 98,89%, 1,11% e $10^{-10}$% respectivamente (BOUTTON, 1996a). O $^{14}CO_2$ está presente em quantidades tão pequenas que não apresenta relevância fisiológica, mas o $^{13}CO_2$ é diferente.

As propriedades químicas do $^{13}CO_2$ são idênticas às do $^{12}CO_2$, mas devido à diferença de massa de 2,3% entre estas moléculas, a maioria das plantas assimila menos $^{13}CO_2$ que $^{12}CO_2$, realizando assim uma discriminação contra o isótopo pesado do carbono. Isso faz com que a matéria orgânica vegetal apresente menores taxas de $^{13}C$ em relação ao $^{12}C$ quando comparada ao $CO_2$ atmosférico.

Esta discriminação contra o isótopo pesado é chamada de fracionamento isotópico e gera diferentes assinaturas isotópicas, de acordo com os processos físicos, químicos e biológicos que o produziram, que podem ser detectadas com o uso de um espectrômetro de massas.

A razão isotópica obtida da amostra é então comparada com a razão isotópica do padrão (PDB – Pee Dee Belemite, que corresponde a um molusco fóssil da Formação Pee Dee (Cretáceo), E.U.A), sendo o resultado expresso em abundância isotópica ($\delta^{13}C$):

$$\delta^{13}C_{PDB}\ (‰) = \left( \frac{R_{amostra} - R_{padrão}}{R_{padrão}} \right) \times 1000$$

Resultados de $\delta\ ^{13}C$ negativos indicam que o material analisado apresenta uma menor quantidade de $^{13}C$ que a encontrada no padrão, enquanto que resultados positivos indicam que o material apresenta uma quantidade de $^{13}C$ superior àquela encontrada no padrão.

A determinação da idade através do isótopo radioativo $^{14}C$ fundamenta-se na compreensão de sua origem, ciclagem e decaimento.

A produção de $^{14}C$ na alta atmosfera ocorre continuamente, através da interação de nêutrons (provenientes de colisões de raios cósmicos, principalmente partículas α, de alta velocidade, com átomos da atmosfera terrestre) com átomos de $^{14}N$ (LIBBY, 1955).

O $^{14}C$ passa por um processo de oxidação, formando $^{14}CO_2$ e se dispersa pela atmosfera, podendo ao atingir suas camadas inferiores ser fixado no processo de fotossíntese ou participar de outras reações químicas nas quais o $CO_2$ normalmente se envolve. Uma vez que o $^{14}CO_2$ é fixado na fotossíntese, os átomos de $^{14}C$ serão utilizados na constituição do corpo do vegetal e poderão ser transferidos para outros elos da teia alimentar da qual aquele organismo faz parte. Assim, vegetais e animais, bem como a matéria orgânica proveniente de seus corpos acabam por se tornar reservatórios naturais de $^{14}C$.

Naturalmente, o $^{14}C$ sofre decaimento radioativo e sua meia-vida é de 5730 anos. Enquanto os organismos estiverem vivos poderão receber novos átomos de $^{14}C$ ao mesmo tempo em que ao renovar seus tecidos eliminam átomos de $^{14}C$. Isso faz com que haja um equilíbrio entre o conteúdo de $^{14}C$ no ser vivo e na atmosfera (BRADLEY, 1999) e o decaimento radioativo não interfere neste balanço. Mas após a morte, apenas o processo de

decaimento radioativo persiste e a quantidade deste radioisótopo diminuirá com o passar do tempo, assim como sua atividade.

Quanto maior a atividade ou quantidade do $^{14}C$ remanescente em uma amostra, mais recente será sua datação e quanto menor for a atividade ou quantidade de $^{14}C$, mais antiga a datação da amostra. A idade é desta forma determinada, de acordo com a atividade residual de cada amostra.

Diferentes metodologias, tais como a espectrometria de cintilação líquida (PESSENDA; CAMARGO, 1991) e a utilização de um acelerador de partículas acoplado a um espectrômetro de massas, método conhecido como AMS (Accelerator Mass Spectrometry) são utilizadas para detectar a atividade ou a quantidade de $^{14}C$, a partir dos quais a idade do material analisado pode ser calculada.

Embora hoje se saiba que a meia-vida do $^{14}C$ é de 5730 anos, o cálculo da idade $^{14}C$ convencional utiliza a meia-vida determinada na década de 1950: 5680 anos, e os resultados são expressos em anos antes do presente (anos AP) sendo o presente considerado o ano de 1950. As idades convencionais são normalmente ajustadas à uma curva de calibração e podem ser expressas em anos AP ou em anos de calendário.

## 2.3. Análise palinológica

A palinologia é o estudo de grãos de pólen (produzidos por Angiospermas e Gimnospermas) e esporos (produzidos por pteridófitas, briófitas, algas e fungos). O termo palinologia engloba uma série de estudos mais específicos envolvendo palinomorfos tanto atuais quanto antigos. Cada um destes estudos recebe nomes diferentes, como alergopalinologia, melissopalinologia, palinologia forense e outros (MOORE et al.,1991).

Este trabalho trata de uma destas aplicações, a análise palinológica. Tal ferramenta é empregada em estudos que dizem respeito às mudanças climáticas, ambientais e à influência do homem sobre a paisagem em tempos históricos. Nesse sentido a análise palinológica de testemunhos lacustres pode assinalar fases climáticas com maior ou menor umidade, correspondendo à dinâmica da vegetação de diferentes biomas (COLINVAUX et al., 1999).

Segundo Faegri e Iversen (1989) a análise palinológica nasceu em 1916 e no início, o uso da técnica era restrito ao estudo de depósitos sedimentares do Quaternário, objetivando a reconstituição de mudanças na vegetação durante o Quaternário tardio.

Os grãos de pólen e esporos possuem um envoltório externo, a exina, constituída de esporopolenina, que é elástica e tem grande resistência ao ataque por agentes químicos redutores, possibilitando a preservação dos grãos quando depositados em ambientes redutores (SALGADO-LABORIAU, 1973) , como lagoas e turfeiras. Além disso, possuem características morfológicas próprias, como formas, dimensões, ornamentações e aberturas, que permitem sua classificação em grupos taxonômicos distintos (SALGADO-LABORIAU, 1984). A metodologia para a interpretação paleoecológica, a partir da análise palinológica, fundamenta-se no fato de que todos os tipos polínicos preservados em sedimentos do Quaternário são suscetíveis de comparação com gêneros modernos, uma vez que não ocorreu extinção de plantas neste intervalo de tempo (TRAVERSE, 1988).

O fato de que tanto grãos de pólen como esporos precisam ser dispersos levou ao surgimento de muitas analogias morfológicas. Eles são de tamanho similar, ao redor de 20 a 40 micrômetros e possuem paredes resistentes que podem ser ornamentadas de diferentes maneiras (MOORE et al., 1991).

A identificação dos palinomorfos até a mais baixa categoria taxonômica possível é um dos pontos cruciais da análise palinológica (FAEGRI; IVERSEN, 1989), sendo as características das paredes dos palinomorfos essenciais para os estudos palinológicos.

O tamanho da maior parte dos grãos de pólen fica entre 10 e 100 micrômetros e as características morfológicas importantes para a identificação dos grãos estão próximas ou no limite de resolução dos microscópios ópticos (FAEGRI; IVERSEN, 1989).

Os palinomorfos podem ser encontrados em depósitos onde outros tipos de bioindicadores foram destruídos por processos diagenéticos, pois são produzidos em enormes quantidades e amplamente espalhados quando comparados com outros fósseis e sub-fósseis maiores.

A análise palinológica pode fornecer informações apenas sobre a vegetação. Conclusões sobre o clima, influências antrópicas etc. são deduções secundárias a partir do registro da vegetação e dependem da proximidade das relações entre a vegetação e as características estudadas (FAEGRI; IVERSEN, 1989).

Comunidades vegetais não são apenas uma expressão dos fatores ecológicos ativos atualmente. Elas são também função de uma sucessão secular, do desenvolvimento de fatores ecológicos e de assembléias de plantas (FAEGRI; IVERSEN, 1989).

## 2.4. A relação entre clima e vegetação

O clima é um dos principais fatores que interferem na distribuição das plantas e desta forma determina as áreas de ocorrência dos biomas terrestres. A presença em sedimentos, de palinomorfos produzidos por *taxa* característicos de um determinado bioma é um reflexo do clima ao qual este bioma se associa.

O sucesso da análise palinológica na reconstrução paleoambiental está intimamente ligado ao conhecimento das relações entre a composição da vegetação e as variáveis climáticas.

Quando se menciona a composição da vegetação é importante salientar que não se trata apenas de conhecer quais são os taxa identificados na análise, mas também os padrões de diversidade, relacionados com a abundância e a riqueza de espécies.

O clima é composto por diversas variáveis, sendo que duas delas são em geral consideradas como fundamentais na determinação da distribuição das plantas: a temperatura e a precipitação. Entender a relação entre a vegetação e estas variáveis climáticas é a base das análises palinológicas.

## 2.5. Composição isotópica e elementar de sedimentos lacustres.

Os estudos palinológicos também podem ser complementados por estudos da composição isotópica da matéria orgânica preservada em solos e sedimentos.

Sedimentos subaquosos guardam informações a partir das quais as histórias dos climas do passado e das condições ambientais anteriores podem ser reconstituídas. Neste sentido, sedimentos lacustres contém registros paleoambientais valiosos e frequentemente únicos (MEYERS, 2003).

Lagos geralmente possuem maiores taxas de sedimentação e maiores taxas de produção primária que os oceanos. Assim, processos de curta duração que afetam a sedimentação da matéria orgânica são amplificados em seus registros sedimentares. Além disso, sedimentos de lagos apresentam evidências de mudanças paleoclimáticas e paleoambeintais em continentes e registram respostas locais ou regionais a mudanças em escala global (MEYERS, 2003)

A composição da matéria orgânica sedimentar de lagos inclui uma grande variedade de indicadores elementares, isotópicos, moleculares e biológicos que podem ser usados para

recontar a história dos próprios lagos e também das áreas terrestres que os cercam. Esta matéria orgânica se origina a partir de uma complexa combinação de lipídios, carboidratos, proteínas e outros compostos bioquímicos produzidos pelos organismos que viveram dentro e nos arredores dos lagos e exemplos de reconstituições paleoambientais que se fundamentam na composição da matéria orgânica de registros sedimentares lacustres de diversas partes do mundo podem ser encontrados em Meyers (2003).

O uso de indicadores elementares e isotópicos para determinar o tipo de fonte da matéria orgânica sedimentar em lagos fundamenta-se no fato de que apesar de haver decomposição de parte da matéria orgânica em seu trajeto desde a superfície de um lago até a sua deposição no fundo, não ocorre perda da identidade elementar e isotópica característica de sua fonte (MEYERS, 1994).

Assim, é possível dizer através das análises elementares de carbono e nitrogênio e da relação entre os resultados destas análises (C/N), se o material é proveniente de uma fonte terrestre (C/N igual ou superior a 20), se originado a partir de algas do próprio lago em estudo (C/N entre 4 e 10), ou se houve uma mistura entre matéria orgânica proveniente de fontes terrestres e aquáticas.

Através de análises isotópicas de carbono é possível distinguir entre matéria orgânica proveniente de vegetais com ciclos fotossintéticos distintos, como plantas do tipo funcional $C_3$ e do tipo funcional $C_4$. As plantas do tipo funcional CAM não podem ser distintas das outras através deste tipo de informação, uma vez que seus valores de $\delta\ ^{13}C_{(PDB)}$ podem ter a mesma variação que ocorre dentro dos outros tipos funcionais (BOUTTON, 1991).

Sabe-se que plantas $C_3$ apresentam valores de $\delta\ ^{13}C_{PDB}$ variando entre -32 e -20‰ e que para plantas $C_4$ estes valores variam entre -9 e -17‰ (BOUTTON, 1991). Tal distinção é

útil pois origina-se de características fisiológicas destas plantas que determinam diferentes preferências ecológicas e climáticas.

## 2.6. Tipos funcionais de plantas

Aproximadamente 40% da massa seca das plantas consiste de carbono, o qual é fixado durante a fotossíntese, processo vital para o crescimento e sobrevivência de virtualmente todas as plantas durante a maior parte dos seus ciclos de vida (LAMBERS et al., 2006).

Existem variações na forma como diferentes tipos de plantas realizam a fotossíntese. De acordo com as particularidades envolvidas, podem-se identificar pelo menos três tipos funcionais de plantas em relação à fotossíntese, denominados $C_3$, $C_4$ e CAM.

É importante esclarecer as principais diferenças entre estes tipos funcionais pois parte das discussões aqui apresentadas fundamentam-se na possibilidade de identificar sinais isotópicos do carbono na matéria orgânica sedimentar.

Tais sinais isotópicos são, a princípio, gerados durante a fotossíntese e a principal informação que deles se extrai é justamente o tipo de fotossíntese realizado pelas plantas que o deixaram. O tipo de fotossíntese por sua vez, pode fornecer importantes evidências a respeito do ambiente e do clima.

Para se entender como cada tipo fotossintético funciona, é necessário um ponto de partida, no caso, as plantas $C_3$.

### 2.6.1. As plantas $C_3$

A fotossíntese é um processo através do qual as plantas captam a energia luminosa e a transformam em energia química. Para realizar esta transformação, moléculas inorgânicas de baixa energia são utilizadas para formar moléculas orgânicas com alta energia, culminando na fixação do carbono (LARCHER, 2006, LAMBERS et al., 2006).

O dióxido de carbono ($CO_2$) que chega ao interior do cloroplasto é primeiramente fixado por um aceptor, através da enzima Ribulose 1, 5- bifosfato – carboxilase-oxigenase, (Rubisco) numa reação de carboxilação. Esta enzima representa em média 50% da proteína solúvel dos cloroplastos. O produto desta carboxilação se decompõe em duas moléculas de 3-ácido fosfoglicérico (PGA), cada uma com três átomos de carbono, de onde origina-se o nome "via $C_3$" (LARCHER, 2006, LAMBERS et al., 2006).

O PGA entra em uma cadeia de reações até formar Gliceraldeído 3- fosfato, o produto final da fotossíntese. A partir dele é formada a glicose ou outros compostos (LARCHER, 2006).

A enzima Rubisco tem como substrato principal o $CO_2$ dissolvido, mas também tem afinidade pelo $O_2$ dissolvido, que apresenta tamanho e geometria molecular semelhante à do $CO_2$ e pode ligar-se ao sítio ativo da enzima. A afinidade da Rubisco pelo $CO_2$ é muito mais alta do que pelo $O_2$, mesmo considerando que as concentrações de $CO_2$ dissolvido são em geral menores que as concentrações de $O_2$ dissolvido no cloroplasto (LARCHER, 2006).

Entretanto, o aumento da temperatura e da luminosidade pode provocar redução ainda maior na concentração de $CO_2$ e iniciar a atividade de oxigenase da Rubisco num processo inverso à fotossíntese, chamado fotorrespiração (LARCHER, 2006) que reduz a produtividade das plantas $C_3$.

A eficiência da fotossíntese $C_3$ é limitada por diversos fatores, principalmente pela atividade enzimática e pela concentração de dióxido de carbono.

### 2.6.2. A via do ácido dicarboxílico

Por intermédio do aumento da concentração de $CO_2$ o trabalho catalítico da Rubisco pode ser melhor aproveitado. Assim, em cerca de 10% das espécies vegetais conhecidas constituiu-se a via do ácido dicarboxílico como um mecanismo de concentração de $CO_2$ para posterior fixação, sempre pela via pentose-fosfato (LARCHER, 2006). Estas vias se combinam de duas formas.

A fixação do $CO_2$ (via $C_4$) e a formação de carboidratos (via $C_3$) podem ocorrer em tecidos espacialmente separados na folha (plantas C4) ou em períodos separados: noite e dia (plantas CAM).

### 2.6.3. Plantas $C_4$

São classificadas como plantas $C_4$ aquelas que apresentam a via fotossintética do ácido dicarboxílico (via $C_4$) caracterizada ou não pela presença de anatomia Kranz associada.

Atualmente foi confirmada em 18 famílias de plantas e em uma cianobactéria, *Anacystis nidulans* (LARCHER, 2006).

Podem ser encontradas plantas $C_4$ nas famílias Amaranthaceae (e.g. gênero *Gonphrena*), Boraginaceae (e.g. gênero *Heliotropium*), Asteraceae (e.g. gênero *Pectia*), Euphorbiaceae (e.g. gênero *Euphorbia*) e em outras famílias, das quais a mais citada, muitas vezes sob a denominação “gramíneas”, é a família Poaceae.

É importante ressaltar que nem todas famílias em que ocorrem plantas $C_4$ são formadas exclusivamente por plantas deste tipo funcional e mesmo dentro de gêneros em que é registrado podem ocorrer espécies $C_3$ (e.g. gênero *Euphorbia*) (LARCHER, 2006).

Além disso, diversos exemplos de plantas intermediárias (anatomicamente e bioquimicamente) entre os tipos funcionais $C_3$ e $C_4$ são conhecidas (MONSON et al., 1984, LARCHER, 2006).

A fotossíntese $C_4$ surgiu em diversos grupos vegetais, sendo que apenas dentro da Família Poaceae estima-se que ocorreram 11 origens independentes. As plantas $C_4$ totalizam aproximadamente 5 % das espécies de plantas conhecidas atualmente, porém estima-se que respondam por cerca de 18 a 25% da fotossíntese global (EDWARDS et al., 2007).

É importante entender como ocorre a fotossíntese via $C_4$ para então podermos compreender por que as plantas $C_3$ e $C_4$ respondem de forma diferente às mesmas condições climáticas.

Na fotossíntese $C_4$, o $CO_2$ que chega ao interior da folha se dissolve na água e passa para a forma de bicarbonato ($HCO_3^-$) através da enzima anidrase carbônica. Este é então usado como o substrato para a enzima fosfoenolpiruvato carboxilase, (PEP carboxilase) que atua nas células do mesofilo. Ocorre então a formação de ácido oxalacético eu é posteriormente transformado em malato ou aspartato dependendo da espécie de planta em questão. Estes produtos são então transportados para um conjunto de células localizadas mais internamente na folha, ao redor dos feixes vasculares. Ali, são processados por enzimas e transformados em $CO_2$ e piruvato. O $CO_2$ liberado é interceptado pela enzima Rubisco e então reduzido na via pentose-fosfato da mesma forma que ocorre nas plantas $C_3$ (LARCHER, 2006, LAMBERS et al., 2006).

A enzima PEP carboxilase trabalha com extrema eficiência e em cooperação com a anidrase carbônica, como uma bomba de $CO_2$ e também pode trabalhar sob baixas concentrações de $HCO_3^-$ e em altas temperaturas (LARCHER, 2006).

Ao manter a enzima Rubisco apenas nas células da bainha dos feixes vasculares a planta $C_4$ reduz drasticamente a fotorrespiração em seus tecidos e aumenta a sua produtividade de forma independente do aumento da temperatura e luminosidade do ambiente. Assim sendo, quanto à produção de matéria seca em condições de alta temperatura e estresse hídrico moderado as plantas $C_4$ são favorecidas em relação às plantas $C_3$ e por produzirem menor quantidade da enzima Rubisco, estas apresentam maior eficiência no uso do nitrogênio disponível.

### 2.6.4. Plantas CAM

As plantas CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) possuem um mecanismo que concentra o $CO_2$ através da separação temporal de processos (LARCHER, 2006).

Em geral ocorrem em situações bastante favoráveis ao estresse hídrico, em que reduzir a perda de água através da transpiração é importante. Isso é realizado através do fechamento dos estômatos durante o dia, o que reduz a perda de água mas impede trocas gasosas.

O $CO_2$ é capturado durante a noite, período em que as plantas CAM abrem seus estômatos mas não podem realizar sua redução a carboidrato sem energia solar, e armazenado na forma de ácido málico para durante o dia seguir pela via $C_3$ típica (LARCHER, 2006).

Plantas CAM ocupam principalmente lugares atingidos por secas periódicas ou pobres em substratos, o que dificulta a retenção de água que fique disponível para a planta. Todos os cactos e a maioria das espécies das famílias Asclepiadaceae e Euphorbiaceae nos desertos dos

trópicos e subtrópicos são plantas CAM. Entre as epífitas, representam entre 50% e 60% de todas as Bromeliaceae e Orchidaceae (LARCHER, 2006).

Mesmo em ambientes tidos como altamente úmidos, como a mata atlântica, a ocorrência de plantas de hábito epifítico da família Cactaceae é verificada, uma vez que no alto das árvores elas encontram microclimas secos.

### 2.6.6. O fracionamento isotópico e os tipos funcionais de plantas

Como visto acima, cada mecanismo fotossintético apresenta uma série de particularidades e permite que os vegetais que os utilizam se instalem em ambientes diversos de acordo com as condições climáticas vigentes. Esta relação entre o tipo de fotossíntese e o clima faz com que a identificação da origem da matéria orgânica sedimentar possibilite que inferências a respeito do clima pretérito sejam efetuadas.

Parte do fracionamento isotópico observado na matéria orgânica de origem vegetal ocorre durante a passagem do $CO_2$ pelos estômatos das folhas e é igual nas plantas $C_3$ e $C_4$. Entretanto, o uso do $CO_2$ como substrato direto pelas plantas $C_3$ através da enzima Rubisco e o uso do $HCO_3^-$ pelas plantas $C_4$ através da enzima PEP carboxilase geram fracionamentos distintos e acabam fazendo com que as plantas $C_3$ discriminem mais contra o $^{13}C$ do que as plantas $C_4$.

Portanto, as diferenças isotópicas que podem ser observadas entre plantas $C_3$ e $C_4$ decorrem das diferentes atividades enzimáticas e substratos iniciais em cada ciclo fotossintético.

## 2.7. Estudos de reconstrução paleoambiental

A seguir são apresentados alguns trabalhos de reconstrução paleoambiental desenvolvidos na região sudeste e Sul do Brasil, com o uso de análises isotópicas e palinológicas abrangendo o Quaternário tardio. Inicialmente serão apresentados os resultados referentes a análises isotópicas em solos e em seguida os resultados obtidos do estudo de sedimentos.

### 2.7.1. Isótopos do Carbono e solos na reconstrução paleoambiental

Através das análises isotópicas de $\delta^{13}C$ da matéria orgânica do solo (MOS) dos pontos TI (floresta de encosta) e TMC (floresta de encosta), coletados no Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC) detectou-se uma variação entre -27‰ e -25‰, indicando que a floresta esteve presente nestes pontos durante todo o Holoceno. Também no PEIC, os sinais isotópicos obtidos das amostras de solo do ponto RIC (floresta de restinga) indicaram a presença de uma vegetação arbórea menos densa desde o Holoceno médio até aproximadamente 2600 anos AP, a partir de quando os sinais isotópicos variando entre -28,3‰ e -26‰ passaram a indicar a instalação de uma vegetação mais densa, semelhante à atual (VIDOTTO, 2008).

No Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) todas as coletas foram feitas em áreas de floresta de encosta. As análises isotópicas em um dos pontos de coleta (TOR) indicaram uma crescente contribuição da matéria orgânica proveniente de plantas de ciclo fotossintético $C_3$ ao longo do Holoceno. Em outro ponto (FAZ), amostras coletadas a partir de 70 cm de profundidade, equivalendo a aproximadamente 7000 anos AP, até a superfície tiveram valores de $\delta^{13}C$ mais empobrecidos, sugerindo expansão florestal. As análises isotópicas nas amostras de mais três pontos indicaram que houve predomínio de plantas $C_3$ por todos esses perfis (VIDOTTO, 2008).

No PETAR, as análises da MOS de cinco pontos de coleta obtiveram sinais de $\delta^{13}C$ oriundos de plantas $C_3$ desde o Holoceno médio. O ponto IPO foi o único em que a influência de plantas $C_4$ na composição isotópica do carbono da MOS foi detectada. Isto pode ser explicado pela presença de uma gramínea $C_4$, com valor isotópico de -11,8‰. Os sinais isotópicos empobrecidos da MOS das camadas superficiais, de -23,1‰ a -24,5‰, indicam que houve no local uma vegetação arbórea que foi suprimida nas últimas décadas e então substituída pela gramínea como resultado da ação antrópica (SAIA, 2006).

No PEI, resultados de análises isotópicas em quatro pontos de coleta seguiram uma tendência similar à encontrada no PETAR, exibindo valores de $\delta^{13}C$ mais empobrecidos no Holoceno, indicando a presença de plantas $C_3$ e de condições úmidas capazes de sustentar tais plantas (SAIA, 2006).

Em Curucutu, os sinais isotópicos da MOS em nove pontos de coleta (seis em campos sujos, um em campo limpo e dois em floresta) indicaram que a vegetação foi predominantemente constituída por plantas $C_3$ durante o Holoceno, com tendência de empobrecimento do $\delta^{13}C$ desde o Holoceno médio. Tal cenário é observado, por exemplo, nos pontos CER1, em que o $\delta^{13}C$ ficou em torno de -24,5‰ em todo o perfil, e CER2, em que a maioria dos valores de $\delta^{13}C$ ficou em torno de -23,5‰ até aproximadamente 4000 anos AP e sinais mais empobrecidos foram encontrados no Holoceno Tardio (MOFATTO, 2005).

Em Piracicaba, valores de $\delta^{13}C$ em torno de -15‰ indicaram que durante a transição do Holoceno inicial para o Holoceno médio plantas $C_4$ predominavam na vegetação. Desde o Holoceno médio até o Holoceno tardio os valores de $\delta^{13}C$ tenderam a diminuir, indicando gradual aumento de plantas $C_3$ na composição florística da área estudada (PESSENDA, 2004).

Em Anhembi, os valores de $\delta^{13}C$ da MOS variaram entre -24,3‰ na superfície do perfil estudado e -23,4‰, indicando o predomínio de plantas $C_3$ durante o Holoceno (GOUVEIA, 2001).

O perfil do solo no ponto de coleta Botucatu I não exibiu variações isotópicas significativas do $\delta^{13}C$ com o aumento da profundidade. Os valores variaram entre -26,3‰ na superfície e -24,7‰ na camada entre 210 e 220 cm e esta diferença pode ser atribuída ao fracionamento isotópico resultante da decomposição da MOS. O perfil Botucatu II registrou uma variação de 3,9‰ entre a camada de 230-240 cm de profundidade (-22,2‰) e o topo do perfil (-26,3‰). Tal diferença pode indicar que no passado a vegetação apresentou uma fisionomia mais aberta, em decorrência de um clima mais seco. Durante todo o Holoceno houve predomínio de plantas $C_3$ em Botucatu, e as variações climáticas não foram fortes o suficiente para promover alterações drásticas na vegetação (GOUVEIA, 2001).

Em Jaguariúna foram escolhidos dois pontos de coleta, sobre uma mesma vertente sob floresta estacional semidecídual, que foram denominados Jaguariúna Montante e Jaguariúna Jusante.

No Perfil Jaguariúna Montante os valores de $\delta^{13}C$ variaram entre -17,9‰ na profundidade 330-340 cm e -23‰ na camada de 0-10 cm. Também no perfil Jaguariúna Jusante observou-se diferenças significativas entre os sinais isotópicos da camada inferior e da camada superior. Entre 230-240 cm de profundidade o valor de $\delta^{13}C$ foi de -18,8‰ e na camada superficial o $\delta^{13}C$ foi de -22‰. Tais resultados indicam que desde o início do Holoceno houve uma tendência à redução da influência das plantas $C_4$ e predomínio de plantas $C_3$ (GOUVEIA, 2001).

A presença de carvões vegetais nos solos das áreas de estudo em Botucatu, Anhembi e principalmente em Jaguariúna distribuídos por todo o perfil é um indicativo de que estes

locais foram afetados por incêndios durante todo o Holoceno. Estes incêndios foram muito mais severos do Holoceno inicial ao Holoceno médio e indicam um clima mais seco para este período. Contudo, a influência antrópica não pode ser descartada (PESSENDA, 2004).

### 2.7.2. Análises palinológicas

No início do Holoceno (9.720 a 8.810 anos AP), na região do Lago do Pires (MG), predominavam formas de campo e pequenas florestas de galeria ao longo dos rios, com alta freqüência de queimadas. Este tipo de vegetação é consistente com longo período seco (talvez 6 meses) e baixa precipitação anual. Entre 8.810 e 7.500 anos AP, as florestas de galeria se expandiram nos vales sugerindo um período com maiores índices de precipitação e estações secas mais curtas (5 meses). Nesta fase as queimadas foram menos freqüentes. A redução das florestas de galeria no período seguinte, 7.500 a 5.530 anos AP, provavelmente indicou o retorno das condições climáticas mais secas, com novo aumento das queimadas. Entre 5.530 e 2.780 anos AP as florestas estiveram presentes nos vales e o cerrado nos morros. Após este período (2.780 a 970 anos AP) ocorreu um fechamento do cerrado. A floresta semi-decídua fechada e densa esteve presente na região somente no final do Holoceno (a partir de 970 anos AP), sob condições climáticas atuais (BEHLING, 1995a, 1998).

A análise palinológica realizada em turfeira do Morro de Itapeva (SP) mostrou que entre 35.000 e 17.000 anos AP a paisagem regional do planalto de Campos do Jordão era composta basicamente de campos de altitude refletindo um clima frio e seco. Entre 17.000 e 10.000 anos AP espécies de floresta de *Araucaria* e de floresta tropical Atlântica foram observadas e provavelmente cresceram somente em elevações mais baixas, sugerindo um clima mais quente. Durante o Holoceno inferior e médio o desenvolvimento de manchas de floresta indicou um clima quente e úmido nas vertentes, mas um clima seco no planalto,

evidenciado pela rara presença de *Araucaria* e *Podocarpus*. Somente no Holoceno superior, quando a *Araucaria* e *Podocarpus* tornaram-se mais abundantes, as condições climáticas tornaram-se mais úmidas também no planalto. A porcentagem de partículas carbonizadas apresentou-se maior durante o período do último glacial do que durante o Holoceno, indicando maior freqüência de queimadas no período mais antigo (BEHLING, 1997a, 1998).

