

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DINÂMICA FLUVIAL, VEGETAÇÃO E CLIMA DO HOLOCENO TARDIO DO BAIXO
XINGU, PARÁ, BRASIL:
ASSINATURAS PALINOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS EM SEDIMENTOS**

Vinicius Augusto do Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo De Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 18/42)**

SÃO PAULO

2018

De acordo,

Vinicius Augusto do Nascimento

Prof. Dr. Paulo Eduardo De Oliveira

AGRADECIMENTOS

Quem eu seria se um dia não tivessem cruzado meu caminho os Prof^{os} Suely e Pedro, os primeiros responsáveis por me mostrar que através da educação eu poderia crescer, talvez eles nunca vejam isto, mas sou profundamente grato a eles.

Ao Instituto Social para Motivar, Apoiar e Reconhecer Talentos (ISMART), não posso nem palavras para agradecer, não só pela bolsa de estudos e suporte durante todo o ensino médio e faculdade, mas acima de tudo por ter me mostrado o quanto vasto é o mundo e minhas possibilidades, por me deixar sonhar.

Agradeço a todos os funcionários do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo que durante estes últimos cinco anos contribuíram demais para minha formação. A todos os professores que tive a honra de ter e que me doaram a oportunidade do aprendizado e crescimento, a doação mais nobre que existe.

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo De Oliveira pela orientação, pelo entusiasmo e por ter me mostrado como é gratificante se dedicar à pesquisa durante estes dois últimos anos. Ao Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi pelas ajudas pontuais e de suma importância. A todos os colegas do Laboratório de Micropaleontologia pelo companheirismo e trabalho em equipe, em especial a Vanda pelas ajudas nos momentos de desespero. A CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro à pesquisa.

Aos meus amigos da vida Thatiane (Thatiii), Michelle, Mylena e Fernando (Best), que me ajudaram demais a estar aqui hoje, cada um de um jeito único e especial, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos amigos mais que especiais Carlos (Carlos), Ingrid (Chita), Felipe (Lelek), Victor (Mel) e Victor (Bigode) que a geologia me deu durante horas e horas de aulas, trabalhos, lâminas e campos, e que espero que fiquem por toda a vida.

A toda os colegas da T57, que me acompanharam durante esta jornada. A Geoatlética USP e todos os seus membros, que me mostraram que é possível incentivar o esporte universitário e que se doam a isto. Ao InterZebras, que ajudei a criar e que hoje cresceu e me enche de orgulho, e que me fez crescer muito como pessoa.

Por fim, agradeço as pessoas mais importantes da minha vida, a minha amada família. Ao meu irmão Thiago, pelo companheirismo e por todas as horas de FIFA, a minha primeira referência nos estudos. Ao meu pai Gilmar, que sempre fez e faz mais que o possível pela nossa família e para me deixar seguir meus sonhos, o meu exemplo maior de resiliência e amor. A minha mãe Selma, pelo apoio em todos os momentos, pelas noites sem dormir e por todas as manhãs acordadas bem cedo ao meu lado, a minha maior referência de dedicação e amor.

*“It has long been an axiom of mine that the little things
are infinitely the most important.”*

Arthur Conan Doyle, The Memoirs of Sherlock Holmes

*“Se a educação sozinha não transforma a sociedade,
sem ela tampouco a sociedade muda.”*

Paulo Freire

RESUMO

A Amazônia contém a maior floresta tropical contínua e com os maiores índices de biodiversidade da Terra, ecossistema de extrema importância e muito estudado, uma vez que mudanças na cobertura florestal amazônica podem causar impacto à circulação atmosférica e ao ciclo hidrológico, não somente na América do Sul, como também em outras partes da Terra. Da mesma forma, alterações no clima regional e ciclo hidrológico podem impactar a vegetação amazônica. Com base em estudos palinológicos e geoquímicos de fluorescência de raio-x (XRF) em sedimentos fluvio-lacustres da região da Volta Grande do rio Xingu, Pará, Brasil, com idade máxima de 6.000 anos cal AP, este trabalho visa fornecer novos dados para a discussão da sua dinâmica e evolução da vegetação alagável de igapó, associados à dinâmica climática regional. Os dados obtidos revelam três fases distintas na evolução do sistema: a primeira que compreende o período de maior pluviosidade (5760 a 2803 ± 255 anos cal AP), em que o rio Xingu possuía alta dinâmica fluvial, formando barras arenosas que deram o início à formação das ilhas fluviais atuais. Na segunda, ocorre a diminuição da pluviosidade (2803 ± 255 a 506 ± 36 anos cal AP) no leste amazônico e consequente diminuição da dinâmica fluvial do rio Xingu, que junto com aumento da pluviosidade no oeste amazônico e barramento do rio Xingu pelo rio Amazonas mais caudaloso, contribuíram para a deposição de argila e formação do substrato para as florestas inundáveis de igapó sobre as barras arenosas na região da Volta Grande. Por fim, a última fase (506 ± 36 anos cal AP), representa a estabilização do sistema, uma vez que com a vegetação de igapó fixada, as pequenas alterações climáticas posteriores não puderam influenciá-la.

ABSTRACT

The Amazon contains the largest continuous tropical rainforest with the highest biodiversity indexes of the Earth. It's an ecosystem of extreme importance and therefore much studied, since changes in its forest cover can impact the atmospheric circulation and the hydrological cycle, not only in South America, as well as in other parts of the Earth. Likewise, changes in regional climate and hydrological cycle may also impact Amazonian vegetation. Based on palynological and geochemical x-ray fluorescence (XRF) studies in fluvio-lacustrine sediments of the Xingu Volta Grande region, Para, Brazil, with a maximum age of 6,000 years cal BP, this work aims to provide new data for the discussion of its dynamics and evolution of igapó floodplain, associated with regional climatic dynamics. The data reveal three distinct phases in the evolution of the system: the first one comprising the period of highest rainfall (5760 to 2803 ± 255 years cal BP), in which the Xingu River had high river dynamics, forming sandy bars that gave rise to the formation of the current river islands. In the second, there is a decrease in rainfall (2803 ± 255 to 506 ± 36 years cal BP) in Eastern Amazonia and consequent decrease in the river dynamics of the Xingu River, which together with an increase in rainfall in Western Amazonia and the damming of Xingu by the Amazon River with higher flow rate contributed to the deposition of clay and substrate formation to the flooded forests of igapó on the sandy bars in the region of Volta Grande. Finally, the last phase (506 ± 36 years cal BP) represents the stabilization of the system, since with the fixed igapó vegetation, small subsequent climatic changes could not influence it.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:* Localização (A, B) e mapa geológico da área de estudo, Volta grande do Xingu, Amazônia oriental (Bahia et al., 2004) (C). Litologia: (A) gnaisses, granodioritos e granitoides Arqueanos (Complexo Xingu) e rochas metavulcanicas e metassedimentares; (PP) suítes intrusivas: granitos, granodioritos e charnockitos Paleoproterozóicos; (Ou) folhelhos ricos em matéria orgânica e arenitos Ordovicianos-Devonianos (Grupo Trombetas); (Dm1-Dm2-Du) folhelhos, siltitos e arenitos Devonianos superiores; (J) diabásios Triassicos-Jurassicos (Formação Panatecaua); (K) arenitos e conglomerados (Formação Alter do Chão); (EN) sedimentos indiferenciados e crostas lateríticas Eocenicas-Neogénicas; (Q) sedimentos Quaternários..... 14
- Figura 2:* Modelo para a formação de ilhas fluviais na região do baixo rio Xingu. Representação vista em planta, com formação de lago interno e colonização das cristas das barras por vegetação. As setas indicam o sentido do fluxo do rio. As fases 1 a 6 representam a deposição da barra arenosa, seu prolongamento para jusante e colonização pela vegetação de igapó. As fases 7 e 8 representam a formação de lago interno com conexão restrita ao canal (Souza, 2015). 16
- Figura 3:* Sucessão da ocupação das barras pela vegetação da floresta de igapó (da esquerda para a direita). Zona em processo de estabilização com crescimento do capim *Echinocloa pyramidalis* (canarana); vegetação arbustiva de *Montrichardia arborescens* (atinga-açu); vegetação arbórea de ombrófilas densas aluviais (Fotos: Souza, 2015)..... 17
- Figura 4:* Normais climatológicas do Brasil no período de 1981 a 2010. Precipitações acumuladas em milímetros mensais nos meses de março e agosto, correspondentes aos registros médios de precipitação máxima e mínima respectivamente (INMET, 2018), com a área aproximada de drenagem do rio Xingu indicada. 17
- Figura 5:* Comparação entre os dados de δ^{180} da caverna Paraíso nos últimos 46.000 anos e as curvas de insolação no local nos meses de janeiro (azul), abril (ciano), julho (azul escuro) e outubro (ciano escuro). Apesar de cobrir dois ciclos processoriais, os dados não revelam correlações marcantes entre os dados da caverna e das insolações no local (Wang et al., 2017). 19
- Figura 6:* (A) Coluna sedimentar da amostra XC01-2. (B) Localização de coleta das amostras de sedimentos consolidados da região da Volta Grande do rio Xingu, Baixo Xingu. (C) Subamostras em laboratório (Sawakuchi et al., 2015). 20
- Figura 7:* Relação entre idade calibrada e profundidade do testemunho, e os pontos de datação com sua idade convencional e erro associado. 24

<i>Figura 8: Perfil sedimentológico do testemunho XC01-2, com a indicação de sua idade modelada (preto) e as idades e erros dos pontos datados (azul).</i>	25
<i>Figura 9: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) dos grupos observados durante a contagem, com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	29
<i>Figura 10: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) das famílias Cecropiaceae, Cyperaceae, Poaceae e Alismataceae, com a divisão das zonas polínicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	31
<i>Figura 11: Gráfico de concentração (partículas/cm³) de partículas de carvão, com a divisão das zonas polínicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	32
<i>Figura 12: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos metálicos (Al, Ti, Fe, As) representando a tendência dos metais ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	34
<i>Figura 13: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos não metálicos (Ca, Ba, Si) e TOC mostrando suas tendências ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	36
<i>Figura 14: Razões geoquímicas (Fe/K, Si/Al, Ca/Al e TOC/Al) mostrando suas tendências ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	38
<i>Figura 15: Comparação dos dados palinológicos (concentração em grãos/cm³ dos grupos observados) e geoquímicos (Fe, Si, Fe/K e TOC) com os dados de δ¹⁸O da Caverna Paraíso, obtidos por Wang et al. (2017). Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.</i>	41

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Datações AMS 14C e OSL realizadas no testemunho XC01-2., com as profundidades de análise, idade convencional (anos AP) e idade calibrada (anos AP) e laboratórios de análise.....</i>	24
<i>Tabela 2: Classificação dos tipos polínicos encontrados durante a identificação e contagem palinológica e a sua respectiva descrição morfológica. Sendo ND = Não Identificado (espécimes com características morfológicas não evidentes para a identificação), TRSH = Árvore e Arbustos, UPHE = Ervas Terrestres, AQVP = Ervas Aquáticas, VACR = Pteridófita (samambaias) e ALGA = Algas. Para a descrição, foi seguida a nomenclatura adotada por Salgao-Labouriau (1973) em função da razão P/E, onde P = diâmetro polar, E = diâmetro equatorial e SM = sem medida.</i>	26
<i>Tabela 3: Comparação entre as idades delimitadas com o subprograma CONISS para as Zonas Palinológicas e Geoquímicas.</i>	39

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo I - Pranchas polínicas</i>
<i>Anexo II - Dados da contagem polínica</i>
<i>Anexo III - Gráficos polínicos</i>
<i>Anexo IV - Dados geoquímicos</i>
<i>Anexo V - Gráficos geoquímicos</i>

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. Localização e contexto geológico	13
3.2. Dinâmica fluvial do rio Xingu e sua relação com a floresta de igapó.....	15
3.3. Componentes climáticas amazônicas	17
3.3.1. Clima atual	17
3.3.2. Paleopluviosidade	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Coleta e subamostragem.....	20
4.2. Análise palinológica	21
4.2.1. Preparação das amostras.....	21
4.2.2. Identificação de tipos polínicos	21
4.2.3. Contagem dos grãos de pólen, esporos e micropartículas de carvão	22
4.2.4. Análise dos dados e produção de gráficos polínicos.....	22
4.3. Análise geoquímica	22
4.3.1. Preparação das amostras.....	22
4.3.2. Análise de Fluorescência de Raio-X (XRF).....	22
4.3.3. Análise dos dados e produção de gráficos	23
4.4. Datação	23
5. RESULTADOS	24
5.1. Datação	24
5.2. Descrição faciológica e correlação com o modelo deposicional proposto para as ilhas fluviais da região	25
5.3. Análise palinológica	25
5.3.1. Identificação, descrição morfológica e quantificação dos táxons polínicos	25
5.3.2. Zonas polínicas	28
5.4. Análise geoquímica	32
6. DISCUSSÃO	39
6.1. Correlação entre os dados palinológicos e geoquímicos	39
6.2. Correlação entre o clima, dinâmica fluvial e a vegetação da região da Volta Grande do rio Xingu	40
7. CONCLUSÕES.....	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, conhecida por ser a região com a maior floresta tropical contínua e com os maiores índices de biodiversidade da Terra (Colinvaux et al., 1999) é também uma região que exporta calor e vapor de água para a atmosfera global (Gash et al., 2004). Segundo estes autores, mudanças na cobertura florestal amazônica podem causar impacto à circulação atmosférica e ao ciclo hidrológico, não somente na América do Sul, como também em outras partes da Terra, assim como as mudanças no clima regional e no ciclo hidrológico podem impactar a vegetação.

A região do Baixo Xingu (Pará), setor leste da Floresta Amazônica, apesar dos recentes avanços com dados palinológicos e isotópicos (Cruz et al., 2009; Bush et al., 2011; Novelo et al., 2012; Wang et al., 2017), possui poucos estudos de reconstituição ambiental e climática, apesar da região ser chave para os estudos da dinâmica climática do norte da América do Sul no passado e no presente (Bush et al., 2011). Contudo, recentemente, o estudo paleoclimático desenvolvido em espeleotemas da Caverna Paraíso, no leste da Amazônia, mostrou que nos últimos 5.000 anos há uma clara tendência da diminuição da precipitação local (Wang et al., 2017). Assim, torna-se de fundamental importância a comprovação ou não desses resultados por outras técnicas independentes e entender como sinais de alterações na precipitação e na vegetação durante o Holoceno ficaram registradas em sedimentos lacustres e fluviais da Bacia Amazônica.

Outra questão importante é a evolução do sistema fluvial do rio Xingu, um dos maiores afluentes do rio Amazonas (Mineli, 2013) e o desenvolvimento de ilhas fluviais na região da Volta Grande do Xingu, Pará, que segundo Souza (2015) possui estágios de formação bem marcados na região, indicando um evento regional de mudança da dinâmica fluvial do rio Xingu. Além disso, estas ilhas são de suma importância para a fixação e desenvolvimento das florestas alagáveis de igapó, que também estão intimamente ligadas à fixação de ilhas fluviais (Souza, 2015).

Para responder essas perguntas, este projeto visa analisar sedimentos fluvio-lacustres da região da Volta Grande do Baixo Xingu, onde os rios Xingu e Tapajós, os maiores sistemas fluviais da bacia Amazônica, apresentam rias fluviais. Estes depósitos foram alvo de coletas para este trabalho (Sawakuchi et al., 2015; Bertassoli Jr. et al., 2017) para a discussão sobre a composição da flora, da dinâmica fluvial e climática da região durante o Holoceno, mais especificamente durante os últimos 6.000 anos.

Para isso, os dados obtidos foram comparados com os de isótopos de oxigênio em espeleotemas (Wang et al., 2017) da caverna Paraíso no setor leste da floresta amazônica e com dados obtidos por Souza (2015) sobre o desenvolvimento das ilhas fluviais da região da Volta Grande do rio Xingu.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal colaborar com o entendimento das alterações da paisagem e do clima da Amazônia durante o Quaternário, mais especificamente no Holoceno tardio. Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a. Análise palinológica e geoquímica de sedimentos fluvio-lacustres de um lago parcialmente restrito dentro de um ilha fluvial do rio Xingu, no Baixo Xingu, Município de Altamira, Pará, Brasil.
- b. Inferir mudanças na composição da flora de igapó da região, através da quantificação (percentual e concentração) dos táxons polínicos, e no regime fluvial, através da análise geoquímica e relacioná-las com as alterações climáticas na região durante o Holoceno tardio.
- c. Comparar os dados de isótopos de oxigênio da caverna Paraíso, que revelam diminuição de precipitação nos últimos 5.000 anos, com os dados obtidos neste estudo para caracterizar a influência da diminuição de precipitação na dinâmica fluvial e composição vegetal da área.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

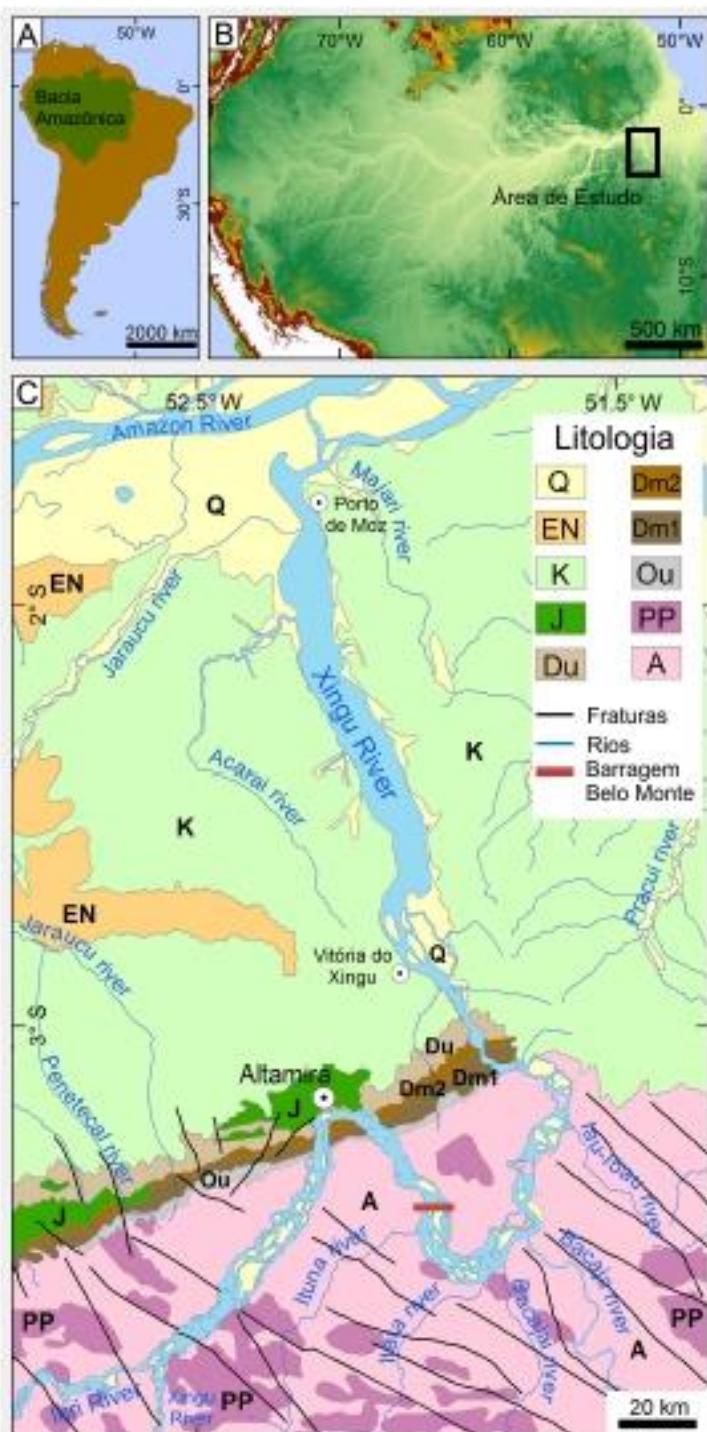
3.1. Localização e contexto geológico

Inserido na bacia hidrográfica amazônica, o Rio Xingu corre na direção sul-norte, paralelo aos rios Tapajós e Tocantins, entre os paralelos 1° e 15° de latitude e os meridianos 50° e 56° de longitude oeste, com nascentes no centro leste de Mato Grosso e foz no trecho final do rio Amazonas, no nordeste do Pará, sendo um dos maiores afluentes do mesmo (Mineli, 2013). Sua bacia drena uma área de aproximadamente 520.000 km², possui cerca de 2000 km de comprimento e vazão média entre 2.582 e 9.700 m³/s (Pettena *et al.*, 1980; Latrubesse *et al.*, 2005).

A Volta Grande do rio Xingu (município de Altamira, Pará) está inserida no limite sudeste da Bacia Sedimentar do Amazonas, região conhecida pelo percurso atípico e morfologia diversificada do rio Xingu (Mineli, 2013). A maior parte de sua bacia de drenagem encontra-se sobre o cráton do Amazonas, o qual possui aproximadamente 4.300.000 Km² e é limitado pelos cinturões orogênicos neo-proterozóicos Tucavaca na Bolívia e Araguaia-Cuiabá e Tocantins no Brasil (Tassinari e Macambira, 2004).