Registros palinológicos e de fragmentos de carvão na Lagoa Nova (MG) indicaram que durante o início do Holoceno até aproximadamente 8.500 anos AP a paisagem foi dominada por vegetação do tipo campo cerrado, com árvores de *Curatella americana* e algumas áreas com floresta de galeria. Queimadas provavelmente naturais foram freqüentes neste período. O padrão da paleovegetação é consistente com um longo período de seca, aproximadamente 6 meses, com precipitação média anual menor que atualmente. Há aproximadamente 7.560 anos AP a floresta de galeria se expandiu nos vales, refletindo uma estação seca menor (aproximadamente 5 meses), com maior precipitação anual e menor freqüência de queimadas, indicando um período mais úmido em relação ao anterior. Entre 7.560 e 6.060 anos AP o cerrado expandiu e houve regressão da floresta de galeria, indicando o retorno de condições climáticas mais secas. As queimadas novamente tornaram-se freqüentes, porém não tanto quanto no início do Holoceno. Entre 6.060 e 2.180 anos AP os vales foram cobertos por floresta semi-decídua, mas nas partes mais altas o cerrado continuou a crescer. A estação seca foi provavelmente de 5 meses e a precipitação foi maior que no período anterior. De 2.180 a 600 anos AP o cerrado aberto transformou-se para uma vegetação mais densa refletindo condições climáticas mais úmidas com curta estação seca. Somente após 600 anos AP a floresta semi-decídua densa se expandiu por toda a região de estudo, indicando o início da paisagem atual, com condições climáticas úmidas e curta estação seca (aproximadamente 4 meses). As queimadas foram ausentes neste período (BEHLING, 2003).

Em Jacareí (SP) análises palinológicas e datações $^{14}C$ permitiram o reconhecimento de períodos climáticos distintos entre 9.700 e 1950 anos AP: clima úmido e frio entre 9.720 e 8240 anos AP, clima úmido e quente entre 8.240 a 3.500 anos AP, mais frio e mais úmido que atualmente entre 3.500 e 1.950 anos AP. Não foi possível obter informações da vegetação e climáticas para os últimos 2.000 anos devido a influência antrópica (GARCIA et al., 2004).

Na Serra Campos Gerais (PR), estudo palinológico indicou, no período entre 12.480 e 9.660 anos AP, o predomínio de vegetação de campos, com provável ocorrência de grupos espalhados de floresta tropical Atlântica e de *Araucaria* nos vales, sugerindo climas mais secos e de 3 a 5º C mais frios do que o presente. Entre 9.660 a 2.580 anos AP observou-se o predomínio de campos nas montanhas e a expansão de árvores de floresta tropical úmida nos vales, indicando clima quente e talvez um aumento na precipitação anual. No Holoceno superior (2.580-1.530 anos AP) a expansão das florestas de *Araucaria* foi relacionada à provável mudança para um clima úmido mais permanente com estação seca mais curta. A expansão marcante de floresta de *Araucaria*, formando um mosaico de campos e ilhas de florestas nas montanhas, ocorreu somente nos últimos 1.500 anos AP, sugerindo o início de um clima com alta precipitação sem uma estação seca anual significativa (BEHLING, 1997b, 1998).

Estudos palinológicos e datações $^{14}C$ em uma turfeira no Parque Estadual da Serra do Mar-Núcleo Curucutu, litoral sul de São Paulo, registraram desde aproximadamente 28.460 anos AP à 22.000 anos AP, uma alta concentração de elementos arbóreos que sugeriram a presença de uma floresta fria na região da turfeira; os altos valores percentuais e de concentração de Poaceae, em sincronia com a presença de ervas aquáticas e algas, sugeriram que parte do componente dessas gramíneas fossem de táxons aquáticos e, portanto, gramíneas $C_3$. A turfeira poderia ter sido uma pequena lagoa ou um pântano recoberto por gramíneas aquáticas. De 22.000 a 10.000 anos AP foi constante a presença de floresta e campo, mas com

aumento de esporos de algas que indicaram aumento da umidade e elementos botânicos encontrados em sedimentos glaciais, indicativos de esfriamento. De 10.000 anos AP até o presente ocorreu a maior freqüência de elementos arbóreos, pteridófitas e menor contribuição de ervas e algas e ainda ausências de ervas aquáticas. A partir de 900 anos AP notou-se um declínio de elementos arbóreos que talvez possa ser explicado por influências antrópicas, pois a redução da mata sob condições climáticas úmidas sugere essa hipótese (MOFATTO, 2005, PESSENDA et al., 2009).

Análises palinológicas realizadas em dois testemunhos lacustres coletados no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira na região sul do estado de São Paulo provenientes da Lagoa Grande e da Lagoa Vermelha indicaram condições relativamente estáveis para ambos os locais de estudo, com tipos polínicos característicos de florestas densas e úmidas e elementos de matas de altitude, como *Podocarpus* e *Weinmannia*, pelo menos nos últimos 1000 anos para a Lagoa Grande e pelos últimos 4500 anos para a Lagoa Vermelha. Para a Lagoa Vermelha, entretanto, a interpretação da análise palinológica foi associada à presença de um clima mais frio no período de aproximadamente 1400 anos AP a 1100 anos AP. De acordo com a autora, a continuidade dos estudos palinológicos em alta resolução se faz necessária para a obtenção de interpretações mais precisas sobre a dinâmica da vegetação na região de estudo (SAIA, 2006).

## 3. A ÁREA EM ESTUDO

O Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) está localizado no sul do estado de São Paulo na região de Iporanga e possuí uma área total de 35.102 ha.

A pluviosidade média é de 1604 mm/ano, com máxima anual de 1860 mm e mínima de 1069 mm sendo que o trimestre menos chuvoso compreende os meses de junho a agosto e o mais úmido de janeiro a março. A temperatura média anual é de 20ºC, com médias mínima e máxima de 14ºC e 27ºC (KARMANN, 1994; CRUZ, 2003).

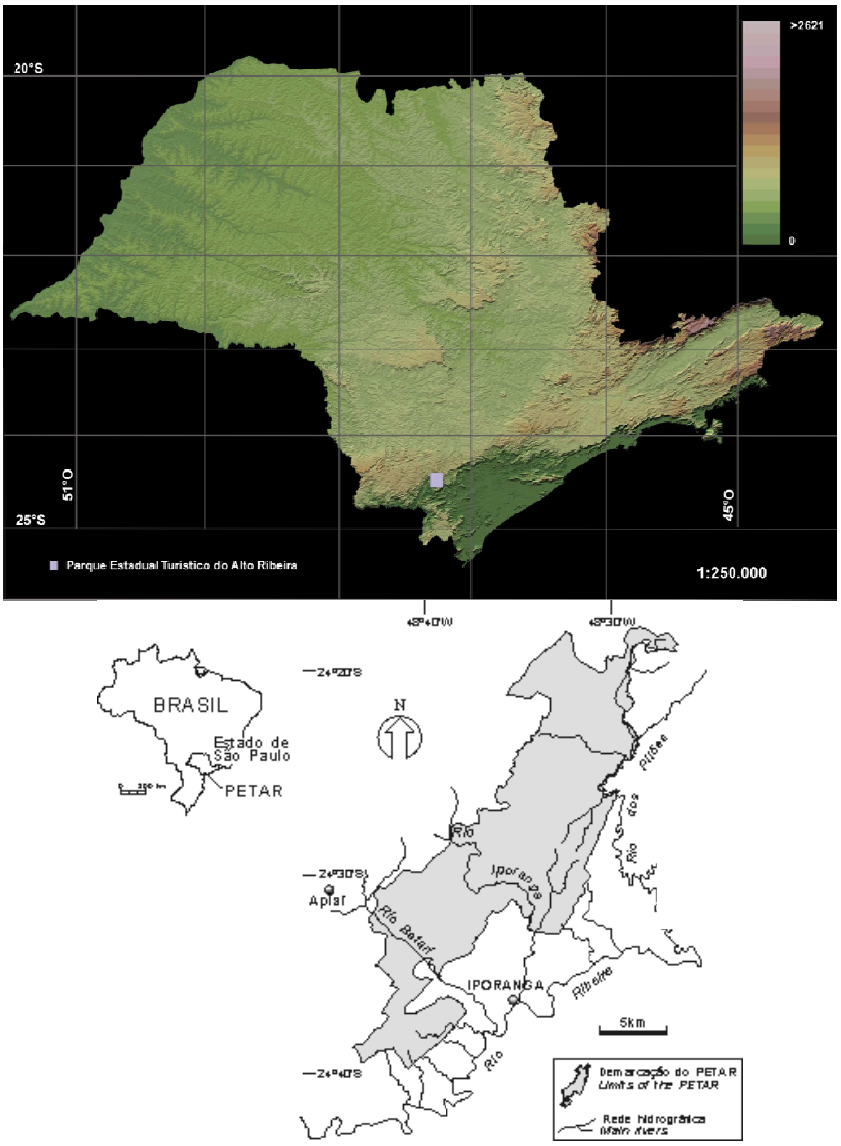



**Figura 1:** Área total do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira e sua localização no estado de São Paulo.

A Lagoa Vermelha (Figura 2) localiza-se 70 Km ao norte de Apiaí, a uma altitude de cerca de 500m e suas coordenadas geográficas são: 24º23'18''S; 48º31'44''O. Tem dimensões aproximadas de 70 m x 100m e atualmente é cercada por vegetação natural de Mata Atlântica.

O local é de muito difícil acesso e a coleta dos testemunhos da lagoa teve que ser realizada com o auxílio de um helicóptero, que transportou os equipamentos mais pesados, incluindo uma plataforma flutuante, montada em dois botes infláveis e o sistema do vibro-testemunhador.

A equipe de coleta utilizou a sede do PEI como ponto de partida e caminhou pela mata até a lagoa, num percurso de duração aproximada de 8 horas, com o auxílio de guardas do PETAR.

**Figura 2**: Vista aérea da Lagoa Vermelha, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (foto obtida e enviada ao Laboratório de C-14 pelo Prof. Ivo Karmann do Instituto de Geociências da USP)

**Figuras 3 e 4:** Vista da Lagoa Vermelha a partir da margem.

Em áreas de mata atlântica de encosta semelhantes à que se encontra nos arredores da Lagoa Vermelha as principais famílias botânicas encontradas costumam ser Myrtaceae, Lauraceae, Rubiaceae, Fabaceae, Sapotaceae, Euphorbiaceae e Melastomataceae (AGUIAR, 2003 ; DIAS, 2005).

Algumas das plantas dominantes no entorno da lagoa foram coletadas (SAIA, 2006), pertencentes às famílias Cyatheaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Celastraceae, Burmanniaceae, Bromeliaceae, Acanthaceae e Cyperaceae e Poaceae.

# 4. MATERIAL E MÉTODOS

## 4.1. Abertura do testemunho sedimentar e amostragem

O testemunho sedimentar Lagoa Vermelha II ( LV II ), coletado às margens da Lagoa Vermelha, com o uso de um vibro-testemunhador (MARTIN; FLEXOR, 1989) foi aberto no Laboratório $^{14}C$ no dia 08 de janeiro de 2007, com o uso de uma serra circular . Até o momento da abertura, o testemunho estivera armazenado lacrado em posição vertical numa câmara fria.

O testemunho foi fotografado e descrito logo após a abertura e a coloração do sedimento foi verificada com o uso da escala de Munsell de cores para solos (MACBETH DIVISION OF KOLLOMORGIN CORPORATION, 1995).

Foram selecionadas para a datação $^{14}C$ sete camadas de sedimento e uma amostra de folhas encontradas na base do testemunho.

Amostras para análises palinológica e diatomológica foram retiradas a cada 5 cm e a cada 10 cm, com o uso de amostradores com volume de 1 $cm^3$. Para análises elementares e isotópicas foram retiradas amostras a cada 5 cm. O sedimento foi cortado em camadas de 5 cm de espessura e todo o material foi armazenado em refrigerador até a utilização.

## 4.2. Datação $^{14}C$

O procedimento de preparo das amostras de sedimento seguiu duas etapas. Na primeira, efetuou-se a retirada de fragmentos de folhas e outros resíduos vegetais. Na segunda, efetuou-se o tratamento químico do sedimento: hidrólise ácida em solução de HCl 4% por 4 horas a 80°C. Após, cada amostra ficou em repouso até que o sedimento retornasse ao fundo do béquer e a solução removida com o uso de um sifão, neutralizada e descartada. Cada amostra foi lavada com água desionizada, seguindo o mesmo procedimento descrito acima, até que o pH da solução formada atingisse o valor 5 ou superior a este.

A amostra de folhas foi lavada em água desionizada e posteriormente efetuou-se uma hidrólise ácida com solução de HCl 2% a 60° Celsius durante três horas. As folhas foram lavadas com água desionizada até atingirem o pH 5.

As amostras (tabela 2) foram secas em estufa a 50° C e a combustão foi feita na linha de síntese de benzeno do Laboratório $^{14}C$ do CENA/USP. O $CO_2$ foi encapsulado e enviado para o Laboratório IsoTrace, no Canadá, para datação $^{14}C$ por AMS.

**Tabela 1:** Camadas selecionadas para datação $^{14}C$ e a massa obtida após os pré-tratamentos físico e químico.

| Amostra | Material | Massa final (g) |
|---|---|---|
| LV II 15 -- 20 | sedimento | 2,3 |
| LV II 100 -- 105 | sedimento | 4,2 |
| LV II 155 -- 160 | sedimento | 4,5 |
| LV II 165 -- 170 | sedimento | 7 |
| LV II 190 -- 195 | sedimento | 7,7 |
| LV II 260 -- 265 | sedimento | 8,3 |
| LV II 291 | sedimento | 7,8 |
| LV II 291 folhas | folhas de árvores | 1,1 |

As idades obtidas foram calibradas em anos AP através do programa de calibração Calib 5.0 (STUIVER; REIMER, 1993), no qual foi selecionada a curva de calibração INTCAL04 (REIMER et al., 2004).

Na discussão dos resultados optou-se pela utilização das idades $^{14}C$ convencionais, com as idades calibradas apresentadas em uma tabela para comparação.

**4.3. Análises elementares e isotópicas**

A amostragem para análises isotópicas seguiu-se de uma etapa de pré-tratamento físico, consistindo da remoção de folhas e restos de vegetais. Após esta etapa, cada amostra foi seca em estufa, homogeneizada em almofariz de porcelana e pesou-se 0,5 miligramas para análises elementar e isotópica de carbono e 1,5 miligrama para análises elementar e isotópica de nitrogênio. As amostras pesadas e embaladas em cápsulas de estanho foram enviadas para o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP.

Os resultados elementares foram expressos em porcentagem de massa seca e os isotópicos em unidade 'δ', determinada em relação aos padrões internacionais PDB, para $^{13}C$, e ar atmosférico, para $^{15}N$. O equipamento utilizado foi um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massas ANCA SL 2020 da Europa Scientific.

## 4.4. Análise Palinológica

O tratamento das amostras seguiu o protocolo (COLINVAUX et al., 1999) abaixo:

| | |
|---|---|
| 1 | Adicionar pastilhas de *Lycopodium clavatum* |
| 2 | Adicionar 5 mL HCl 10 % |
| 3 | Lavagem com água destilada (MCD) |
| 4 | Lavagem com água destilada (MCD) |
| 5 | Adicionar 8 mL de HF; deixar por 30 minutos a 2 h em banho-maria |
| 6 | Adicionar 8 mL de HCl 10% (MCD) |
| 7 | Lavar com $H_2O$ destilada novamente (M, C, D) |
| 8 | Adicionar 8 mL de KOH 5% , 5 min. a quente (MCD) |
| 9 | Adicionar 8 mL de KOH 5% , 5 min. a quente (MCD) |
| 10 | Lavar com $H_2O$ destilada (M, C, D) |
| 11 | Lavar com $H_2O$ destilada novamente (até 15 ml) (M, C, D) |
| 12 | Adicionar 8 mL de Ácido Acético Glacial (M, C, D) |
| 13 | Adicionar Ácido Acético Glacial novamente (M, C, D) |
| 14 | Acetólise, 10 minutos, banho-maria, 100° C (até 8 mL) (mexer frequentemente) |
| 15 | Completar com Ácido Acético Glacial até 15 mL (M, C, D) |
| 16 | Completar com Ácido Acético Glacial até 15 mL (M, C, D) |
| 17 | Adicionar $H_2O$ destilada (até 15 ml) (M, C, D) |
| 18 | Adicionar Álcool Absoluto (até 15 ml) (M, C, D) |
| 19 | Adicionar Álcool Absoluto (até 15 ml) (M, C, D) |
| 20 | Adicionar glicerina bidestilada (algumas gotas) |
| 21 | Secar em estufa a 40° C até o álcool evaporar |

M, C, D: mexer, centrifugar e descartar.
Solução de Acetólise: 9 partes de anidrido acético, 1 parte de ácido sulfúrico.

Foram adicionadas duas pastilhas do marcador exótico *Lycopodium clavatum* por amostra e os resíduos armazenados em frascos plásticos sob refrigeração.

Todas as soluções e produtos químicos utilizados na etapa de tratamento químico foram neutralizados e descartados ou enviados ao Laboratório de Tratamento de Resíduos do CENA.

As lâminas foram montadas da seguinte forma:

Com um bastão de vidro, as bordas das lamínulas foram recobertas com uma fina camada de parafina derretida. Uma gota de cada amostra foi colocada sobre uma lâmina e coberta com uma lamínula, com a parafina voltada para a lâmina. Cada conjunto foi levado à chapa aquecedora até que a parafina derretesse e a lamínula foi pressionada, com um palito, para espalhar a amostra.

O excesso de parafina foi retirado com uma lâmina e a lutagem feita com esmalte incolor. As lâminas foram identificadas com o código da amostra e guardadas em caixas de madeira (Foto 6). As caixas de madeira contendo as lâminas foram mantidas na sala de palinologia do Laboratório $^{14}C$ em posição vertical de modo a evitar que os palinomorfos se concentrassem em um dos lados das lâminas.

**Figura 5:** Caixa de madeira contendo lâminas para análise palinológica do testemunho LV II.

### 4.5. Identificação e contagem dos palinomorfos

A identificação e contagem dos palinomorfos foi feita no Laboratório $^{14}C$ do CENA em um microscópio óptico Carl Zeiss modelo Axioscop 40 com objetiva com aumento de 100x.

Foram utilizadas as coleções de referência do Laboratório de Paleobotânica da Universidade Guarulhos e do Laboratório $^{14}C$ do CENA, além de atlas polínicos (SALGADO-LABORIAU, 1973; ABSY, 1975; MARKGRAF; D'ANTONI, 1978; ROUBIK; MORENO, 1991; COLINVAUX et al., 1999).

Em cada amostra foram contados 300 grãos de pólen pertencentes a táxons de hábito arbóreo, além dos pertencentes a táxons de hábitos herbáceo e aquático, esporos de Pteridófitas e Clorófitas. Para angiospermas foi seguida a classificação de Cronquist.

Os resultados foram calculados e expressos através de diagramas elaborados a partir do programa Tilia/TiliaGraph (GRIMM, 1987).

### 4.6. Comparação entre protocolos de tratamento químico para Palinologia do Quaternário.

Um dos objetivos deste trabalho foi comparar dois protocolos de tratamento químico de sedimentos para análises palinológicas.

Buscou-se selecionar parâmetros para comparação e organizar uma metodologia objetiva e simples que permitisse repetições posteriores e fosse facilmente replicável.

A seguir são apresentados os protocolos comparados e a metodologia de comparação aplicada.

### 4.6.1. Os protocolos utilizados

**Protocolo 1**

Neste protocolo (COLINVAUX et al., 1999) são utilizados tubos tipo Falcon de 15 mL, sendo possível o tratamento de 24 amostras simultaneamente, e as amostras utilizadas são de 1 $cm^3$ de sedimento. As etapas são mostradas a seguir:

| | |
|---|---|
| 1 | Adicionar pastilhas de *Lycopodium clavatum* |
| 2 | Adicionar 5 mL HCl 10 % |
| 3 | Lavagem com água destilada (MCD) |
| 4 | Lavagem com água destilada (MCD) |
| 5 | Adicionar 8 mL de HF; deixar por 30 minutos a 2 h em banho-maria |
| 6 | Adicionar 8 mL de HCl 10% (MCD) |
| 7 | Lavar com $H_2O$ destilada novamente (M, C, D) |
| 8 | Adicionar 8 mL de KOH 5% , 5 min. a quente (MCD) |
| 9 | Adicionar 8 mL de KOH 5% , 5 min. a quente (MCD) |
| 10 | Lavar com $H_2O$ destilada (M, C, D) |
| 11 | Lavar com $H_2O$ destilada novamente (até 15 ml) (M, C, D) |
| 12 | Adicionar 8 mL de Ácido Acético Glacial (M, C, D) |
| 13 | Adicionar Ácido Acético Glacial novamente (M, C, D) |
| 14 | Acetólise, 10 minutos, banho-maria, 100° C (até 8 mL) (mexer frequentemente) |
| 15 | Completar com Ácido Acético Glacial até 15 mL (M, C, D) |
| 16 | Completar com Ácido Acético Glacial até 15 mL (M, C, D) |
| 17 | Adicionar $H_2O$ destilada (até 15 ml) (M, C, D) |
| 18 | Adicionar Álcool Absoluto (até 15 ml) (M, C, D) |
| 19 | Adicionar Álcool Absoluto (até 15 ml) (M, C, D) |
| 20 | Adicionar glicerina bidestilada (algumas gotas) |
| 21 | Secar em estufa a 40° C até o álcool evaporar |

M, C, D: mexer, centrifugar e descartar.
Solução de Acetólise: 9 partes de anidrido acético, 1 parte de ácido sulfúrico.

No protocolo, (M, C, D) significam misturar, centrifugar e descartar o líquido. A centrifugação é realizada a 2500 rotações por minuto, por 5 minutos.

A solução de acetólise é constituída de 9 partes de anidrido acético e 1 parte de ácido sulfúrico concentrado.

**Protocolo 2**

Neste protocolo (FAEGRI; IVERSEN, 1989) são utilizados tubos tipo Falcon de 50 mL e amostras de 5 gramas de sedimento úmido. A centrifugação é realizada a 3000 rotações por minuto durante 8 minutos.

*1 Remoção de silicatos*

Utiliza-se ácido fluorídrico (HF) 40% em quantidade suficiente para cobrir as amostras, que nele devem permanecer por no mínimo 18 horas a frio. Após este período as amostras devem ser centrifugadas e o HF descartado.

*2 Remoção de colóides de sílica*

Após a remoção do ácido fluorídrico adiciona-se HCl 50% e as amostras são deixadas em banho-maria por 10 minutos. Após este tempo as amostras são centrifugadas e o HCl retirado. Tal procedimento deve ser repetido até que o ácido ao ser descartado tenha aparência incolor. Ao final desta etapa, as amostras são centrifugadas com água destilada por duas vezes.

*3 Remoção de ácidos húmicos*

Adiciona-se às amostras solução de hidróxido de potássio (KOH) com concentração de 10%. As amostras devem ser mantidas em banho-maria por 10 minutos. O KOH é retirado após centrifugação e o procedimento deve ser repetido até que a solução tenha aspecto incolor. Ao final as amostras devem ser centrifugadas com água destilada por duas vezes.

*4 Separação dos palinomorfos por densidade*

Após as lavagens com água destilada adiciona-se cloreto de zinco ($ZnCl_2$) em solução de densidade 2g / $cm^3$ às amostras. Centrifuga-se e reserva-se o sobrenadante em um tubo a

parte, efetuando o descarte do precipitado. Ao sobrenadante junta-se solução de HCl 25%, baixando assim a densidade e precipitando o material de interesse. As amostras são centrifugadas e após o descarte do ácido o material é lavado três vezes com água destilada. Após esta etapa as amostras repousam por 30 minutos em uma solução de glicerina 10% para a reidratação dos palinomorfos. Retira-se esta solução com a centrifugação das amostras e ao resíduo final adiciona-se glicerina bidestilada.

Doravante neste texto, serão utilizados os termos *Protocolo 1* e *Protocolo 2* , grafados em itálico e iniciados em letra maiúscula para nomear os protocolos aqui apresentados.

**4.6.2. Sub-amostragem**

A primeira etapa proposta para a realização da comparação entre os protocolos foi a homogeneização das amostras que serão tratadas por ambos.

Foram selecionadas 5 camadas de sedimento, com 5 centímetros de espessura, e uma alíquota de cada uma foi homogeneizada, misturando-se bem o material em um copo de laboratório com o uso de uma espátula antes de realizar a amostragem para cada análise.

Para o *Protocolo 1* foram retiradas amostras de 1 $cm^3$ e para o *Protocolo 2* foram retiradas amostras de 5 gramas.

Durante a sub-amostragem para o *Protocolo 1*, foi utilizado um amostrador confeccionado em aço inox, com uma cavidade cilíndrica de 1 $cm^3$. Estas amostras também foram pesadas antes do início do tratamento.

### 4.6.3. Montagem das lâminas

Buscou-se montar as lâminas utilizando os resíduos de ambos os protocolos espalhando bastante o resíduo, de modo que a montagem tivesse o menor efeito nos resultados da comparação metodológica.

As lâminas do *Protocolo 1* foram confeccionadas com parafina, utilizando-se lamínulas de 24mm x 24mm da mesma maneira descrita para a montagem das lâminas utilizadas neste trabalho para a análise palinológica.

As lâminas para o *Protocolo 2* foram confeccionadas utilizando lamínulas de 24mm x 50mm. Foram traçadas duas linhas de cola na lâmina, entre as quais, um volume de 50 µL de resíduo foi pipetado. A lamínula, colocada sobre o resíduo não deve permitir a formação de bolhas de ar. A cola utilizada foi o líquido de secagem rápida Histolaque LMR.

Foram confeccionadas 25 lâminas por protocolo, sendo 5 lâminas por camada e 50 lâminas no total.

### 4.6.4. Metodologia para comparação

Para comparação, buscou-se responder às seguintes questões:

Ao observar pontos com distribuição aleatória em uma lâmina;

1) Quantos palinomorfos são encontrados?
   i) Por camada
   ii) Por protocolo

2) Quanto da área observada é ocupada por matéria orgânica?

Para responder a estas questões foi desenvolvido um método para obtenção de pontos que ao mesmo tempo fossem escolhidos de maneira aleatória e estivessem distribuídos uniformemente pela área ocupada pelo resíduo nas lâminas.

Em cada lâmina selecionada para a comparação metodológica foram marcados 9 pontos com uma caneta azul de ponta fina. A distribuição destes pontos seguiu um padrão de uma malha de 3x3. Os pontos foram posicionados de maneira eqüidistante, de modo que cobrissem uma grande área do resíduo espalhado sob a lamínula (Figura 6).

Um microscópio ótico, Carl Zeiss, modelo Axioscop 40 com uma câmera digital foi utilizado para obtenção de um conjunto de fotos de cada lâmina, associados aos pontos de tinta marcados sobre as lamínulas. As fotos foram tiradas utilizando um aumento de 400x e a câmera foi regulada para capturar fotos em forma de quadrados de 168,3 µm x 168,3 µm, cobrindo uma área equivalente a 28325 $\mu m^2$ (Figura 7).

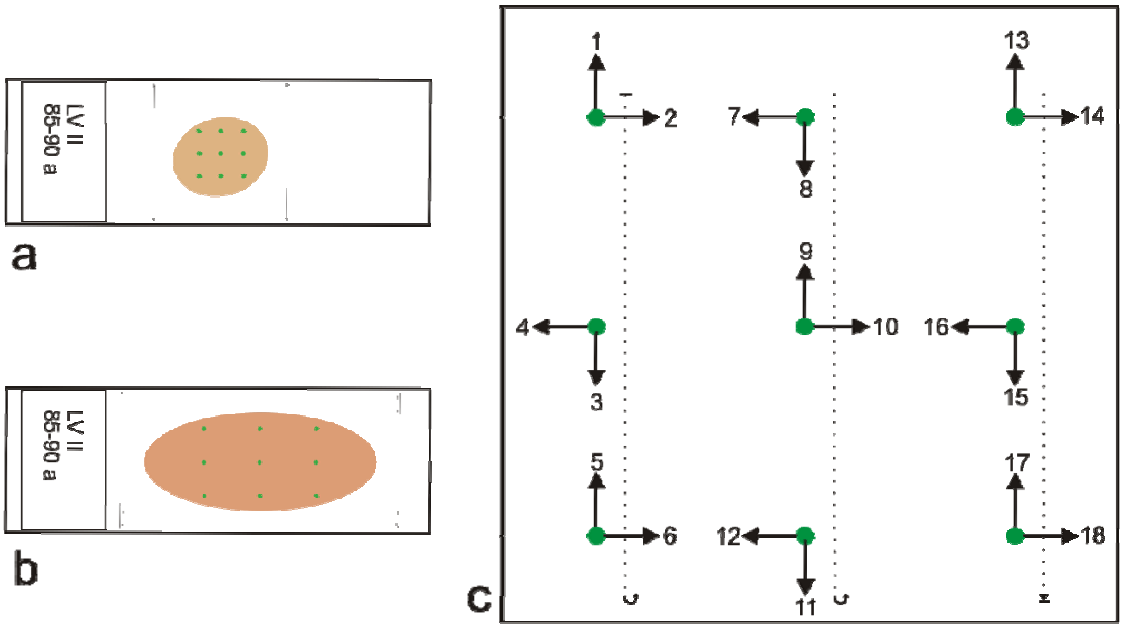



**Figura 6: a)** Modelo de lâmina confeccionada com os resíduos do *Protocolo 1*; **b)** Modelo de lâmina confeccionada com os resíduos do *Protocolo 2*; **c)** Sentidos para obtenção das fotografias a partir dos pontos marcados em cada lamínula, girando no sentido horário.