A área de estudo, está inserida na porção setentrional da Província Amazônica Central (Tassinari e Macambira, 2004), no limite entre a bacia sedimentar do Amazonas (Paleozóico ao Neógeno) e seu embasamento formado por unidades mesoarqueanas e paleoproterozóicas (Rocha Neto *et al.*, 2004). Segundo Rocha Neto *et al.* (2004) as unidades do embasamento são representadas por charnockitos, e por gnaisses tonalítico, granodioritos e granitóides do Complexo Xingu, segundo o autor também ocorrem unidades metavulcanossedimentares neoarqueanas, formadas por actinolita xistos, mica xistos, anfibolitos, rochasmetavulcânicas metatufos, filitos, quartzitos e formações ferríferas bandadas. Estas unidades são cortadas por suítes intrusivas riacinas (Suíte Intrusiva Igarapé Urucu) e orosirianas (Suíte Intrusiva Parauari) compostas por rochas monzograníticas, graníticas, granodioríticas, sienograníticas e tonalítica (Rocha Neto *et al.*, 2004). Já a bacia sedimentar do Amazonas que tem a sua origem ligada à Orogenia Brasiliana/Pan-Africana, que gerou esforços compressivos leste-oeste e de alívio norte-sul (Cunha *et al.*, 2007), na região da Volta Grande do Xingu é representada pelo grupo Trombetas (Siluriano-Devoniano) e pelas formações Maecuru, Ererê (Devoniano) e Alter do Chão (Cretáceo), além de rochas ígneas básicas do magmatismo Triássico Penatecaua (Cunha *et al.*, 2007). De acordo com Caputo (1984), o grupo Trombetas abrange sedimentos marinhos e costeiros, englobando as formações Autás Mirim (arenitos e folhelhos de plataforma rasa), Nhamundá (arenitos de plataforma rasa com influência glacial), Pitinga (folhelhos e diamictitos de plataforma distal), Manacapuru (arenitos e pelitos deltaicos) e Jatapu (arenitos e siltitos de plataforma rasa), enquanto as formações Maecuru e Ererê são representadas por arenitos, siltitos e folhelhos de plataforma marinha rasa. Durante o Neotriássico, ocorreram esforços distensivos, na

direção leste-oeste, relacionados à abertura do oceano Atlântico, que foram seguidos de magmatismo básico, registrado por diques e soleiras de diabásio que constituem o magmatismo Penatecaua (Thomaz Filho *et al.*, 1974). A Formação Alter do Chão é constituída por arenitos grossos e conglomerados fluviais e lacustres, e recobre em discordância erosiva as unidades subjacentes (Caputo, 1984).



*Figura 1: Localização (A, B) e mapa geológico da área de estudo, Volta grande do Xingu, Amazônia oriental (Bahia *et al.*, 2004) (C).* Litologia: (A) gnaisses, granodioritos e granitoides Arqueanos (Complexo Xingu) e rochas metavulcanicas e metassedimentares; (PP) suítes intrusivas: granitos, granodioritos e charnockitos Paleoproterozóicos; (Ou) folhelhos ricos em matéria orgânica e arenitos Ordovicianos-Devonianos (Grupo Trombetas); (Dm1-Dm2-Du) folhelhos, siltitos e arenitos Devonianos superiores; (J) diabásios Triassicos-Jurassicos (Formação Panatecaua); (K) arenitos e conglomerados (Formação Alter do Chão); (EN) sedimentos indiferenciados e crostas lateríticas Eocénicas-Neogénicas; (Q) sedimentos Quaternários.

3.2. Dinâmica fluvial do rio Xingu e sua relação com a floresta de igapó

Um dos maiores tributários da margem direita do rio Amazonas, o rio Xingu é considerado um rio de águas claras com baixa carga de sedimentos em suspensão (Sioli, 1984), com cerca de 17,8 ton/km² ano, em comparação a aproximadamente 170 ton/km² do rio Amazonas. Isto se deve, segundo Latrubblesse *et al.* (2005), ao fato de que rios que drenam áreas cratônicas apresentam menor proporção de sedimentos em suspensão em relação à carga de fundo. No seu baixo curso adquire morfologia particular caracterizada por corredeiras em canais múltiplos retilíneos que correm sobre sistemas de fraturas e convergem para um canal único e largo com morfologia de ria fluvial (Archer, 2005). Esta é caracterizada na região por canal único largo e retilíneo, com as margens em escarpas (falésias fluviais) e com estreitamento do canal na extremidade montante (Souza, 2015).

Segundo Mineli (2013), os canais da Volta Grande do rio Xingu são zonas de transferência de sedimentos arenosos finos e grosso, os quais são depositados no setor de montante da ria, e de desaceleração do fluxo do rio, elementos que fazem a região ser destacada pela diversidade de sua dinâmica sedimentar e fisiografia. A região também é conhecida por apresentar desnível de 85 m, atípico para os rios da bacia amazônica, que resultaria de esforços trativos do Neógeno (Pettena *et al.*, 1980), os quais teriam desenvolvido os trechos encachoeirados da Volta Grande do Xingu (Rodriguez, 1993).

Os sedimentos mais modernos do rio Xingu são representados principalmente por areias depositadas em canais e barras longitudinais, enquanto os mais antigos são apresentados por terraços arenosos em níveis superiores ao nível atual do rio (Pettena *et al.*, 1980), que formam as ilhas fluviais presentes na região. Segundo Souza (2015) estas feições estão intimamente ligadas ao desenvolvimento dos depósitos de areias em barras ao longo rio. A partir do desenvolvimento e fixação da vegetação de igapó, estes depósitos se desenvolvem em ilhas estáveis em patamares acima do nível do rio, uma vez que, segundo o autor, o topo da barra arenosa emersa pode ser fixado pela vegetação durante o período de seca e proteger a barra dos processos erosivos e migração em cheias posteriores. Assim, o assoreamento progressivo dos lagos internos gera planícies de inundação, proporcionando a transição da facie arenosa para a argilosa. Por fim, a emersão da área assoreada facilita o estabelecimento de vegetação arbórea e formação de florestas de igapó sobre o solo argiloso, como pode ser visto esquematicamente na Figura 2 (Souza, 2015).

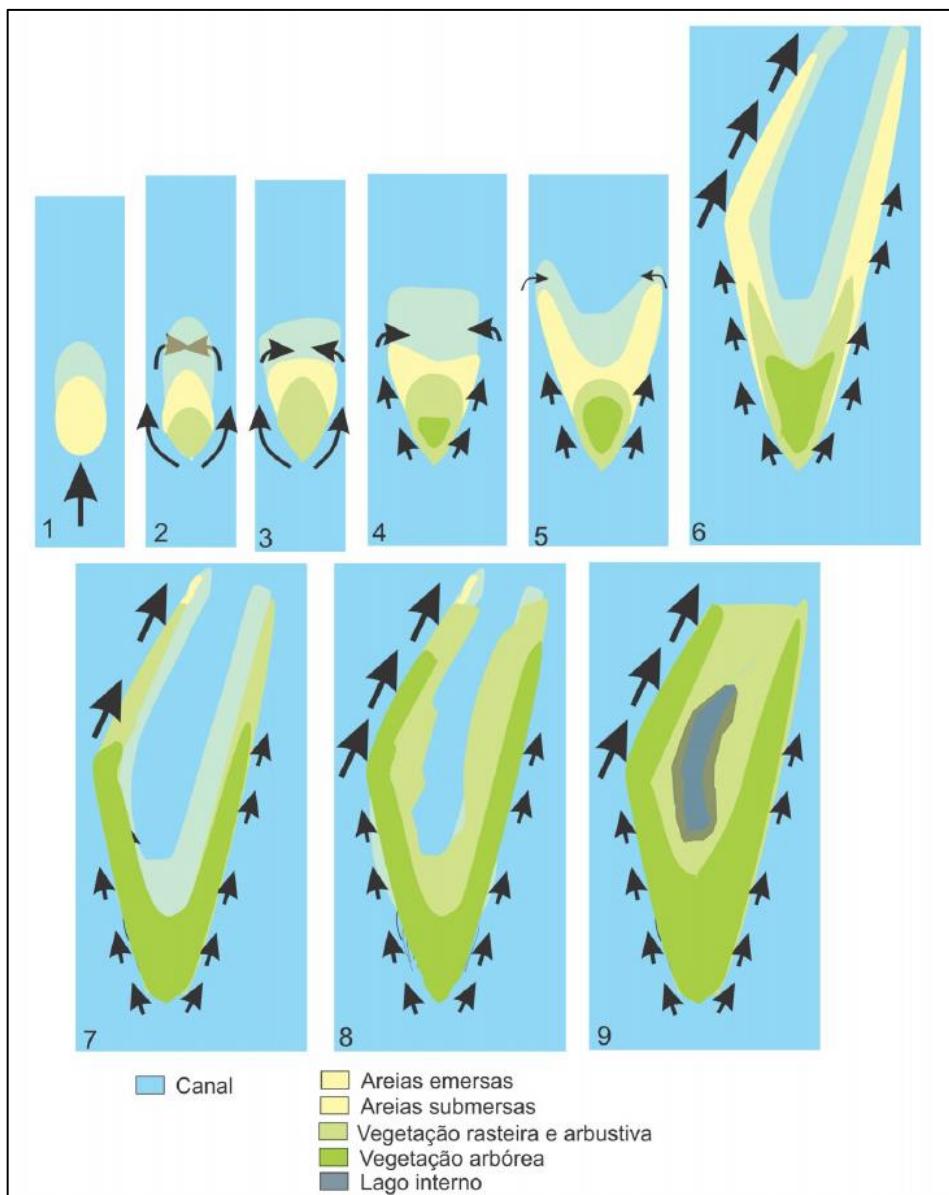


Figura 2: Modelo para a formação de ilhas fluviais na região do baixo rio Xingu. Representação vista em planta, com formação de lago interno e colonização das cristas das barras por vegetação. As setas indicam o sentido do fluxo do rio. As fases 1 a 6 representam a deposição da barra arenosa, seu prolongamento para jusante e colonização pela vegetação de igapó. As fases 7 e 8 representam a formação de lago interno com conexão restrita ao canal (Souza, 2015).

São denominadas florestas de igapó, formações vegetais inundadas periodicamente na Amazônia por rios de água preta ou clara (Prance, 1979). Segundo Ferreira *et al.* (2013), na região, dentro do domínio da floresta de igapó, ocorrem dois tipos de vegetação, representadas por florestas ombrófilas densas aluviais e florestas riparianas aluviais (Figura 3). Esta vegetação, altamente especializada, se desenvolve em solos pobres em nutrientes, com longos períodos de inundação e fortes correntes de água durante os períodos de cheia (Cunha e Ferreira, 2012).



Figura 3: Sucessão da ocupação das barras pela vegetação da floresta de igapó (da esquerda para a direita). Zona em processo de estabilização com crescimento do capim *Echinocloa pyramidalis* (canarana); vegetação arbustiva de *Montrichardia arborescens* (atinga-açu); vegetação arbórea de ombrófilas densas aluviais (Fotos: Souza, 2015).

3.3. Componentes climáticas amazônicas

3.3.1. Clima atual

A região Norte e porção setentrional das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil apresentam homogeneidade espacial e sazonal da temperatura, com médias de 28°C no verão e no inverno (INMET, 2018). Seu clima atual quente e úmido apresenta sazonalidade de pluviosidade bem definida entre verão (320 mm mensais) e inverno (15 mm mensais) (INMET, 2018), como mostra a Figura 4.

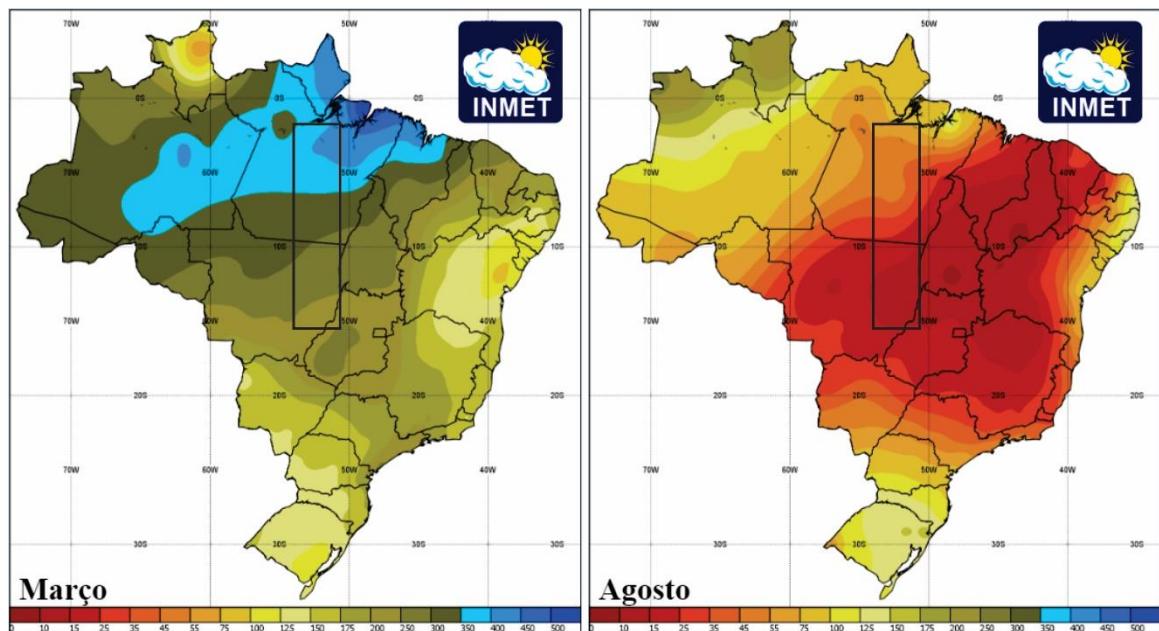


Figura 4: Normais climatológicas do Brasil no período de 1981 a 2010. Precipitações acumuladas em milímetros mensais nos meses de março e agosto, correspondentes aos registros médios de precipitação máxima e mínima respectivamente (INMET, 2018), com a área aproximada de drenagem do rio Xingu indicada.

A região amazônica é marcada por dois regimes pluviométricos, o da porção oeste que recebe umidade o ano inteiro, sendo maior no verão; e o da porção leste, onde se situa a área de estudo, que é classificado como tropical de monção e recebe umidade durante o verão do hemisfério sul (Pell *et al.*, 2007).

Segundo Ferreira *et al.* (2015), a principal fonte de umidade para a região da bacia do rio Xingu está associada à Zona de Convergência Intertropical (ITCZ, *Intertropical Convergence Zone*), caracterizada por faixas de umidade atmosférica que circulam no sentido leste-oeste, próximo à linha do equador e que provocam chuvas em toda a Zona Intertropical (Syvitski *et al.*, 2014). A forte sazonalidade da região leste amazônica ocorre devido à mudança anual da ITCZ, que durante o verão do hemisfério sul, desloca-se para sul provocando chuva na Amazônia, e durante o inverno, desloca-se para norte, reduzindo a pluviosidade da região e intensificando chuvas na América Central.

A vegetação também possui grande influência na precipitação, segundo Andreae *et al.* (2004), aerossóis emitidos por árvores para a atmosfera têm papel importante na formação e condensação de nuvens, assim, desmatamento por queimadas em períodos de seca aumentam as alterações na precipitação.

3.3.2. Paleopluviosidade

O paleoclima da região amazônica é alvo de muitos estudos na última década (Baker *et al.*, 2001a; Baker *et al.*, 2001b; Behling *et al.*, 2010; Bush *et al.*, 2000; Bush *et al.*, 2005; Cohen, 2005; Colinvaux *et al.*, 1996; Maslin e Burns, 2000; Sifeddine *et al.*, 2004; Van Breukelen *et al.*, 2008;), sendo que a maioria desses estudos foi realizada em sedimentos lacustres. Contudo, análises de sedimentos fluvio-lacustres podem gerar muitas incertezas em relação a origem dos sinais paleoclimáticos, pois muitas vezes podem conter uma mistura de sinais alóctones e autóctones. Para minimizar essas dificuldades, dados de paleoecologia local são muito utilizados para separar estes dois componentes, pois ao se considerar uma grande variedade de espécies vegetais, pode-se reduzir a incerteza das interpretações (Behling *et al.*, 2010). A floresta Amazônica perduraria no mínimo durante 11.000 anos, com adaptações a períodos secos e úmidos e essa homogeneidade temporal deve garantir maior certeza em interpretações de dados paleoecológicos (Behling *et al.*, 2010).

A América do Sul está sujeita a diversas variações e ciclos climáticos milenares (Baker *et al.*, 2001a; Baker *et al.*, 2001b; Behling *et al.*, 2010), que possuem importante papel nas variações paleoclimáticas da região (Baker *et al.*, 2001b), contudo, a maioria dos estudos na região são focados nas variações glaciais e interglaciais (Van der Hammen e Hooghiemstra, 2000). Porém, estudos de stalagmites na Amazônia peruana (Van Breukelen *et al.*, 2008), demonstram que o clima no Holoceno foi conduzido pela migração da ITCZ.

Trabalhos recentes sobre o paleoclima amazônico, revelam que anomalias negativas de pluviosidade que afetam as porções leste e oeste da Amazônia estão associadas ao fenômeno El Niño (Cheng *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2009; Van Breukelen *et al.*, 2008), assim como a alteração em escala orbital da temperatura da superfície do mar (SST - Sea-Surface Temperature), segundo Baker e Fritz (2015). Registros de espeleotemas identificaram comportamentos diferentes da variação da precipitação do leste e do oeste da Amazônia em escalas orbitais (Cheng *et al.*, 2013), estes registros indicam que a transição do começo do

Holoceno para o Holoceno médio foi um período relativamente mais seco no oeste e úmido no leste. Durante a transição para o Holoceno tardio, a região leste tornou-se relativamente mais seca, e a oeste mais úmida (Cheng *et al.*, 2013).

A inversão de comportamento climático entre o oeste e o leste amazônicos é denominada por Cheng *et al.* (2013) como Dipolo de Precipitação Sul-American (SAPD, *South American Precipitation Dipole*), que segundo os autores ocorre porque a concentração de calor e umidade na Amazônia, gerada por alta insolação e intenso regime de monção, modifica a circulação em altos níveis troposféricos.

Ainda vale destacar o trabalho de Wang *et al.* (2017), que revela diminuição da precipitação no setor leste da Amazônia (Figura 5) durante os últimos 5.000 anos, através de dados de $\delta^{18}\text{O}$ em espeleotemas da Caverna Paraíso, localizada perto do centro do setor leste amazônico ($4^{\circ} 4' \text{S}$; $55^{\circ} 27' \text{W}$).

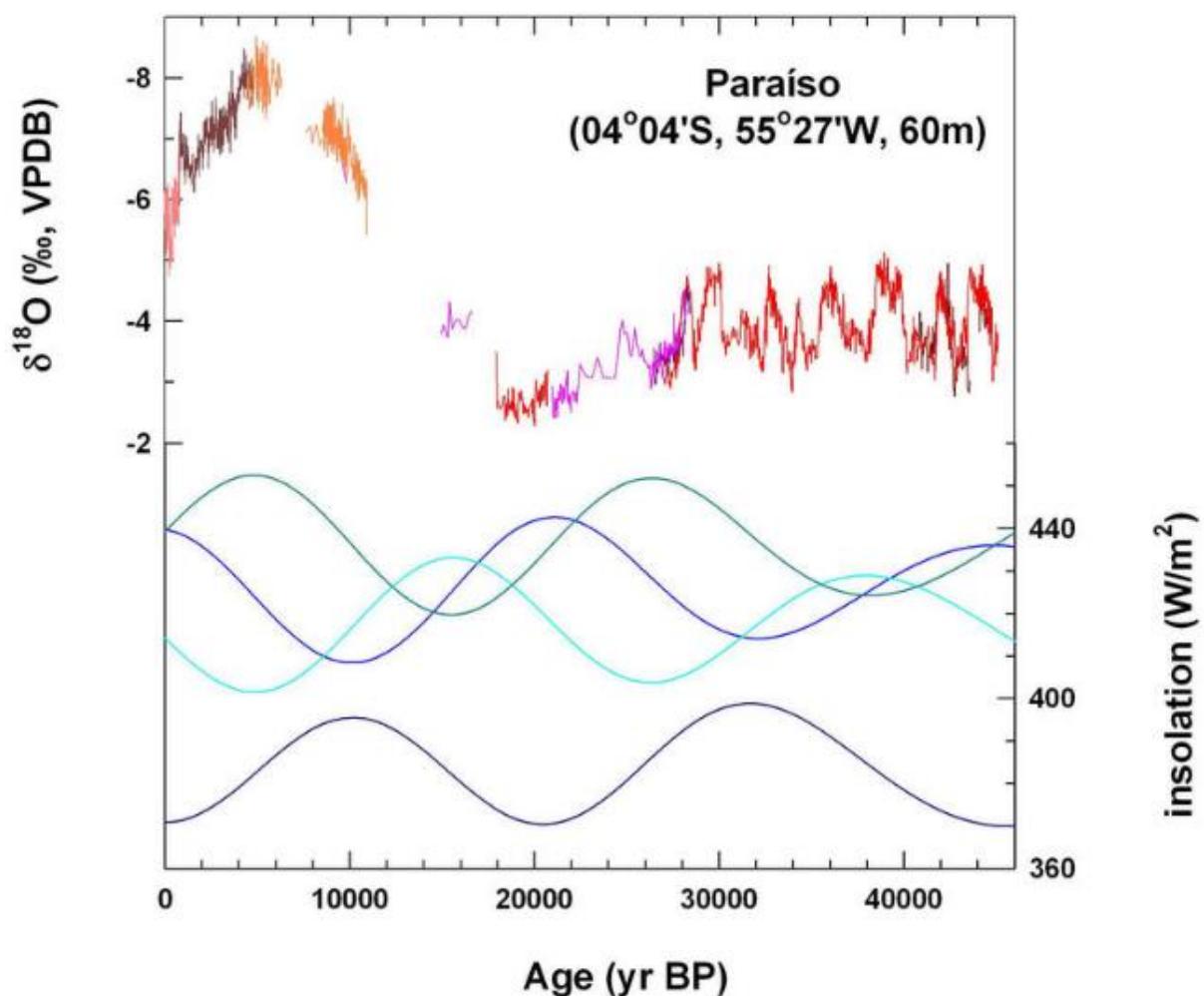


Figura 5: Comparação entre os dados de $\delta^{18}\text{O}$ da caverna Paraíso nos últimos 46.000 anos e as curvas de insolação no local nos meses de janeiro (azul), abril (ciano), julho (azul escuro) e outubro (ciano escuro). Apesar de cobrir dois ciclos processionais, os dados não revelam correlações marcantes entre os dados da caverna e das insolações no local (Wang *et al.*, 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta e subamostragem

O testemunho XC01-2 analisado durante este trabalho, foi coletado pelo Prof. Dr. André Sawakuchi em um lago de uma ilha fluvial do Rio Xingu, na região do Baixo Xingu, nas coordenadas $3^{\circ}12'50.91''S$ e $52^{\circ}11'19.46''W$ (UTM 22M 367920m E, 9644660m S) (Sawakuchi *et al.*, 2015) e apresenta 122 cm de comprimento (Figura 6). O testemunho foi aberto no Laboratório de Micropaleontologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) e descrito sedimentologicamente.

A subamostragem foi realizada de duas formas, a primeira destinada aos estudos palinológicos, em que foram obtidas amostras de 1 cm^3 a cada 10 cm, sendo coletadas um total de 12 amostras, mais especificamente nas profundidades de 0 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, 100 cm, 110 cm e 120 cm. E a segunda destinada aos estudos geoquímicos, sendo coletadas amostras a cada 2 cm ao longo do testemunho, totalizando 62 amostras.

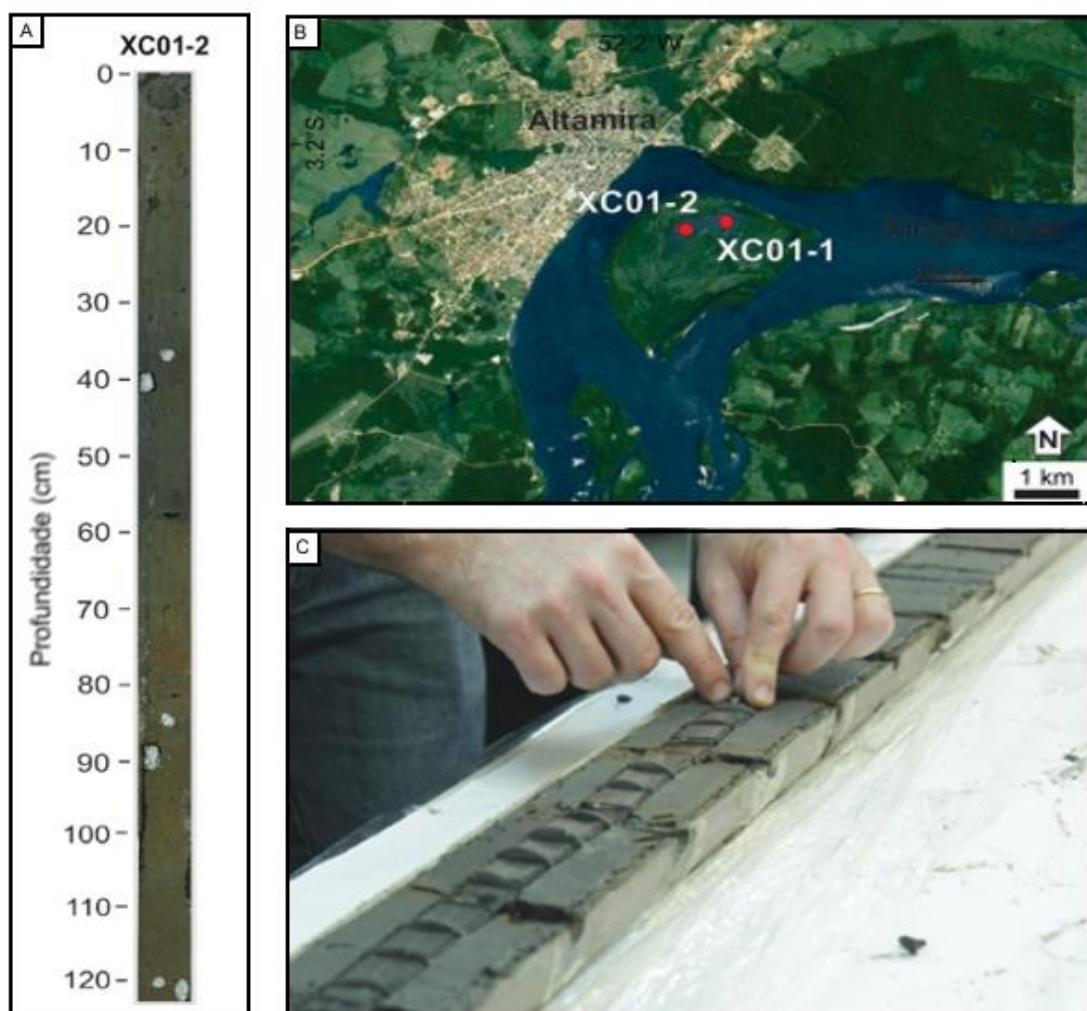


Figura 6: (A) Coluna sedimentar da amostra XC01-2. (B) Localização de coleta das amostras de sedimentos consolidados da região da Volta Grande do rio Xingu, Baixo Xingu. (C) Sub-amostras em laboratório (Sawakuchi *et al.*, 2015).

4.2. Análise palinológica

4.2.1. Preparação das amostras

Após a subamostragem, as amostras foram tratadas quimicamente no Laboratório de Micropaleontologia do IGc-USP de acordo com a técnica e as etapas descritas em Colinvaux *et al.* (1999):

- a. Acondicionamento das amostras de 1 cm³ em tubos de centrífuga de polipropileno de 15 ml;
- b. Adição de 1 pílula do marcador exótico *Lycopodium clavatum* com concentração conhecida (20848 partículas/pílula);
- c. Remoção de carbonato, que compõe as pastilhas de *Lycopodium*, com HCl (8 ml de HCl 10%);
- d. Dissolução de silicatos com HF (ácido fluorídrico a 40%)
- e. Eliminação de ácidos húmicos por adição de solução de KOH (hidróxido de potássio 5%), com aquecimento em banho-maria por 5 minutos, agitando-as constantemente;
- f. Lavagens (2) com ácido acético glacial (CH₃COOH) concentrado para eliminação da água, pois a sua presença na próxima etapa pode ter ação explosiva;
- g. Reação de acetólise (9 partes de anidrido acético (CH₃CO)₂O:1 parte de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, em banho-maria por 5 minutos. Esta etapa elimina a celulose dos grãos de pólen e esporos e permite a visualização da morfologia externa, seguida de interrupção da reação com ácido acético glacial concentrado, seguida de lavagem com água destilada e álcool absoluto;
- h. Dispersão do resíduo final em glicerina seguida, de aquecimento por 8h de estufa a 45°C, para a evaporação total do álcool etílico.

Todas as etapas foram acompanhadas de forte agitação do resíduo no meio químico, seguido de centrifugação e decantação do reagente. Em seguida, lâminas foram montadas pingando uma gota de glicerina com o resíduo oriundo do processamento químico sobre a lâmina, que foi recoberta por lamínula cujas bordas foram preenchidas por parafina líquida quente.

4.2.2. Identificação de tipos polínicos

Os trabalhos de identificação e descrição dos grãos de pólen, esporos e palinomorfos foram realizados sistematicamente sob microscópio óptico Zeiss modelo Axio Lab.A1 com sistema de captura de imagens digitalizadas em aumentos de 400x e 1000x (imersão em óleo). Para a identificação dos tipos polínicos foi utilizada a coleção de pólen de referência do

Laboratório de Micropaleontologia do IGc-USP, além das literaturas especializadas de Salgado-Labouriau (1973), Roubik e Moreno (1991), De Oliveira (1992) e Colinvaux *et al.* (1999).

4.2.3. Contagem dos grãos de pólen, esporos e micropartículas de carvão

A etapa de contagem de grãos de pólen, esporos, cistos de algas e micropartículas de carvão também foi realizada no Laboratório de Micropaleontologia do IGc-USP, durante ela foram contadas no mínimo 200 grãos de pólen terrestre em cada amostra. Já a contagem de partículas carbonizadas foi executada utilizando-se a técnica estabelecida por Tolonen (1986), que compreende a quantificação, em microscópio óptico, de três categorias de tamanho de micropartículas: 0-25 μm , 26-49 μm , >50 μm , uma vez que partículas maiores que 50 μm indicam incêndios locais e as menores que isto, incêndios regionais (Tolonen, 1986; Duffin *et al.*, 2008).

4.2.4. Análise dos dados e produção de gráficos polínicos

Após a contagem, os dados foram tabelados e inseridos no programa *TiliaGraph* (Grim e Troostheide 1994) para a geração de gráficos polínicos de porcentagem e concentração e tratamento estatístico através do subprograma *CONISS* (Grimm, 1987), que permitiu a delimitação de zonas paleoecológicas no perfil palinológico, que caracterizam mudanças ambientais. Posteriormente estes gráficos foram tratados por meio do software científico de análise de dados e gráficos *OriginPro 8*, para uma melhor apresentação dos dados.

4.3. Análise geoquímica

4.3.1. Preparação das amostras

As 62 amostras sedimentares foram preparadas por liofilização em estufa por 48 horas a 50°C, em seguida Trituradas a mão com auxílio de um almofariz e pilão de ágata com alto teor de pureza e peneiradas em malha de 250 μm . Por fim, as amostras foram embaladas em frascos plásticos inertes e selados com películas *Mylar* ultra-finas (Rowe *et al.*, 2012)

4.3.2. Análise de Fluorescência de Raio-X (XRF)

Através do espectrômetro portátil de fluorescência de raio-x *Bruker Tracer IV SD* varreduras individuais de XRF foram realizadas em cada amostra através da película *Mylar* durante 90s a fim de maximizar o sinal ruído. Elementos principais (número atômico entre 11 e 30) foram recolhidos sob uma corrente de vácuo de aproximadamente 9 torr, com o filtro do equipamento ajustado para 15 keV e 35 μA (Rowe *et al.*, 2012). Elementos traço (número atômico entre 20 e 51), foram recolhidos a 40 keV e 15 μA sem a utilização de vácuo (Rowe *et al.*, 2012). Sendo que o foco das análises foram os elementos formadores de rochas.

Para a calibração das incógnitas, foi utilizado o *software* proprietário *Bruker* (*S1CALPROCESS* com *TR.cfz* e *MA1.cfz*) e catálogo de referência da química descritiva de rochas argilosas de *Rowe et al.* (2012). Inconsistências internas do equipamento foram verificadas por varredura de rotina do *SAEM41*, padrão de xisto (Ring, 1989).

4.3.3. Análise dos dados e produção de gráficos

Após a calibração das incógnitas, os dados foram tabelados e tratados estatisticamente no *software* *Excel* (correlações e gráficos de intensidade do sinal) e pelo subprograma *CONISS* (Grimm, 1987), onde foi gerado gráficos de concentração e neles delimitadas zonas com características distintas. Posteriormente estes gráficos foram tratados por meio do *software* científico de análise de dados e gráficos *OriginPro 8*, para uma melhor apresentação dos dados.

4.4. Datação

O testemunho XC01-2 foi datado em cinco profundidades distintas (20 cm, 40 cm, 60 cm, 82 cm e 120 cm), e como apresenta duas fácies, uma arenosa e outra argilosa, duas técnicas de datação foram empregadas. A primeira foi a técnica AMS ^{14}C (Espectrometria de Massa com Aceleradores), utilizada para as profundidades datadas que possuem predominância de argilas em sua composição (20 cm, 40 cm, 60 cm, 82 cm); a segunda foi a técnica OSL (Luminescência Opticamente Estimulada), utilizada na profundidade de 120 cm onde há predomínio da porção arenosa.

Em seguida, as idades fornecidas pelos laboratórios de datação, foram calibradas por meio do *software* *Calib* (Stuiver *et al.*, 2014), tabeladas e tratadas, por outros membros do projeto do qual este trabalho faz parte, através do *software* de modelagem de idades *Bacon*, gerando o modelo de idades do testemunho utilizando-se a curva de calibração *SHcal13* segundo Blaauw e Christen (2011).

5. RESULTADOS

5.1. Datação

Conforme a metodologia apresentada, as cinco amostras foram datadas e suas idades calibradas antes do presente (anos cal AP), assim como as profundidades, idades convencionais e laboratório de análise das mesmas são apresentadas na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1: Datações AMS ^{14}C e OSL realizadas no testemunho XC01-2., com as profundidades de análise, idade convencional (anos AP) e idade calibrada (anos AP) e laboratórios de análise.

Profundidade (cm)	Análise	Idade Convencional (anos AP)	Idade Calibrada (anos AP)	Laboratório da análise
20	AMS ^{14}C	456 ± 24	513	LAC-UFF
40	AMS ^{14}C	780 ± 30	728	Beta Analytics
60	AMS ^{14}C	1700 ± 30	1697	Beta Analytics
82	AMS ^{14}C	2920 ± 30	3160	Beta Analytics
120	OSL	6926 ± 523	-	LEGal-IGc/USP

O modelo de idade do testemunho foi gerado por outros membros do projeto do qual este trabalho faz parte (Figura 7).

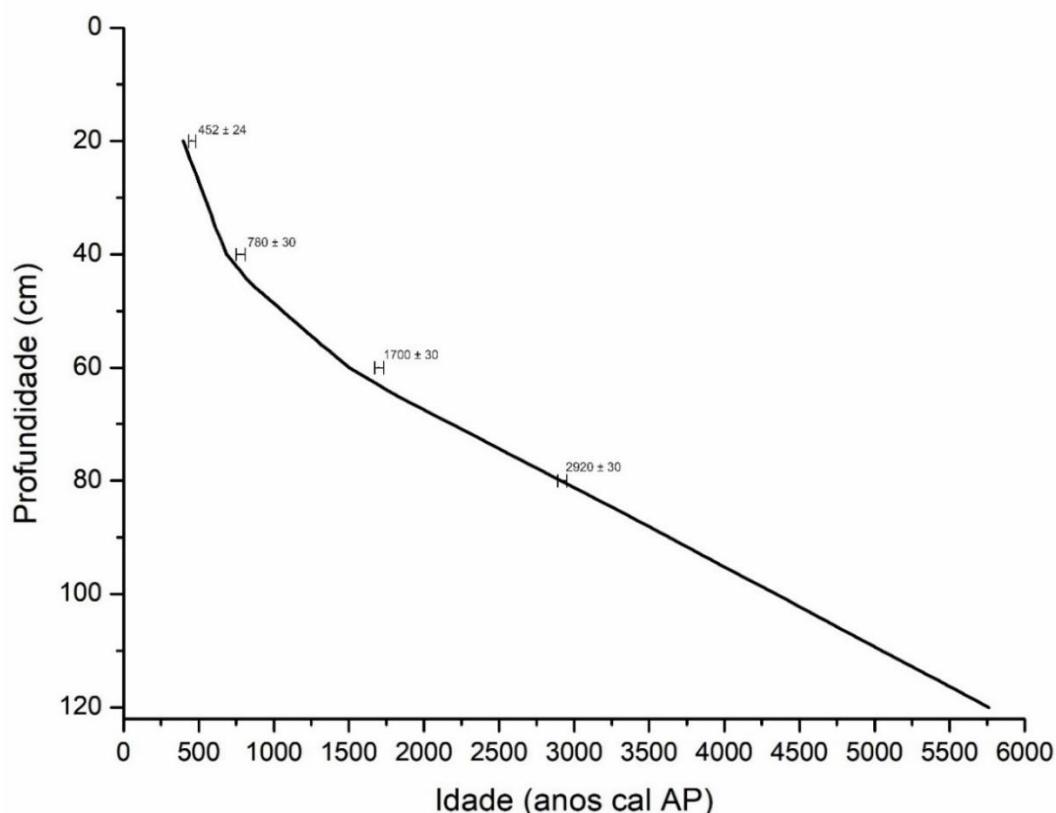


Figura 7: Relação entre idade calibrada e profundidade do testemunho, e os pontos de datação com sua idade convencional e erro associado.

5.2. Descrição faciológica e correlação com o modelo deposicional proposto para as ilhas fluviais da região

O testemunho XC01-2 apresenta duas fácies distintas, sendo elas: (A1) a porção basal (122 - 82 cm; 5760 – 3058 anos cal AP) que é constituída predominantemente de areia grossa a média gradando a areia média a fina no topo; (S1) e a porção superior (82 - 0 cm; 3058 - 0 anos cal AP), constituída predominantemente por sedimentos silte-argilosos de cores cinza escuro (82 - 29 cm) a marrom (29 - 0 cm) e com presença de areia fina na região basal (Sawakuchi et al., 2015). Além disso ocorre a presença de seixos de poucos centímetros ao longo do perfil.

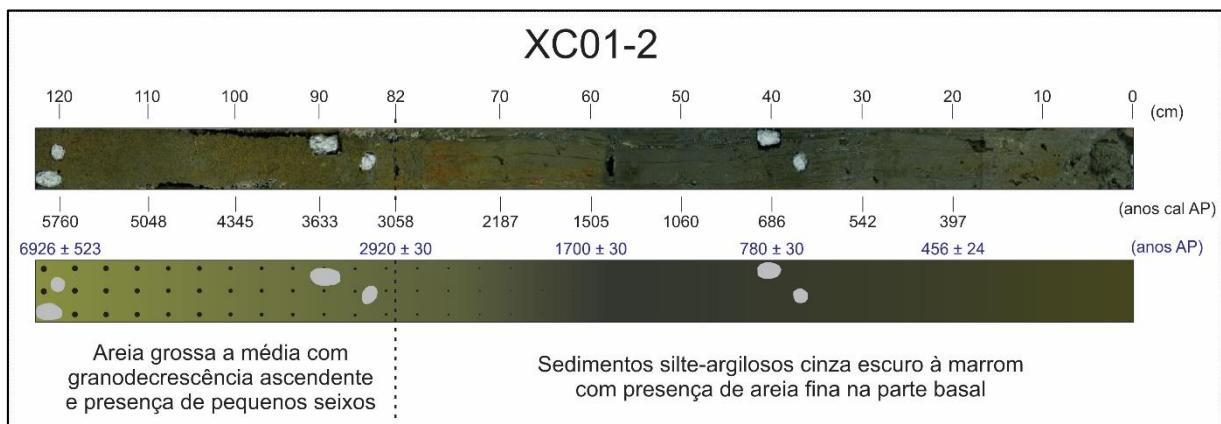


Figura 8: Perfil sedimentológico do testemunho XC01-2, com a indicação de sua idade modelada (preto) e as idades e erros dos pontos datados (azul).

De acordo com Souza (2015), as ilhas fluviais na região possuem organização estratigráfica mais comum representada por fácies silte-arenosas no topo e arenosas na base. Representando um ambiente deposicional de lagos internos perenes cujas águas têm conexão restrita com o canal principal do rio e barras ativas, em fase anterior ao estabelecimento da vegetação para formação de ilha estável. Desta forma, os dados faciológicos do testemunho XC01-2 indicam o mesmo desenvolvimento deposicional deste perfil em comparação as outras ilhas fluviais da região estudadas por Souza (2015), inclusive com as mesmas idades de desenvolvimento da fácie arenosa a partir de 10.000 anos AP e da fácie argilosa a partir de 5.500 anos AP, dando início à estabilização das ilhas.

5.3. Análise palinológica

5.3.1. Identificação, descrição morfológica e quantificação dos táxons polínicos

Foram encontrados, descritos e fotografados (Anexo I) 49 tipos polínicos, que incluem grãos de pólen de angiosperma, esporos de pteridófitas e grupos afins, além de esporos de algas, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos tipos polínicos encontrados durante a identificação e contagem palinológica e a sua respectiva descrição morfológica. Sendo ND = Não Identificado (espécimes com características morfológicas não evidentes para a identificação), TRSH = Árvore e Arbustos, UPHE = Ervas Terrestres, AQVP = Ervas Aquáticas, VACR = Pteridófita (samambaias) e ALGA = Algas. Para a descrição, foi seguida a nomenclatura adotada por Salgao-Labouriau (1973) em função da razão P/E, onde P = diâmetro polar, E = diâmetro equatorial e SM = sem medida.