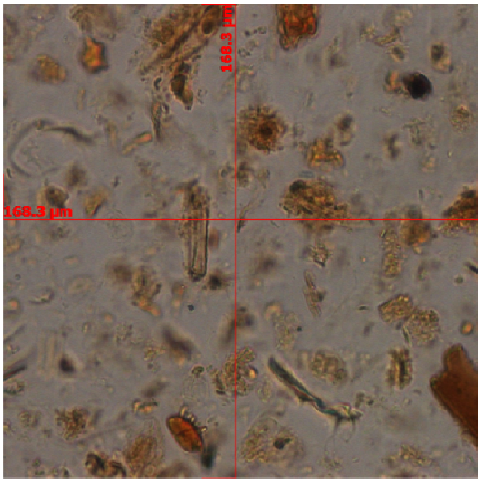



**Figura 7:** Modelo de imagem utilizada na comparação entre dois protocolos de tratamento químico para análise palinológica

Cada ponto foi localizado com aumentos de 50x ou 100x. Com o campo de visão ajustado ao centro aproximado de cada ponto, passou-se ao aumento de 400x e deslocou-se o charriot até que o ponto de tinta estivesse no limite do campo de visão pela ocular. Nesta posição, a distâncias sempre regulares dos pontos de tinta, foram tiradas as fotografias (Figura 8).

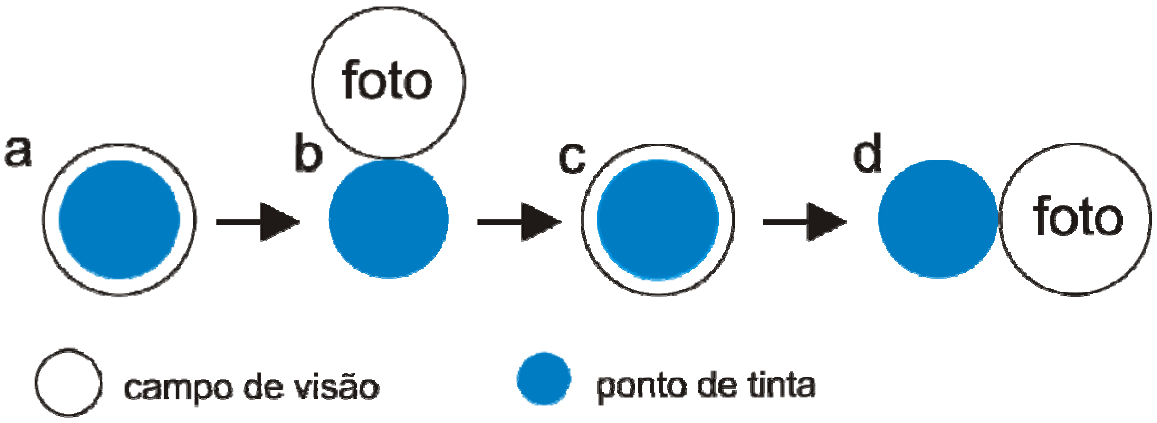



**Figura 8:** Sequência para obtenção das fotografias, tomando como referência os pontos de tinta marcados nas lamínulas: a) Centralização do campo de visão sobre o ponto de tinta. b) Deslocamento para um dos lados do ponto, de modo a retirá-lo do campo de visão e obtenção da foto. c) Retorno do campo de visão até o ponto de tinta. d) Deslocamento perpendicular em relação à direção do movimento anterior, no sentido horário, até que o ponto esteja novamente fora do campo de visão e obtenção de uma nova foto.

Para cada ponto marcado, foram feitas duas fotografias, de modo que cada lâmina foi fotografada 18 vezes, gerando um total de 90 fotos por camada analisada e de 450 fotos por protocolo. Após a primeira fotografia ao lado de cada ponto, centralizava-se novamente o ponto de tinta e repetia-se o mesmo padrão de movimento, para outro lado, sempre no sentido horário (Figura 8).

As fotografias, foram convertidas em arquivos do CorelDRAW e uma grade quadriculada foi colocada sobre cada uma delas, dividindo-as em 100 quadrículas (Figura 9). Estas quadrículas serviram como referência para a determinação da porcentagem da área de cada fotografia ocupada por matéria orgânica e da porcentagem da área considerada livre.

Por área livre, consideraram-se as áreas transparentes ou translúcidas que permitiriam a observação de palinomorfos ou as áreas em que se encontra presente algum palinomorfo, sem nenhum material interferente que dificultasse sua identificação.

Nas fotos obtidas, foram contados os palinomorfos encontrados por amostra e por protocolo.

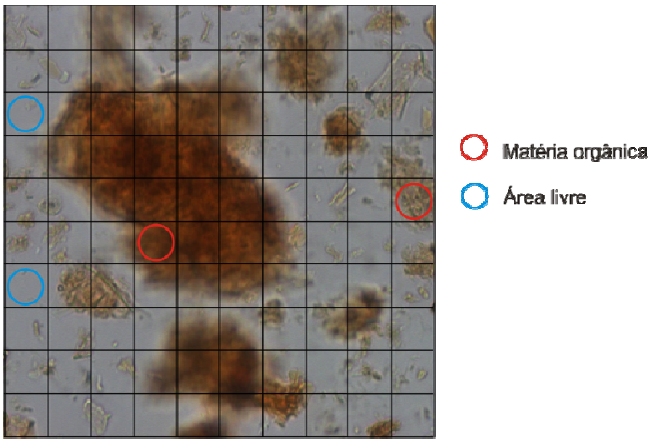



**Figura 9:** Grade quadriculada dividindo a foto em 100 partes, com marcações de exemplos de quadrículas consideradas como 'Área livre' e outras consideradas como 'Matéria orgânica'.

Para evitar que eventuais preferências pessoais pudessem interferir na análise das fotografias, foi solicitado que uma colega do Laboratório $^{14}C$ alterasse os nomes das pastas contendo as fotos de cada protocolo e, dentro delas, também os nomes de cada camada. Desta forma, a análise foi realizada sem que o estudante pudesse saber a que protocolo ou a que camada cada foto pertencia. Os nomes originais de cada pasta foram escritos num papel, seguidos dos novos nomes e este papel foi guardado dobrado em um envelope até a finalização da análise.

Para cada foto foi estimada a porcentagem de área livre com o auxílio da grade quadriculada e posteriormente, calculadas as médias de área livre por amostra e por protocolo.

### 4.6.5. Palinomorfos encontrados por protocolo

Os palinomorfos encontrados nas fotografias para comparação entre protocolos foram divididos em três classes: Grãos de pólen, Esporos de Pteridófitas e *Botryococcus*.

Foram contados apenas os palinomorfos encontrados nas fotografias utilizadas para a comparação metodológica.

### 4.6.6. Comparação de custos entre protocolos

Foram calculados os custos de tratamento por amostra para cada protocolo e levadas em consideração as dificuldades na compra dos reagentes necessários.

Os cálculos envolveram os tipos e quantidades médias de reagentes utilizados em cada protocolo, bem como os custos de tratamento dos resíduos gerados por amostra.

### 4.6.7. Praticidade e tempo consumido

Foi calculado o tempo necessário para o tratamento das amostras e considerados os aspectos de praticidade do uso de cada protocolo em rotina laboratorial. No cálculo do tempo, foram considerados os equipamentos disponíveis, que permitem o tratamento simultâneo de 24 amostras segundo o protocolo 1 e de 12 amostras segundo o protocolo 2.

### 4.6.8. Geração de resíduos

Foram consideradas as quantidades e tipos de resíduos produzidos em cada protocolo, bem como as dificuldades para tratamento e adequada destinação destes resíduos.

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1. Comparação entre protocolos

### 5.1.1. Tratamentos químicos

No tratamento químico que seguiu o *Protocolo 1*, foram adicionadas 2 pastilhas do marcador exótico *Lycopodium clavatum*, e todo o procedimento ocorreu de acordo com o esperado.

No tratamento químico que seguiu o *Protocolo 2* foram necessárias três repetições para que o HCl extraído das amostras ficasse incolor, indicando que a próxima etapa poderia ser iniciada.O tratamento com hidróxido de potássio por sua vez, exigiu 18 repetições em quatro das amostras e 19 em uma delas.

Embora já sabendo que a etapa de separação por densidade é eficaz para separação de materiais minerais com densidade superior a 2 $g/cm^3$, tal etapa foi realizada para registrar o comportamento de uma amostra com alto teor de matéria orgânica e os resultados obtidos ao final do procedimento.

A etapa de separação dos palinomorfos por densidade foi realizada sem sucesso numa primeira tentativa. Todo o resíduo presente no tubo migrou para a superfície do líquido, formando uma ‘tampa’ com aproximadamente 1 cm de espessura. Por possuírem densidade semelhante, tanto os palinomorfos como os fragmentos orgânicos que resistiram ao tratamento com KOH ficaram acima do líquido denso. Extrair esta camada do tubo foi difícil e em todas as amostras, a movimentação com a espátula ocasionou mistura da fração orgânica com o líquido denso.

Como nada foi separado nesta etapa e havia possibilidade de perda de palinomorfos durante a retirada da camada orgânica do tubo, optou-se por realizar novamente o tratamento, desde o início e não mais passar as amostras pela etapa do líquido denso.

### 5.1.2. Palinomorfos encontrados por protocolo

Nas fotografias obtidas a partir de lâminas do *Protocolo 1* foram encontrados mais palionomorfos que nas obtidas a partir de lâminas do *Protocolo 2*.

As maiores diferenças foram verificadas em relação ao número de Botryococcus encontrados: 28 nas fotografias do *Protocolo 1*, em comparação a 2 , encontrados nas fotografias do *Protocolo 2*.

O número de grãos de pólen encontrado também foi superior nas fotografias do *Protocolo 1*: 27 grãos contra 10 encontrados nas fotografias do *Protocolo 2*.

De acordo com estes resultados, ao observar um ponto aleatório de uma lâmina para análise palinológica, as chances de encontrar um palinomorfo parecem ser maiores se a lâmina em observação tiver sido montada com material tratado conforme o *Protocolo 1*.

Os resultados obtidos em relação aos números de palinomorfos encontrados podem ser observados a seguir (Gráficos 1 e 2):

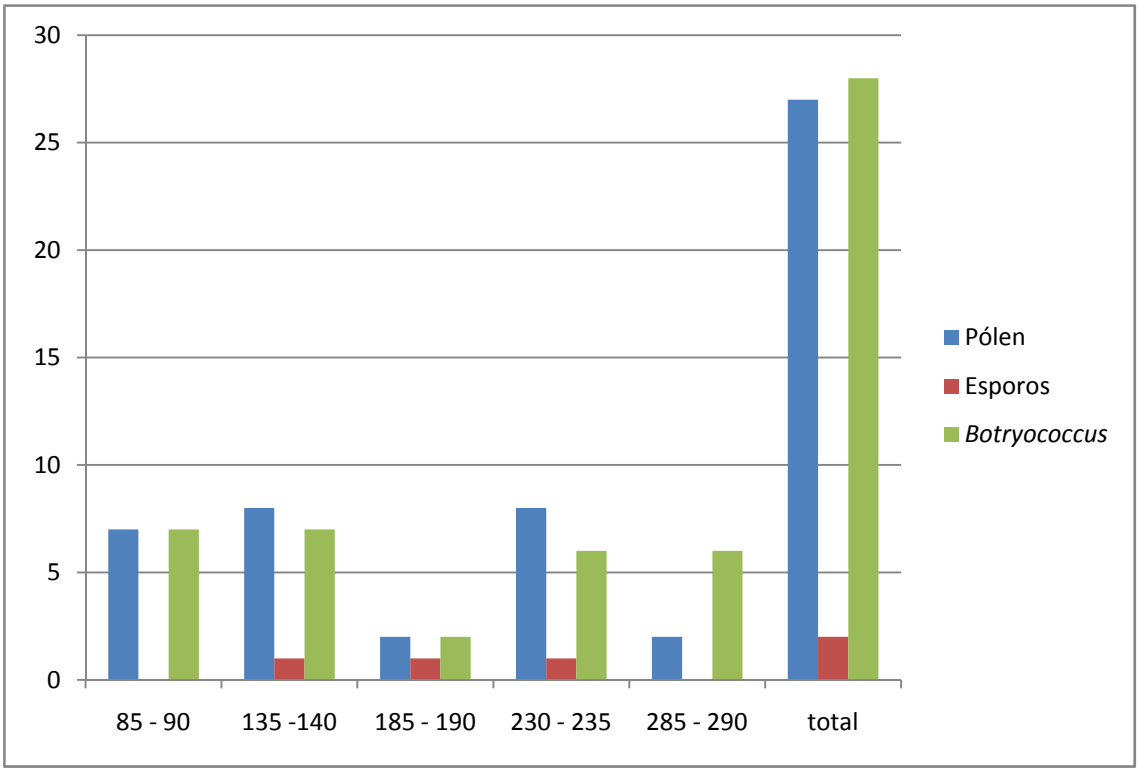



**Gráfico 1:** Palinomorfos encontrados nas fotos das lâminas do *Protocolo 1*

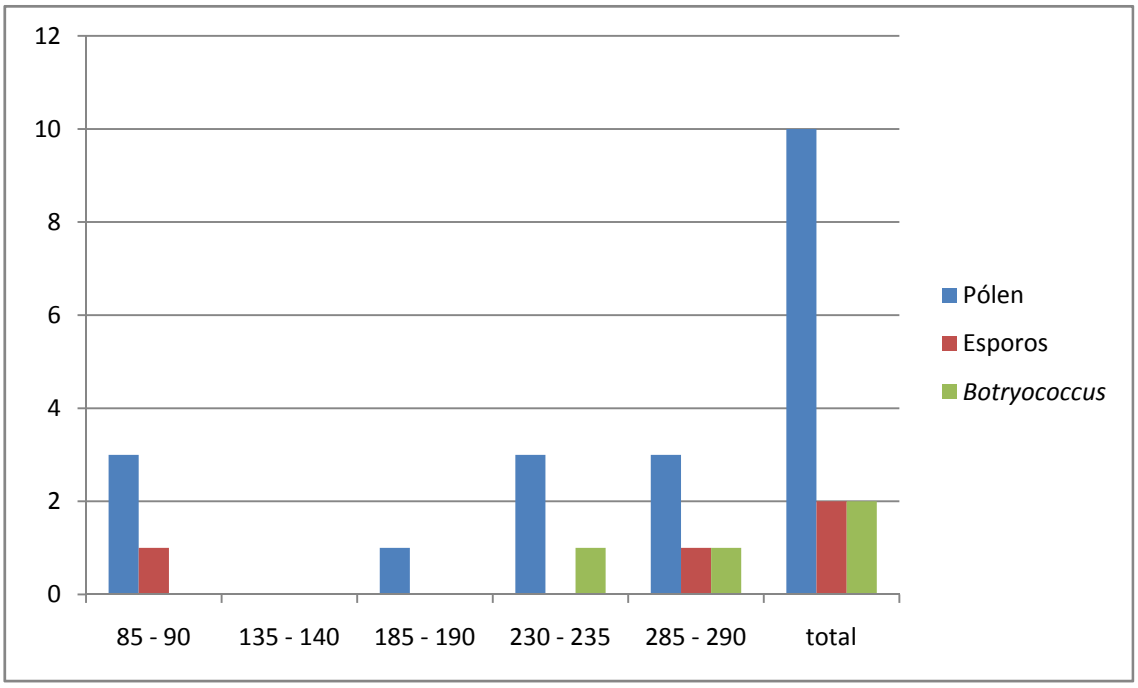



**Gráfico 2:** Palinomorfos encontrados nas fotos das lâminas do *Protocolo 2*

### 5.1.3. Matéria orgânica amorfa

Nos gráficos da Figura 10 são apresentados os valores percentuais médios de matéria orgânica encontrados na comparação entre os protocolos de análise palinológica.

Todos os dados obtidos nas cinco amostras foram unidos para calcular as porcentagens médias de ocorrência de matéria orgânica por protocolo analisado. Desta forma, um total de 450 fotos foi analisado por protocolo e os resultados são mostrados a seguir nos gráficos da Figura 11.

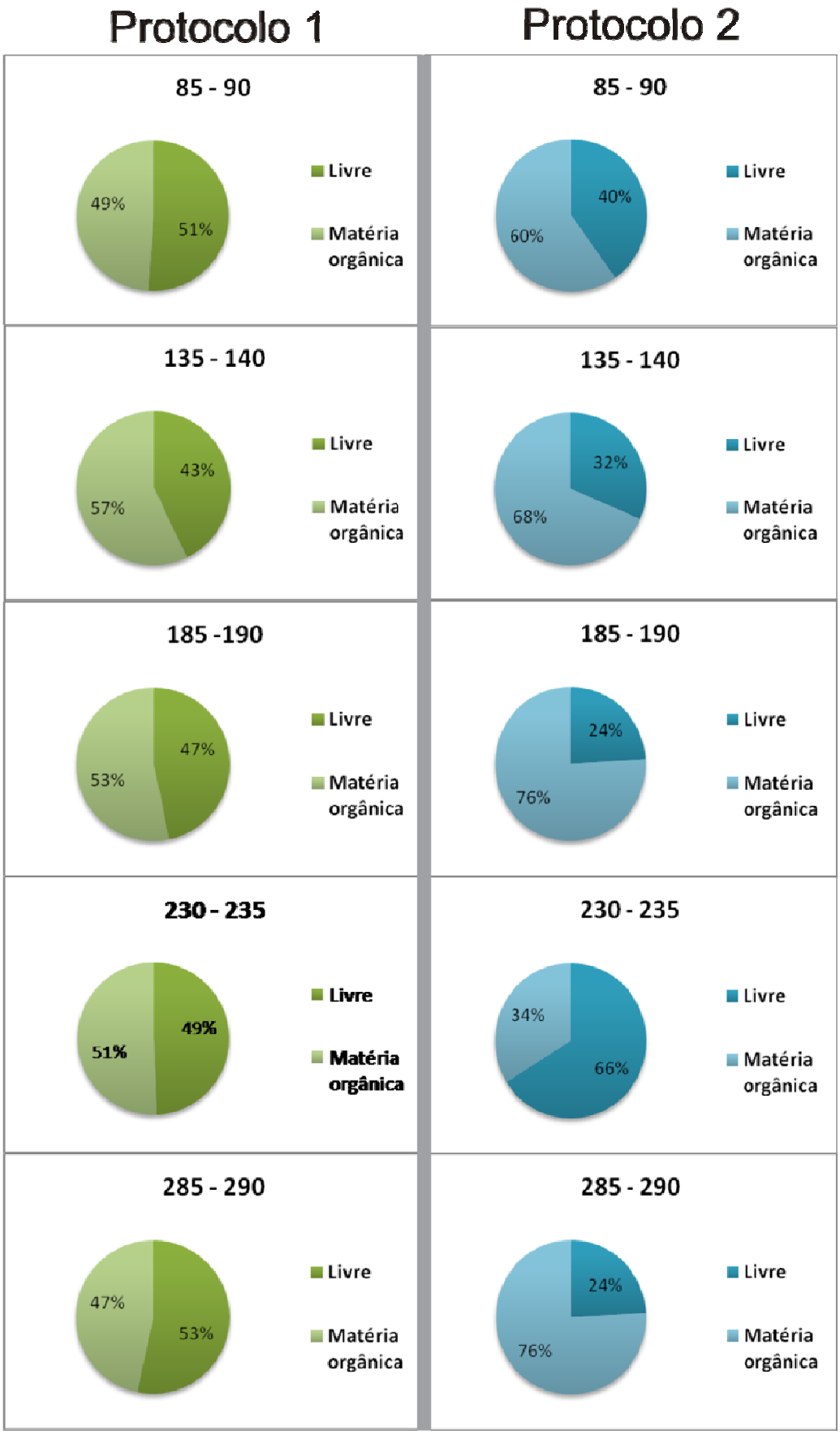



**Figura 10:** Média das porcentagens de matéria orgânica em cada amostra, por protocolo.

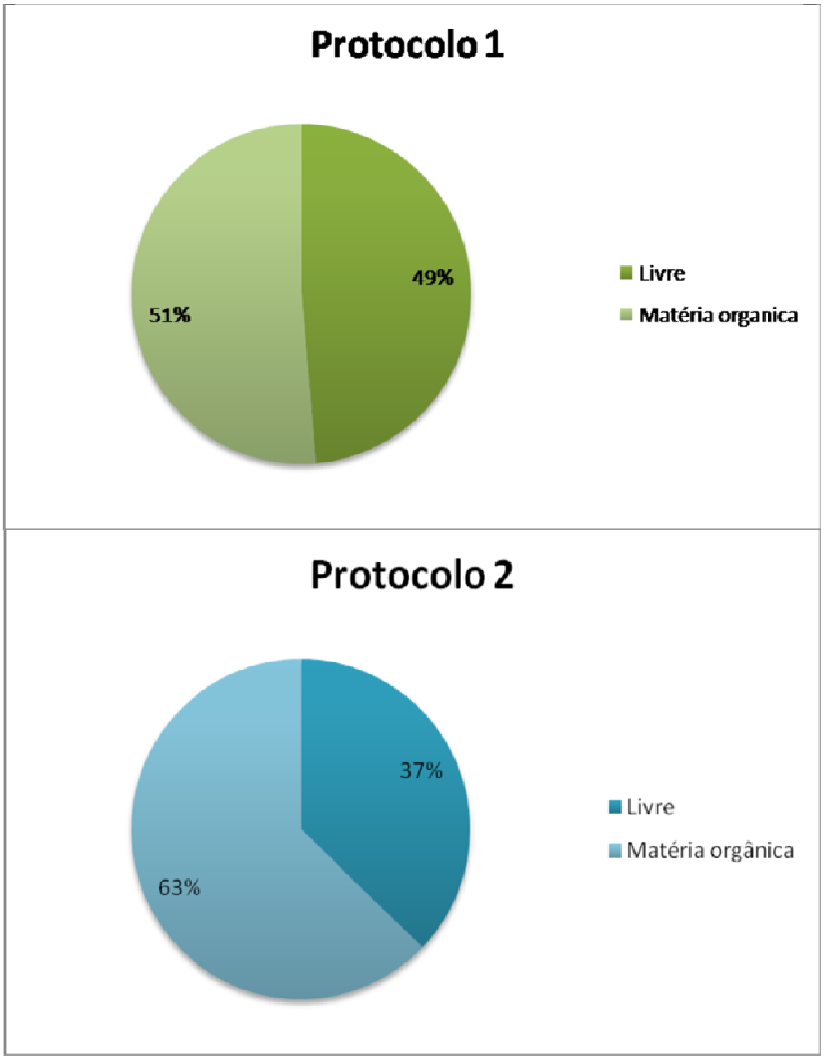



**Figura 11:** Percentual médio de área livre e de área contendo matéria orgânica, considerando-se o resultado de todas as amostras observadas por protocolo.

De acordo com o método de análise utilizado, cada foto pode se encaixar em 100 categorias conforme a porcentagem de área livre que retrata, variando de 0, quando toda a área fotografada encontra-se recoberta por matéria orgânica até 100, quando toda a área fotografada está livre de matéria orgânica. A distribuição das fotos de acordo com as porcentagens de área livre registrada por foto pode ser organizada em gráficos de dispersão (Figuras 12 e 13).

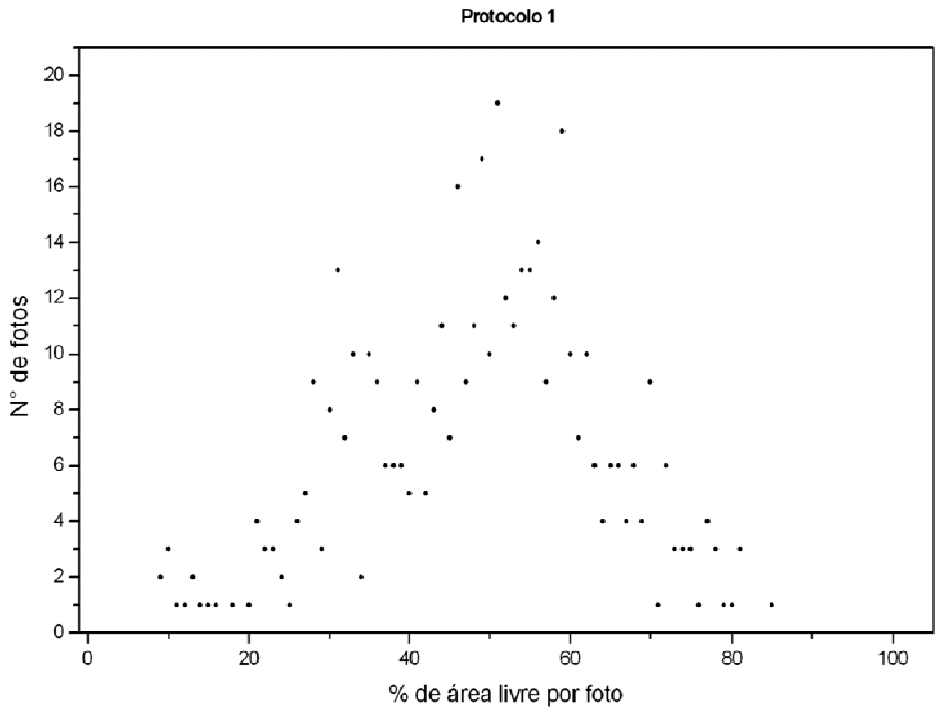



**Figura 12:** Distribuição do número de fotos de acordo com a porcentagem de área livre registrada por foto tirada das lâminas do *Protocolo 1*.

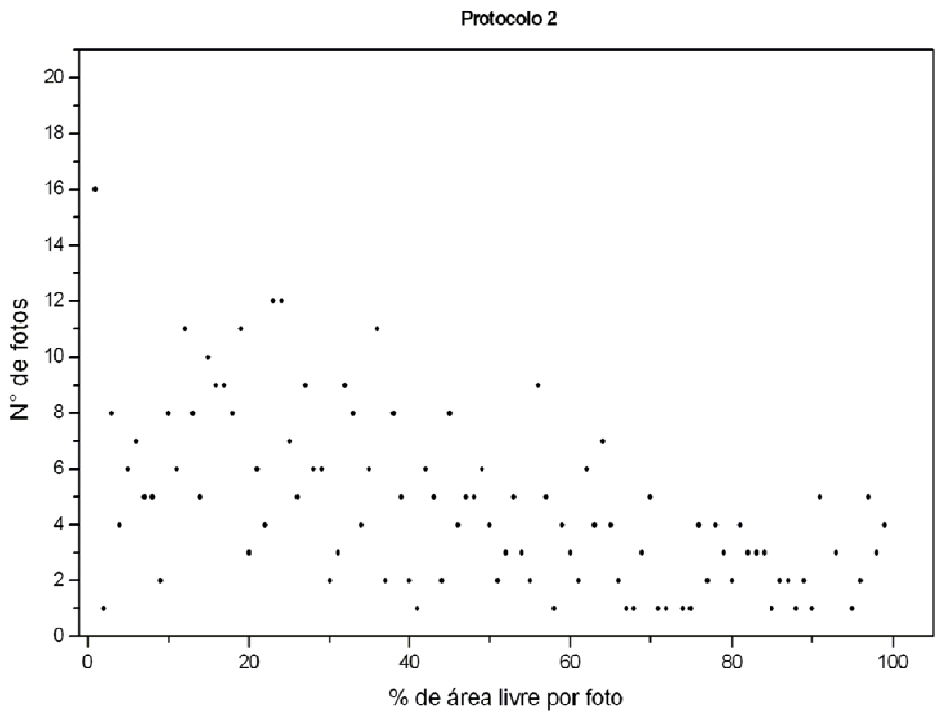



**Figura 13:** Distribuição do número de fotos de acordo com a porcentagem de área livre registrada por foto tirada das lâminas do *Protocolo 2*.

Através dos gráficos de dispersão, pode-se notar que a maior parte das fotos das lâminas do *Protocolo 1* registraram valores de área livre entre 30% e 70%. Nenhuma foto registrou áreas completamente ocupadas por matéria orgânica e o maior valor de área livre registrado foi de 84%.

As fotos do *Protocolo 2* tiveram uma distribuição diferente. Registrou 16 fotos em que tudo o que podia ser visto era matéria orgânica (0% de área livre) e 23 fotos com área livre igual ou superior a 90% (com máximo observado em 4 fotos que atingiram aproximadamente 98% de área livre).

Em todas as amostras houve diferenças de resultados entre os protocolos. Para quatro das cinco amostras analisadas as fotos obtidas a partir das lâminas montadas com material do *Protocolo 1* registraram, em média, pelo menos 11% de área livre a mais em relação ao observado no *Protocolo 2*.

O número de repetições de camadas, lâminas por camada e lâminas por protocolo parece ter sido suficiente para reduzir o efeito destas variáveis como fonte de erro e a realização de um 'teste cego' foi eficiente no sentido de tornar a análise o mais objetiva possível.

De acordo com o s resultados pode-se afirmar que o *Protocolo 1* foi mais eficiente que o protocolo 2 na eliminação da matéria orgânica e propiciou maiores chances de visualização de palinomorfos quando escolhidos pontos aleatórios nas lâminas.

O melhor desempenho do *Protocolo 1* em relação ao *Protocolo 2* foi verificado através dos resultados obtidos, entretanto se deve também avaliar o desempenho do *Protocolo 2* quando submetido a amostras de menor massa.

Outro resultado de destaque foi o número de palinomorfos encontrados nas lâminas do *Protocolo 1:* aproximadamente três vezes ao encontrado nas lâminas do *Protocolo 2*, que utilizou cinco vezes mais sedimento em sua etapa inicial.

### 5.1.4. Custos por protocolo

Os custos finais de tratamento por amostra, levando-se em consideração as quantidades utilizadas de cada tipo de reagente foram de R$14,57 para o *Protocolo 1* e de R$20,86 para o *Protocolo 2* (Tabela 2).