Tipo	Família	Gênero	Hábito	Descrição
Pólen	Alismataceae	<i>Sagittaria</i>	AQVP	Grãos mônades, apolares assimétricos, periporados (>4 poros), equinados; P=SM, E=17,1 μm
Pólen	Anacardiaceae	<i>Tapirira</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, estriados-reticulados; P=15,86 μm , E=12,14 μm (subprolato)
Pólen	Apocynaceae	<i>Forsteronia</i>	TRSH	Grãos mônades, esféricos, triporados, psilados; P=14,38 μm , E=15,66 μm (oblato-esferoidal)
Pólen	Araliaceae	ND	UPHE	Grão mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, reticulados; P=18,61 μm , E=11,90 μm (prolato)
Pólen	Arecaceae	<i>Astrocaryum</i>	TRSH	Grãos mônades, triangulares em vista equatorial com ângulos bem arredondados de lados côncavos com abertura trifurcada (tricomossulcada); Dimensão 43,96 μm
Pólen	Asteraceae	<i>Baccharis</i>	UPHE	Grãos mônades, tricolporados, microequinados; P=10,70 μm , E=10,30 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporado, reticulado; P=29,48 μm , E= 22,82 μm (subprolato)
Pólen	Boraginaceae	<i>Cordia</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporado, echinado-escabrado; P=17,21 μm , E=15,96 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Bromeliaceae	ND	UPHE	Grãos mônades, heteropolares com simetria bilateral, monosulcados, reticulados; P=SM, E=43,75 μm
Pólen	Burseraceae	<i>Dacryodes</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporado, escabrado-granular; P=24,19 μm , E=20,88 μm (subprolato)
Pólen	Cecropiaceae	<i>Cecropia</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria bilateral, diporados, psilados; P=10,69 μm , E=6,54 μm (prolato)
Pólen	Celastraceae	<i>Tipo 1</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, reticulados; P=SM, E=22,72 μm
Pólen	Celastraceae	<i>Tipo 2</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporado, reticulado; P=SM, E=25,03 μm
Pólen	Cyperaceae	ND	UPHE	Grãos mônades, apolares assimétricos, aparentemente triporados, psilado a reticulado; P=29,3 μm , E=20,0 μm (prolato)
Pólen	Euphorbiaceae	<i>Alchornea</i>	TRSH	P=13,97 μm , E=15,00 μm (oblato-esferoidal)
Pólen	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, clavado. Dimensões P=20,65 μm , E=19,97 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Euphorbiaceae	<i>Tipo 1</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados a finamente escabradados-reticulados. Dimensões: P=17,95 μm , E=11,52 μm (prolato)
Pólen	Fabaceae	<i>Mimosa</i>	TRSH	Poliade circular a elíptica com 4 grãos e dimensão de 12 μm . Individualmente os grãos se apresentam apolares assimétricos, periporados, psilados
Pólen	Fabaceae	<i>Senna</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados; P=21,16 μm , E=13,25 μm (prolato)
Pólen	Fabaceae	<i>Tipo 1</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados; P=9,6 μm , E=9,7 μm (oblato-esferoidal)

Pólen	Fabaceae	<i>Tipo 2</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados; P=9,5 μm , E=8,4 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Lentibulariaceae	<i>Utricularia</i>	AQVP	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, policolporados (13 colporos), psilados; P=9,79 μm , E=21,38 μm (peroblatos)
Pólen	Melastomataceae	<i>ND</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, heterocolpados com alternância de 3 cólporos com 3 pseudocólporos, psilados; P=12,21 μm , E=11,72 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Meliaceae	<i>Cedrela</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, stephanocolporados (4 colporos), psilados; P=SM, E=19,86 μm
Pólen	Meliaceae	<i>Trichilia</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, stephanocolporados, com colpos assimétricos, psilado; P=24,6 μm , E=19,8 μm (subprolato)
Pólen	Meliaceae	<i>Tipo 1</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, com 4 poros, psilado; P=23,4 μm , E=21,4 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Meliaceae	<i>Tipo 2</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, stephanocolporados (5 colporos), reticulado; P=SM, E=20,22 μm .
Pólen	Myrtaceae	<i>ND</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, sincolporados, psilados; P=14,48 μm , E=8,53 μm (prolato)
Pólen	Picredendraceae	<i>Picredendron</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, 7-porado com as aberturas deslocadas do equador, echinado; P=11,40 μm , E=14,36 μm (suboblatos)
Pólen	Poaceae	<i>Tipo 1</i>	UPHE	Grãos mônades, heteropolares com simetria bilateral, monoporados, psilados; P=SM, E=31,27 μm
Pólen	Poaceae	<i>Tipo 2</i>	UPHE	Grãos mônades, heteropolares com simetria bilateral, monoporados (com annulos muito espesso), psilados; P=33,15 μm , E=29,68 μm (prolato-esferoidal). Ocorrência única.
Pólen	Rubiaceae	<i>Borreria</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, stephanocolporate (7-colporato), reticulado; P=22,9 μm , E=20,7 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	Rubiaceae	<i>Psychotria</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares, radialmente simétricos, triporados, microperfurados; P=SM, E=19,59 μm
Pólen	Solanaceae	<i>ND</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados; P=25,86 μm , E=20,88 μm (subprolato)
Pólen	Symplocaceae	<i>Symplocos</i>	TRSH	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporado, verrugado; P=22,57 μm , E=9,15 μm (perprolato)
Pólen	Urticaceae	<i>Pilea</i>	UPHE	Grãos mônades, isopolares com simetria bilateral, diporados, verrugados; P=SM, E=11,06 μm
Pólen	Urticaceae/Moraceae	<i>ND</i>	TRSH	Grãos mônades, apolares assimétricos, diporados, psilados; P=SM, E=11,1 μm
Pólen	Amassados/Dobrados	-	-	Grãos com paredes dodradas e/ou amassadas
Pólen	ND	<i>ND 1</i>	ND	Grãos mônades, apolares assimétricos, inaperturados, psilados; P=21,7 μm , E=19,9 μm (prolato-esferoidal)
Pólen	ND	<i>ND 2</i>	ND	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, aparentemente tetraporado, verrugados; P=SM, E=24,38 μm
Pólen	ND	<i>ND 3</i>	ND	Grãos mônades, isopolares com simetria radial, tricolporados, psilados; P=SM, E=13,85 μm
Pólen	ND	<i>ND 4</i>	ND	Grãos mônades, isopolares com simetria radial e triangulares na vista polar, tricolporados, reticulados; P=36 μm , E=30 μm . (subprolato)

Pólen	ND	ND 5	ND	Grãos mônades, isopolares com simetria bilateral, aparentemente dicolporados, psilados; P=20,2 μm , E=16,7 μm . (subprolato)
Pólen	ND	ND 6	ND	Grãos mônades, apolares assimétricos, aparentemente apolares, retiulados; P=48 μm , E=SM
Esporo	Dennstaedtiaceae	<i>Hypolepis</i>	VACR	Esporos monoletes isopolares com esclerina psilada; Dimensão: 24,13 μm
Esporo	Pteridaceae	<i>Adiantum</i>	VACR	Esporos triletes isopolares semi-triangulares com esclerina reticulada. Dimensões: 38 μm
Cisto de alga	Zygnemataceae	<i>Zygnema</i>	ALGA	Cistos esferoidais a subesferoidais com múltiplas cavidades pequenas e circulares espalhadas por sua parede com diâmetro de 32,95 μm
Cisto de alga	ND	ND 1	ALGA	Cistos subesferoidais com múltiplas microcavidades circulares espalhadas por sua parede, possui diâmetro aproximado de 9,8 μm
Cisto de alga	ND	ND 2	ALGA	Cistos esferoidais com múltiplas microcavidades circulares espalhadas por sua parede, possui diâmetro aproximado de 7,9 μm

5.3.2. Zonas polínicas

A partir da identificação, os tipos polínicos foram quantificados (Anexo II) e os dados tratados estaticamente de acordo com a metodologia aplicada. Os gráficos de concentração e porcentagem por grupos e táxons podem ser vistos integralmente no Anexo III. Dos gráficos polínicos gerados, destaca-se o de concentração por grupos (Figura 9), que mostra uma baixa concentração de todos os grupos na porção basal do testemunho, seguida por um aumento na região central. Após esta fase nota-se uma queda e certa estabilidade de todos os grupos, que indicam uma expansão da vegetação durante 3058 e 471 anos cal AP. Estes dados corroboram com a divisão apresentada pelo subprograma CONISS, que divide o perfil em três grandes zonas.

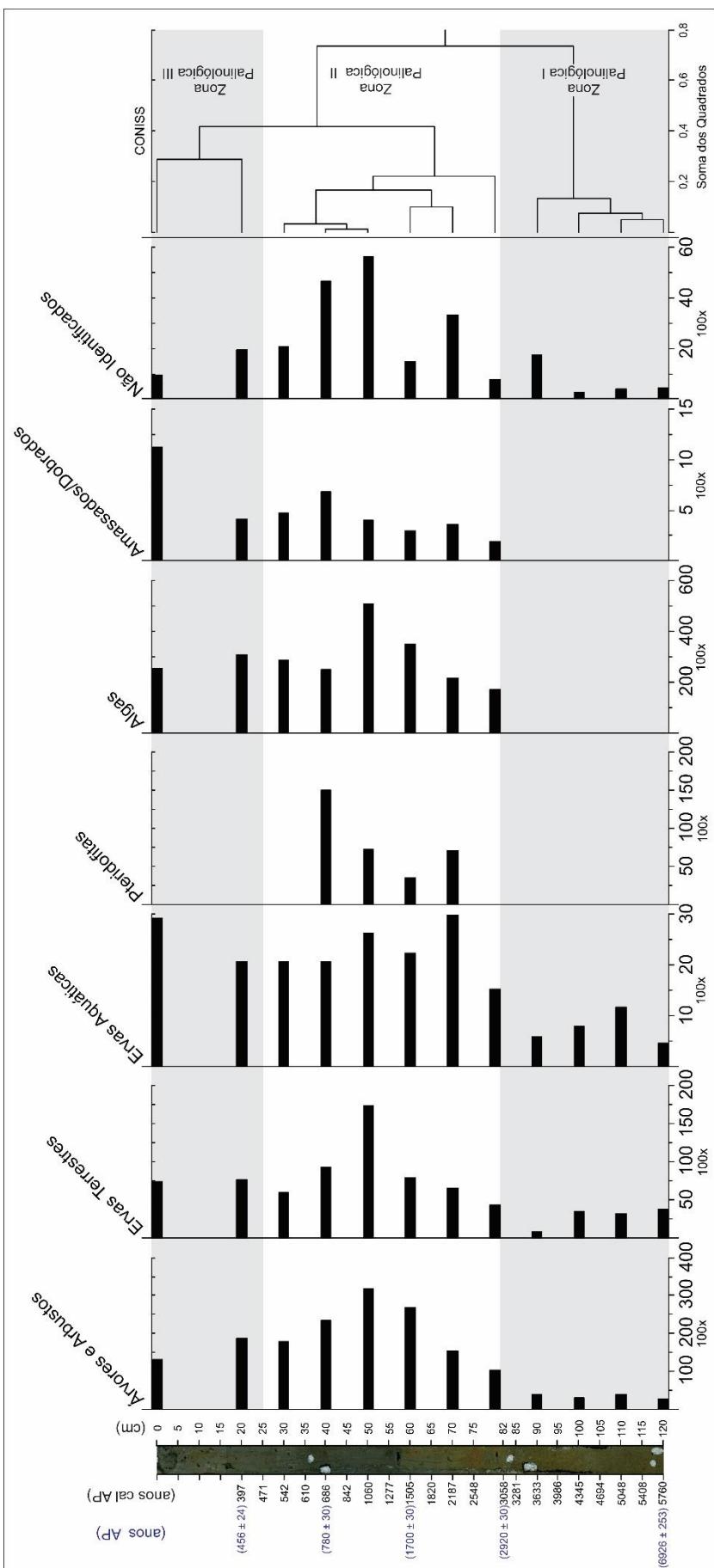


Figura 9: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) dos grupos observados durante a contagem, com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

A primeira zona (Zona Palinológica I), que corresponde à região basal do testemunho entre 5760 e 3058 anos cal AP (120 - 84 cm), possui baixa concentração de palinomorfos, que em porcentagem correspondem na base a 45% de ervas terrestres (Fabaceae, Poaceae e Urticaceae *Pilea*) e 40% de elementos arbóreos (Anacardiaceae *Tapirira*, Melastomataceae e Myrtaceae), chegando a 60% de elementos arbóreos e 10% de ervas terrestres no topo da zona. Já as ervas aquáticas ocorrem em cerca de 10% durante toda a zona e outros elementos como cistos de algas e esporos de pteridófitas estão ausentes.

A Zona Palinológica II, zona intermediária, compreendida entre 3058 e 471 anos cal AP (84 - 25 cm), representa um aumento expressivo da concentração de todos os conjuntos de elementos, principalmente ao redor da profundidade de 50 cm (1060 anos cal AP). Em porcentagem, tem-se de 50% a 60% de elementos arbóreos (Anacardiaceae *Tapirira*, Celastraceae, Euphorbiaceae *Alchornea*, Melastomataceae e Meliaceae *Cedrela*) e cerca de 20% de ervas terrestres (Araliaceae, Bromeliaceae, Euphorbiaceae *Tipo 1*, Poaceae e Rubiaceae *Borreria*). Também ocorrem ervas aquáticas (Lentribulariaceae *Utricularia*) variando de 5% a 10%.

A Zona Palinológica III, inserida entre 471 e 0 anos cal AP (25 - 0 cm), representa uma tendência de estabilização das concentrações dos grupos polínicos principais, que percentualmente mantêm predominância de elementos arbóreos (Apocynaceae *Forsteronia*, Boraginaceae *Cordia*, Euphorbiaceae *Alchornea* e Fabaceae *Mimosa*) com cerca de 40% e 30% de ervas terrestres (Asteraceae *Baccharis*, Cyperaceae, Rubiaceae *Borreria* e Urticaceae *Pilea*), enquanto as ervas aquáticas (Alismataceae *Sagittaria*) continuam constantes entre 5% e 10%. Destaca-se a concentração de grãos amassados/dobrados que apresenta um aumento notável no período, que pode estar associado a exposição subárea dos grãos.

Além disso, das famílias Cecropiaceae, Cyperaceae, Poaceae e Alismataceae (Figura 10), cujo aumento está intrinsecamente ligado ao aumento da umidade e da expansão das florestas inundáveis de igapó, apresentam um aumento expressivo na Zona Palinológica II, entre 3058 e 471 anos cal AP, seguido de uma estabilização das mesmas na Zona Palinológica III (471 - 0 anos cal AP), que pode ser associada a fixação e estabilidade das florestas inundáveis de igapó.

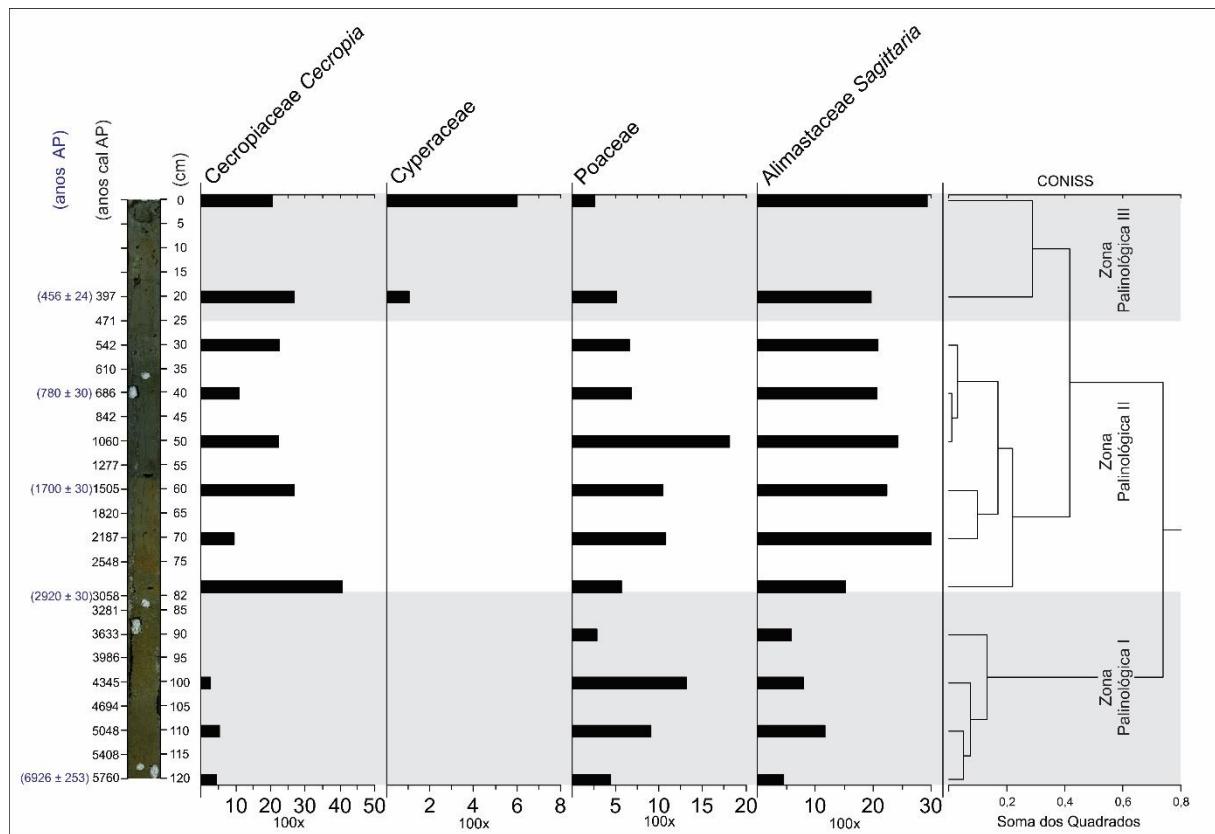


Figura 10: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) das famílias Cecropiaceae, Cyperaceae, Poaceae e Alismataceae, com a divisão das zonas polínicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

Em relação às partículas carbonizadas, existe uma predominância de partículas menores que 25 μm ao longo de todo o perfil (Figura 11), indicando incêndios regionais de acordo com Tolonen (1986) e Duffin *et al.* (2008).

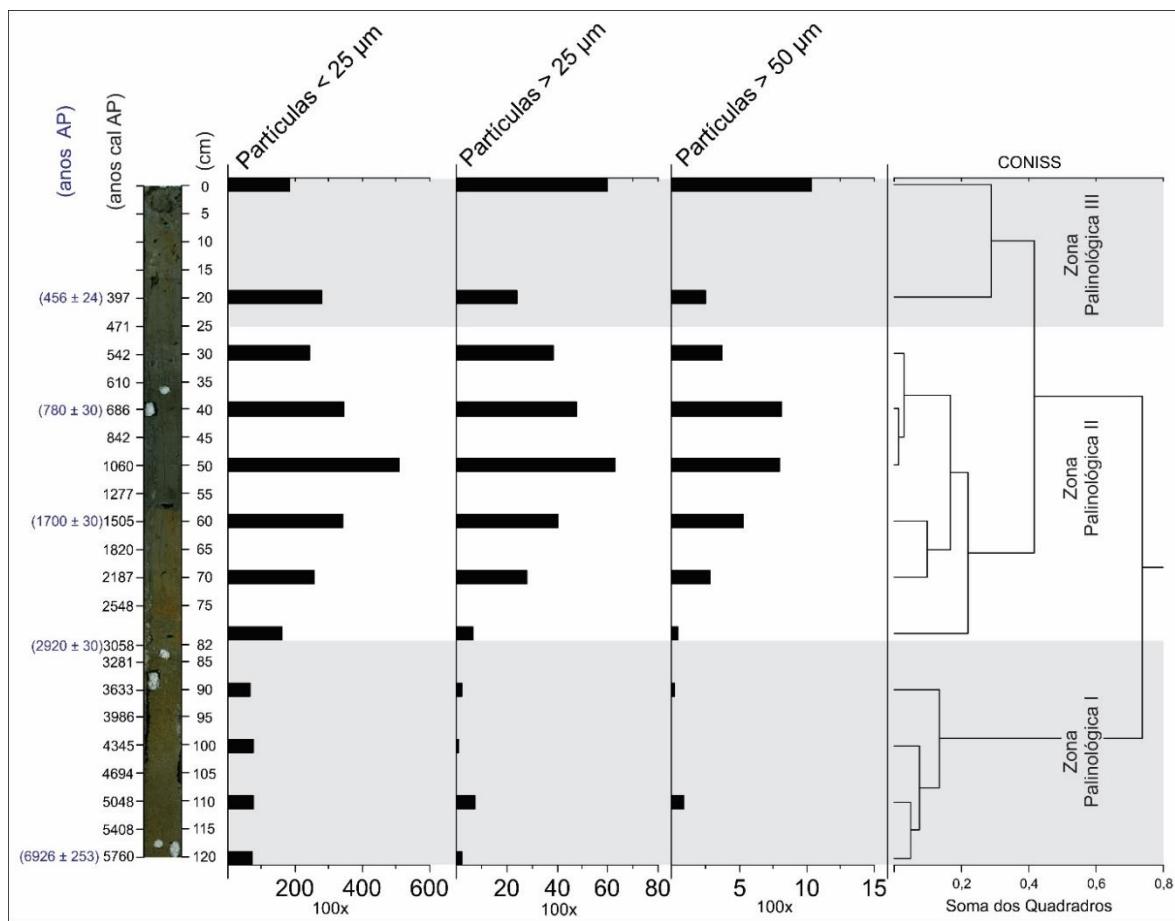


Figura 11: Gráfico de concentração (partículas/cm³) de partículas de carvão, com a divisão das zonas polínicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.