**Tabela 2**: Custos de tratamento químico por amostra para cada protocolo comparado.

| Material | Preço | Custo por amostra | |
|---|---|---|---|
| | | *Protocolo 1* | *Protocolo 2* |
| Glicerina Bidestilada (1L) | R$ 115,00 | R$ 0,02 | R$ 0,17 |
| Ácido Acético Glacial 100% (1L) | R$ 88,20 | R$ 4,80 | ------ |
| Ácido Clorídrico 37% (1L) | R$ 84,30 | R$ 0,07 | R$ 6,32 |
| Ácido Fluorídrico 48% (1L) | R$ 602,20 | R$ 4,90 | R$ 4,90 |
| Ácido Sulfúrico 95-97% (1L) | R$ 95,00 | R$ 0,34 | ------ |
| Anidrido Acético 98,5% (1L) | R$ 103,60 | R$ 1,16 | ------ |
| Etanol Absoluto (1L) | R$ 81,20 | R$ 2,40 | ------ |
| Hidróxido de Potássio (1 Kg) | R$ 155,40 | R$ 0,04 | R$ 4,80 |
| Cloreto de Zinco (1 Kg) | R$ 438,30 | ------- | R$ 4,04 |
| Lycopodium (500 pastilhas) | R$ 170,40 | R$ 0,68 | ------ |
| Água desionisada | R$ 1,50 / L | R$ 0,16 | R$ 0,63 |
| *********CUSTO FINAL POR AMOSTRA********* | | R$ 14,57 | R$ 20,86 |

Embora o *Protocolo 1* exija o uso de mais tipos de reagentes, a quantidade de ciclos de banho-maria, centrifugação e descarte de HCl e KOH no *Protocolo 2* tornam os custos do tratamento superiores, mesmo quando o cálculo dos custos é feito com uma estimativa conservadora do número de repetições destes procedimentos (no caso, 3 vezes cada um deles).

No caso das amostras do sedimento LVII que passaram por 17 ou 18 repetições da etapa de aquecimento em KOH, o custo do tratamento atingiu o valor mínimo de R$43,26 por amostra, quase 3 vezes o custo por amostra no *Protocolo 1*.

### 5.1.5. Tempo e praticidade

Foi possível através do *Protocolo 1* tratar 24 amostras de sedimento de cada vez, em um período total de 1 dia e meio. Através do *Protocolo 2*, foi possível tratar 12 amostras de cada vez e o período de tratamento foi de 3 a 4 dias até que os resíduos estivessem prontos para a montagem das lâminas e armazenamento.

Em relação à praticidade na execução, o *Protocolo 1* apresentou considerável vantagem por permitir o manuseio de uma quantidade maior de amostras simultaneamente.

### 5.1.6. Geração de resíduos

Em relação à produção e à destinação final adequada de resíduos o *Protocolo 1* apresenta desvantagem em relação ao *Protocolo 2*.

O protocolo 2 gera resíduos de HCl e KOH que podem ser facilmente neutralizados no próprio laboratório gerador, por neutralização, e os próprios resíduos podem ser reservados e utilizados para neutralizar um ao outro. Quando utilizada a etapa de separação por densidade é

gerado também o resíduo de ZnCl2, cujo tratamento no CENA é realizado pelo Laboratório de Resíduos.

Os protocolos geram outros resíduos que precisam ser enviados para o Laboratório de Resíduos para tratamento. Ambos produzem resíduos de HF em quantidades proporcionais, porém o *Protocolo 1* gera ainda resíduos de Ácido Acético Glacial, HCl + HF, $H_2SO_4$ + Anidrido Acético + Ácido Acético Glacial e Etanol.

Os ácidos enviados para o Laboratório de Resíduos devem passar por processo de neutralização geral, que no caso dos ácidos orgânicos, em especial do Ácido Acético Glacial é bastante moroso, pois há formação de muita espuma que pode extravasar o recipiente onde se realiza a neutralização (embora tenha o volume de 20 L).

O Etanol gerado é destilado e recuperado com baixo teor de água, já sendo estudada a possibilidade de reutilização experimental deste Etanol no tratamento de material floral extraído de herbários para a composição de coleções de referência para palinologia.

### 5.1.7 Resultados e considerações finais da comparação entre protocolos

Dos seis parâmetros avaliados, em cinco os resultados obtidos através do *Protocolo 1* foram superiores ao obtidos no *Protocolo 2* (Tabela 3).

**Tabela 3**:Desempenho de cada protocolo de acordo com os parâmetros avaliados.

| Parâmetro avaliado | Protocolo 1 | Protocolo 2 |
|---|---|---|
| Concentração de palinomorfos | + | - |
| % de área livre | + | - |
| Custo de reagentes | + | - |
| Tempo | + | - |
| Praticidade | + | - |
| Geração de resíduos | - | + |

Com base nos resultados observados na comparação entre os protocolos, recomenda-se a utilização do *Protocolo 1* para o tratamento de sedimentos com elevado teor de matéria orgânica.

Tal recomendação deriva da suspeita de que amostras de tal natureza por necessitarem de maior número de etapas com KOH 10% no *Protocolo 2* acabam sujeitas à destruição dos palinomorfos.

## 5.2. Descrição litológica do testemunho sedimentar

O comprimento total do testemunho recuperado foi de 291 centímetros. A cor do material foi descrita como 10YR 2/1-preto. O sedimento apresentou-se muito homogêneo em toda sua extensão, com textura argilosa e rico em matéria orgânica.

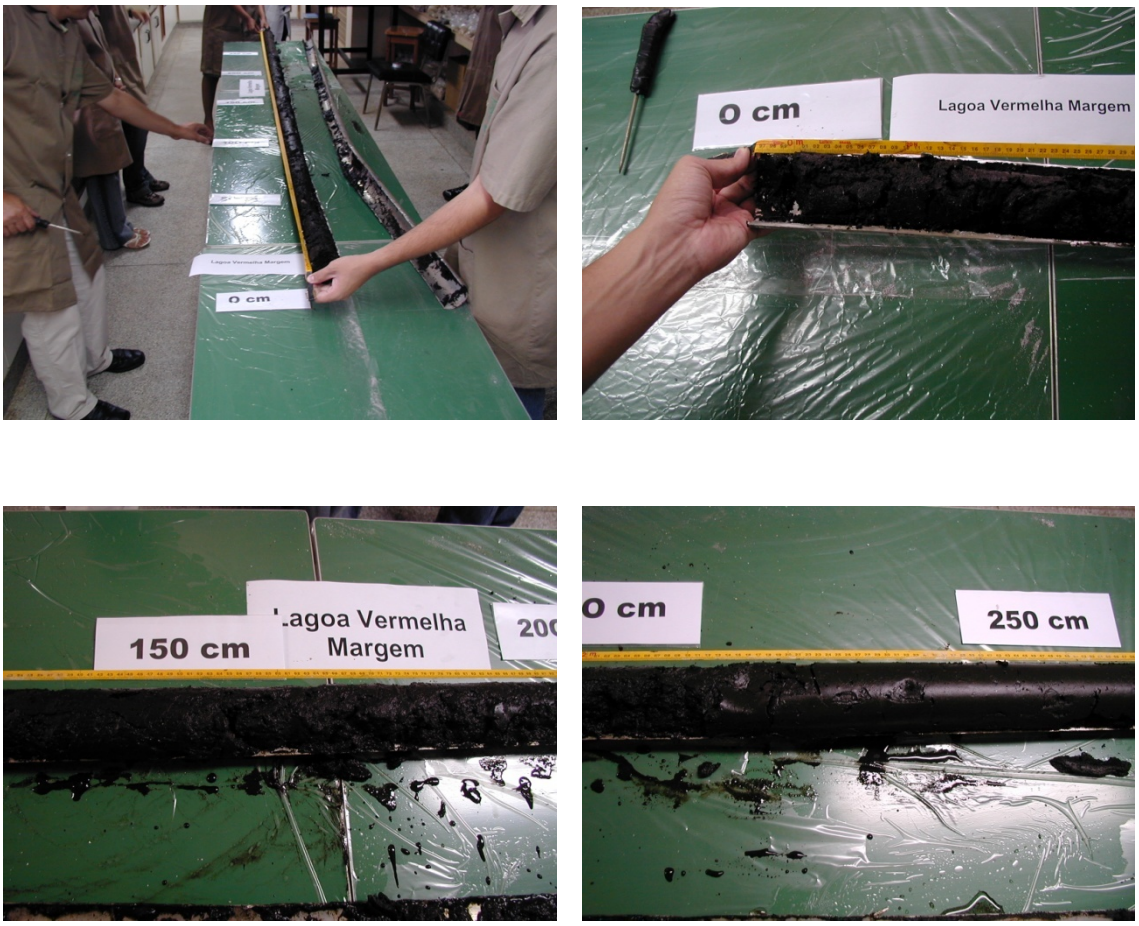



**Figura 14:** Aspectos do testemunho sedimentar LV II. O material, bastante homogêneo em toda sua extensão é muito rico em matéria orgânica vegetal e apresenta coloração preta.

Foi encontrado muito material vegetal, composto predominantemente por fragmentos de folhas parcialmente decompostas (especialmente as partes próximas aos feixes vasculares das folhas e fragmentos da epiderme foliar). Várias folhas intactas foram encontradas ao longo do testemunho.

### 5.3. Datações $^{14}C$ e taxas de sedimentação

Os resultados mostram uma cronologia crescente com a profundidade, com inversões apenas nas amostras da base do testemunho. As idades foram calibradas em anos AP (Tabela 4).

**Tabela 4:** Idades $^{14}C$ convencionais e calibradas em anos AP.

| Código da amostra | Profundidade (cm) | Idade ($^{14}C$ anos AP) | Idade (cal anos AP, 2σ) |
|---|---|---|---|
| **TO-13703** | 15 – 20 | 101.96 ± 0.77 * | ---------- |
| **TO-13704** | 100 – 105 | 680 ± 50 | 550 – 692 |
| **TO-13705** | 155 – 160 | 1480 ± 50 | 1296 – 1422 |
| **TO-13706** | 165 – 170 | 1500 ± 50 | 1305 – 1447 |
| **TO-13707** | 190 – 195 | 1650 ± 50 | 1413 – 1631 |
| **TO-13486** | 260 – 265 | 2340 ± 70 | 2293 – 2544 |
| **TO-13708** | 290 - 291 | 2030 ± 50 | 1882 – 2120 |
| **TO-13709** | 291 | 126.62 ±0.70* | ---------- |

* - Porcentagem de carbono moderno

TO - Iso Trace Laboratory, Toronto, Canadá.

A taxa de sedimentação calculada para o testemunho LV II foi de 0,12 cm/ano e manteve-se relativamente constante desde a base até o topo. Corresponde aproximadamente ao dobro da taxa de sedimentação calculada para o testemunho LV coletado no centro da lagoa (SAIA, 2006), que foi de 0,06 cm/ano (Tabelas 5 e 6).

Esta diferença nas taxas de sedimentação pode ser explicada pela posição dos pontos de coleta em relação às margens da lagoa Vermelha, uma vez que os espaços de acomodação marginais são preenchidos mais rapidamente pelo sedimento.

**Tabela 5:** Taxas de sedimentação do testemunho LV II de acordo com os intervalos de tempo em cal anos AP.

| Intervalo (cm) | Taxa de sedimentação (cm . ano$^{-1}$) / Intervalos de tempo (cal anos AP, 2σ) |
|---|---|
| **102,5 - 0** | 0,15 / 550 – 692 |
| **157,5 - 0** | 0,11 / 1296 – 1422 |
| **167,5 - 0** | 0,11 / 1305 – 1447 |
| **192,5 - 0** | 0,12 / 1413 – 1631 |
| **262,5 - 0** | 0,11 / 2293 – 2544 |

**Tabela 6:** Taxas de sedimentação do testemunho LV de acordo com os intervalos de tempo em cal anos AP.

| Intervalo (cm) | Taxa de sedimentação (cm . ano$^{-1}$) / Intervalos de tempo ( cal anos AP, 2σ) |
|---|---|
| **17 – 0** | 0,03 / 520 – 660 |
| **103 – 0** | 0,06 / 1370 – 1570 |
| **148 – 0** | 0,07 / 1810 – 2070 |
| **159 – 0** | 0,08 / 1890 – 2160 |
| **173 – 0** | 0,08 / 2150 – 2350 |
| **204 – 0** | 0,09 / 2300 – 2500 |
| **265 – 0** | 0,06 / 4860 – 5330 |

Em cada um dos testemunhos obteve-se uma datação semelhante, de 2340 anos AP, com erro de ± 50 anos para a amostra do testemunho LV e ± 70 anos para a amostra do testemunho LV II. Isso torna os resultados de análises de ambos os testemunhos mais facilmente comparáveis.

**5.4. Palinologia e partículas carbonizadas**

Foram identificados 83 táxons, sendo 72 de representantes do grupo das angiospermas, 2 representantes do grupo das gimnospermas, 8 representantes do grupo das Pteridófitas e um gênero de alga, representante da Divisão Clorophyta. Também foram encontradas partículas carbonizadas de diversos tamanhos.

A seguir são apresentados os gráficos das porcentagens de táxons de hábito arbóreo ou arbustivo, seguidas das porcentagens dos táxons de hábito herbáceo, das porcentagens de táxons de Pteridófitas (Figuras 11a a 11d).

Foram encontrados palinomorfos em toda a extensão do perfil e os resultados da análise palinológica submetidos ao programa CONISS do Tilia o dividiram em quatro zonas:

- Zona LVa: entre 290 e 265 cm ( de ~ 2550 anos AP a ~ 2340 anos AP)
- Zona LVb: entre 265 e 110cm ( de ~ 2340 anos AP a ~ 720 anos AP)
- Zona LVc: entre 110 cm e 60 cm (de ~ 720 anos AP a ~ 400 anos AP)
- Zona LVd: entre 60 e 0 cm (de ~ 400 anos AP até o presente)

Em todas essas zonas há maiores porcentagens de grãos de pólen de plantas arbóreas ou arbustívas, típicas de formações florestais de mata Atlântica. Entre os tipos polínicos encontrados há o predomínio de *Alchornea*, Arecaceae, Melastomataceae/Combretaceae, *Myrsine*, Myrtaceae e Urticaceae/Moraceae.

Na Figura 12 são apresentados os dados referentes à contagem de partículas carbonizadas, divididos em porcentagens entre três classes de tamanho.

Foram encontradas partículas carbonizadas em todo o perfil que indicam períodos de ocorrência de fogo local, bem próximo da Lagoa Vermelha (partículas > 50 μm), bem como

um sinal sempre presente de fogo regional, indicado pela presença de partículas de tamanho entre 26 e 50 µm (TOLONEN, 1986).

As concentrações de partículas de carvão alinhadas com as concentrações de grãos de pólen de plantas indicadoras de estágios sucessionais iniciais tais como *Cecropia*, *Croton*, Asteraceae e Poaceae (Figura 13) demonstram associação do fogo com momentos em que a floresta nos arredores da lagoa apresentou maiores concentrações de grãos de pólen de tais táxons.

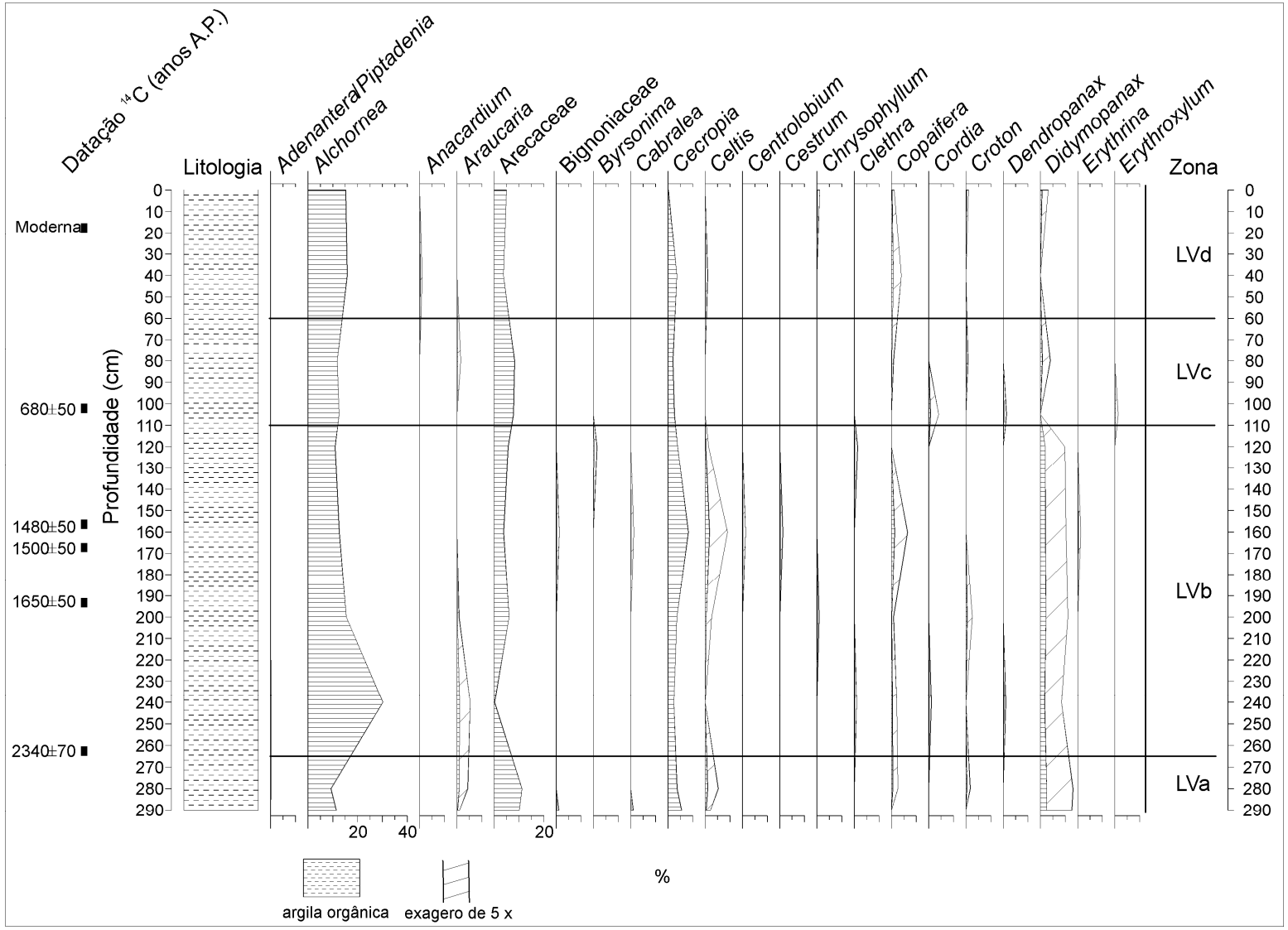



**Figura 11a:** Diagrama de porcentagens de táxons arbóreos encontrados no testemunho LVII.

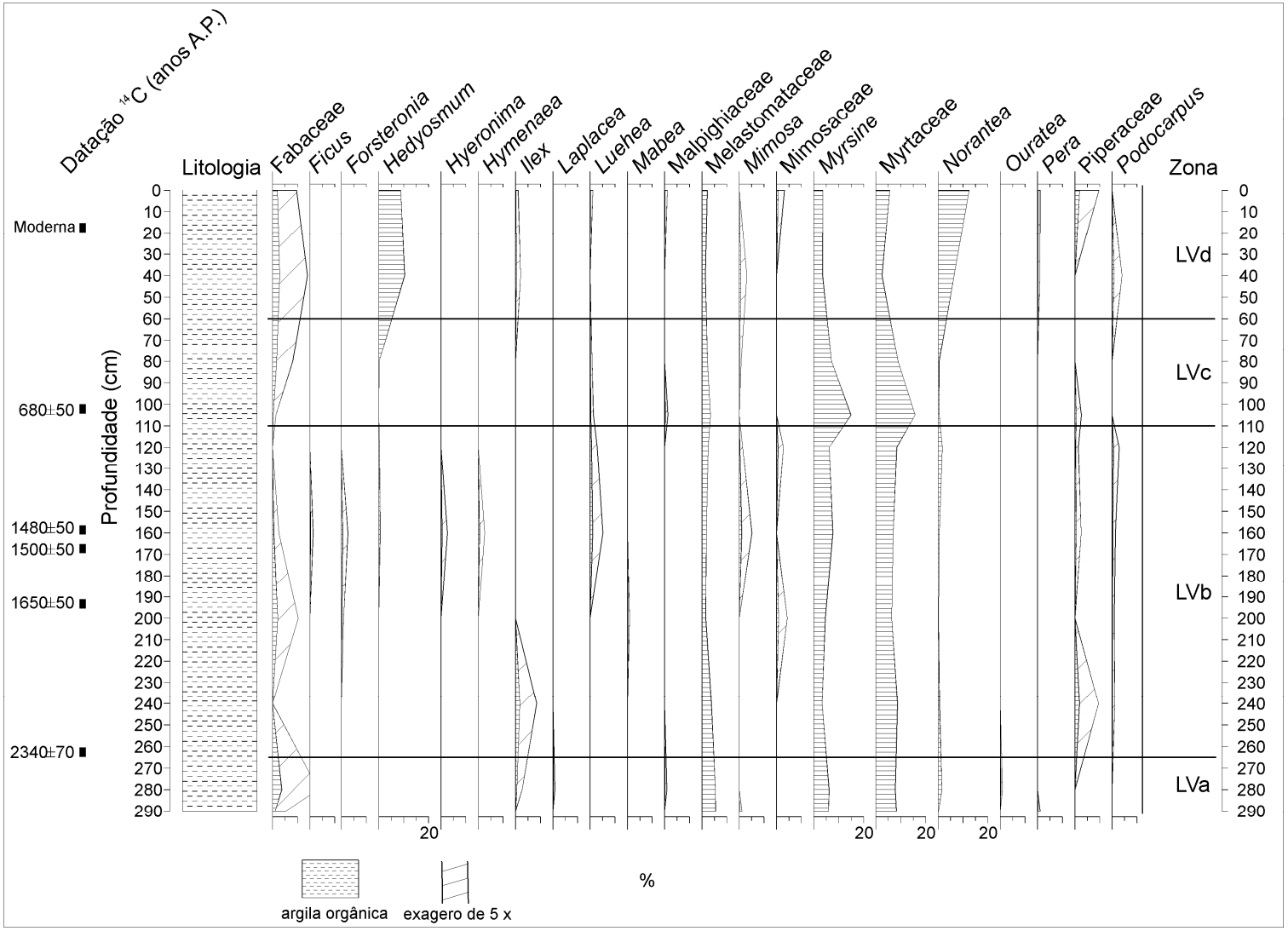



**Figura 11b:** Diagrama de porcentagens de táxons arbóreos encontrados no testemunho LVII.

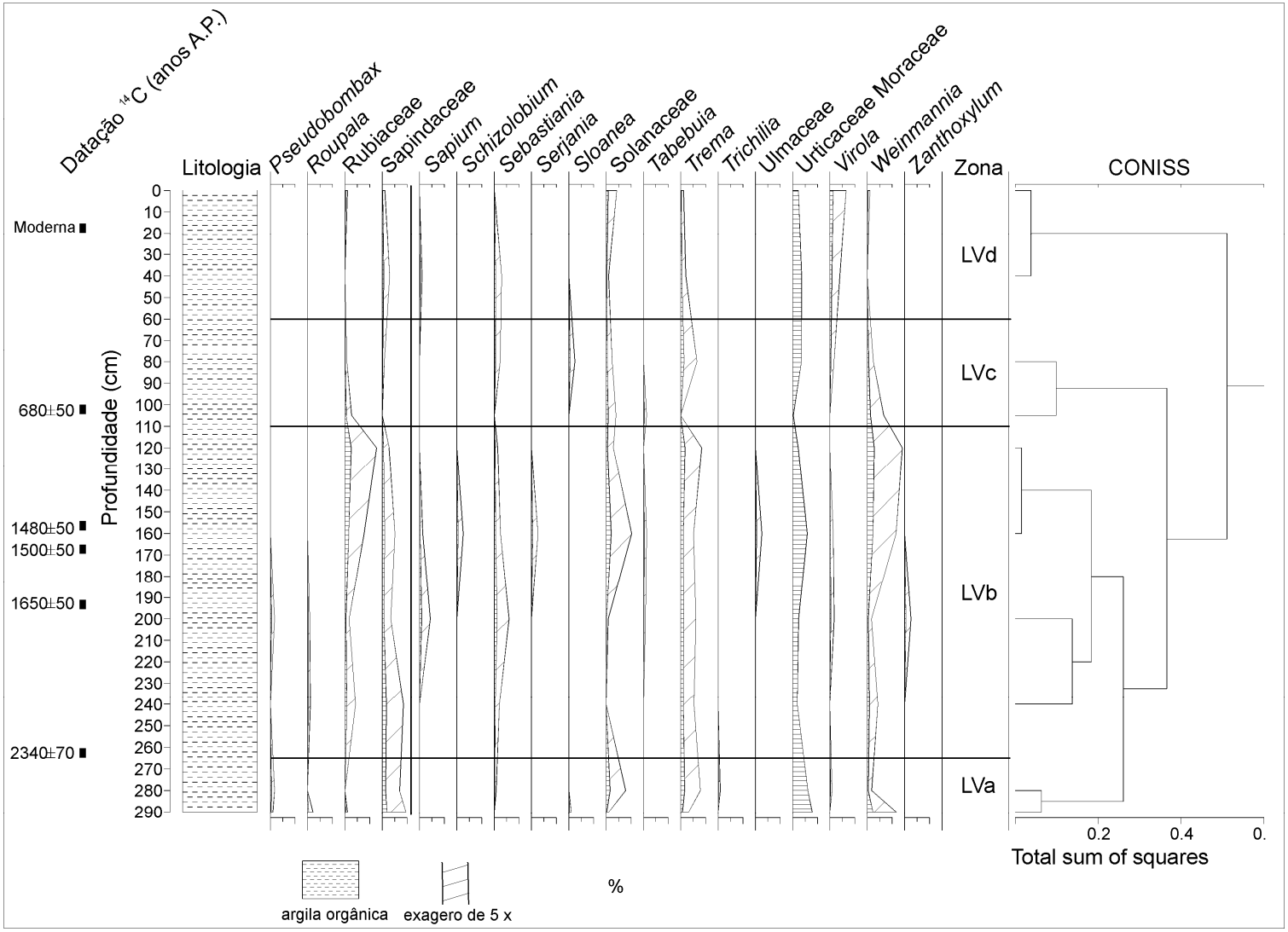



**Figura 11c:** Diagrama de porcentagens de táxons arbóreos encontrados no testemunho LVII.

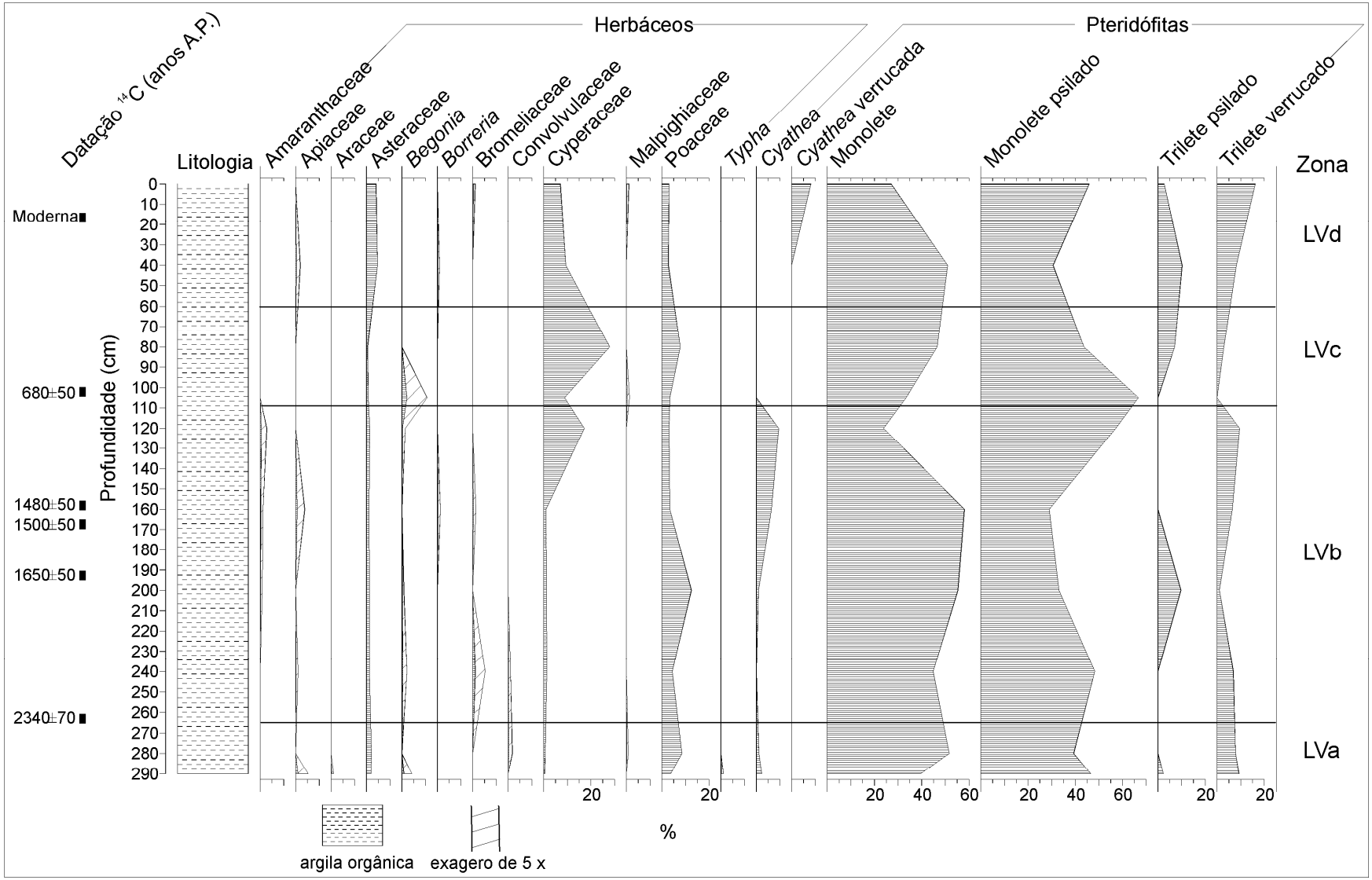



**Figura 11d:** Diagrama de porcentagens de táxons de hábito herbáceo e pteridófitas encontrados no testemunho LV

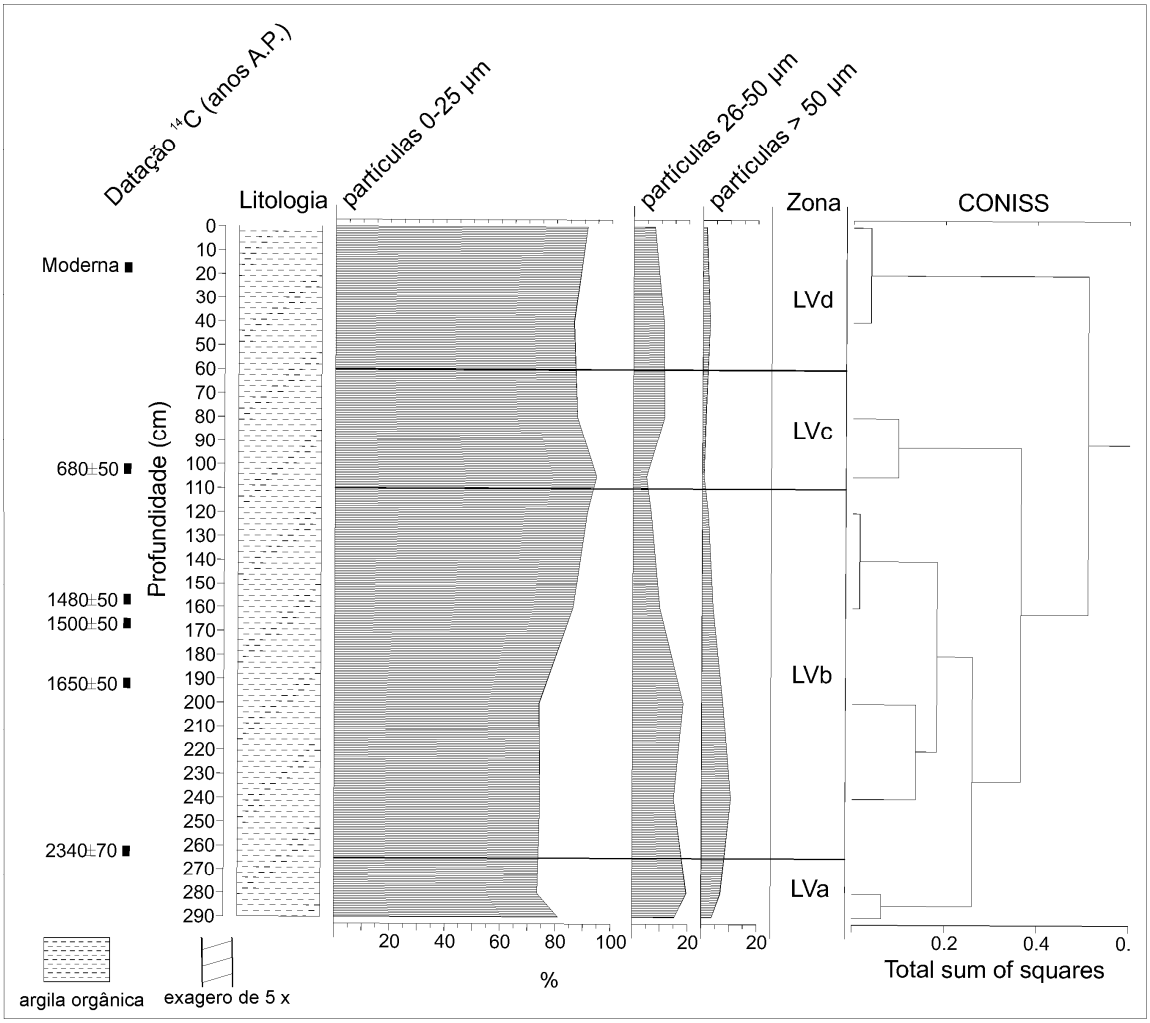



**Figura 12:** Partículas carbonizadas, em porcentagem de acordo com três classes de tamanho: < 25 µm, >26 - 50 µm e > 50µm.

Uma concentração expressiva (~ 3500 grãos/cm$^3$) de grãos de *Cecropia* encontrados na camada 290 cm (~ 2550 anos AP) coincide com a presença de grãos de Poaceae e com concentrações de partículas carbonizadas > 50µm da ordem de 4000 partículas por cm$^3$ de sedimento, sinal de fogo local, criando um cenário onde a hipótese de influência humana torna-se plausível uma vez que florestas tropicas densas e úmidas, como a encontrada na área em estudo, são menos susceptíveis à ocorrência de incêndios naturais devido ao clima em que se estabelecem, às características anatômicas e fisiológicas e aos modelos de ciclo de vida e estratégia reprodutiva que mais freqüentes nas espécies deste bioma (RAMOS NETO, 2000).

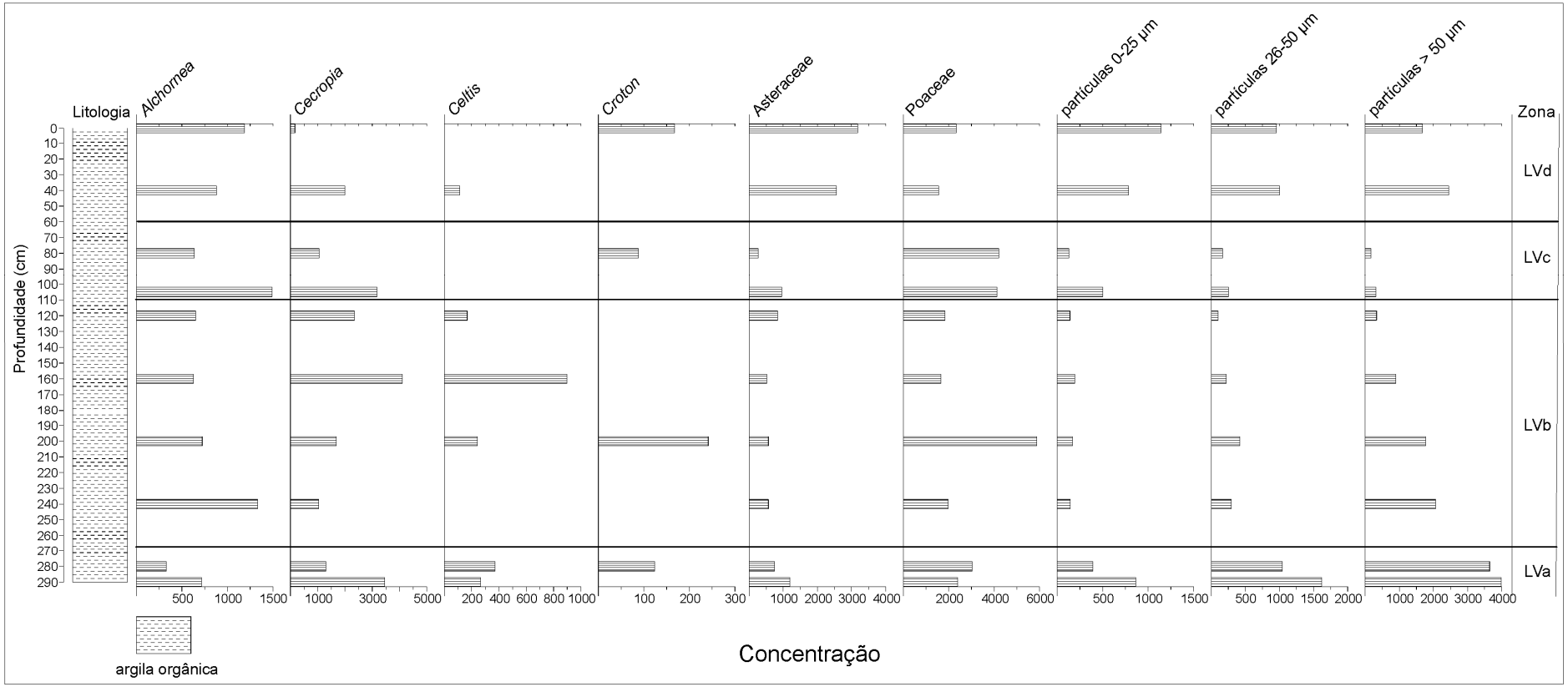



**Figura 13**: Concentrações de grãos de pólen de táxons pioneiros e concentração de partículas carbonizadas.

A incidência de paleoincêndios tende a diminuir até ~700 anos AP, porém as concentrações de *Cecropia* e Poaceae oscilam bastante no período, podendo indicar uma possível manutenção de áreas abertas com uso menos intenso do fogo.

Para avaliar uma possível influência de variações climáticas em contraposição a uma hipótese de influência antrópica na paisagem, alguns táxons que em conjunto podem ser utilizados como indicadores climáticos foram destacados e suas concentrações ao longo do perfil comparadas (Figuras 14a, 14b e 14c).

A concentração de *Araucaria* aumenta de ~2550 anos AP até ~2000 anos AP. A mesma tendência é observada para a concentração de *Ilex* durante este período. A concentração de Arecaceae sofreu forte redução, quase desaparecendo em ~2000 anos AP e a concentração de esporos de Pteridófitas também sofreu redução. Tais variações de concentração indicam que neste período a região teve um clima mais frio e a redução de Arecaceae e esporos talvez indique pluviosidade menor que a atual, embora ainda suficiente para manter vegetação florestal e a coluna d'água da Lagoa Vermelha.

De ~2000 anos AP até ~680 anos AP a concentração de *Araucaria* se reduz e este táxon desaparece do registro, assim como *Ilex*. A concentração de Arecaceae aumenta e atinge a maior concentração encontrada no perfil na camada 105 cm. A concentração de *Weinmannia* também aumenta neste período.

As concentrações de *Myrsine* e Myrtaceae aumentaram e as concentrações de *Hedyosmum*, que é encontrado pela primeira vez a ~1500 anos AP mantêm-se baixas até ~530 anos AP, a partir de quando surge em maiores concentrações até o presente.

Grãos de *Podocarpus* foram encontrados pela primeira vez na camada 240 cm (~2000 anos AP) e a concentração deste táxon aumentou até ~680 anos AP.

A concentração de *Weinmannia* aumenta desde ~1600 AP até ~680 anos AP e depois tende a se reduzir. O aumento de *Weinmannia*, acompanhado pelo aumento de Arecaceae e diminuição de táxons como *Araucaria* e *Ilex* indica que o clima passou por uma fase relativamente mais quente e úmida, uma vez que *Weinmannia* necessita de um clima mais quente que *Araucaria* para se estabelecer e ocorre em florestas nebulares (BEHLING et al., 2004).

Também em torno de 680 anos AP há um aumento na concentração de esporos de pteridófitas, acompanhado de redução da concentração de partículas carbonizadas de tamanho entre 26 e 50µm e > 50 µm. Estes indicadores em conjunto, assim como o aumento de *Weinmannia* apontam para um aumento da umidade. Foi registrado também um aumento na concentração de *Botryococcus*, uma alga verde normalmente associada a águas eutrofizadas, que pode ter surgido como uma resposta ao acréscimo de sedimentos carreados para a lagoa em um período mais úmido.

Desde ~2000 anos AP até ~680 anos AP o registro parece indicar uma situação de clima mais quente e úmido que o registrado entre ~2550 anos AP e ~2000 anos AP.

Tal tendência se reduz de ~680 anos AP até o presente, com mudanças de concentração de pólen de táxons tais como *Hedyosmum, Ilex, Alchornea*, Arecaceae, *Myrsine* e Myrtaceae indicando que pelo menos no que diz respeito às respostas ao clima, a vegetação foi tornando-se mais semelhante à que hoje ocorre nos arredores da Lagoa Vermelha.

Neste período, o aumento da concentração de grãos de pólen de plantas herbáceas ocorreu devido ao surgimento de grandes concentrações de Cyperaceae, família cujos representantes podem ser encontrados normalmente em áreas abertas e alagáveis ou em bordas de florestas (SOUZA, 2005) e ao aumento das concentrações de Asteraceae.

Na Figura 15 são mostradas as concentrações de pólen de plantas de hábito Arbóreo/Arbustivo, Herbáceo e de pólen indeterminado ao lado das concentrações de esporos de Pteridófitas, *Botryococcus* e de partículas carbonizadas.

Embora a composição da floresta tenha variado ao longo do tempo, as concentrações de pólen arbóreo mantiveram-se elevadas indicando que a paisagem em torno da lagoa sempre teve aspecto florestal.

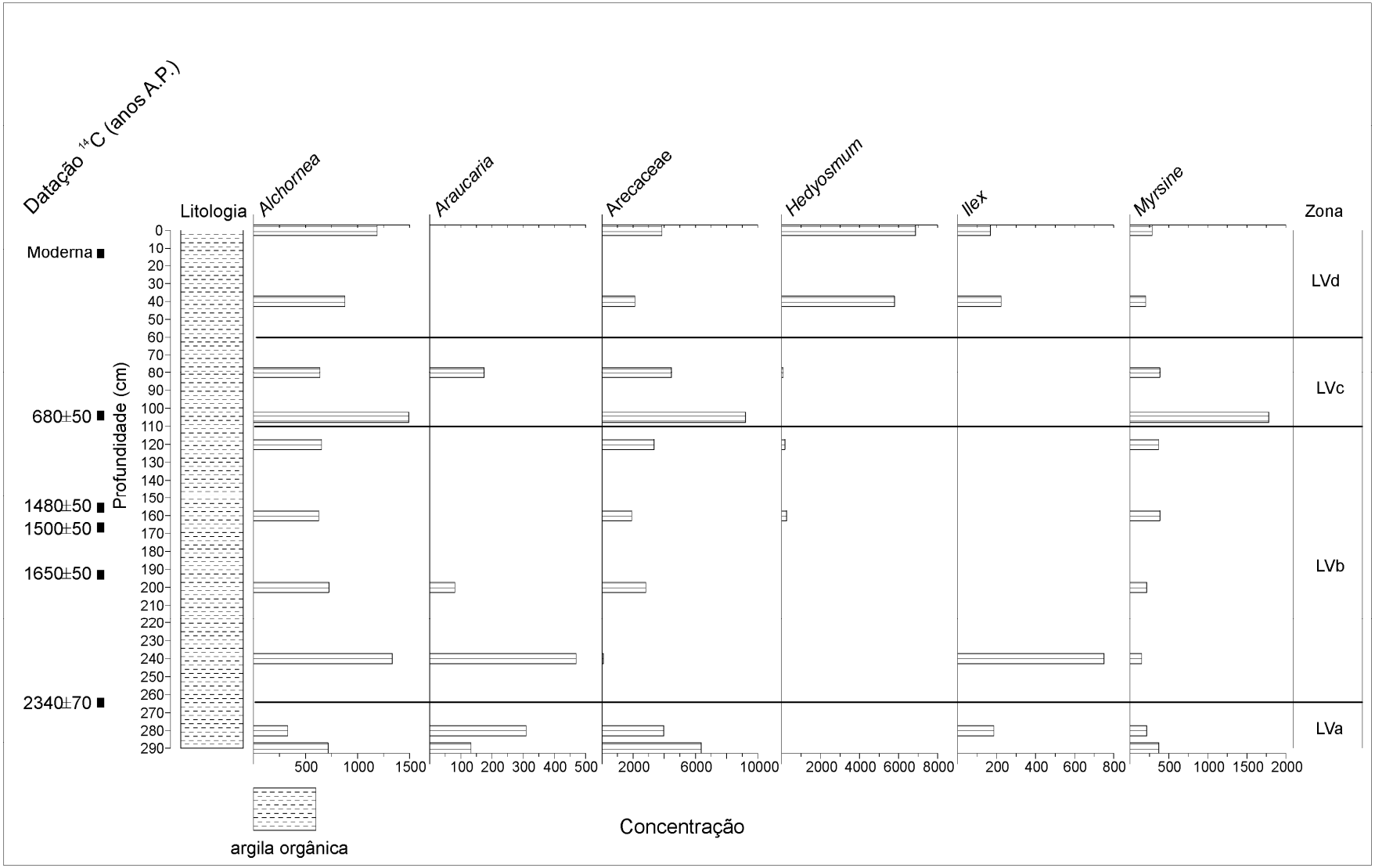



**Figura 14a:** Concentração de táxons com potencial para bioindicação de variação de temperatura e umidade.

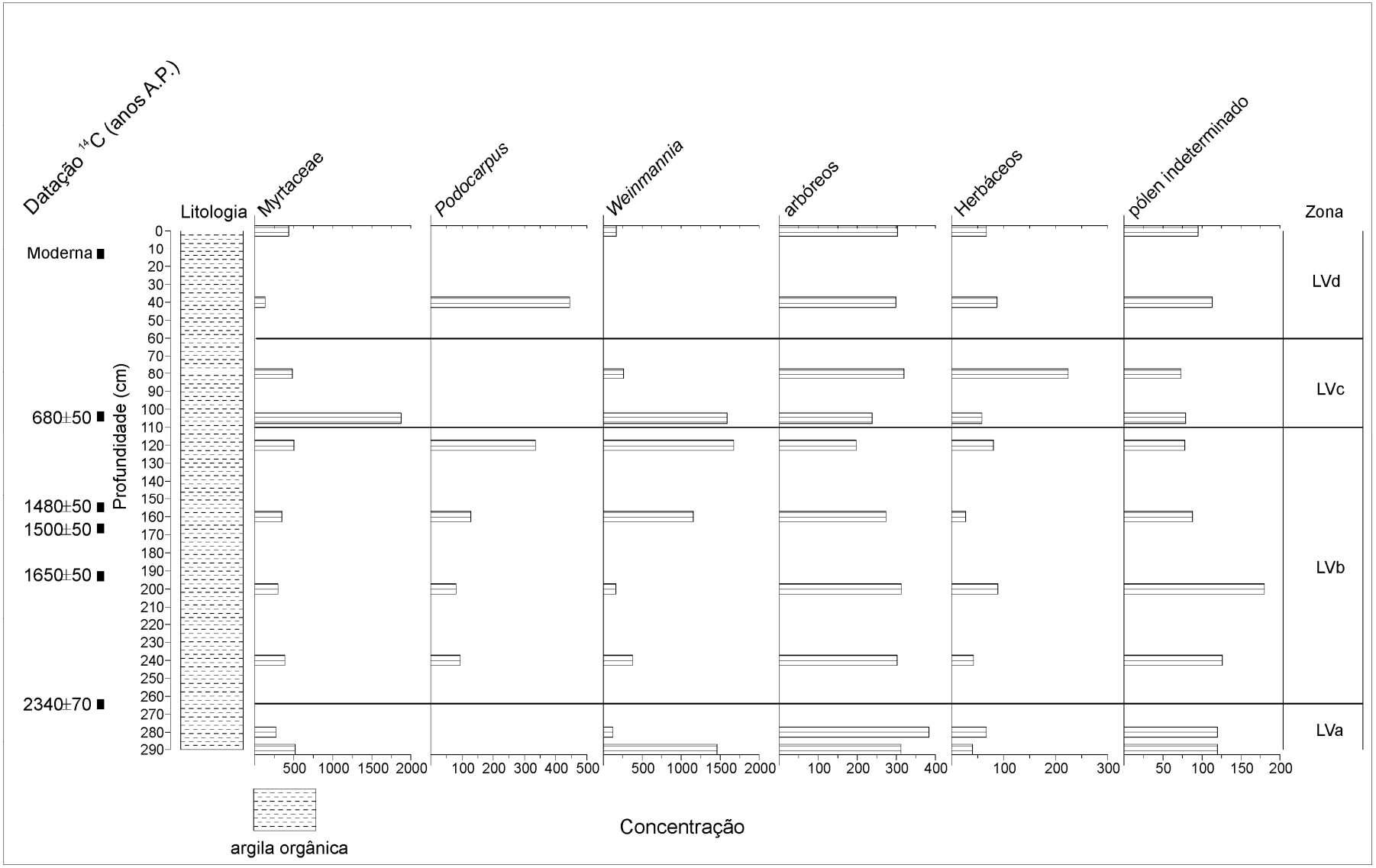



**Figura 14b:** Concentração de táxons com potencial para bioindicação de variação de temperatura e umidade.

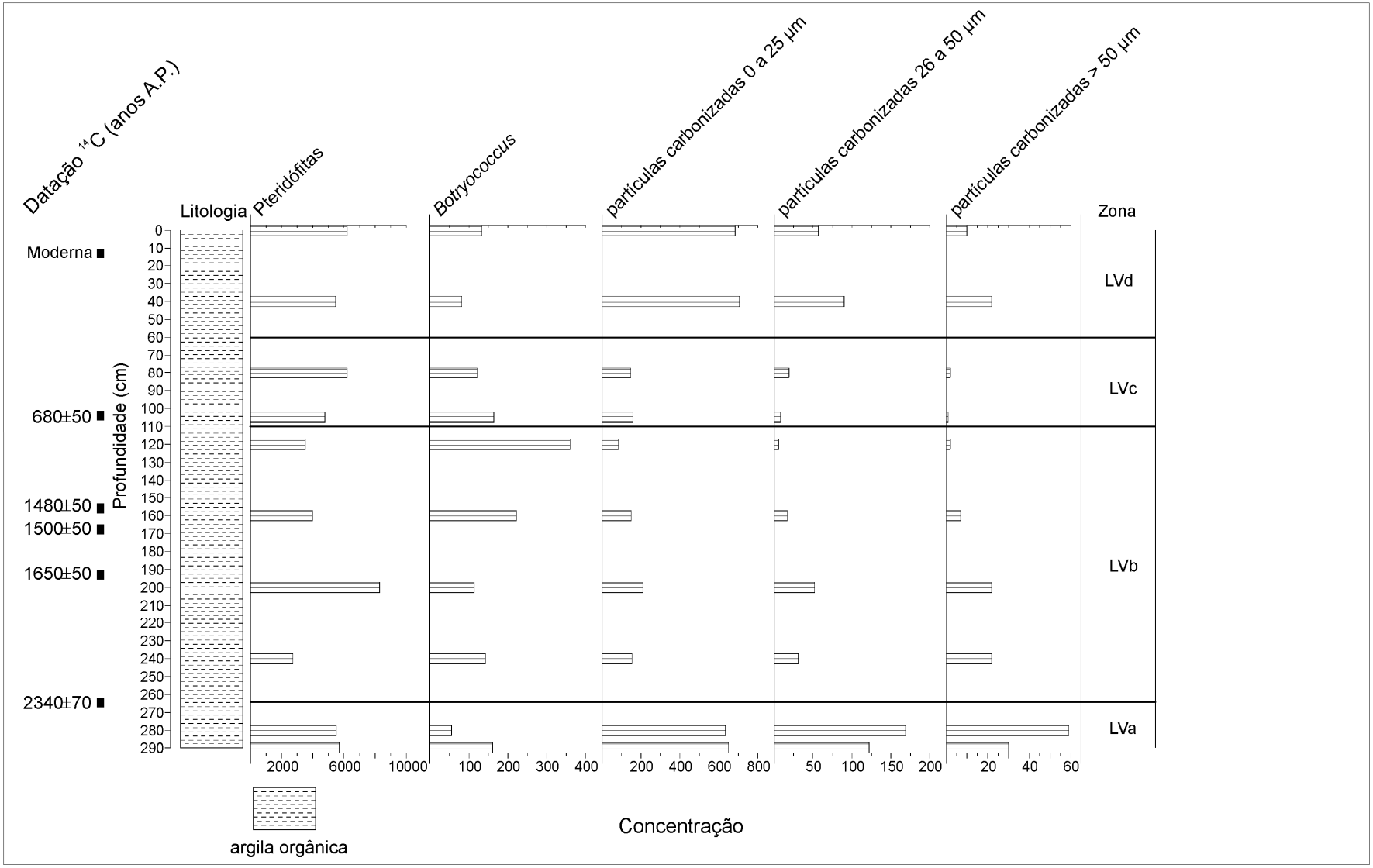



**Figura 14c**: Concentração de táxons com potencial para bioindicação de variação de temperatura e umidade.

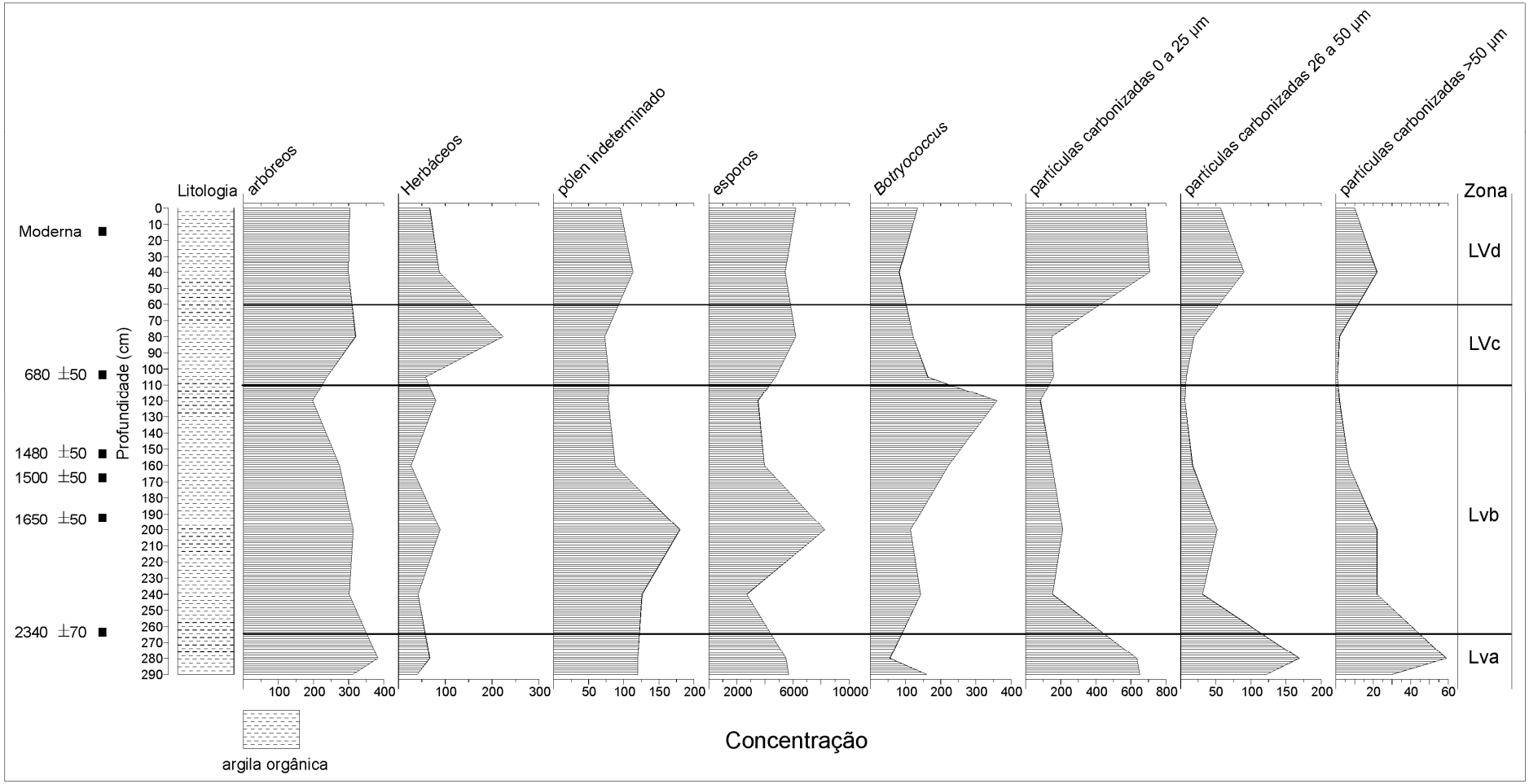



**Figura15:** Concentração de palinomorfos divididos de acordo com o hábito (arbóreo/herbáceo), pólen indeterminado, esporos de pteridófitas, *Botryococcus* e partículas carbonizadas.

## 5.5. Análises isotópicas de carbono e nitrogênio

Os resultados são apresentados na tabela a seguir (Tabela 7).