5.4. Análise geoquímica

Durante a análise geoquímica, foram medidos os elementos principais Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu e Zn, os elementos traço As, Sr, Zr, Mo, Ba e Pb e carbono orgânico total (TOC). Segundo Martin-Puertas *et al.* (2011) a Si está correlacionada positivamente ao aporte de sedimentos detritos no ambiente, enquanto os elementos metálicos (Al, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Mo, Pb) estão correlacionados positivamente à presença de argilominerais. Além disso, a presença alguns desses metais, como o Cu, As e Mo indicam ambientes mais redutores (Guimarães *et al.*, 2016). Já o TOC é correlacionado positivamente a ambientes redutores e influxo de sedimentos terrígenos (Luo *et al.*, 2013).

Algumas razões também podem ser feitas entre estes elementos. As razões Fe/K e Ti/K estão correlacionadas positivamente à presença de argilominerais (Hodell *et al.*, 2008), as de Ca/Al e Ca/Ti são correlacionadas positivamente à evaporação e deposição de sais no lago (Luo e Chen, 1998; Hodell *et al.*, 2008) e a TOC/Al é correlacionada positivamente a ambientes redutores (Dean *et al.*, 1997). As razões Si/Ti e Si/Al são usadas como indicadoras de sílica biogênica (Hermanowski *et al.*, 2012; Sahoo *et al.*, 2015) e a Ba/Al segundo Schnetger *et al.* (2000) está correlacionada positivamente a paleoprodutividade do sedimento.

Todos os dados geoquímicos tabelados são apresentados no Anexo IV e os gráficos gerados a partir dos dados obtidos se encontram no Anexo V. Da mesma forma que os dados palinológicos, os dados geoquímicos foram subdivididos em três zonas pelo subprograma CONISS, Zona Geoquímica I (5760 - 2548 anos cal AP; 120 - 75 cm), Zona Geoquímica II (2548 - 542 anos cal AP; 75 - 30 cm), Zona Geoquímica III (542 - 0 anos cal AP; 30 - 0 cm).

Os elementos metálicos (Al, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Mo) estão todos relacionados, apresentando baixa concentração na Zona Geoquímica I, tendência de aumento das concentrações na Zona Geoquímica II seguido de estabilização em um patamar, com certas variações na Zona Geoquímica III, como pode ser visto na Figura 12.

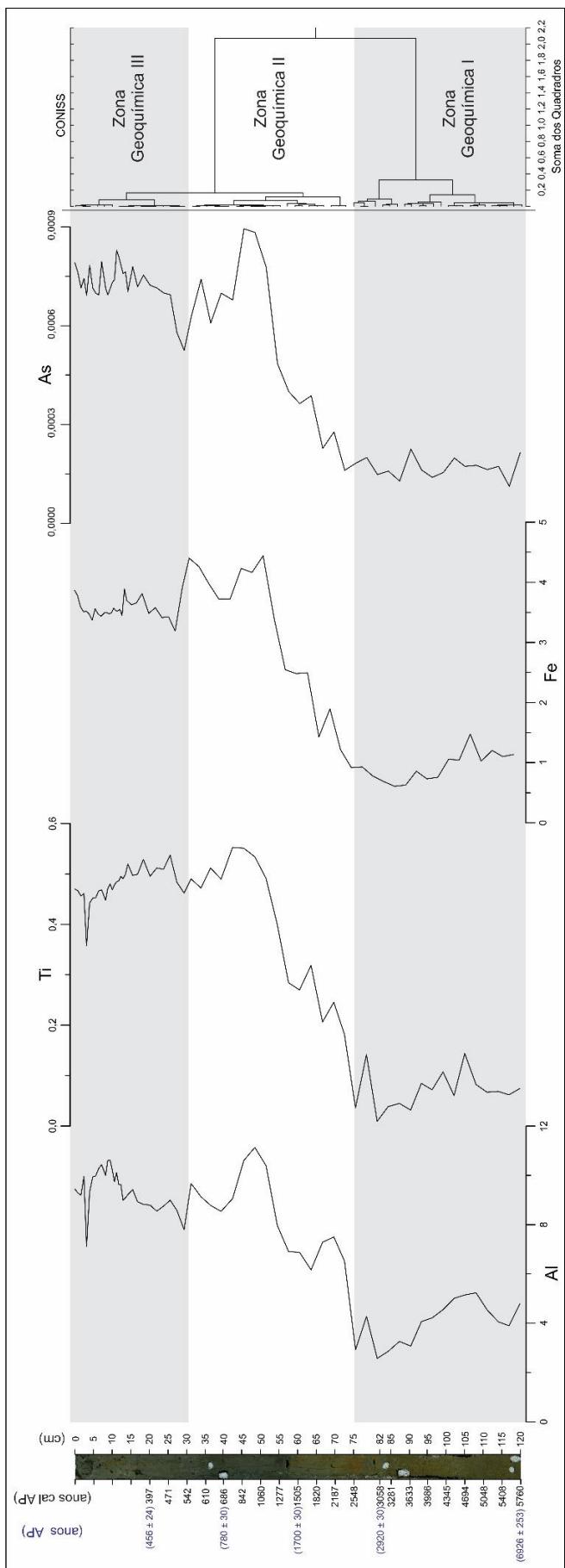


Figura 12: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos metálicos (Al, Ti, Fe, As) representando a tendência dos metais ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

Os elementos não metálicos (Si, P, S, K, Ca, Sr e Ba) não apresentam relações entre si. Dentre eles, os elementos P, S, K e Sr apresentam com tendência a estabilidade, com pequenas variações, ao longo de todo o testemunho. Enquanto o Ca apresenta tendência de aumento a partir da Zona Geoquímica II e o Ba possui tendência de aumento na Zona Geoquímica, seguido de diminuição na Zona Geoquímica III (Figura 13). A sílica apresenta correlação negativa com os metais, tendo sua maior concentração na Zona Geoquímica I e menor na Zona Geoquímica III. Já o TOC possui tendência de aumento a partir da Zona Geoquímica II (Figura 13).

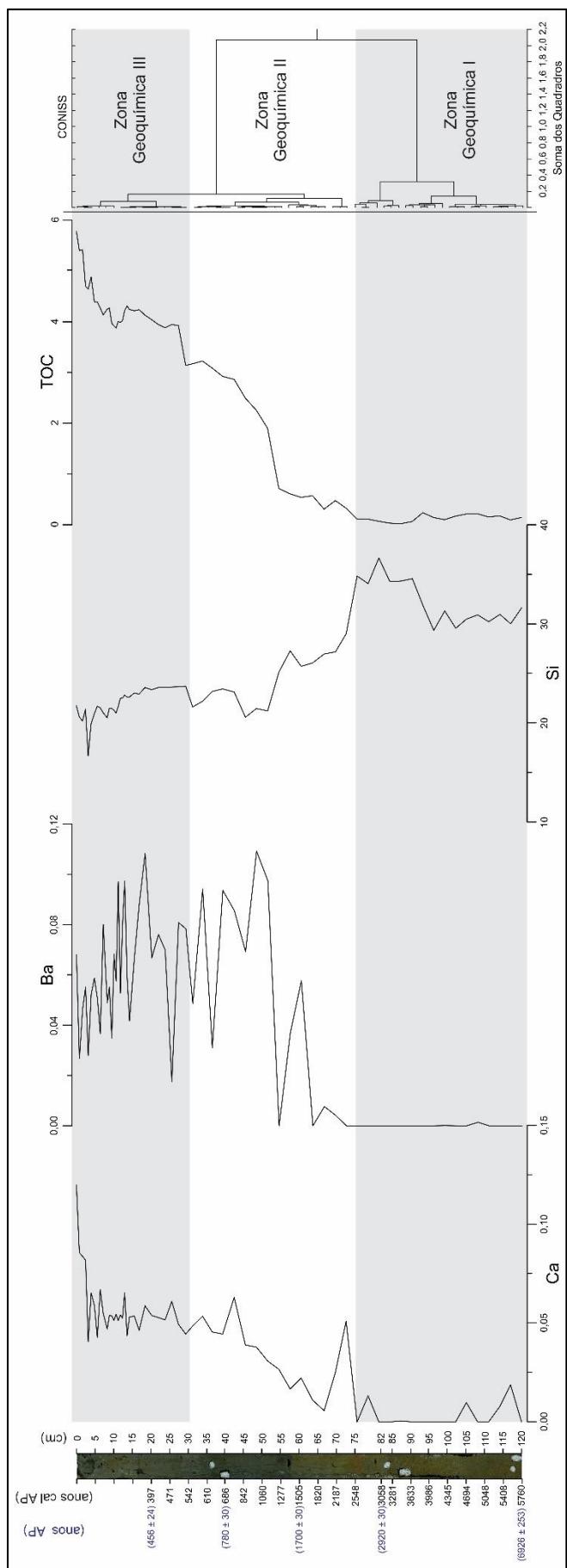


Figura 13: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos não metálicos (Ca, Ba, Si) e TOC mostrando suas tendências ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

Considerando as razões entre os elementos (Fe/K, Ti/K, Ca/Al, Ca/Ti, TOC/Al, Si/Al, Si/Ti, Ba/Al), temos baixas razões ligadas ao aumento de minerais de argila e ambiente redutor (Fe/K, Ti/K, TOC/Al) na Zona Geoquímica I, crescentes da Zona Geoquímica II e se estabilizando em um patamar alto na Zona Geoquímica III (Figura 14). Enquanto a razão Si/Al apresenta o comportamento oposto das razões anteriores, e a razão Ca/Al, ligada à taxa de evaporação e acumulação de sais no lago possui tendência de aumento a partir da Zona Geoquímica II (Figura 14).

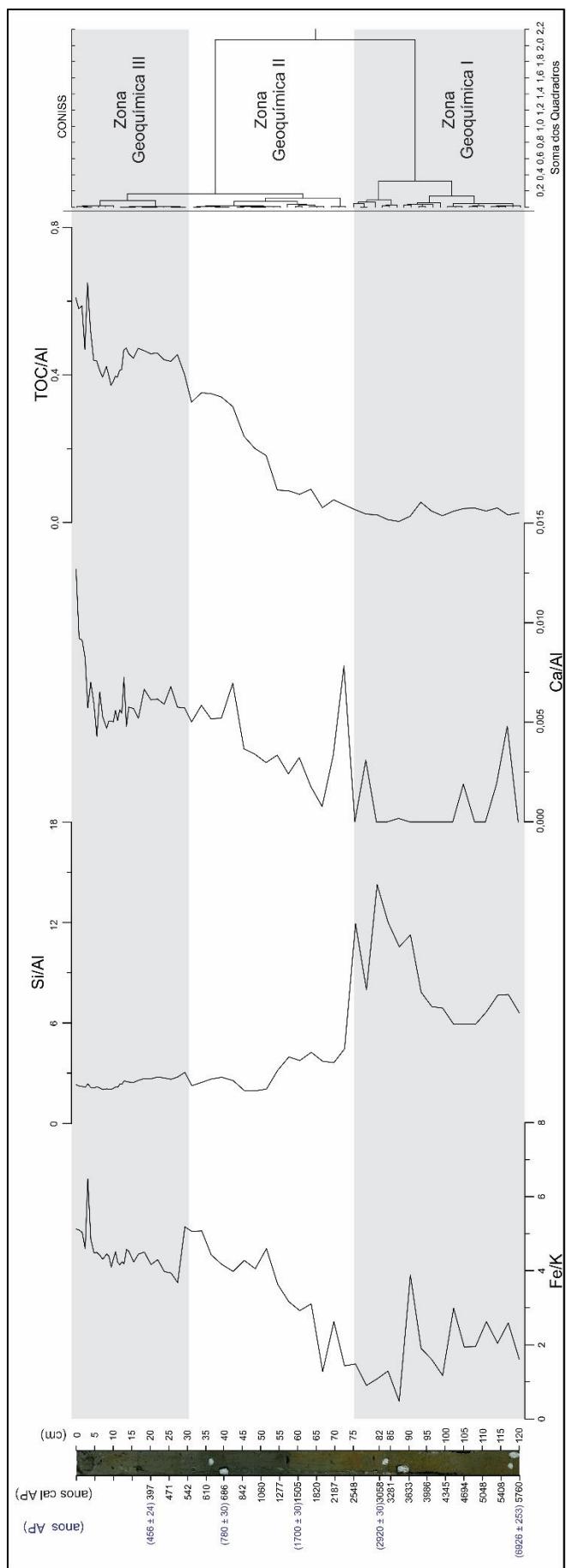


Figura 14: Razões geoquímicas (Fe/K, Si/Al, Ca/Al e TOC/Al) mostrando suas tendências ao longo do testemunho, e as divisões das Zonas Geoquímicas. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

6. DISCUSSÃO

6.1. Correlação entre os dados palinológicos e geoquímicos

Tanto os dados palinológicos quanto os dados geoquímicos são divididos pelo subprograma CONISS em três zonas, sendo eles quase que correlatas entre os dados como mostra a tabela 3, uma vez que a diferença pode ser associada a diferença entre os métodos e a diferença de tempo entre a resposta do sedimento e da vegetação a uma mudança ambiental.

Tabela 3: Comparação entre as idades delimitadas com o subprograma CONISS para as Zonas Palinológicas e Geoquímicas.

Zona	Palinológica	Geoquímica	Idade média (anos cal AP)
III	471 - 0 anos cal AP	542 - 0 anos cal AP	506 ± 36 – 0
II	3058 - 471 anos cal AP	2548 - 542 anos cal AP	2803 ± 255 - 506 ± 36
I	5760 - 3058 anos cal AP	5760 - 2548 anos cal AP	5760 - 2803 ± 255

Correlacionando os dados, nota-se durante a Zona I (5760 a 2803 ± 255 anos cal AP) um ambiente marcado pela alta acumulação de areia no perfil, pela baixa concentração de todos grupos polínicos e altos valores de Si e baixos dos elementos metálicos. Desta forma, a zona está relacionada a um ambiente de alta energia do Rio Xingu, onde foi favorecida a deposição de areia em detrimento as partículas de argilominerais mais finas, também não possibilitando a deposição e preservação de grãos de pólen.

O intervalo de tempo que representa a Zona II (2803 ± 255 a 506 ± 36 anos cal AP), é marcado pela diminuição da fração areia e grande aumento da fração argilosa, pela expansão na concentração de todos os grupos palinológicos e pelo aumento de todos os valores de elementos metálicos e de razões que indicam minerais de argila (Fe/K, Ti/K) em detrimento dos valores de Si e das razões que indicam sua presença (Si/Al, Si/Ti). Assim, esta zona representa um ambiente de transição para menor energia do rio Xingu, que favoreceu a deposição de argilominerais (frações mais finas), a expansão da vegetação e preservação dos grãos de pólen ali depositados.

Por fim, o intervalo superior que representa a Zona III (506 ± 36 a 0 anos cal AP), é um ambiente onde se mantém a predominância da fração argilosa, ocorre a estabilização das concentrações do principais grupos polínicos (Árvores e Arbustos, Ervas Terrestres), e estabilização dos valores dos elementos metálicos e da Si, além da estabilização das razões indicadoras de minerais de argila, apenas ocorrem pequenas oscilações dentro da tendência de estabilidade. Além disso, a razão associada a taxa de evaporação (Ca/Al) registra aumento nesta zona. Ambientalmente a zona representa uma estabilização do sistema fluvial e das florestas de igapó, com o rio Xingu apresentando baixa energia e a vegetação estabilizada.

6.2. Correlação entre o clima, dinâmica fluvial e a vegetação da região da Volta Grande do rio Xingu

Baseando-se na divisão em zonas oriunda dos dados palinológicos e geoquímicos e tendo em vista o trabalho de Wang *et al* (2017) sobre a dinâmica climática no leste amazônico e de Souza (2015) sobre a dinâmica da formação de ilhas fluviais na região da Volta Grande do Xingu, alguns pontos podem ser levantados.

A Zona I ($5760 \text{ a } 2803 \pm 255 \text{ anos AP}$) caracteriza um ambiente de alta energia e dinâmica fluvial, coincidente com o período de maior pluviosidade nos últimos 6.000 anos na região do leste amazônico (Wang *et al*., 2017), o que justifica a maior energia do rio Xingu na região, uma vez que as chuvas foram mais volumosas. Ela também é coincidente com o período entre 10.000 e 5.500 anos cal AP, delimitado por Souza (2015), para início da formação, estabilização das barras arenosas na região e formação das ilhas fluviais da Volta Grande do rio Xingu.

A Zona II ($2803 \pm 255 \text{ a } 506 \pm 36 \text{ anos cal AP}$) representa um momento de transição do rio Xingu que passa a ter uma energia cada vez menor até a estabilização de sua dinâmica fluvial coincidindo com um período mais seco (Wang *et al.*, 2017) em comparação à zona anterior. Este aporte menor de chuvas na bacia, tornou o rio Xingu menos energético em seu transporte. Segundo Souza (2015), este período seria marcado pela estabilização de barras arenosas e início da deposição da fração argila sobre elas, gerando substrato para a formação da vegetação das florestas inundáveis de igapó. Este cenário paleoambiental está totalmente de acordo com os dados palinológicos obtidos, que mostram a expansão da vegetação no período e principalmente da vegetação rasteira ligada à presença de umidade, vegetação pioneira das florestas de igapó. Um outro ponto que pode ser levantado, é que além da diminuição da pluviosidade na bacia do rio Xingu (leste amazônico), ocorre um aumento da pluviosidade da região oeste amazônica caracterizando o SAPD (Cheng *et al.*, 2013), na cabeceira do rio Amazonas. Desta forma, o rio Amazonas se torna mais caudaloso, o que pode barrar o fluxo do rio Xingu em seu delta, uma vez que se trata de um dos afluentes do rio Amazonas, tornando o fluxo do rio Xingu mais lento na região da Volta Grande.

A Zona III ($506 \pm 36 \text{ a } 0$), representa uma estabilização deste sistema, com a fixação final e estabilização da vegetação de igapó em um momento que ocorre um pequeno aumento, mas principalmente a estabilização da pluviosidade (Wang *et al.*, 2017). Uma vez fixada a vegetação, a ilha fluvial se consolida (Souza, 2015) formando lagos internos com acesso restrito ao canal principal do rio, propiciando também o desenvolvimento da vegetação, que passa de elementos rasteiros (Poaceae) para elementos arbóreos, representados principalmente por Cecropiaceae *Cecropia*.