**Tabela 7:** Resultados de análises elementares de carbono e nitrogênio. Os valores são expressos em porcentagem em relação à massa seca.

| Amostras | C total (%) | N total (%) | C/N | δ (‰)$^{13}$C | δ (‰)$^{15}$N |
|---|---|---|---|---|---|
| **00 – 05** | 36,34 | 2,34 | 15,53 | -29,83 | 2,91 |
| **05 – 10** | 46,39 | 2,73 | 16,99 | -29,85 | 2,12 |
| **10 – 15** | 42,80 | 2,25 | 19,02 | -29,89 | 2,87 |
| **15 – 20** | 46,85 | 2,84 | 16,50 | -29,92 | 2,03 |
| **20 – 25** | 48,11 | 2,56 | 18,79 | -29,86 | 3,88 |
| **25 – 30** | 51,46 | 2,76 | 18,64 | -29,95 | 2,51 |
| **30 – 35** | 43,83 | 2,60 | 16,86 | -30,01 | 2,88 |
| **35 – 40** | 47,19 | 2,66 | 17,74 | -30,03 | 3,47 |
| **40 – 45** | 49,70 | 2,70 | 18,41 | -30,01 | 3,14 |
| **45 – 50** | 50,54 | 2,88 | 17,55 | -29,85 | 3,25 |
| **50 – 55** | 47,02 | 2,71 | 17,35 | -30,12 | 3,22 |
| **55 – 60** | 46,22 | 2,65 | 17,44 | -30,13 | 3,15 |
| **60 – 65** | 44,78 | 2,56 | 17,49 | -30,12 | 4,91 |
| **65 – 70** | 49,53 | 2,71 | 18,28 | -30,01 | 3,01 |
| **70 – 75** | 45,00 | 2,47 | 18,22 | -30,14 | 4,61 |
| **75 – 80** | 45,67 | 2,51 | 18,20 | -30,43 | 3,44 |
| **80 – 85** | 45,97 | 2,48 | 18,54 | -30,43 | 2,80 |
| **85 – 90** | 44,07 | 2,59 | 17,02 | -30,24 | 3,41 |
| **90 – 95** | 45,12 | 2,57 | 17,56 | -30,29 | 3,83 |
| **95 – 100** | 41,03 | 2,21 | 18,57 | -30,09 | 3,13 |
| **100 – 105** | 44,21 | 2,55 | 17,34 | -30,22 | 3,66 |
| **105 – 110** | 78,74 | 2,70 | 29,16 | -29,74 | 2,60 |
| **110 – 115** | 45,26 | 2,72 | 16,64 | -29,80 | 3,03 |
| **115 – 120** | 45,65 | 2,65 | 17,23 | -30,37 | 1,73 |
| **120 – 125** | 46,46 | 2,70 | 17,21 | -30,38 | 2,67 |
| **125 – 130** | 49,57 | 2,86 | 17,33 | -30,22 | 3,06 |
| **130 – 135** | 44,35 | 3,03 | 14,64 | -30,11 | 3,80 |
| **135 – 140** | 48,93 | 2,58 | 18,97 | -30,04 | 2,96 |
| **140 – 145** | 43,70 | 2,78 | 15,72 | -30,88 | 2,49 |
| **145 – 150** | 42,19 | 2,68 | 15,74 | -31,01 | 2,54 |
| **150 – 155** | 44,63 | 2,61 | 17,10 | -29,25 | 2,80 |
| **155 – 160** | 40,11 | 2,29 | 17,52 | -28,15 | 3,30 |
| **160 – 165** | 42,09 | 2,21 | 19,05 | -27,82 | 3,40 |
| **165 – 170** | 48,63 | 2,07 | 23,49 | -24,91 | 4,03 |
| **170 – 175** | 26,25 | 1,33 | 19,74 | -26,43 | 4,19 |
| **175 – 180** | 42,75 | 2,16 | 19,79 | -26,69 | 3,12 |
| **180 – 185** | 46,52 | 2,33 | 19,97 | -27,05 | 3,36 |

**Continua**

**Continuação**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **185 – 190** | 43,29 | 2,26 | 19,15 | -28,24 | 3,39 |
| **190 – 195** | 39,16 | 2,31 | 16,95 | -29,29 | 3,64 |
| **195 – 200** | 40,87 | 2,10 | 19,46 | -29,40 | 2,83 |
| **200 –205** | 37,33 | 2,03 | 18,39 | -28,97 | 4,38 |
| **205 – 210** | 36,72 | 1,91 | 19,23 | -29,35 | 3,77 |
| **210 – 215** | 42,60 | 1,82 | 23,41 | -29,29 | 4,47 |
| **215 – 220** | 40,46 | 2,26 | 17,90 | -28,93 | 4,32 |
| **220 – 225** | 41,79 | 2,30 | 18,17 | -28,95 | 3,67 |
| **225 – 230** | 29,27 | 2,14 | 13,68 | -30,13 | 3,59 |
| **230 – 235** | 33,49 | 2,20 | 15,22 | -29,32 | 3,61 |
| **235 – 240** | 40,88 | 2,16 | 18,93 | -29,87 | 2,95 |
| **240 – 245** | 42,67 | 2,36 | 18,08 | -29,21 | 3,72 |
| **245 – 250** | 40,20 | 2,17 | 18,53 | -28,35 | 2,62 |
| **250 – 255** | 43,55 | 3,39 | 12,85 | -28,76 | 2,75 |
| **255 – 260** | 40,92 | 2,22 | 18,43 | -29,95 | 3,22 |
| **260 – 265** | 37,66 | 2,21 | 17,04 | -29,90 | 3,14 |
| **265 – 270** | 38,35 | 2,23 | 17,20 | -29,98 | 3,22 |
| **270 – 275** | 39,12 | 2,27 | 17,23 | -29,64 | 3,57 |
| **275 – 280** | 38,96 | 2,13 | 18,29 | -30,14 | 2,48 |
| **280 – 285** | 11,96 | 0,55 | 21,75 | -30,41 | 12,55 |
| **285 – 290** | 42,10 | 2,30 | 18,30 | -30,25 | 3,72 |

**Conclusão**

Os resultados das análises apresentados nas tabelas anteriores e as datações AMS se encontram na Figura 16.

O teor de carbono orgânico total (COT) nas amostras variou de 11,96%, na camada 280-285 cm , a 78,74% na camada 105-110 cm. e indica significativa preservação da matéria orgânica no local.

O teor de Nitrogênio nas amostras variou entre 0,55% na camada 280-285 cm e 3,03% na camada 130-135 cm.

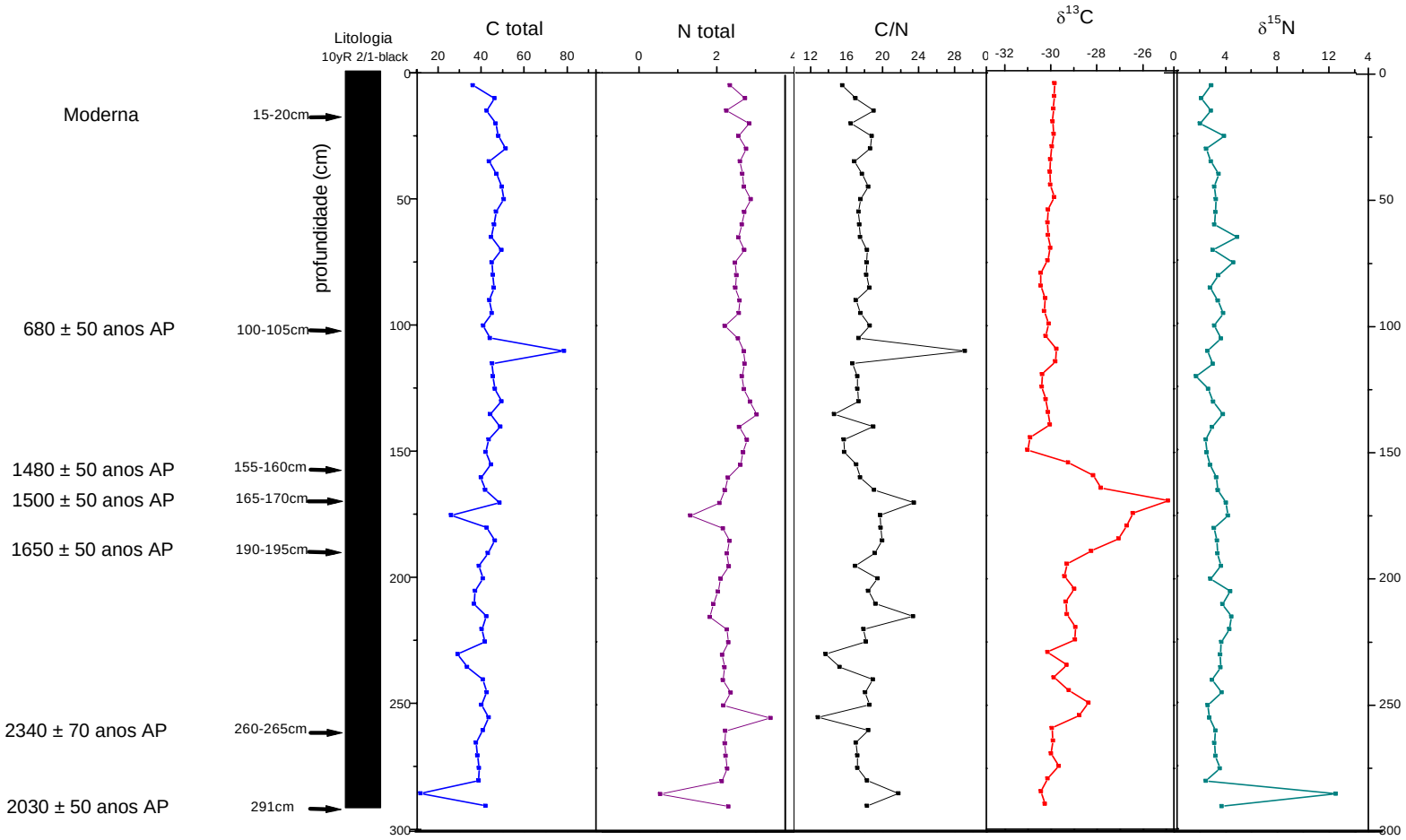



**Figura 16:** Gráficos dos resultados das análises isotópicas e elementares do testemunho LVII

A relação entre os teores de carbono e nitrogênio (C/N) variou entre 12,85 na amostra da camada 250-255 cm a 29,16 na amostra da camada 105-110cm, indicativo de mistura de fontes de matéria orgânica de algas e terrestres para as razões menores e de predomínio de fontes terrestres nas razões acima de 20.

Os valores de $\delta\ ^{13}C_{PDB}$ variaram entre -31,01‰ na camada entre 145 e 150 cm e -24,91‰ na camada entre 165 e 170 cm. Tais valores permanecem sempre na faixa considerada como indicadora de plantas terrestres de ciclo fotossintético $C_3$ e/ou algas como fonte da matéria orgânica dos sedimentos.

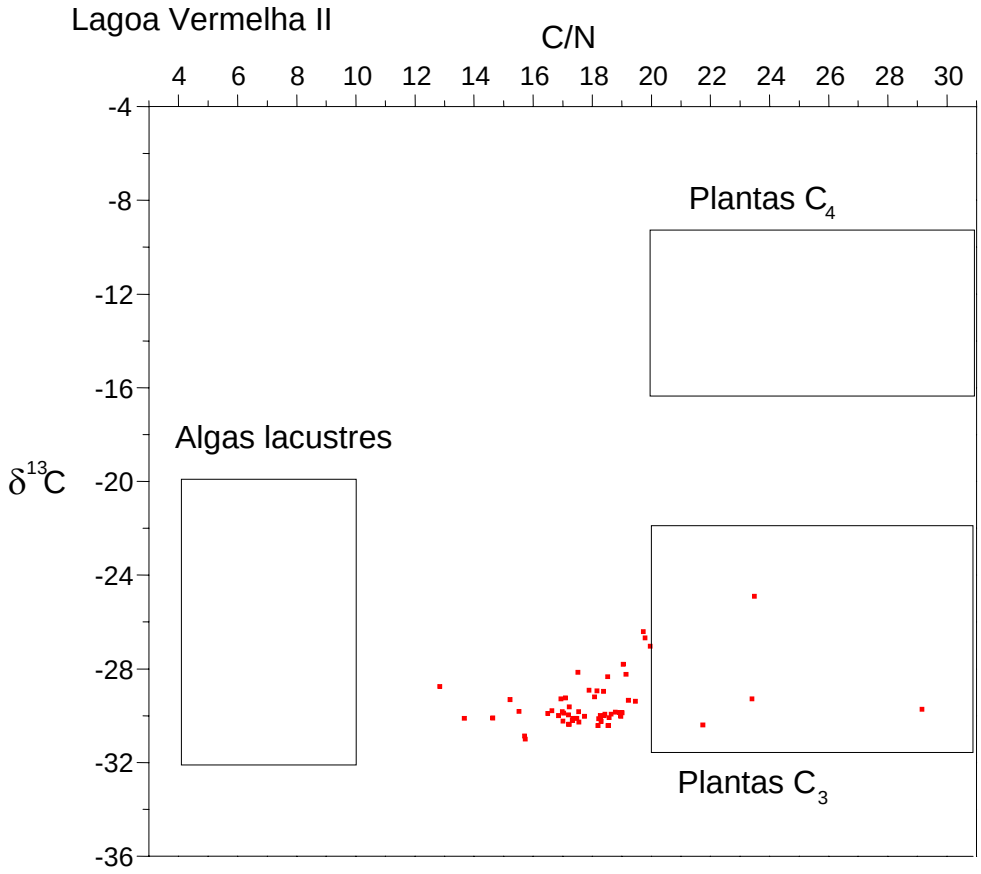
Entre ~1600 anos AP e ~1500 anos AP foi registrado um período em que ocorreu um enriquecimento isotópico nos valores de $\delta^{13}C_{PDB}$ e posteriormente, de ~1500 anos AP até ~1480 anos AP há um empobrecimento isotópico. Os valores foram de -29,3‰ a – 24,9 ‰ e posteriormente para -31‰. Estas alterações ocorrem ao mesmo tempo em que a relação entre carbono total e nitrogênio total indica que houve predomínio de matéria orgânica de origem terrestre no sedimento.

Estas alterações ocorrem ao mesmo tempo em que a relação entre carbono total e nitrogênio total indica que houve predomínio de matéria orgânica de origem terrestre no sedimento. É interessante notar que há outros intervalos em que a razão C/N indica predominância de ambientes terrestres e os valores de $\delta\ ^{13}C_{PDB}$ não sofrem alterações significativas.

Os valores de $\delta\ ^{15}N$ variaram entre 1,73‰ na camada de 115 a 120 cm e 12.55‰ na camada de 180 a 185 cm. De modo geral, os valores de $\delta\ ^{15}N$ indicam que a matéria orgânica é formada por uma mistura de material originado a partir de plantas terrestres e a partir de algas (MEYERS, 2003).

Ao confrontar os resultados de δ $^{13}C$ com os de C/N obteve-se o seguinte gráfico, que indica o tipo de origem da matéria orgânica (Figura 17).

**Figura 17**: Relação entre Carbono total e nitrogênio Total das amostras LV II.




Como descrito anteriormente, nenhuma das amostras apresentou valores típicos de plantas $C_4$ ou indicadores de mistura entre plantas $C_3$ e plantas $C_4$ e pelo menos quatro resultados indicam que a matéria orgânica depositada teve origem predominantemente terrestre.

## 5.6. Dados palinológicos e isotópicos

Tanto a palinologia quanto os resultados das análises isotópicas indicaram que desde aproximadamente 2550 anos AP até o presente a vegetação em torno da Lagoa Vermelha teve uma fisionomia florestal.

De ~2550 anos AP até ~2000 anos AP os valores de $\delta^{13}C_{PDB}$ indicam o estabelecimento de uma vegetação com fisionomia florestal. Em torno de 2500 anos AP, os valores de C/N e $^{\delta 15}N$ variaram de forma significativa, contudo não se registrou nos dados polínicos, provavelmente devido a resolução obtida, ou demais analisados, as mesmas evidências no período. Tais parâmetros indicam a mistura de material provindo de fontes terrestres e aquáticas na composição da matéria orgânica sedimentar.

Com relação a assembléia palinológica do período se observou que um clima mais frio que o atual se instalou na região, com aumento nas concentrações de *Araucaria* e *Ilex* e diminuição das concentrações de Arecaceae e *Weinmannia*. Também foram registradas altas concentrações de partículas carbonizadas de tamanho superior a 50 µm, indicando a ocorrência de paleoincêndios próximos à Lagoa Vermelha e uma elevada concentração de grãos de *Cecropia*.

De ~2000 anos AP até ~1000 anos AP os valores de C/N e $\delta^{15}N$ continuaram indicando mistura de fontes terrestres e aquáticas de matéria orgânica, mas dentro deste período, entre 1650 anos AP e 1500 anos AP os valores de $\delta^{13}C_{PDB}$ sofreram um enriquecimento da ordem de 4,4‰ e atingiram o valor de -24,9‰ e os valores de C/N indicaram um aumento na deposição de material terrestre. Em seguida, de 1500 anos AP até ~1480 anos AP os valores de $\delta^{13}C_{PDB}$ sofreram um empobrecimento e atingiram -31‰.

A partir de ~2000 anos AP a diminuição da concentração de *Araucaria* e o aumento de Arecaceae e *Weinmannia* indicam a instalação de um clima mais quente que o do período

anterior, onde continua freqüente a ocorrência de paleoincêndios e de *Cecropia*, que tende a aumentar.

Para o período de 1650 a 1480 anos AP a baixa resolução da análise palinológica não permitiu a obtenção de informações suficientes para sustentar uma conclusão a respeito dos possíveis agentes causais das flutuações observadas nos valores de $\delta^{13}C_{PDB}$. O intervalo é marcado pela mais elevada concentração de grãos de *Cecropia* e *Croton* encontrados no testemunho até então e a concentração de partículas carbonizadas ainda indica a ocorrência de paleoincêndios locais. O posterior aumento da resolução analítica poderá demonstrar se houve alguma alteração na vegetação, que possa ser relacionada com a citada variação istotópica.

Entre ~1000 e ~680 anos AP As concentrações de *Weinmannia* e Arecaceae, pteridófitas aumentaram, indicando o estabelecimento de um clima mais quente e úmido que o atual. A concentração de *Botryococcus* também aumentou, indicando um maior nível de eutrofização da água, que pode estar associado ao aumento da erosão pela água das chuvas. O provável aumento na erosão também foi registrado nos valores de C/N, que aumentaram indicando maior aporte de matéria orgânica terrestre. A concentração de partículas carbonizadas neste período sofreu redução, o que em conjunto com as observações acima pode reforçar a hipótese de um clima mais úmido, que poderia impedir ou diminuir a propagação de incêndios na mata.

A partir de ~680 anos AP até o presente os valores isotópicos tornaram-se muito estáveis e a análise palinológica indicou aí um período de transição até o clima atual.

## 6. CONCLUSÃO

Dos dois protocolos empregados para análises polínicas e avaliados neste trabalho em amostras de sedimento lacustre com altos teores de matéria orgânica (> 40%), o nomeado como *Protocolo 1*(COLINVAUX et al. 1999) apresentou melhores resultados em relação ao protocolo nomeado *Protocolo 2* (FAEGRI; IVERSEN, 1989), quanto a:

a) Concentração dos palinomorfos no resíduo;

b) Porcentagem de área na lâmina ocupada por matéria orgânica amorfa;

c) Tempo requerido, e

d) Praticidade na aplicação do protocolo.

O *Protocolo 2* foi superior quando se verificou a relação entre os tipos de resíduos gerados e as dificuldades para adequado tratamento dos mesmos.

Tanto a palinologia quanto as análises isotópicas e elementares de Carbono e Nitrogênio do sedimento da Lagoa Vermelha indicaram que a floresta esteve sempre presente desde ~2500 anos AP.

Pode-se inferir a presença de um clima mais frio que o atual entre ~2550 anos AP e ~2000 anos AP.

Entre ~2000 anos AP e ~1000 anos AP o clima tornou-se menos frio que o registrado no período anterior, culminando em um período mais quente e mais úmido registrado entre ~1000 anos AP e ~680 anos AP.

A partir de ~680 anos AP a vegetação e o clima da área em estudo foram tornando-se mais semelhantes aos atuais.

A presença de grandes quantidades de partículas carbonizadas indicadoras de fogo à curtas distâncias em algumas camadas, associadas a táxons pioneiros, pode estar ligada à ação humana de abertura da vegetação com uso do fogo e de possível ocorrência durante todo o período estudado.

**REFERÊNCIAS**

ABSY, M.L. Polen e esporos do quaternário de Santos (Brasil). **Hoehnea**, São Paulo, v. 5, p. 1-26, 1975.

AGUIAR, O.T. **Comparação entre os métodos de quadrantes e parcelas na caracterização da composição florística e fitossociológica de um trecho de floresta ombrófila densa no Parque Estadual "Carlos Botelho" – São Miguel Arcanjo, São Paulo**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D. Late Holocene phytolith and carbon-isotope record from a latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v. 51, p. 187-194, 1999.

BARBERI, M. **Mudanças paleoambientais na região dos cerrados do Planalto Central durante o Quaternário tardio**: o estudo da Lagoa Bonita, DF. 2001. 210 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BARBERI, M.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; SUGUIO, K. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 13, p. 241-254, 2000.

BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, Dordrecht, v. 14, n. 3, p. 253-268, 1995a.

BEHLING, H. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, Dordrecht, v. 4, n. 3, p. 127-152, 1995b.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 129, p. 407-422, 1997a.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the *Araucaria* forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 97, p. 109-121, 1997b.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetational and climate changes in Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, p. 143-156, 1998.

BEHLING, H. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. **Vegetation History and Archeobotany**, Dordrecht, v. 12, p. 263-270, 2003.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná state, southern Brazil. **Vegetation History Archaeobotany**, Dordrecht, v. 16, p. 77-85, 2007.

BEHLING, H.; LICHTE, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. **Quaternary Research,** San Diego, v. 48, p. 348-358, 1997.

BEHLING, H.; NEGRELLE, R. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic Lowland, southern Brazil, during the late Quaternary. **Quaternary Research**, San Diego, v. 56, p. 383-389, 2001.

BEHLING, H.; LICHTE, M.; MIKLÓS, A.W. Evidence of a forest free landscape under dry and cold climatic conditions during the last glacial maximum in the Botucatu region (São Paulo State), Southeastern Brazil. In: RABASSA, J.; SALEMME, M. (Ed.). **Quaternary of South America an Antarctic Peninsula**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1998. v. 11, p. 99-110.

BEHLING, H.; BAUERMANN, S.G.; NEVES, P.C.P. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 14, p. 631-639, 2001b.

BEHLING, H.; ARZ, H.W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in southeastern Brazil, inferences from marine cores GeoB 3229-2 and GeoB 3202-1. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 179, p. 227-243, 2002.

BEHLING, H.; PILLAR, V.P.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S.G. Late Quaternary *Araucaria* forest, grasland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 203, p. 277-297, 2004.

BEHLING, H.; DUPONT, L.; SAFFORD, H.D.; WEFER, G. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in the Serra da Bocaina, southeastern Brazil. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 161, p. 22-31, 2007.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotope techniques**. New York: Academic Press, 1991. p. 155-171.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996a. p. 47-82.

BOUTTON, T.W. Characterization of natural $^{15}N$ abundance of soils. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996b. p. 205-208.

BOUTTON, T.W.; ARCHER, S.R.; MIDWOOD, A.J.; ZITZER, S.F.; BOL, R. $\delta^{13}C$ values of soil organic matter and their use in documenting vegetation change in a subtropical savannah ecosystem. **Geoderma**, Amsterdam, v. 82, p. 5-41, 1998.

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

BROWN, J.H.; LOMOLINO, M.V. **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2006.

BUSH, M.B.; COLINVAUX, P.A. A long record of climatic and vegetation change in lowland Panamá. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 1, p. 105-118, 1990.

COELHO, L.G.; BARTH, O.M.; CHAVES, H.A.F. Palynological records of environmental changes in Guaratiba mangrove area, Southeast Brazil, in the last 6000 years B.P. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8., 2001, Imbé. **Boletim de resumos...** São Paulo: ABEQUA, 2001. p. 403-404.

COLINVAUX, P.; DE OLIVEIRA, P.E.; PATIÑO, J.E.M. **Amazon pollen manual and atlas.** Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1999. 332 p.

COUR, P. Nouvelle techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sedimentation des pollens et des spores a la surface du sol. **Pollen et Spores**, Paris, v. 16, p. 103-141, 1974.

CRUZ, F.W.J. **Estudo paleoclimático e paleoambiental a partir de registros geoquímicos quaternários em espeleotemas das regiões de Iporanga (SP) e Botuverá (SC)**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DE OLIVEIRA, P.E.; BEHLING, H.; LEDRU, M.-P.; BARBERI, M.; BUSH, M.; SALGADO-LABORIAU, M.L.; GARCIA, M.J.; MEDEANIC, S.; BARTH, O.M.; BARROS, M.A.; SCHEEL-YBART, R. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; DE OLIVEIRA, P.E. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 52-74.

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.

DIAS, A.C. **Composição florística, fitossociologia, diversidade de espécies arbóreas e comparação de métodos de amostragem na floresta ombrófila densa do Parque Estadual Carlos Botelho/SP-Brasil**. 2005. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

EDWARDS, E.J.; STILL, C.J.; DONOGHUE, M.J. The relevance of phylogeny to studies of global change. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 22 p. 243-249, 2007.

FAEGRI, K.; IVERSEN, J. **Textbook of pollen analysis**. 4. ed. Chichester: John Wiley, 1989.

FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBIK, K.T. Carbon isotope discrimination and photosyntesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 503-537, 1989.

FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; 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, p. 39-46, 2001.

GARCIA, R.J.F. **Estudo florístico dos campos alto-montanos e matas nebulares do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Curucutu, São Paulo, SP, Brasil**. 2003. 356 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GARCIA, M.J.; DE OLIVEIRA, P.E.; SIQUEIRA, E.; FERNANDES, R.S. A Holocene vegetational and climatic record from the Atlantic rainforest belt of coastal State of São Paulo, SE Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 131, p. 181-199, 2004.

GASTON, K.J. **The structure and dynamics of geographic ranges**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

GOUVEIA, S.E.M. **Isótopos do carbono na avaliação do remonte biológico de Latossolos e Podzólicos e de eventos paleoclimáticos em distintas localidades do Brasil**. 2001. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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 no Amazonas, indicada pelos isótopos do carbono ($^{12}C$, $^{13}C$, $^{14}C$) do solo. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 355-367, 1997.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 4, p. 969-980, 1999.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 33, p. 95-106, 2002.

GRIMM, E.C. CONISS. A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analisys by the method of incremental sum of squares. **Computers & Geosciences**, New York, v. 13, p. 13-35, 1987.

GROSJEAN, M.; VAN LEEUWEN, J.F.N.; VAN DER KNAAP, W.O.; GEYH, M.A.; AMANN, B.; TANNER, W.; MESSERLI, B.; NUNEZ, L.A.; VALERO-GARCÉS, B.L.; VEIT, H. A 22,000 C-14 year BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23ºS), northern Chile. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 28, n. 1-4, p. 35-51, 2001.

HAYES, J.M. Factors controlling 13C contents of sedimentary organic compounds: principles and evidence. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 113, n. 1-2, p.111-125, 1993.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul:** ecologia, composição e importância econômica. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1972. 466 p.

IVANAUSKAS, N.M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R.R. Similaridade florística entre áreas de floresta Atlântica no estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v. 1/2, p. 71-81, 2000.

JOLY, A.B. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo: EDUSP, 1970. 181 p.

JOLY, A.B. **Botânica**: Introdução à taxonomia vegetal. 12. ed. São Paulo: Biblioteca Universitária, Companhia Editora Nacional, 1998. 777 p.

KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. 1994. 228 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**; relações solo/planta. São Paulo: Ceres, 1979.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology.** New York: Springer Science, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550 p.

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

LEDRU, M.-P. Late Quaternary history and evolution of the cerrados as revelead by palynological records. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). **The cerrados of Brazil**: Ecology and natural history of a neotropical savannah. New York: Columbia University Press, 2002.

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.

LEDRU, M.-P.; SALGADO-LABORIAU, M.L.; LORSCHEITTER, M.L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, p. 131-142, 1998a.

LEDRU, M.-P.; BERTAUX, J.; SIFEDDINE, A. Absence of last glacial maximum records in lowland tropical forests. **Quaternary Research**, San Diego, v. 49, p. 233-237, 1998b.

LIBBY, W.F. **Radiocarbon dating**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1955. 175 p.

LORSCHEITTER, M.L.; MATTOZO, 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. Niterói: UFF, 1995.

MACBETH DIVISION OF KOLLOMORGIN CORPORATION. **Munsell soil colour charts.** Baltimore, 1995.

MANTOVANI, W. Dinâmica da floresta pluvial atlantica. In: SIMPOSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1998. v. 2, p. 1-20.

MARKGRAF, V.; D'ANTONI, H.L. **Pollen flora of Argentina**. Tucson: University of Arizona Press, 1978.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e possibilidades. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2., 1989, Rio de Janeiro. São Paulo: ABEQUA, 1989. (Publicação Especial, 1).

MEDEANIC, S.; STEVAUX, J.C. Dados palinológicos e partículas de carvões: avaliação de impacto antrópico na região do alto Rio Paraná durante o Holoceno. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9., 2003, Recife. **Resumos...** São Paulo: ABEQUA, 2003. 1 CD-ROM.

MEDEIROS, V.B. **Origem dos campos de altitude da Serra do Mar**: uma investigação paleoambiental no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Curucutu, São Paulo, Brasil. 2006. Monografia – Universidade de Guarulhos.

MEYERS, P.A. Preservation of source identification of sedimentary organic matter during and after deposition. **Chemical Geology,** Amsterdam, v. 144, n. 3-4, p. 289-302, 1994.

MEYERS, P.A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, Bristol, v. 27, n. 5-6, p. 213-250, 1997.

MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, Bristol, v. 34, n. 2, p. 261-289, 2003.

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

MONSON, R.K., EDWARDS, G.E., KU, M.S.B. $C_3$ – $C_4$ intermediate photosynthesis in plants. **BioScience**, Washington, v. 34 n. 9 p. 563-574, 1984.

MOORE, P.D.; WEBB, J.A.; COLLINSON, M.E. **Pollen analysis**. Oxford: Blackwell Science, 1991.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NEVES, P.C.P.; LORSCHEITTER, M.L. Upper Quaternary palaeoenvironments in the Northern Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. In: RABASSA, J.; SALEMME, M. (Ed.). **Quaternary of South America an Antarctic Peninsula**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1994. v. 9, p. 39-67.

O'LEARY, M.H. Carbon isotopes in photosyntesis. **Bioscience**, Washington, v. 38, p. 328-336, 1988.

PARIZZI, M.G.; SALGADO-LABORIAU, M.L.; KOHLER, H.C. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 8, n. 3, p. 311-321, 1998.

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.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes (C-13, 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.; 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**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 203-208, 1996b.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; ARAVENA, R.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R. Paleoclimate studies in Brazil using carbon isotopes in soils. In: WASSERMAN, J.C.; SILVA-FILHO, E.; VILLAS-BOAS, R. (Ed.). **Environmental geochemistry in the tropics**. Berlin: Springer-Verlag, 1998a. p. 7-16.

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 Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 8, n. 5, p. 631-635, 1998b.

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

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 fores-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 11, n. 2, p. 250-254, 2001a.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R. Radiocarbon dating of total soil organic matter and humin fraction and its comparison with $^{14}C$ ages of fossil chacoal. **Radiocarbon**, New Haven, v. 43, n. 2B, p. 595-601, 2001b.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 114, p. 35-43, 2004.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; FREITAS, H.A.; RIBEIRO, A.S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A.; LEDRU, M.P.; SIFEDDINE, A.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; DE OLIVEIRA, P.E. (Ed.). **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005a. p. 75-93.

PESSENDA, L.C.R.; LEDRU, M.P.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A.S.; BENDASSOLLI, J.A.; BOULET, R. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeasten Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 15, n. 6, p. 814-822, 2005b.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; LEDRU, M.P.; ARAVENA, R.; RICARDI-BRANCO, F.S.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; SAIA, S.E.M.G.; SIFEDDINE, A.; MENOR, E.A.; OLIVEIRA, S.M.B.; CORDEIRO, R.C.; FREITAS, A.M.M.; BOULET, R.; FILIZOLA, H.F. Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 80, n. 4, p. 677-691, 2008.

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

RAMOS NETO, M.B. **O Parque Nacional das Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica.** 2000. 159 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BERTRAND, C.J.H.; BLACKWELL, P.G.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; CUTLER, K.B.; DAMON, P.E.; EDWARDS, R.L.; FAIRBANKS, R.G.; FRIEDRICH, M.; GUILDERSON, T.P.; HOGG, A.G.; HUGHEN, K.A.; KROMER, B.; MCCORMAC, F.G.; MANNING, S.W.; RAMSEY, C.B.; REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J.; WEYHENMEYER, C.E. IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26 - 0 ka BP. **Radiocarbon**, New Haven, v. 46, p. 1029-1058, 2004.

ROTH, L.; LORSCHEITTER, M.L. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. In: In: RABASSA, J.; SALEMME, M. (Ed.). **Quaternary of South America an Antarctic Peninsula**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. v. 8, p. 39-69.

ROUBIK, D.W.; MORENO, J.E.P. **Pollen and spores of Barro Colorado Island**. St. Louis: Missouri Botanical Garden, 1991. 268 p.

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. **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. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SAIA, S.E.M.G.; PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. **Quaternary International,** Amsterdam, v. 184, p. 195-201, 2008.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **Contribuição à palinologia dos cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 273 p.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. Reconstruccion de los ambientes através de los granos de polen. **Investigation y Ciencia**, Barcelona, v. 96, p. 6-17, 1984.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. Late Quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. **Journal of Quaternary Science**, Chichester, v. 12, n. 5, p. 371-379, 1997.

SALGADO-LABOURIAU, M.L.; CASSETI, V.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; MARTIN, L. Late Quaternary vegetational and climate changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 128, p. 215-226, 1997.

SALGADO-LABOURIAU, M.L.; BARBERI, M.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; PARIZZI, M.G. A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, p. 115-129, 1998.

SCHEEL-YBERT, R. Vegetation stability in the Southeastern Brazilian coastal area from 5500 to 1400 $^{14}$c yr BP deduced from charcoal analysis. **Review of Paleobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 110, n. 1-2, p. 111-138, 2000.

SCHEEL-YBERT, R.; GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; COUTINHO, L.M.; BOULET, R. Holocene palaeoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil $\delta^{13}$C analysis. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 13, n. 1, p. 73-81, 2003.

SETZER, J. **Contribuição para o estudo do clima do estado de São Paulo**. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946.

SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; TURCQ, B.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; SOUBIÈS, F.; CORDEIRO, R.C.; SUGUIO, K. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,** Amsterdam, v. 168, n. 3-4, p. 221-235, 2001.

SIFEDDINE, A.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; LEDRU, M.P.; TURCQ, B.; KNOPPERS, B.; MARTIN, L.; MELLO, W.Z.; PASSENAU, H.; DOMINGUEZ, J.M.L.; CORDEIRO, R.C.; ABRÃO, J.J.; BITTENCOURT, A.C.S.P. A 21000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,** Amsterdam, v. 189, n. 1-2, p. 25-34, 2003.

SIFEDDINE, A.; WIRRMANN, D.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; TURCQ, B. CORDEIRO, R.C.; GURGEL, M.H.C.; ABRÃO, J.J. Bulk composition of sedimentary organic matter used in palaeoenvironmental reconstructions: examples from the tropical belt of South America and Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,** Amsterdam, v. 214, n. 1-2, p. 41-53, 2004.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 18, p. 89-94, 2006.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

STUIVER, M.; REIMER, P.J. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program, **Radiocarbon**, New Haven, v. 35, p. 215-230, 1993.

TRAVERSE, A. **Paleopalynology**. London: Unwin Hyamn, 1988. 600 p.

TOLONEN, K. Charred particules analyses. In: BERGLUND, B.E. **Handbook of holocene palaeoecoloy and palaeohydrology**. New York: Blackburn Press, 1986. p. 485-490.

VICENTINI, K.P.C.F. **Análise palinológica de uma vereda em Cromínia (GO)**. 1993. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

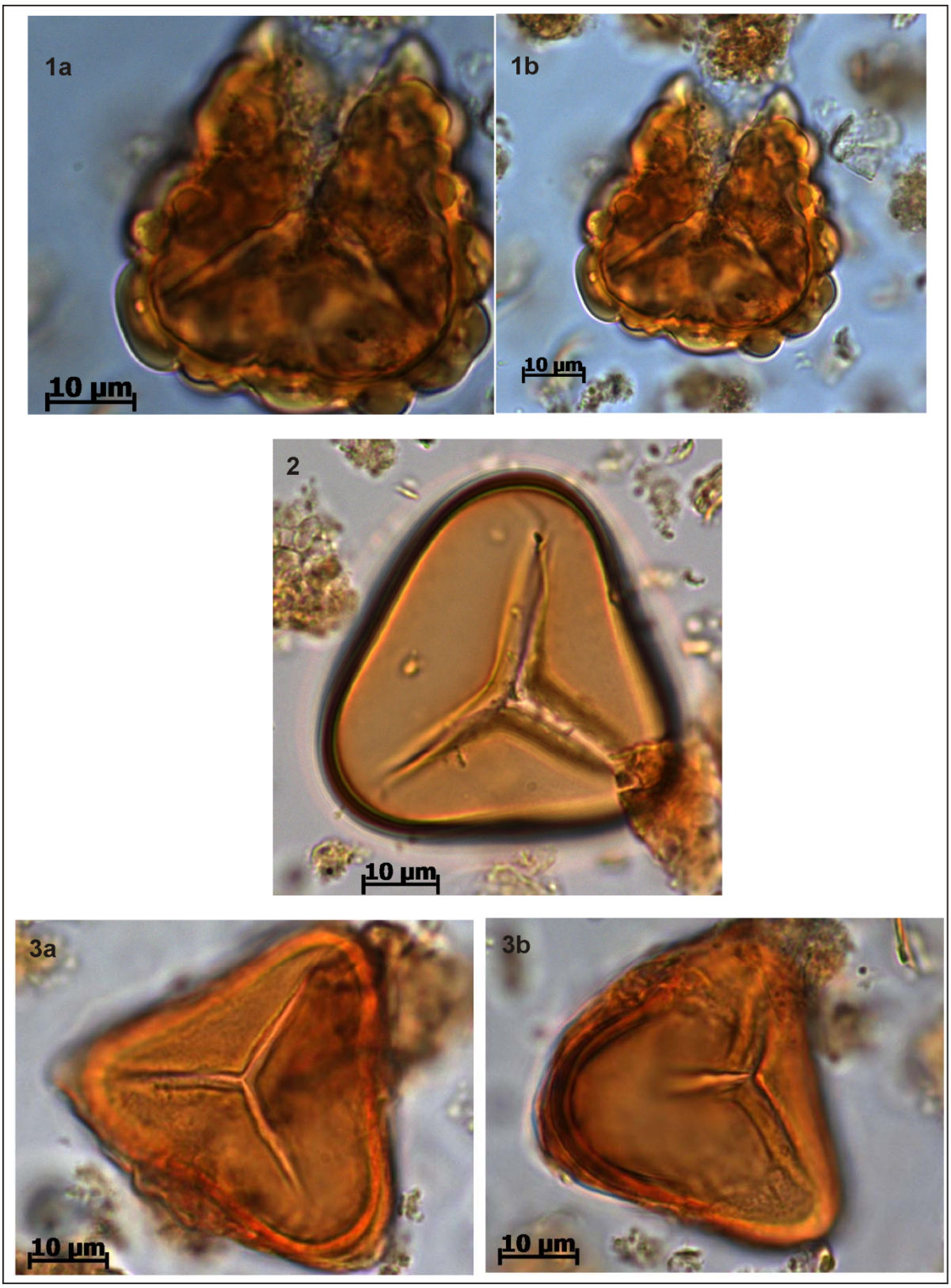
VICENTINI, K.P.C.F.; SALGADO-LABOURIAU, M.L. Palynological analysis of a plam swamp in central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Columbia, v. 9, n. 3-4, p. 207-219, 1996.

VIDOTTO, E.; PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.F.; 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, n. 3, p. 385-400, 2007.

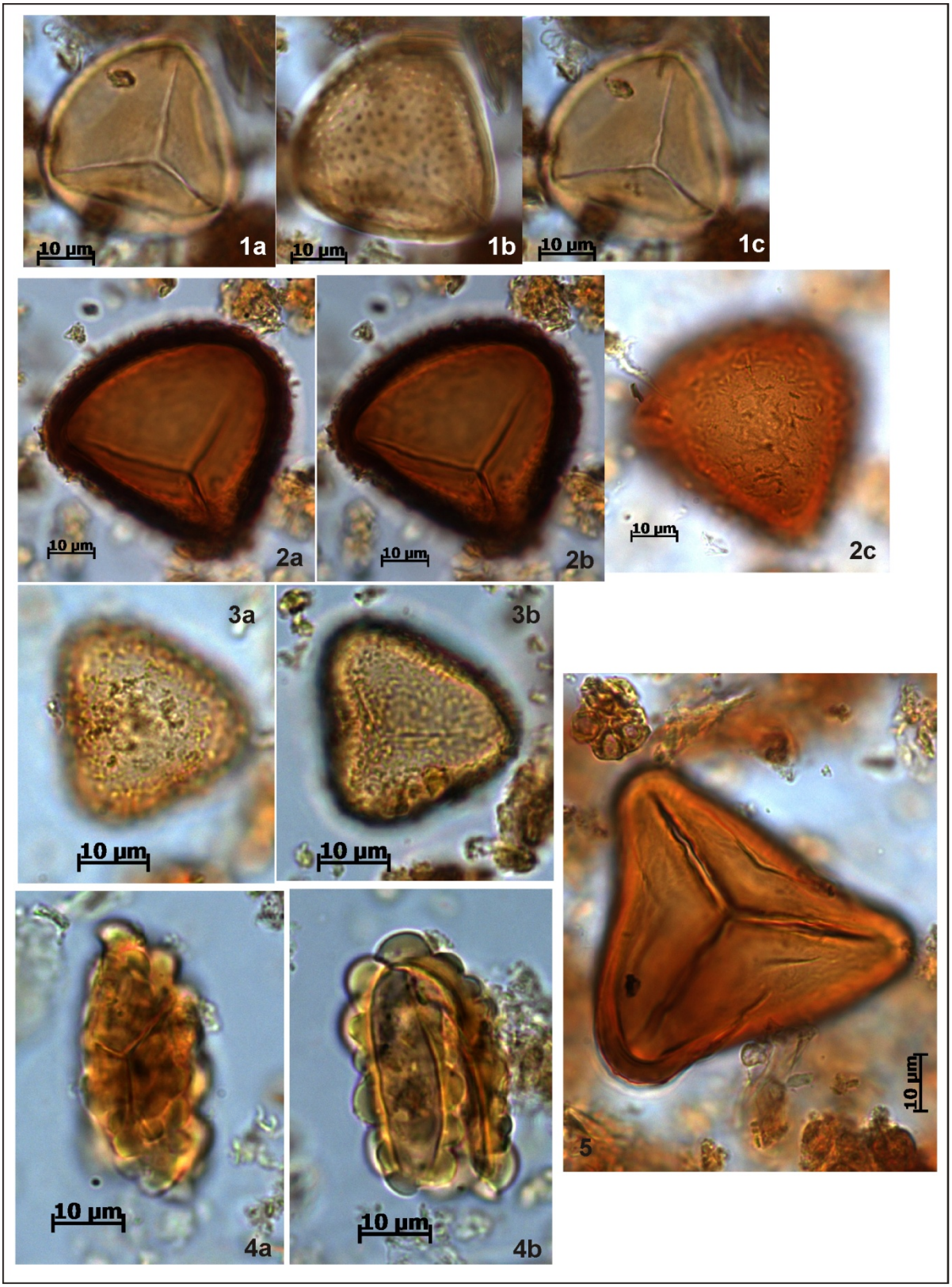
VOGEL, J.C. **Fractionation of the carbon isotopes during photosyntehesis.** New York: Springer-Verlag, 1980. 29 p.

# ANEXO 1

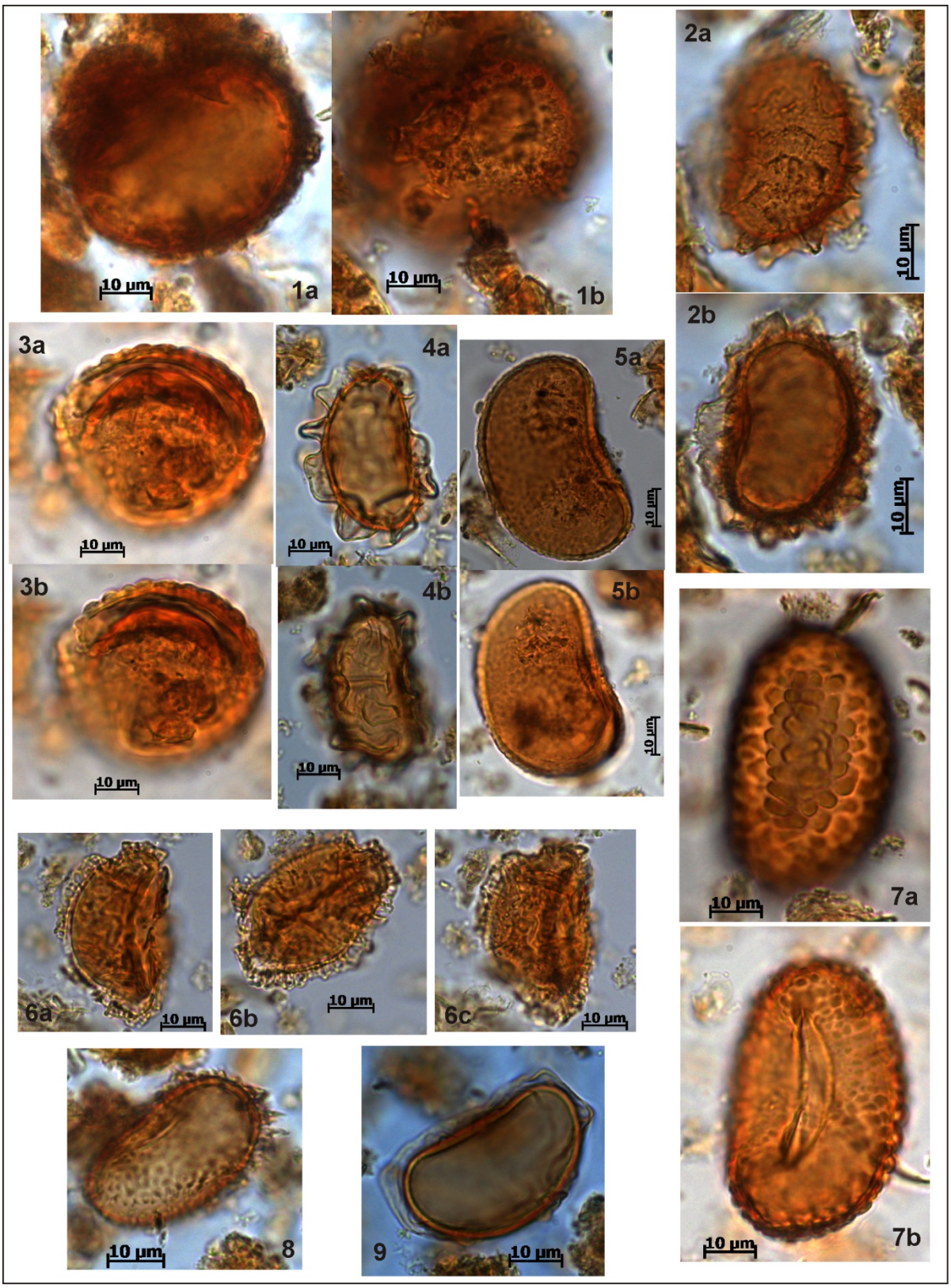
## Grãos de pólen e esporos da Lagoa Vermelha



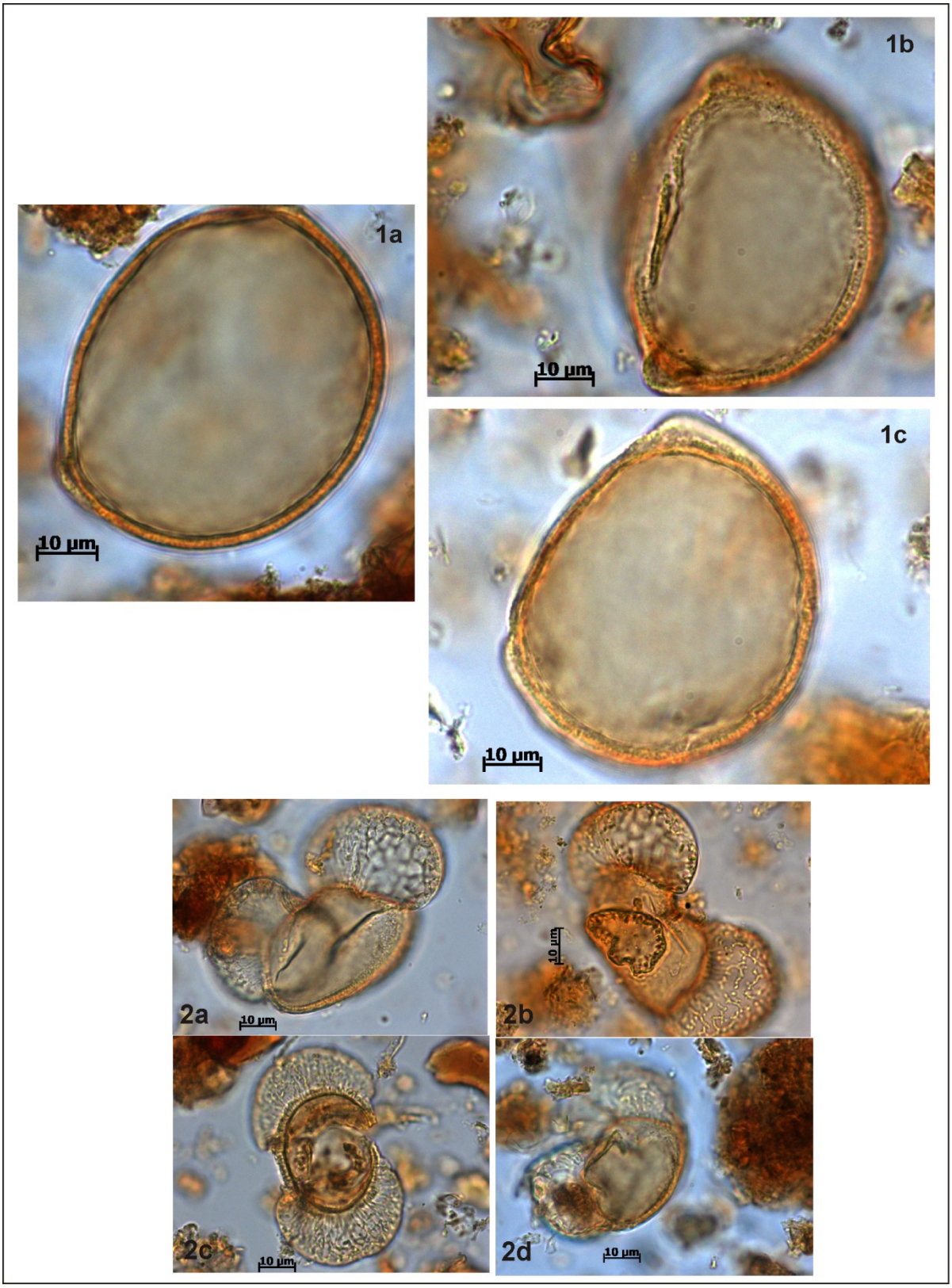

PRANCHA I: **Pterydophyta: Cyatheaceae:** *Cyathea* Tipo 1 (1a,b); *Cyathea* Tipo 2 (2); **Dicksoniaceae:** *Dicksonia* sp. (3a,b).



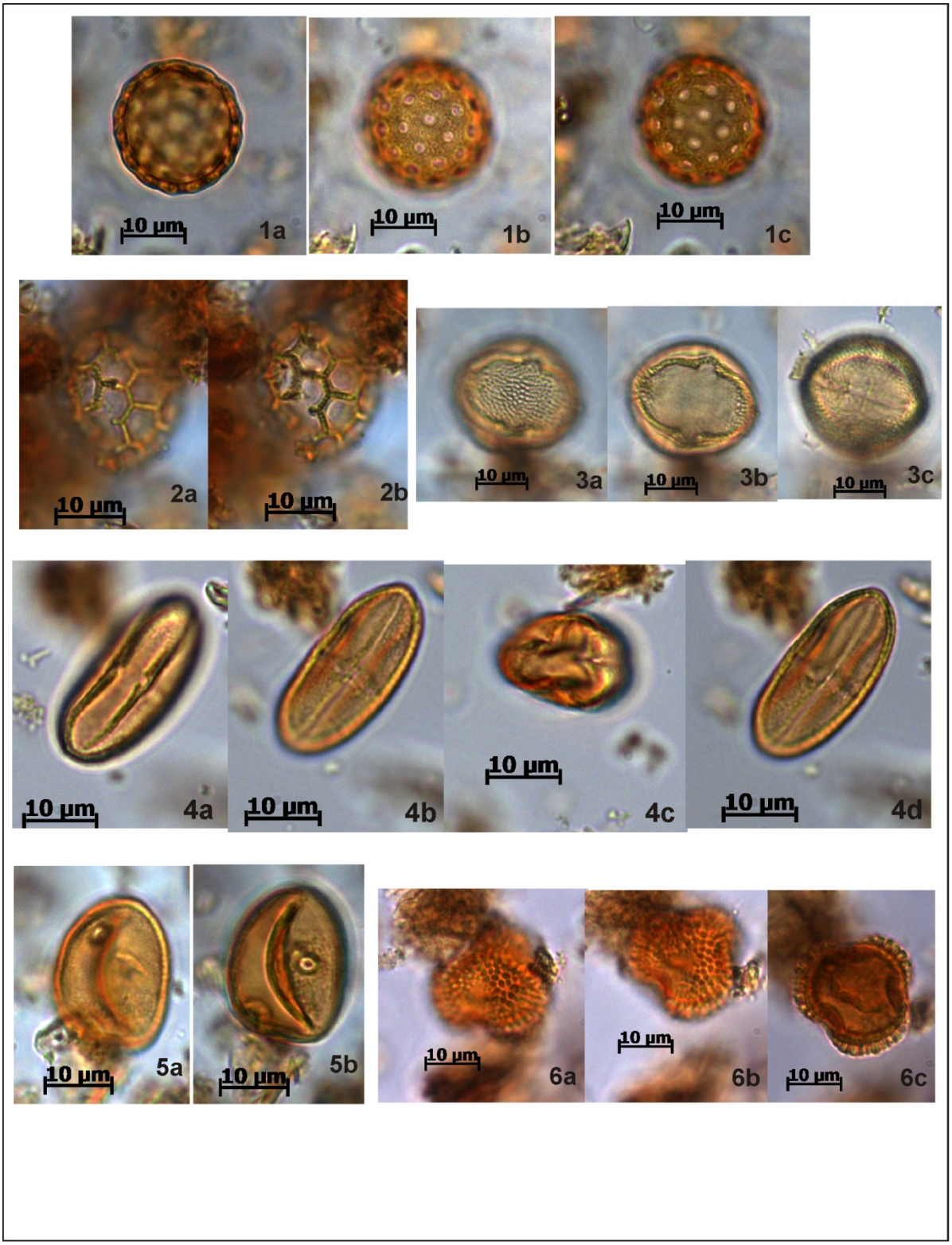

PRANCHA II: **Pterydophyta:** Trilete Tipo 1 (1a,b,c); Trilete Tipo 2 (2a,b,c); Trilete Tipo 3 (3a,b); Trilete Tipo 4 (4a,b); Trilete Tipo 5 (5).



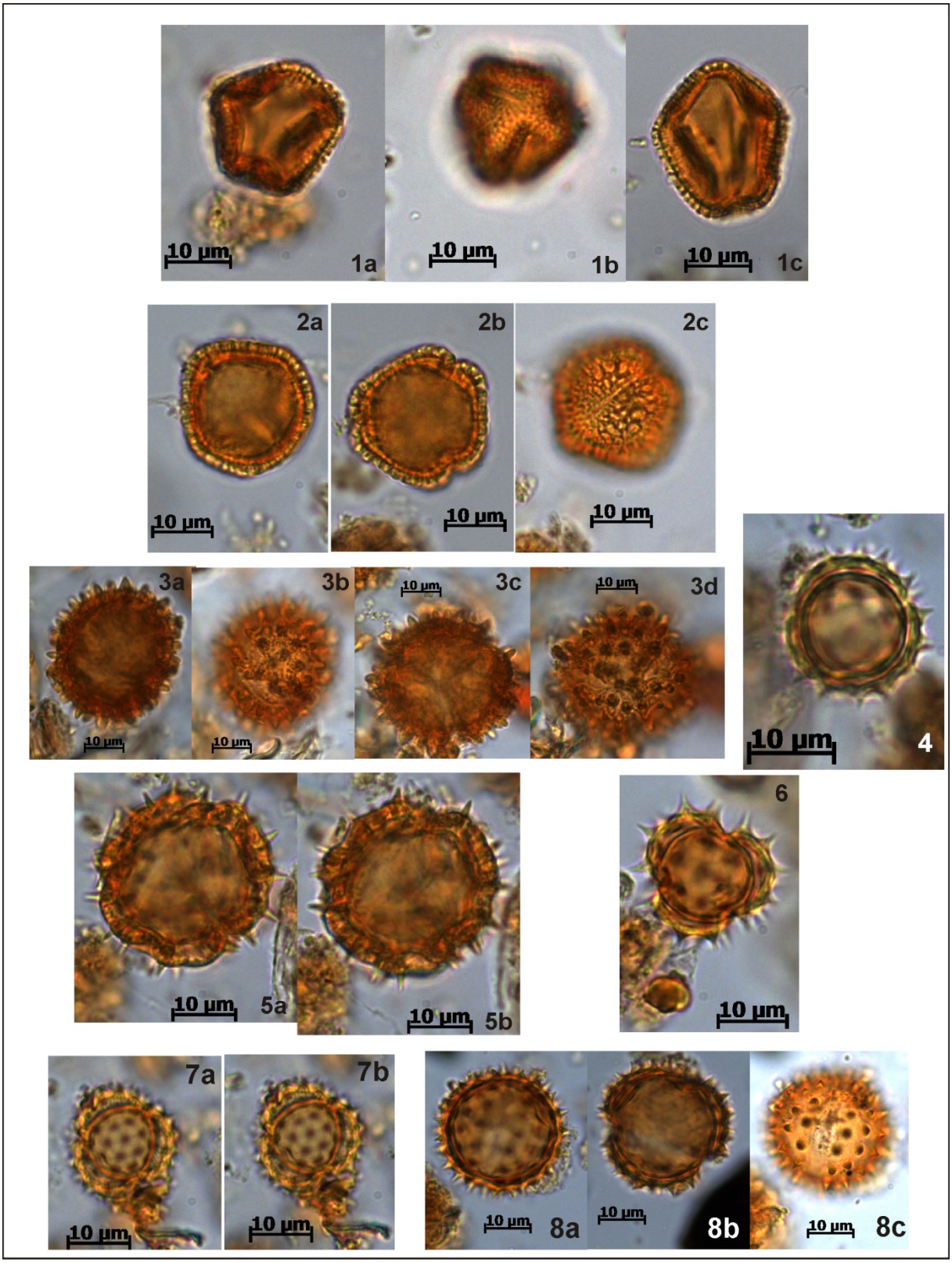

PRANCHA III: **Pterydophyta:** Monolete Tipo 1 (1a,b); Monolete Tipo 2 (2a.b); Monolete Tipo 3 (3a,b); Monolete Tipo 4 (4a,b); Monolete Tipo 5 (5a,b); Monolete Tipo 6 (6a,b,c); Monolete Tipo 7 (7a,b); Monolete Tipo 8 (8); Monolete Tipo 9 (9).