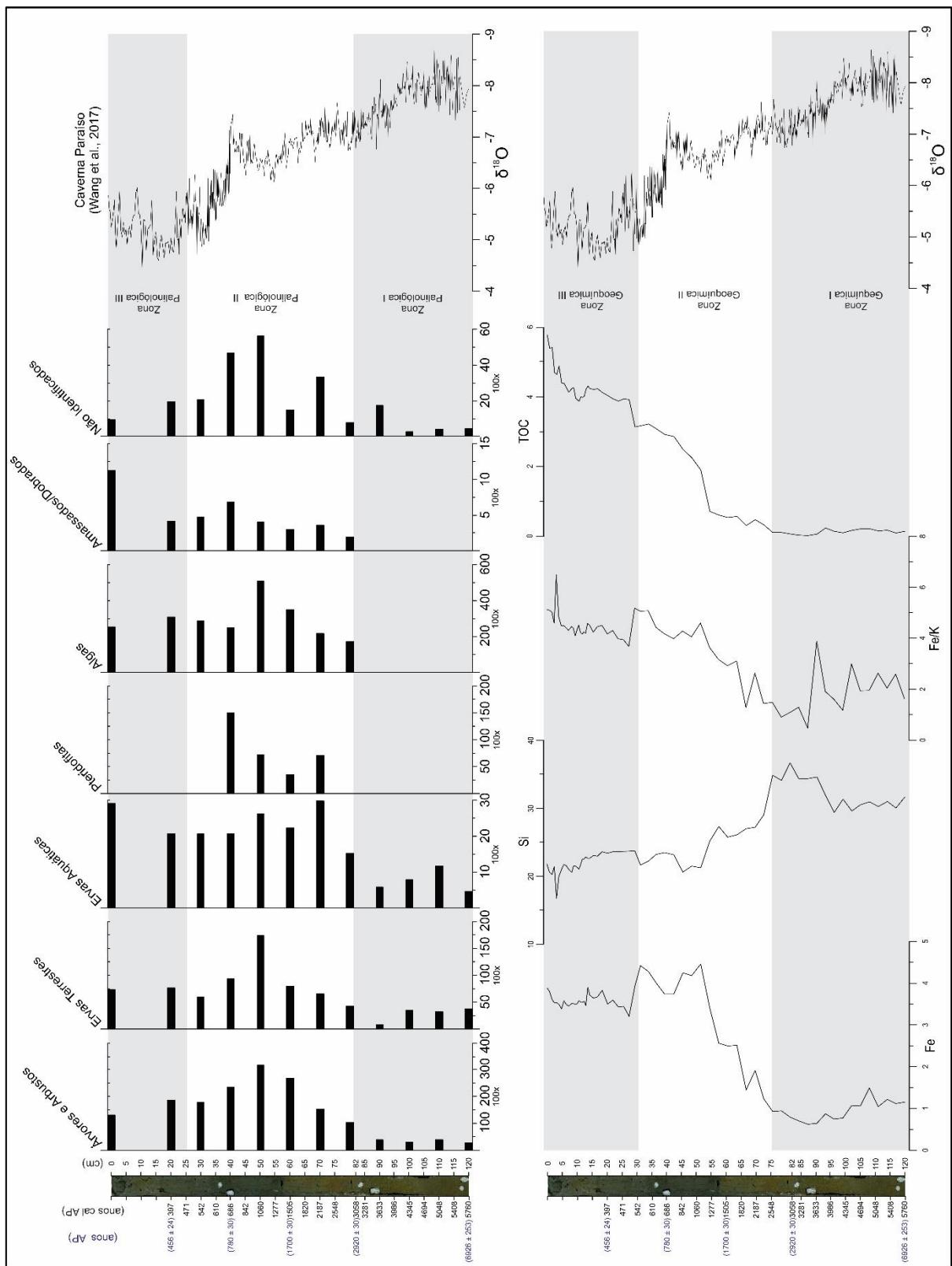


Figura 15: Comparação dos dados palinológicos (concentração em grãos/cm³ dos grupos observados) e geoquímicos (Fe, Si, Fe/K e TOC) com os dados de $\delta^{18}\text{O}$ da Caverna Paraíso, obtidos por Wang et al. (2017). Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

Assim, os dados palinológicos e geoquímicos estão em total consonância com as variações climáticas propostas por Wang et al. (2017) para o leste amazônico e Cheng et al. (2013) para o oeste amazônico, que mostram como a vegetação e o próprio rio Xingu responderam às alterações de pluviosidade nos últimos 6.000 anos. Além disso, todos os dados relacionados a dinâmica fluvial do rio Xingu e da expansão da vegetação, corroboram com as idades propostas e o modelo de desenvolvimento das ilhas fluviais na Volta Grande, propostos por Souza (2015).

7. CONCLUSÕES

O registro estudado por meio do testemunho XC01-2, remonta a dinâmica fluvial do rio Xingu e a expansão da vegetação na região da Volta Grande em resposta às mudanças da paleopluviosidade no leste e no oeste amazônico. Os dados palinológicos e geoquímicos percorrem todo o ciclo de formação das ilhas fluviais e expansão da floresta de igapó na região, que apesar de serem florestas úmidas, só se desenvolveram a partir de um período relativamente mais seco.

Durante os períodos de maior pluviosidade (5760 a 2803 ± 255 anos AP), o rio Xingu possuía alta dinâmica fluvial, formando barras arenosas que deram o início à formação das ilhas fluviais atuais que possuem idades similares às de formação de outras ilhas ao longo da região. Com a diminuição da pluviosidade (2803 ± 255 a 506 ± 36 anos cal AP) no leste amazônico, o rio Xingu tem uma diminuição de sua dinâmica, que junto com aumento da pluviosidade no oeste amazônico e barramento do rio Xingu pelo rio Amazonas mais caudaloso, contribuíram para a deposição de argila e formação do substrato para as florestas inundáveis de igapó sobre as barras arenosas na região da Volta Grande.

Com o substrato formado e estabilização da dinâmica fluvial, as ilhas fluviais se desenvolveram e estabilizaram e a vegetação de igapó pode se expandir. Uma vez a vegetação fixada, as pequenas alterações climáticas posteriores não puderam influenciá-la durante os últimos 506 ± 36 anos cal AP.

Estas etapas de desenvolvimento mostram como a dinâmica fluvial da bacia amazônica e a vegetação da área respondem às mudanças climáticas da região amazônica, e como este registro é preservado no sedimento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreae, M. O., Rosenfeld, D., Artaxo, P., Costa, A. A., Frank, G. P., Longo, K. M., Silva-Dias, M. A. (2004). Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, 303(5662), 1337-1342.
- Archer, A. W. (2005). Review of Amazonian depositional systems. *Fluvial Sedimentology*, 7, 17-39.
- Bahia, R. B. C., Faraco, M. T. L., Monteiro, M. A. S., Oliveira, M. A. O. (2004). Folha SA.22-Belém, In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M. B., Leão Neto, R., Matos, G. M. M., Vidotti, R. M., Ramos, M. A. B., Jesus, J. D. A. (Eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil*, CPRM, Brasilia, CD-ROM.
- Baker, P. A., Seltzer, G. O., Fritz, S. C., Dunbar, R. B., Grove, M. J., Tapia, P. M., Cross, S. L., Rowe, H. D., Broda, J. P. (2001a). The History of South American tropical precipitation for the past 25,000 years. *Science*, 291(5504), 640-643.
- Baker, P. A., Rigsby, C. A., Seltzer, G. O., Fritz, S. C., Lowenstein, T. K., Bacher, N. P., Veliz, C. (2001b). Tropical climate changes at millennial and orbital timescales on the Bolivian Altiplano. *Nature*, 409(6821), 698-671.
- Baker, P. A., Fritz, S. C. (2015). Nature and causes of Quaternary climate variation of tropical South America. *Quaternary Science Reviews*, 124, 31-47.
- Behling, H., Bush, M., Hooghiemstra, H. (2010). Biotic development of Quaternary Amazonia: a palynological perspective. In: Hoom, C., Wesselingh, F. P. (Eds.), *Amazonia landscape and species evolution* (v.1, 335-346). Oxford.
- Bush, M. B., Miller, M. C., De Oliveira P. E., Colinvaux, P. A. (2000). Two histories of environmental change and human disturbance in eastern lowland Amazonia. *The Holocene*, 10(5), 543-533.
- Bush, M. B., Silman, M. R., Urrego, D. H. (2005). 48,000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot. *Science*, 303(5659), 827-829.
- Caputo, M. V. (1984). Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Tese (PHD). Santa Barbara: University of California.
- Cheng, H., Sinha, A., Cruz, F. W., Wang, X., Edwards, R. L., d'Horta, F. M., Ribas, C. C., Vuille, M., Stott, M., Auler, A. S. (2013). Climate change patterns in Amazonia and biodiversity. *Nature Communications*, 4(1411).

- Cohen, M. C. L., Behling, H., Lara, R. J. (2005). Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age. *Review of Paleobotany and Palynology*, 136(1-2), 93-108.
- Colinvaux, P. A., De Oliveira, P. E., Moreno, J. E., Miller, M. C., Bush, B. (1996). A long pollen record from lowland Amazonia: Forest and colling in glacial times. *Science*, 274(5284), 85-88.
- Colinvaux, P., De Oliveira, P. E., Patino, J. E. M. (1999). Amazon pollen manual and atlas (1a ed.). New York: Hardwood Academic Publishers.
- Cunha, P. R. C., Melo, J. H. G., Silva, O. B. (2007). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2), 227-251.
- Cunha, D. C., Ferreira, L. V. (2012). Impacts from the Belo Monte Hydroelectric construction on the pioneer formations of the Xingu River, Pará. *Brazilian Journal of Botany*, 35(2), 159-167.
- Cruz, F. W., Wang, X., Auler, A., Vuille, M., Burns, S. J., Karmann, I., Edwards, L. R., Cheng, H. (2009). Orbital and millennial-scale precipitation changes in Brazil from speleothem records. In: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (Eds.), *Past climate variability from the last glacial maximum to the Holocene in South America and surrounding regions* (v. 1, 29-60). Berlin: Springer-Verlag.
- Dean, W. E., Gardner, J. V., Piper, D. Z. (1997). Inorganic geochemical indicators of glacial-interglacial changes in productivity and anoxia on the California continental margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(21), 4507-4518.
- De Oliveira, P. E., Steinitz-Kannan, M. (1992). The diatom flora (Bacillariophyceae) of the Cuyabeno Faunistic Reserve, Ecuadorian Amazonia. *Nova Hedwigia*, 54(3-4), 515-552.
- Duffin, K. I., Gillson, L., Willis, K. J. (2008). Testing the sensitivity of charcoal as an indicator of fire events in savanna environments: quantitative predictions of fire proximity, area and intensity. *The Holocene*, 18(2), 279-291.
- Ferreira, D. B. S., Souza, E. B., Moraes, B. C., Meira Filho, L. G. M. (2015). Spatial and temporal variability of rainfall in Eastern Amazon during the rainy season. *The Scientific World Journal*, 2015, 9 p.
- Ferreira, L. V., Cunha, D. A., Chavez, P. P., Matos, D. C. L., Parolin, P. (2013). Impacts of hydroelectric dams on aluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3), 1013-1023.

- Guimarães, J. T. F., Sahoo, P. K., Souza-Filho, P. W. M., Mautity, C. W., Júnior, R. O. S., Costa, F. R., Dall'Agnol, R. (2016). Late Quaternary environmental and climate changes registered in lacustrine sediments of the Serra Sul de Carajás, south-east Amazonia. *Journal of Quaternary Science*, 31(2), 61-74.
- Hermanowski, B., Costa, M. L., Carvalho, A. T., Behling, H. (2012). Palaeoenvironmental dynamics and underlying climatic changes in southeast Amazonia (Serra Sul de Carajás, Brazil) during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 365-366, 227-246.
- Hodell, D. A., Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Brenner, M., Curtis, J. H., Gilli, A., Grzesik, D. A., Guilderson, T. J., Muller, A. D., Bush, M. B., Correa-Metrio, A., Escobar, J., Kutterolf, S. (2008). An 85-ka record of climate change in lowland Central America. *Quaternary Science Reviews*, 27(11-12), 1152-1165.
- INMET (2018). Normais climatológicas do Brasil: 1981-2010. Acesso em agosto de 2018, <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>.
- Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C., Sinha, R. (2005). Tropical Rivers. *Geomorphology*, 70(3-4), 185-420.
- Luo, J., Chen, Z. (1998). Distribution of sedimentary elements and their palaeoenvironmental significance in Dagui Lake, Taiwan. *Journal of Lake Sciences*, 10(1318).
- Luo, Q. Y., Zhong, N., Zhu, L., Wang, Y., Qin, J., Qi, L., Zhang, Y., Ma, Y. (2013). Correlation of burial organic carbon and paleoproductivity in the Mesoproterozoic Hongshuizhuang Formation, northern North China. *Chinese Science Bulletin*, 58(11), 1299-1309.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B. L., Mata, M. P., Moreno, A., Giralt, S., Martínez-Ruiz, F., Jiménez-Espejo, F. (2011). Geochemical processes in a Mediterranean Lake: a high-resolution study of the last 4,000 years in Zóñar Lake, southern Spain. *Journal of Paleolimnology*, 46(3), 405-421.
- Maslin, M. A., Burns, S. J. (2000). Reconstruction of the Amazon Basin effective moisture availability over the past 14,000 years. *Science*, 290(5500), 2285-2287.
- Mineli, R. D. (2013). Proveniência e retrabalhamento sedimentar das areias da Volta Grande do Rio Xingu, PA. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

- Novello, V. F., Cruz, F. W., Karmann, I., Burns, S. J., Stirkis, N. M., Vuille, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Santos, R. V., Frigo, E., Barreto, E. A. S. (2012). Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. *Geophysical Research Letters*, 39(41367), 148-158.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrological Earth Systems Science*, 11(5), 1633-1644.
- Pettena, J. L., Barros, A. L. M. M., Matos, W. D., Ribeiro, A. C. O., Carvalho R. M. (1980). Estudos de Inventário hidrelétrico na Amazônia: A Bacia do Rio Xingu. Simpósio sobre as Características Geológica-Geotectônicas da Região Amazônica. ABGE
- Prance, G. T. (1979). Notes on the vegetation of Amazonia III. Terminology of Amazonian forest types subjects to inundation. *Brittonia*, 31(1), 26-38.
- Ring, E. (1989). The preparation and certification of fourteen South African silicate rocks for use as a reference materials. Mintek Report, M393.
- Rocha Neto, M. B. (2004). Carta Geológica do Brasil folha Belém SA-22. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB.
- Rodriguez, S. K. (1993). Neotectônica e sedimentação quaternária na região da "Volta Grande" do rio Xingu, Altamira, Pará. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Roubik, D. W., Moreno P. J. E. (1991). Pollen and spores of Barro Colorado Island (Panama). *Missouri Botanical Garden*, 36, 250-254.
- Rowe, H., Hughes, N., Robinson, K. (2012). The quantification and application of handheld energy-dispersive x-ray fluorescence (ED-XRF) in mudrock chemostratigraphy and geochemistry. *Chemical Geology*. 324-325, 122-131.
- Sahoo, P. K., Souza-Filho, P. W. M., Guimarães, J. T. F., Silva, M. S., Costa, F. R., Manes, C. O, Oti, D., Júnior, R. O. S., Dall'Agnol, R. (2015). Use of multi-proxy approaches to determine the origin and depositional processes in modern lacustrine sediments: Carajás Plateau, Southeastern Amazon, Brazil. *Applied Geochemistry*, 52, 130–146.
- Salgado-Labouriau, M. L. (1973). Contribuição a palinológica dos Cerrados. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências.

Sawakuchi, A. O., Hartmann, G. A., Sawakuchi, H. O., Pupim, F. N., Bertassoli, D. J., Parra, M., Antinao, J. L., Sousa, L.M., Sabaj Pérez, M. H., Oliveira, P. E., Santos, R. A., Savian, J. F., Grohmann, C. H., Medeiros, V. B., McGlue, M. M., Bicudo, D. C., Faustino, S. B. (2015). The Volta Grande do Xingu: Reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique amazonian fluvial landscape. *Scientific Drilling*, 3, 1-12.

Schnetger, B., Brumsack, H. J., Schale, H., Hinrichs, J., Dittert, L. (2000). Geochemical characteristics of deep-sea sediments from the Arabian Sea: a highresolution study. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 47(14), 2735–2768.

Sifeddine, A., Wirrmannc, D., Albuquerqueb, A. L. S., Turcqa, B., Cordeiro, R. C., Gurgela, M. H. C., Abrão, J. J. (2004). Bulk composition of sedimentary organic matter used in paleoenvironmental reconstructions: examples from the tropical belt of South America and Africa. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 214(1-2), 41-53.

Sioli, H. (1984). The Amazon and its main affluentes: hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: Sioli, H. (Ed.), *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin* (v.1, 127-165). Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers.

Souza, D. F. (2015). Evolução sedimentar do tabuleiro do embaabal, baixo rio Xingu. *Tese (Mestrado)*. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Svitiski, J. P. M., Cohen, S., Kettner, A. J., Brakenridge, G. R. (2014). How important and different are tropical rivers? - An overview. *Geomorphology*, 227, 5-17.

Tassinari, C. C. G., Macambira, M. J. B. (2004). A Evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito Neves, B. B. (Eds), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (v. 28, 471-485). São Paulo: Beca.

Thomaz Filho, A., Cordani, U. G., Marino, O. (1974). Idades K-Ar de rochas basálticas da Bacia Amazônica e sua significação tectônica regional. *XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 6, 273-278. Porto Alegre: SBG

Tolonen, K. (1986). Charred particle analysis. In: Berglund, B. E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* (v. 1, 485-496). Chichester: Wiley & Sons.

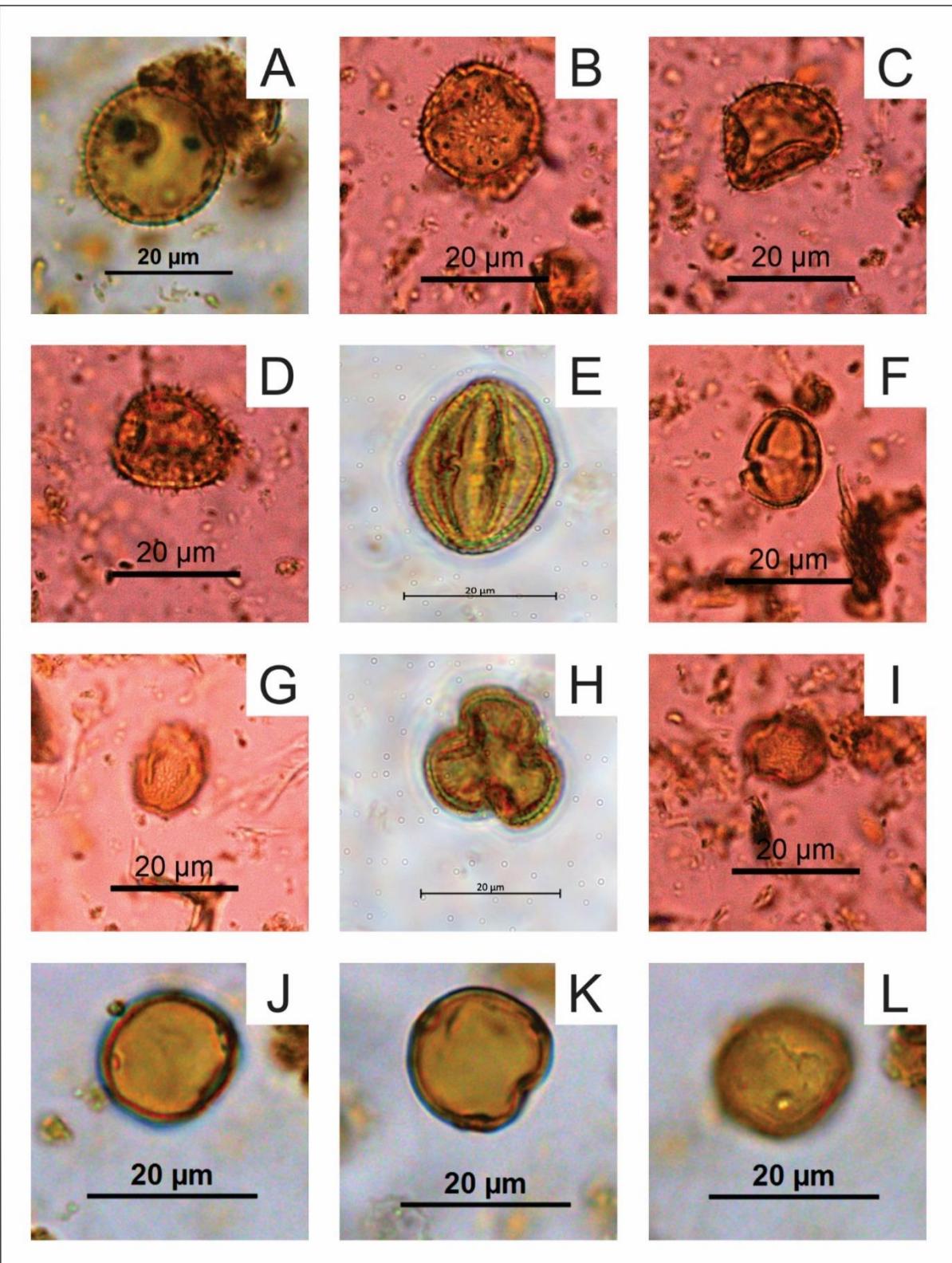
Van Breukelen, M. R., Vonhof, H. B., Hellstrom, J. C., Wester, W. C. G., Kroon, D. (2008). Fossil dripwater in stalagmites reveals Holocene temperature and rainfall variation in Amazonia. *Earth and Planetary Science Letters*, 275(1), 54-60.

Van der Hammen, T., Hooghiemstra, H. (2000). Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazônia. *Quaternary Science Reviews*, 19, 752-742.