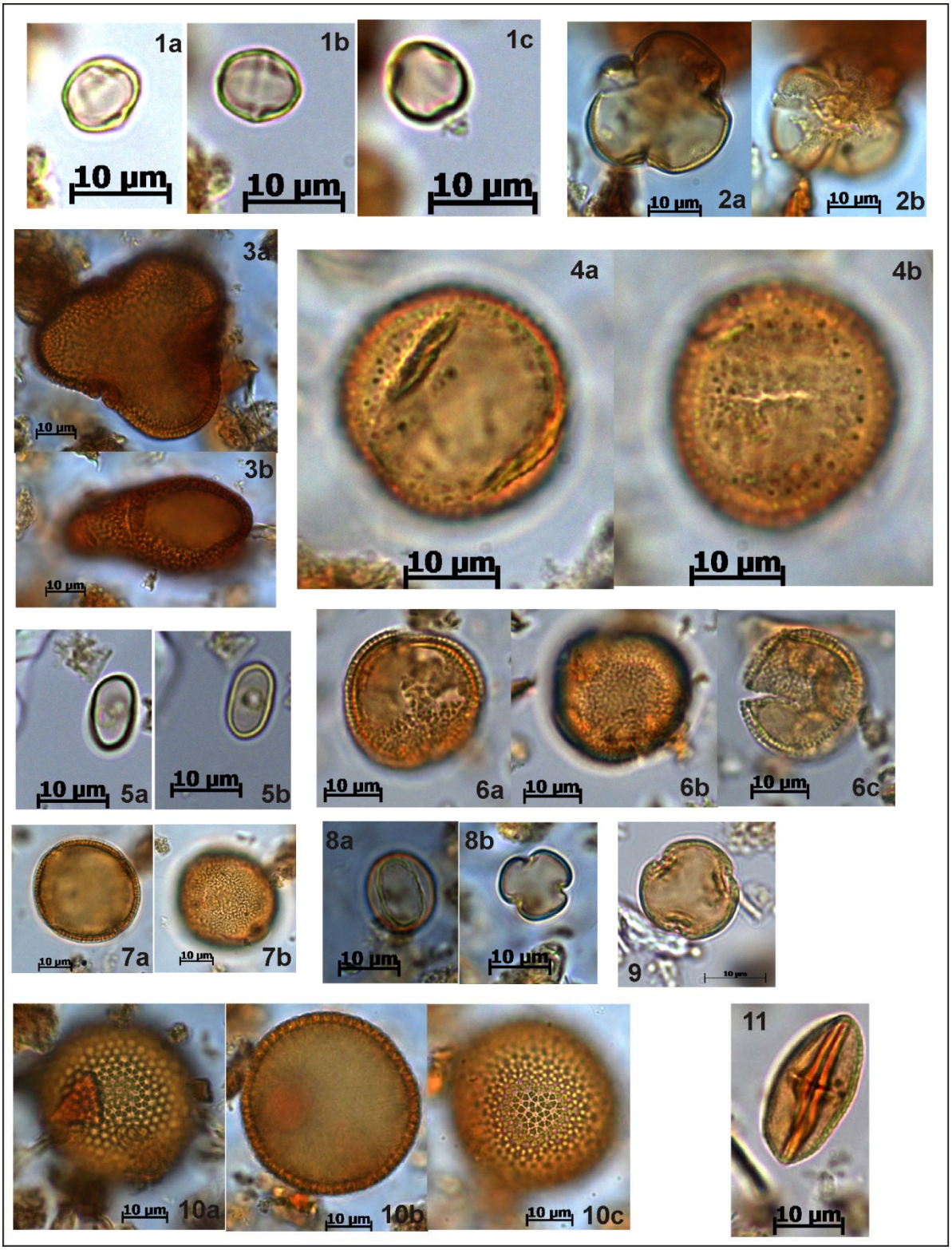

PRANCHA IV: **Gymnospermae: Araucariaceae:** *Araucaria* sp. (1a,b,c); **Podocarpaceae:** *Podocarpus* sp (2a,b,c,d).



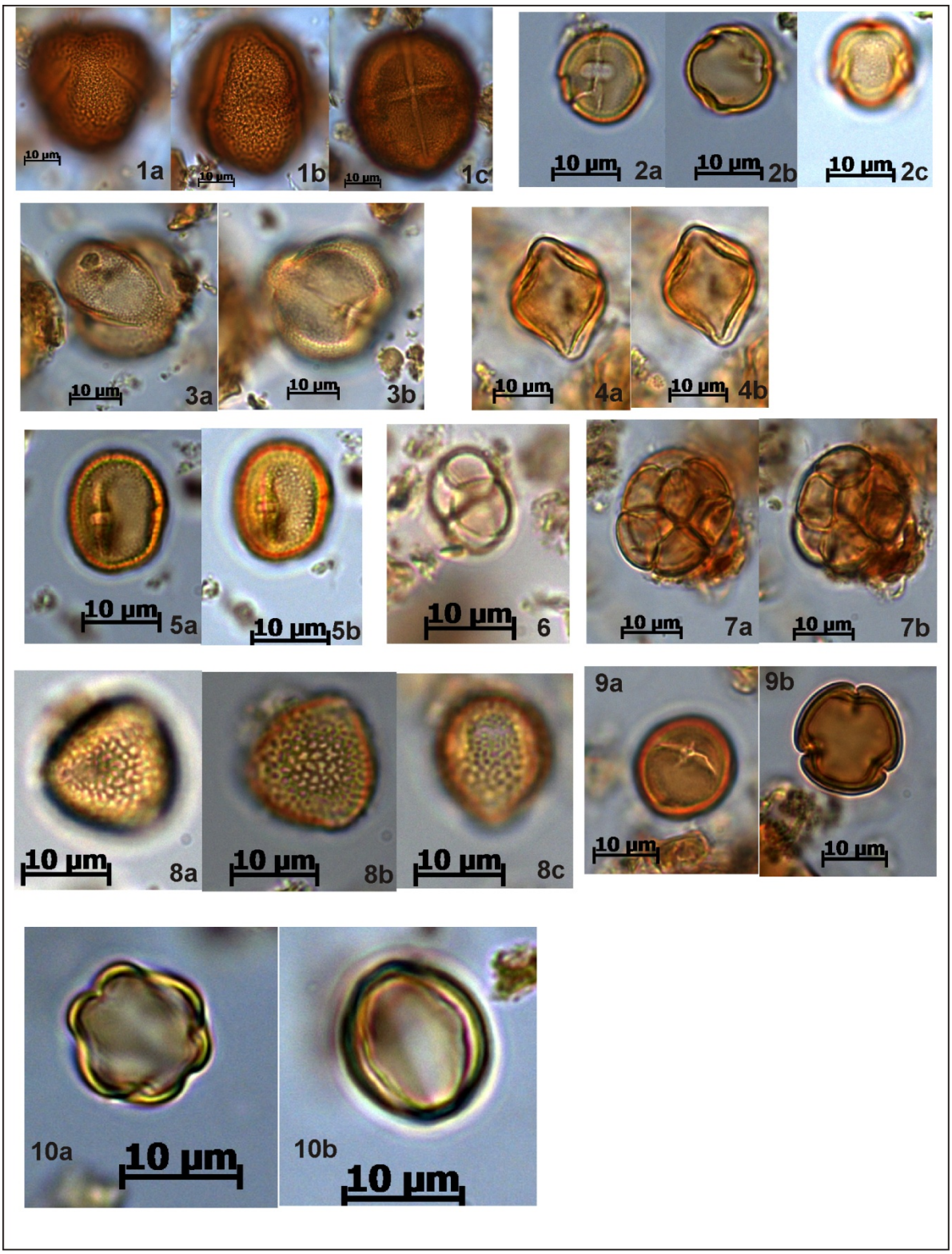

PRANCHA V: **Angiospermae: Amaranthaceae:** Amaranthaceae Tipo 1 (1a,b,c);Amaranthaceae Tipo 2 (2a,b) **Anacardiaceae**: Anacardiaceae Tipo 1 (3a,b,c); **Apiaceae:** *Eryngium* sp (4a,b,c,d); **Apocynaceae**: *Forsteronia* sp. (5a,b) **Aquifoliaceae:** *Ilex* sp (6a,b,c).



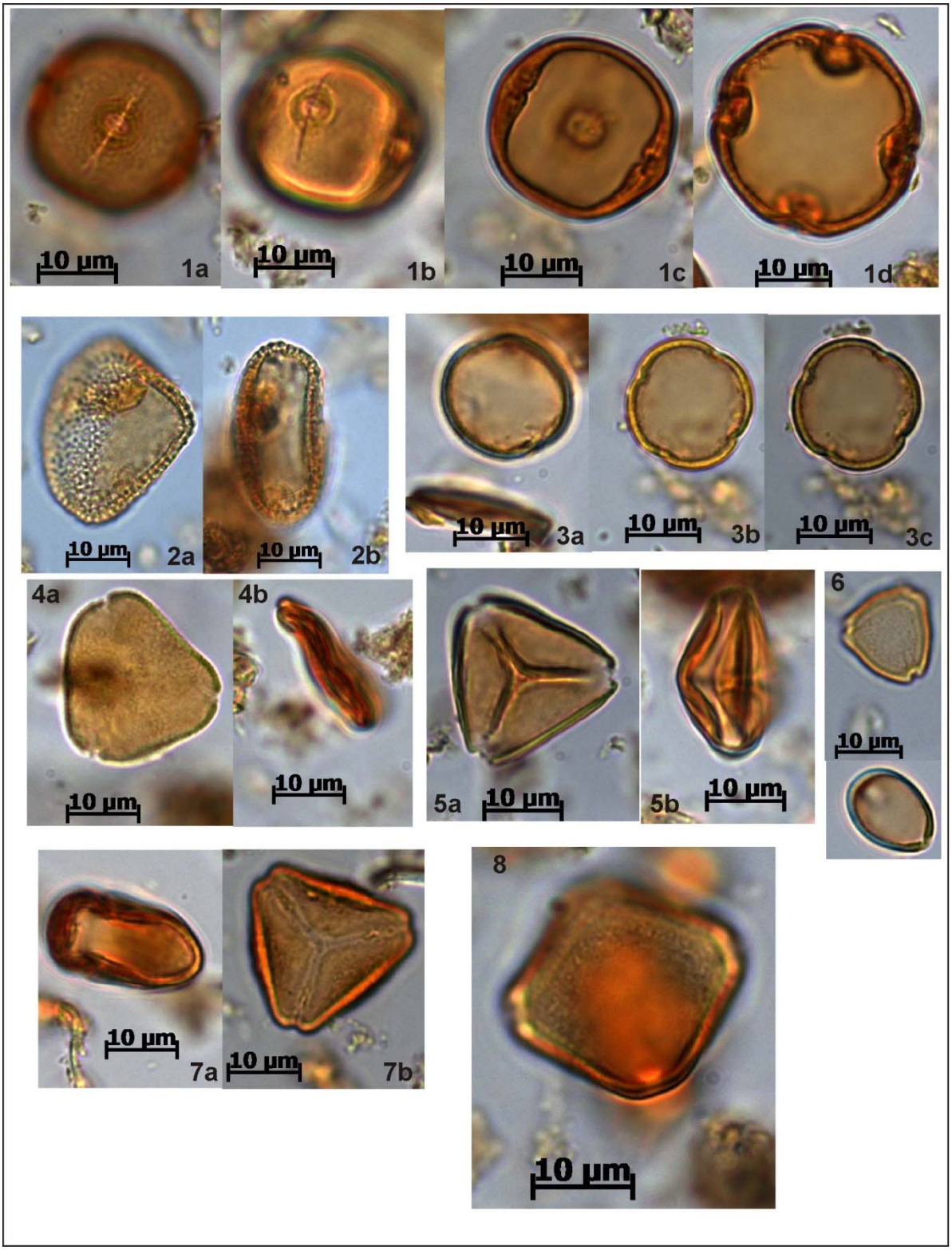

PRANCHA VI: **Araliaceae:** *Dendropanax* sp. (1a,b,c); *Didymopanax* sp (2a,b,c); **Asteraceae:** Asteraceae Tipo 1 (3a,b,c,d); (8a,b); Asteraceae Tipo 2 (4); Asteraceae Tipo 3 (5a,b); Asteraceae Tipo 4 (6); Asteraceae Tipo 5 (7a,b); Asteraceae Tipo 6 (8a,b,c).



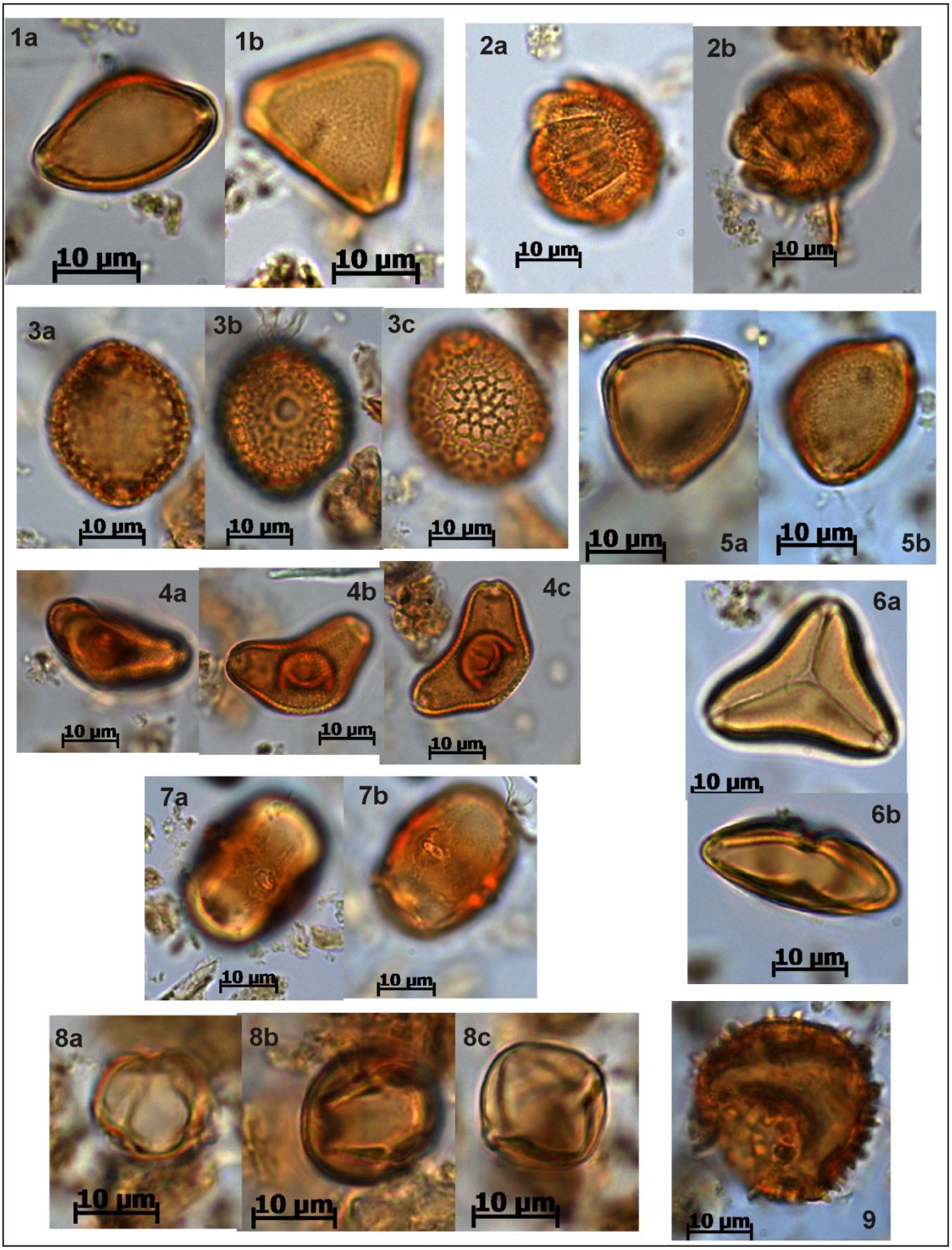

PRANCHA VII: **Begoniaceae:** *Begonia* sp. (1a,b,c); **Bignoniaceae**: Bignoniaceae Tipo 1 (2a,b); **Bombacaceae:** *Pseudobombax* sp. (3a,b); **Boraginaceae:** *Cordia* sp. (4a,b); **Cecropiaceae:** *Cecropia* sp. (5a,b); **Chloranthaceae:** *Hedyosmum* sp. (6a,b,c); **Convolvulaceae:** Convolvulaceae Tipo 1 (7a,b); **Cunoniaceae:** *Weinmannia* sp. (8a,b); **Euphorbiaceae:** *Alchornea* sp. (9); *Croton* sp. (10a,b,c); *Hyeronima* sp. (11).



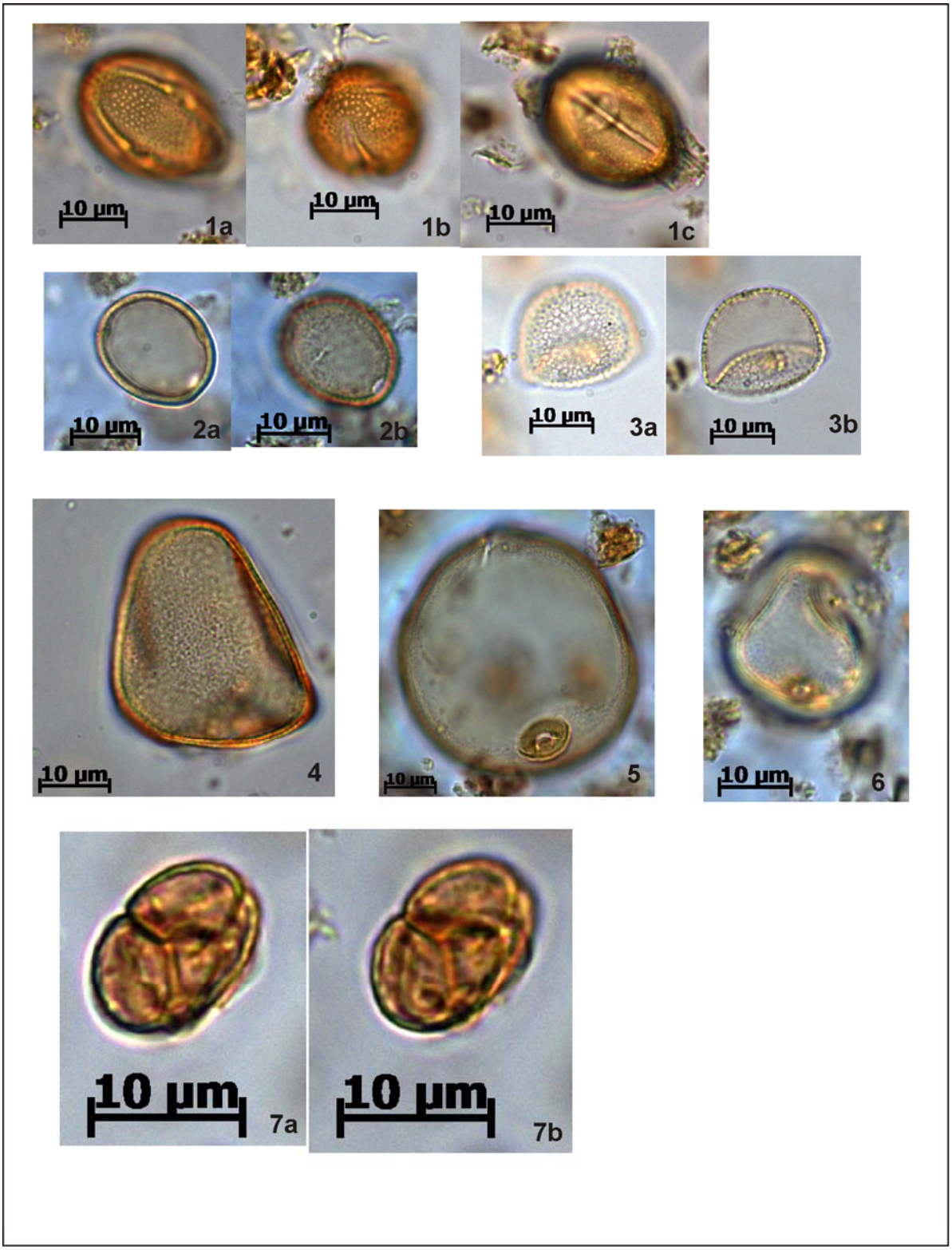

PRANCHA VIII: **Euphorbiaceae:** *Mabea* sp. (1a,b,c); *Pera* sp. (2a,b,c); *Sebastiania* sp. (3a,b); **Leguminosae: Caesalpinioideae:** *Copaifera* sp. (4a,b); cf.*Shizolobium* sp. (5a,b); **Mimosoideae:** cf. *Mimosa scabrella* (6); Mimosoideae Tipo 1 (7a,b); **Papilionoideae:** cf. *Erythrina* sp. (8a,b,c); **Marcgraviaceae:** *Norantea* sp. (9a,b); **Melastomataceae/Combretaceae:** Melastomataceae/Combretaceae Tipo 1 (10a,b).




PRANCHA IX: **Meliaceae:** *Cabralea* sp. (1a,b,c,d); **Myristicaceae:** *Virola* sp. (2a,b); **Myrsinaceae:** *Myrsine* sp. (3a,b,c); **Myrtaceae:** Myrtaceae Tipo 1 (4a,b); Myrtaceae Tipo 2 (5a,b); Myrtaceae Tipo 3 (6); Myrtaceae Tipo 4 (7a,b); Myrtaceae Tipo 5 (8).



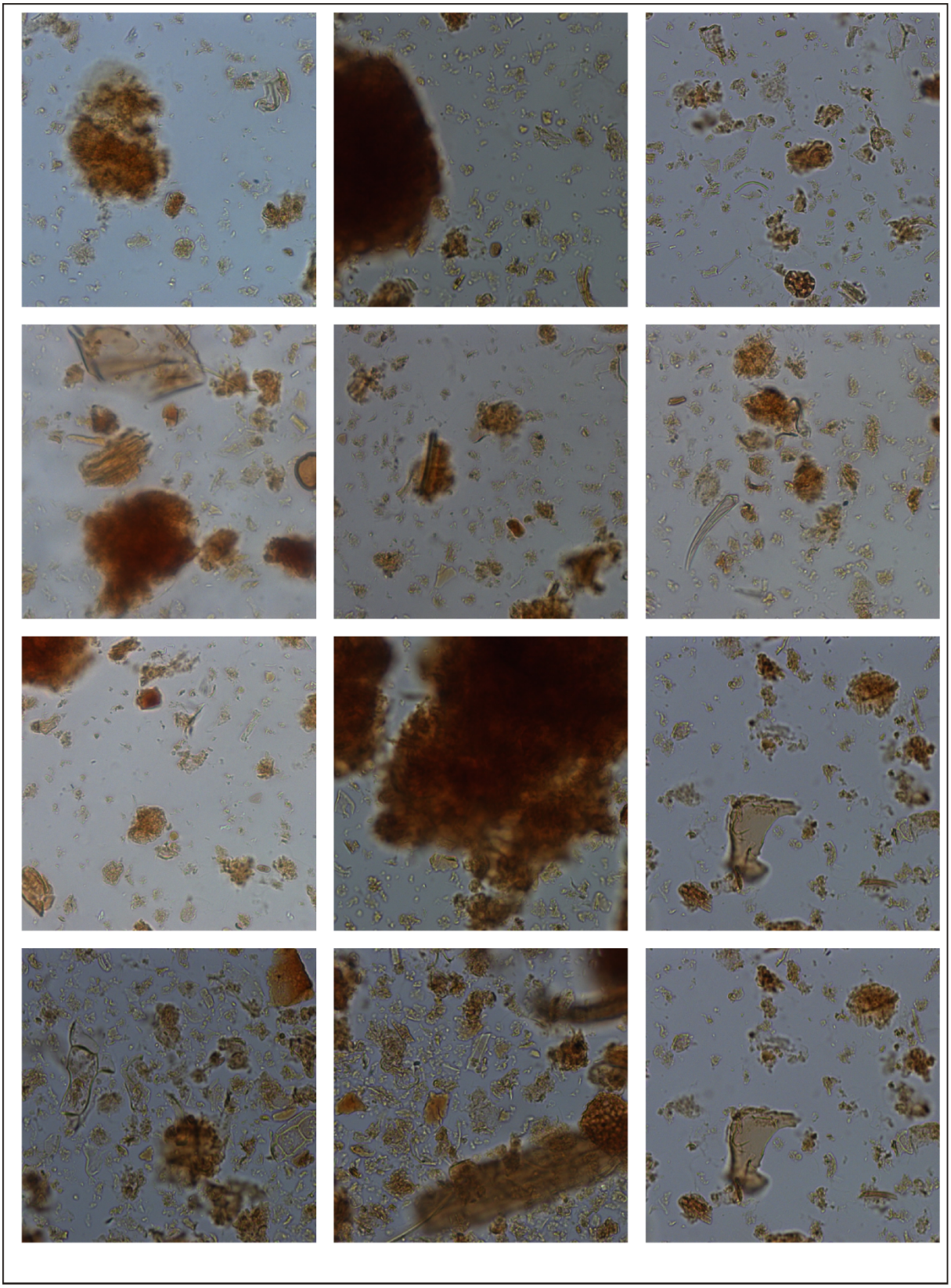

PRANCHA X: **Proteaceae:** *Roupala* sp. (1a,b); **Rubiaceae:** *Borreria* sp. (2a,b); Rubiaceae Tipo 1 (3a,b,c); **Sapindaceae:** *Serjania* sp. (4a,b,c); Sapindaceae Tipo 1 (5a,b); Sapindaceae Tipo 2 (6a,b); **Sapotaceae:** *Chrysophillum* sp. (7a,b); **Solanaceae:** *Cestrum* sp. (8a,b,c); **Theaceae:** *Laplacea* sp. (9).



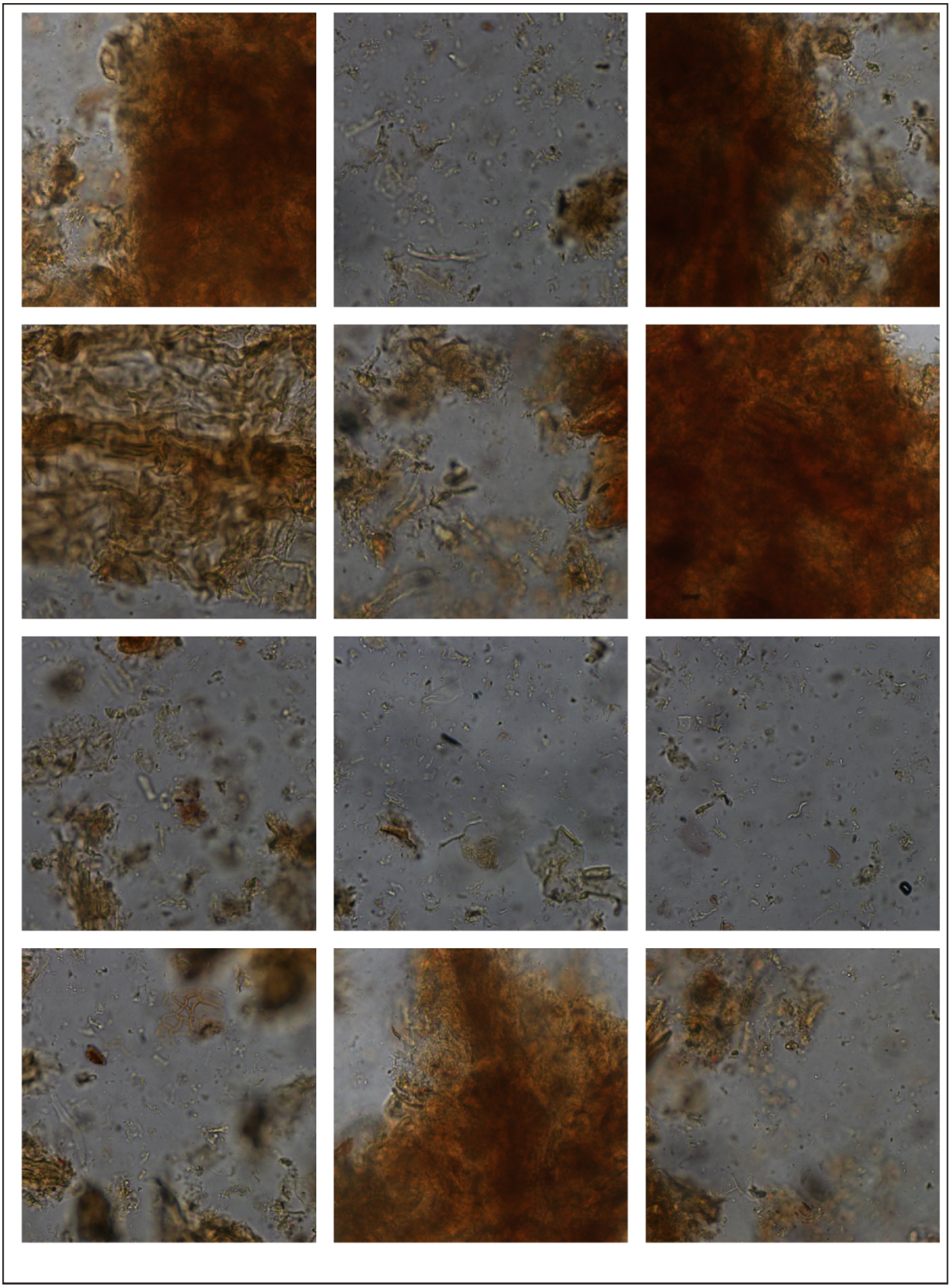

PRANCHA XI: **Tiliaceae:** *Luehea* sp. (1a,b,c); **Urticaceae/Moraceae:** Urticaceae/Moraceae Tipo 1 (2a,b); **Araceae:** Araceae Tipo 1 (3a,b); **Cyperaceae:** Cyperaceae Tipo 1 (4); **Poaceae:** Poaceae Tipo 1 (5); Poaceae Tipo 2 (6); **Typhaceae**: *Typha* sp. (7a,b).

# ANEXO 2

**Modelos de fotos utilizadas na comparação entre protocolos.**



**PRANCHA I:** Fotos do tratamento com o protocolo 1, camada 85-90 cm.



**PRANCHA II:** Fotos do tratamento com o protocolo 2, camada 85-90 cm