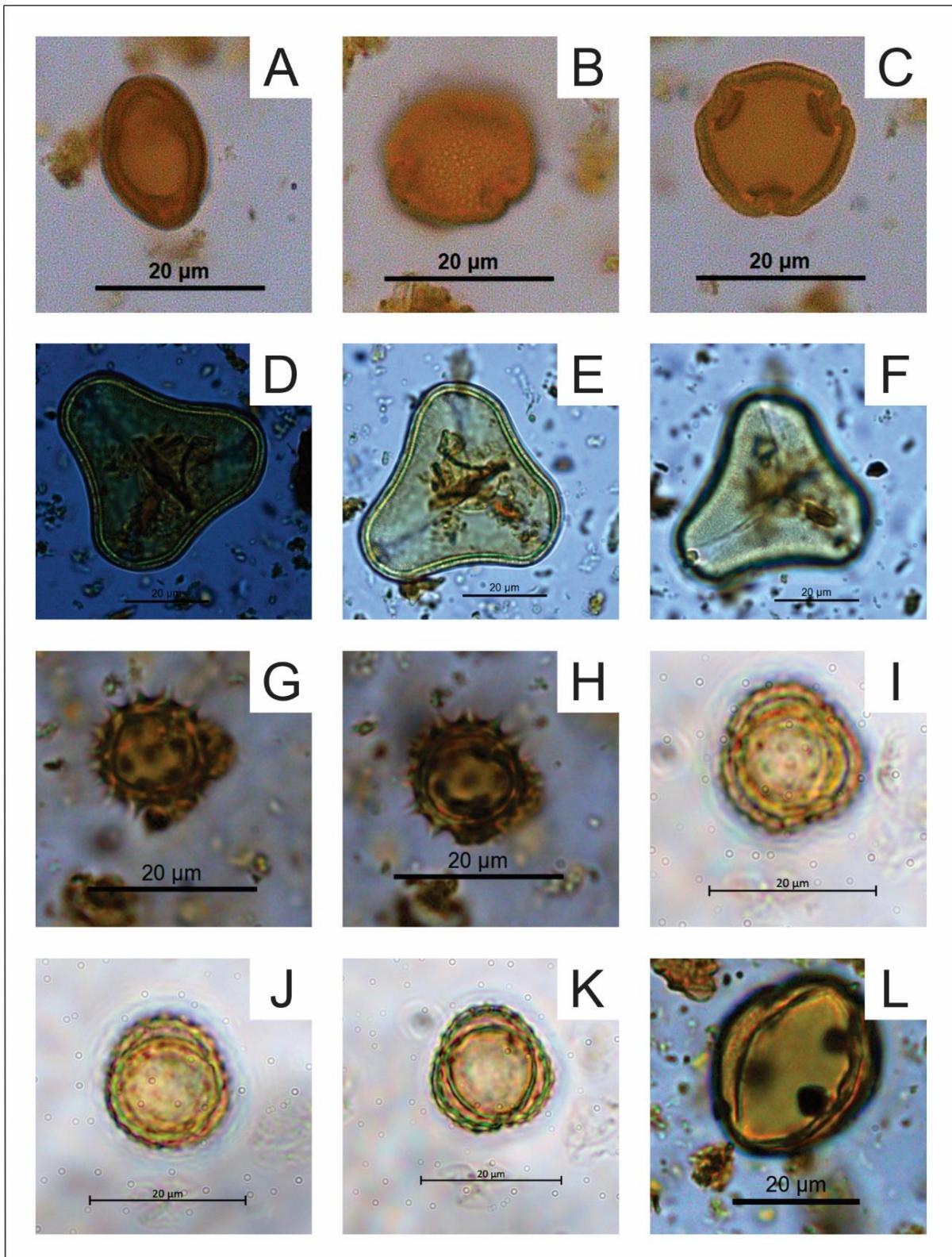
Wang, X., Edwards, R. L., Auler, A. S., Cheng, H., Kong, X., Wang, Y., Cruz, F. W., Dorale, J. A., Chiang, H. (2017). Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. *Nature* 541(7636), 204-207.

ANEXO I

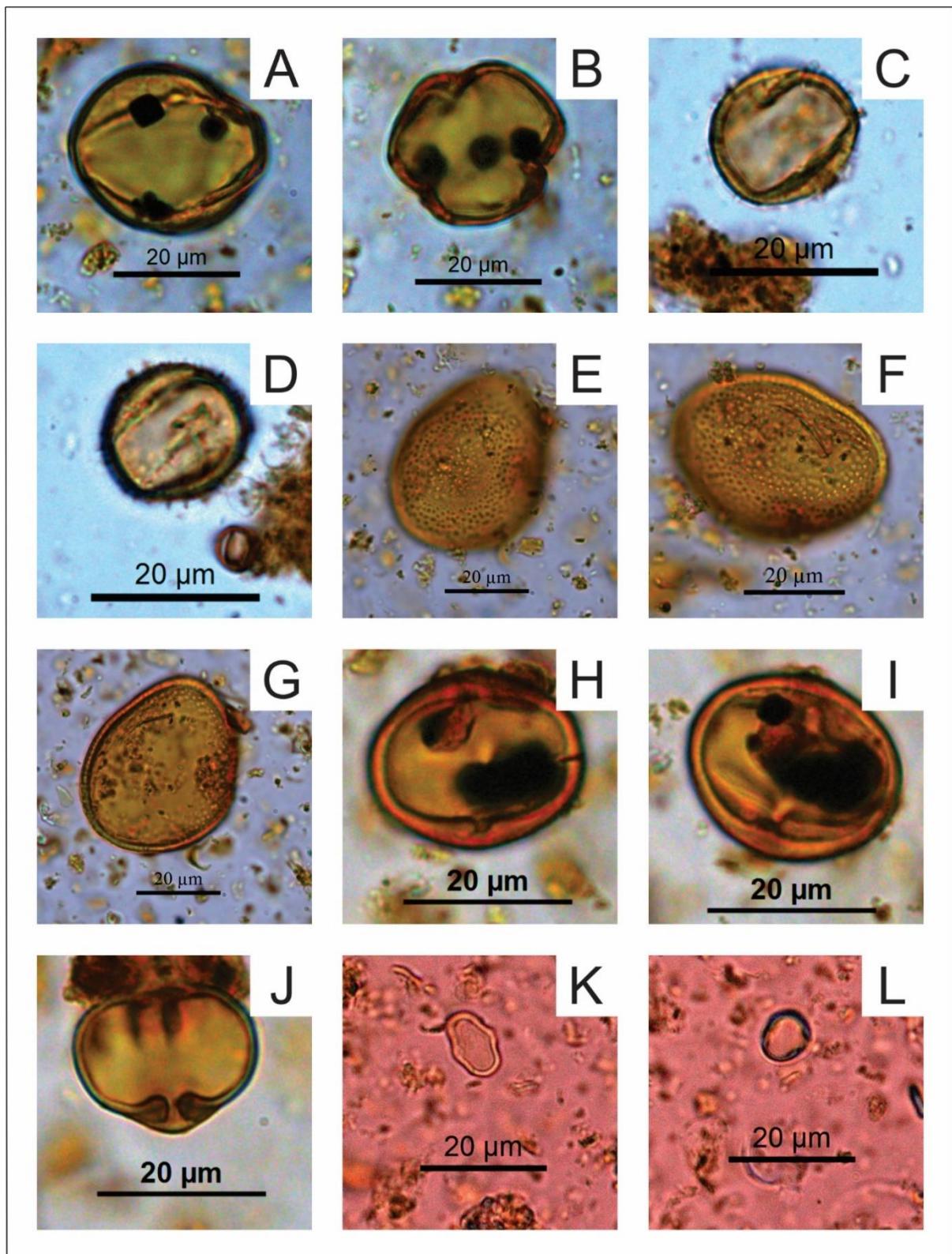
PRANCHAS POLÍNICAS



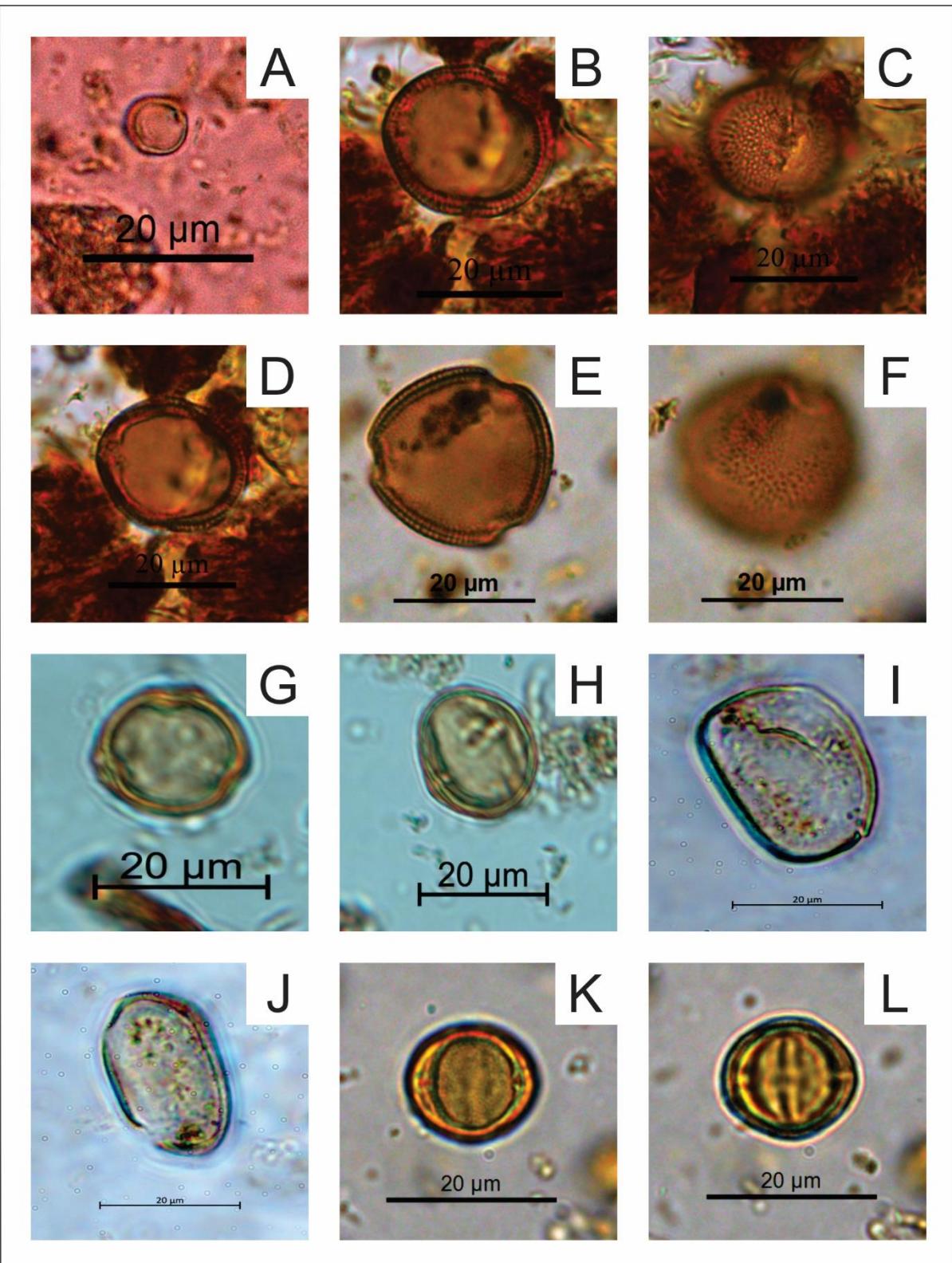
Prancha 1: Alismataceae *Sagittaria* (A, B, C, D); Anacardiaceae *Tapirira* (E, F, G, H, I); Apocynaceae *Forsteronia* (J, K, L).



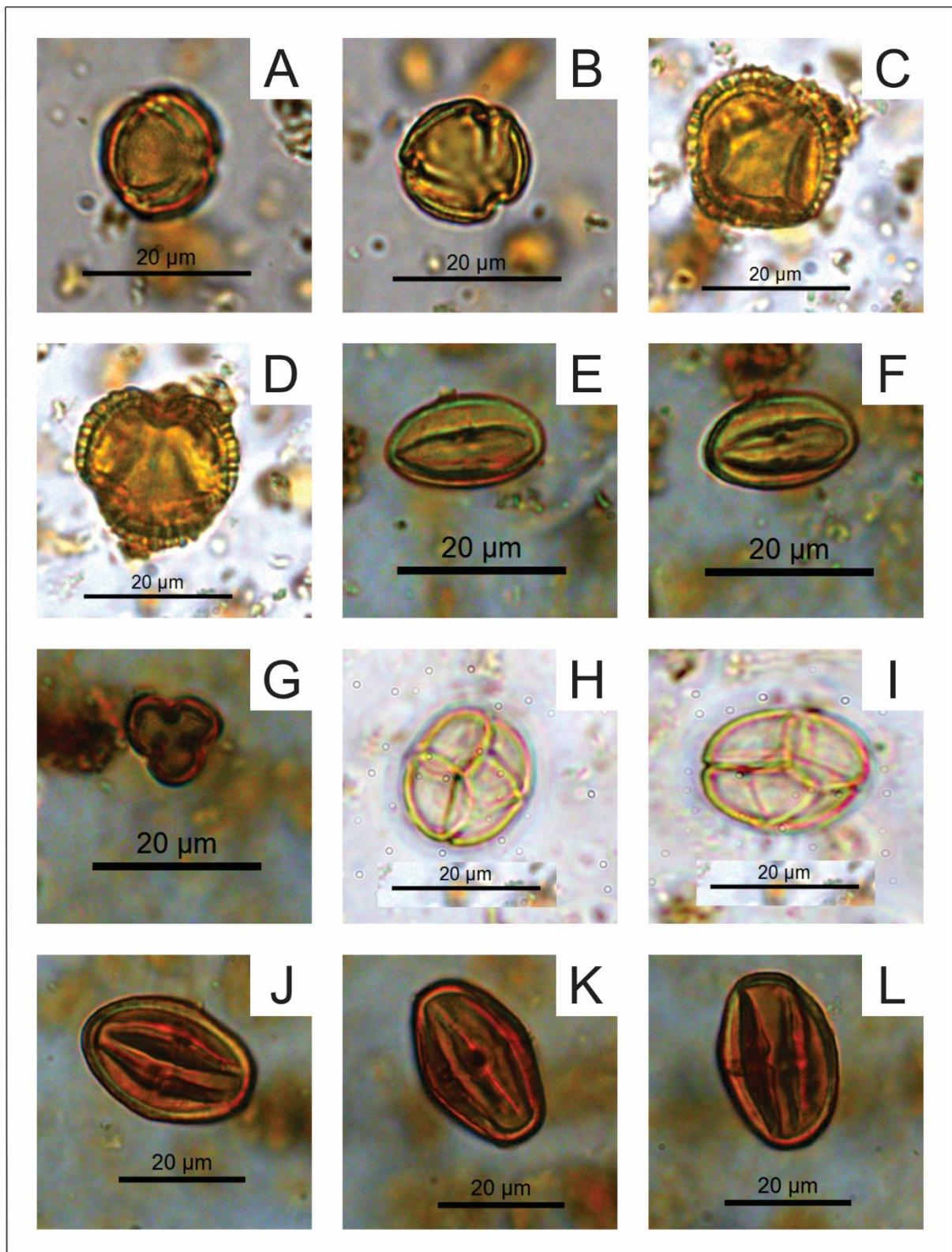
Prancha 2: Araliaceae (A, B, C); Arecaceae *Astrocaryum* (D, E, F); Asteraceae *Baccharis* (G, H, I, J, K); Bignoniaceae *Tabebuia* (L).



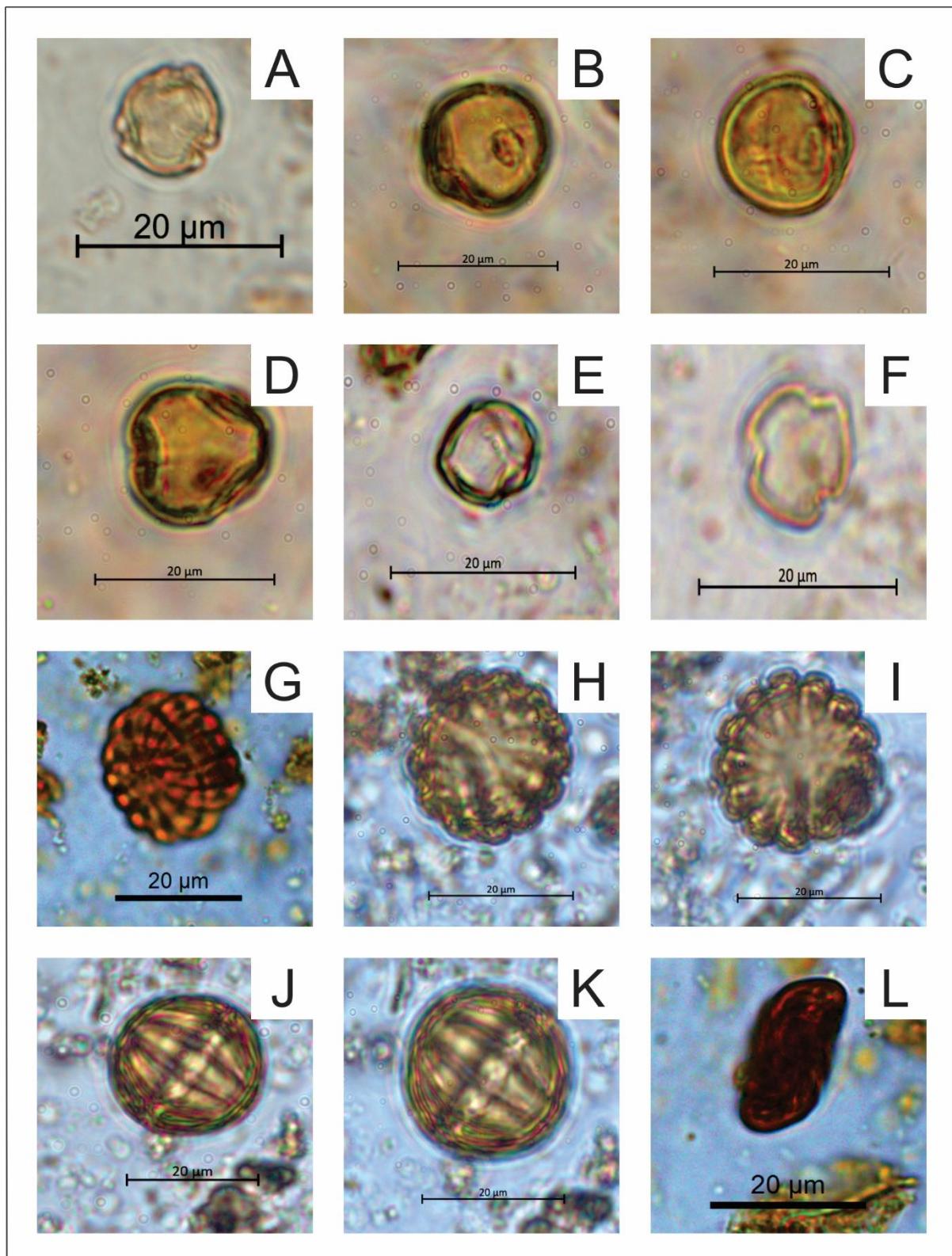
Prancha 3: Bignoniaceae *Tabebuia* (A, B); Boraginaceae *Cordia* (C, D); Bromeliaceae (E, F, G); Burseraceae *Dacryodes* (H, I, J); Cecropiaceae *Cecropia* (K, L).



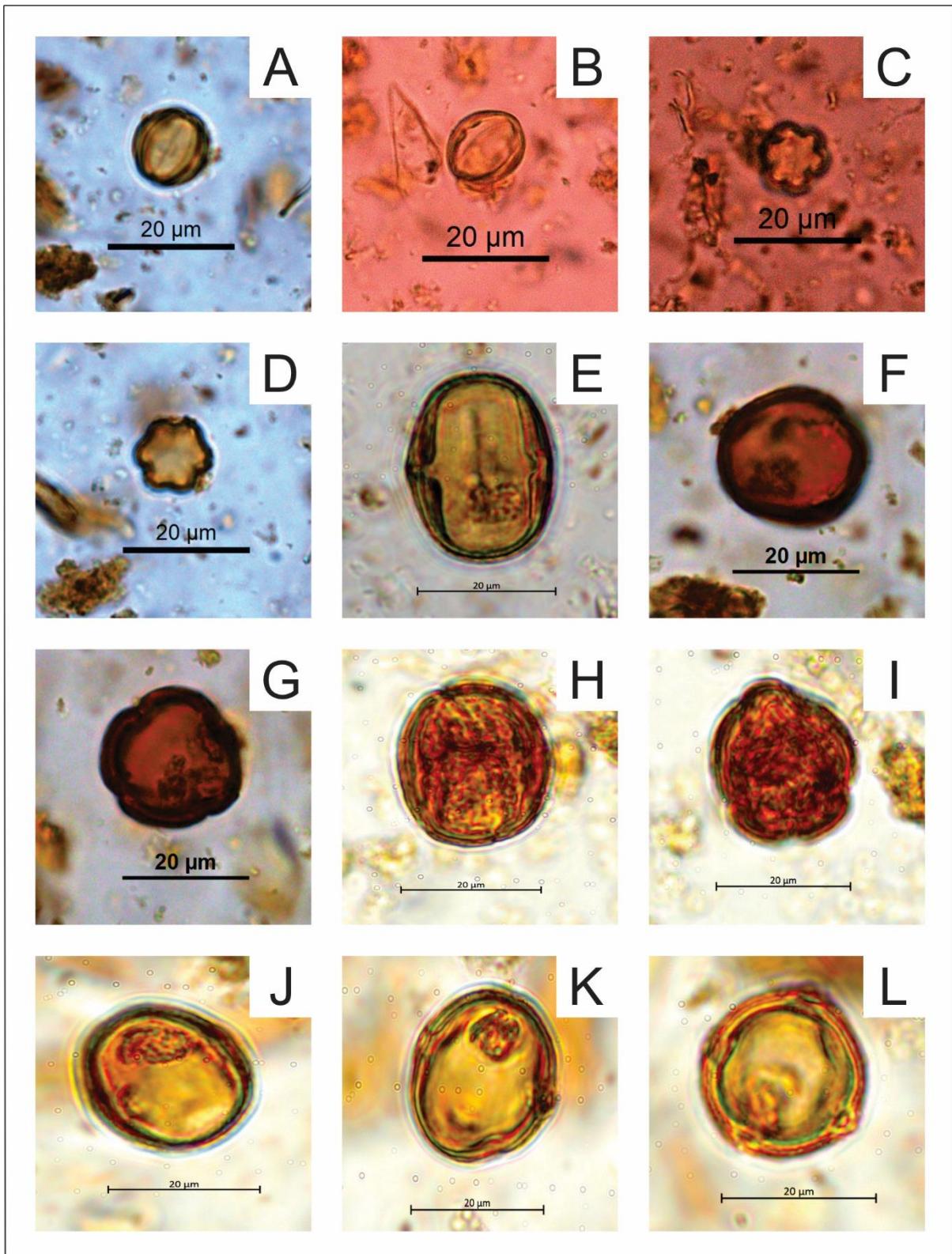
Prancha 4: Cecropiaceae *Cecropia* (A); Celastraceae *Tipo 1* (B, C, D); Celastraceae *Tipo 2* (E, F, G, H); Cyperaceae (I, J); Euphorbiaceae *Alchornea* (K, L).



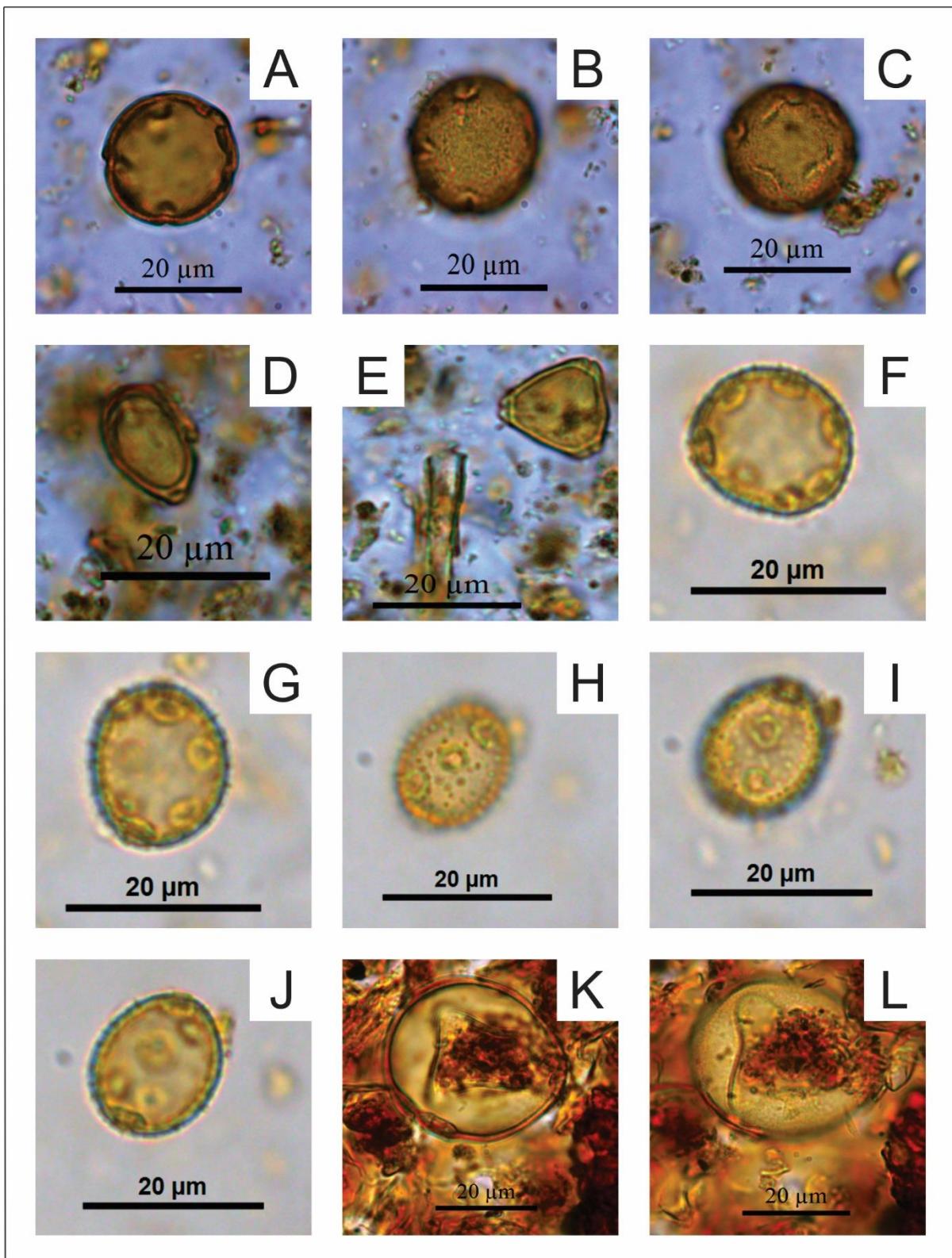
Prancha 5: Euphorbiaceae *Alchornea* (A, B); Euphorbiaceae *Glycydendron* (C, D); Euphorbiaceae *Tipo 1* (E, F, G); Fabaceae *Mimosa* (H, I); Fabaceae *Senna* (J, K, L).



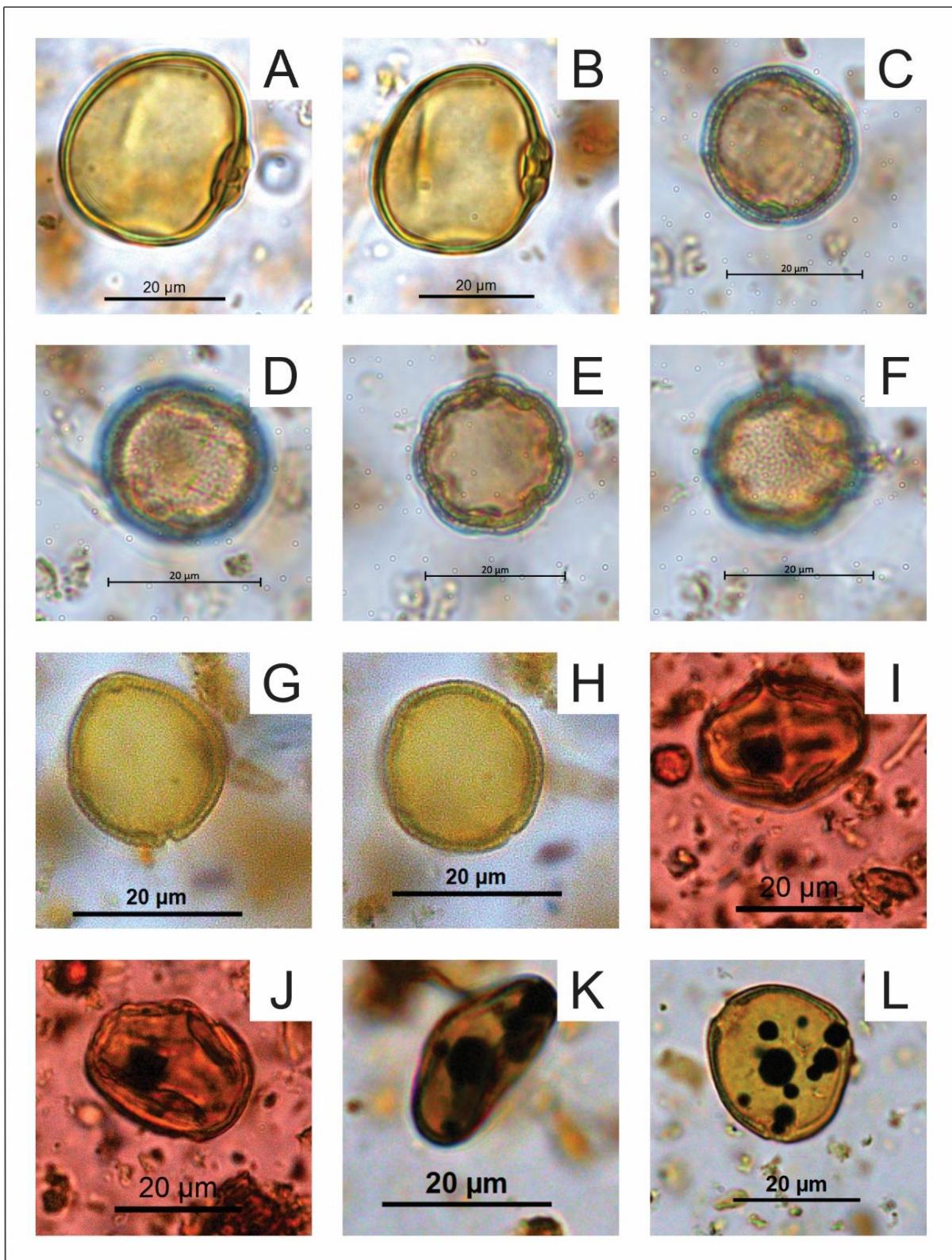
Prancha 6: Fabaceae Tipo 1 (A, B, C, D); Fabaceae Tipo 2 (E, F); Lentribulariaceae *Utricularia* (G, H, I, J, K, L).



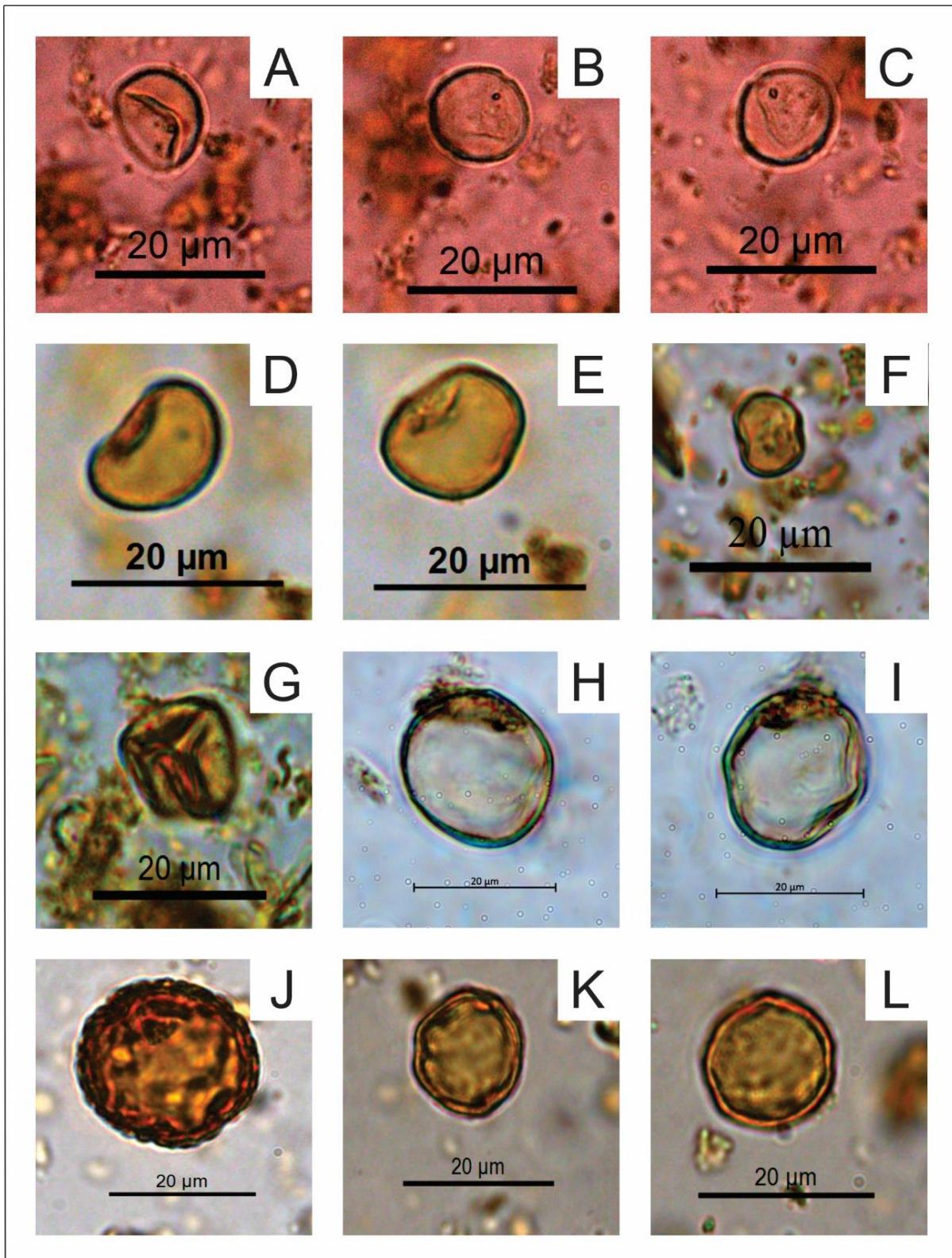
Prancha 7: Melastomataceae (A, B, C, D); Meliaceae *Cedrela* (E, F, G); Meliaceae *Trichilia* (H, I); Meliaceae *Tipo 1* (J, K, L).



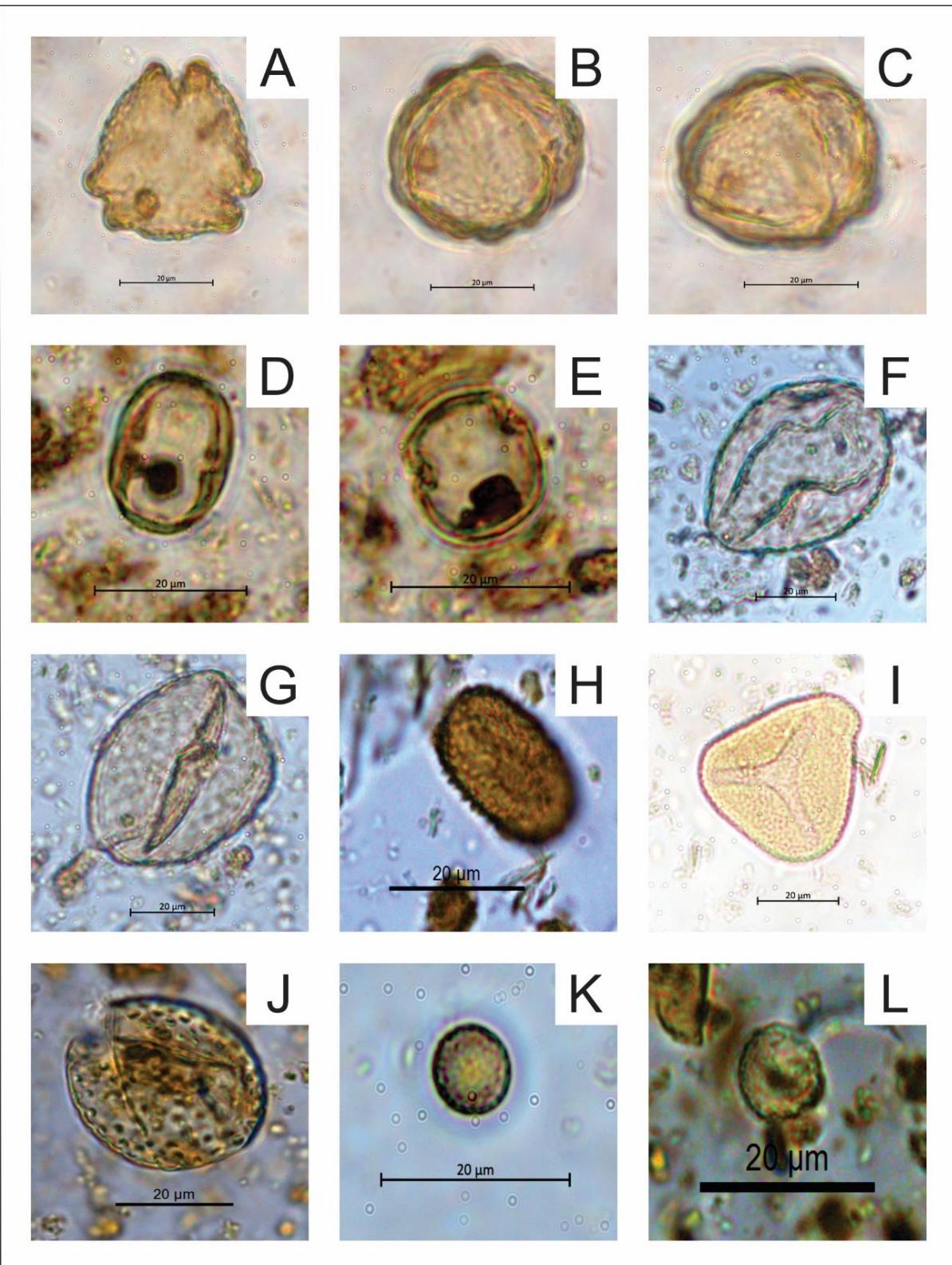
Prancha 8: Meliaceae *Tipo 2* (A, B, C); Myrtaceae (D, E); Picrodendraceae *Picrodendron* (F, G, H, I, J); Poaceae *Tipo 1* (K, L).



Prancha 9: Poaceae *Tipo 2* (A, B); Rubiaceae *Borreria* (C, D, E, F); Rubiaceae *Psychotria* (G, H); Solanaceae (I, J); Symplocaceae *Symplocos* (K, L).



Prancha 10: Urticaceae *Pilea* (A, B, C); Urticaceae/Moraceae (D, E); Amassados/Dobrados (F, G); Não Identificado 1 (H, I); Não Identificado 2 (J); Não Identificado 3 (K, L).



Prancha 11: Não Identificado 4 (A, B, C); Não Identificado 5 (D, E); Não Identificado 6 (F, G); Dennstaedtiaceae Hypolepis (H); Pteridaceae Adiantum (I); Zygemataceae Zignema (J); Cisto de alga não identificado 1 (K); Cisto de alga não identificado 2 (L).

ANEXO II

DADOS DA CONTAGEM POLÍNICA

Tabela 1: Dados da contagem polínica, onde ND = Não Identificado (espécimes com características morfológicas não evidentes para a identificação), TRSH = Árvore e Arbustos, UPHE = Ervas Terrestres, AQVP = Ervas Aquáticas, VACR = Pteridófita (samambaias) e ALGA = Algas.

Tipo	Família Gênero	Hábito	Partículas contadas/nível											
			0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	Lycopodium (partículas/nível)		82	68	73	52	36	54	73	123	299	273	243	277
pólen	Anacardiaceae <i>Tapirira</i>	TRSH	26	27	26	21	22	14	8	10	1	1	8	3
pólen	Apocynaceae <i>Forsteronia</i>	TRSH	5	9	3	5	2	4	0	2	0	0	0	0
pólen	Arecaceae <i>Astrocaryum</i>	TRSH	1	1	0	2	1	0	1	1	0	0	1	0
pólen	Bignoniaceae <i>Tabebuia</i>	TRSH	5	6	1	1	0	7	7	0	1	1	1	0
pólen	Boraginaceae <i>Cordia</i>	TRSH	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
pólen	Burseraceae <i>Dacryodes</i>	TRSH	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
pólen	Cecropiaceae <i>Cecropia</i>	TRSH	24	26	24	8	11	18	8	43	0	1	4	2
pólen	Celastraceae <i>Tipo 1</i>	TRSH	0	4	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
pólen	Celastraceae <i>Tipo 2</i>	TRSH	0	1	0	5	9	10	11	0	0	0	1	0
pólen	Euphorbiaceae <i>Alchornea</i>	TRSH	42	33	51	53	33	40	29	15	1	4	6	2
pólen	Euphorbiaceae <i>Glycydendron</i>	TRSH	1	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0
pólen	Fabaceae <i>Mimosa</i>	TRSH	6	0	1	0	1	2	0	2	0	0	1	0
pólen	Fabaceae <i>Senna</i>	TRSH	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Melastomataceae	TRSH	13	10	19	13	9	7	6	7	2	1	1	1
pólen	Meliaceae <i>Cedrela</i>	TRSH	8	17	23	34	39	28	16	4	4	0	0	1
pólen	Meliaceae <i>Tipo 1</i>	TRSH	0	0	1	0	2	4	0	0	0	0	0	0
pólen	Meliaceae <i>Tipo 2</i>	TRSH	2	5	1	3	2	0	2	1	0	0	0	0
pólen	Meliaceae <i>Trichilia</i>	TRSH	0	0	2	2	1	6	1	0	0	0	0	0
pólen	Myrtaceae	TRSH	11	12	14	10	13	19	14	6	2	3	3	3
pólen	Picrodendraceae <i>Picrodendron</i>	TRSH	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
pólen	Rubiaceae <i>Psychotria</i>	TRSH	0	1	2	1	0	0	5	0	0	0	0	0
pólen	Symplocaceae <i>Symplocos</i>	TRSH	1	20	14	5	6	3	5	3	0	0	0	0
pólen	Urticaceae/Moraceae	TRSH	7	1	3	3	7	14	12	14	1	0	4	1

pólen	Araliaceae	UPHE	1	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Asteraceae <i>Baccharis</i>	UPHE	11	4	2	3	2	2	1	0	0	0	0	0
pólen	Bromeliaceae	UPHE	0	1	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0
pólen	Cyperaceae	UPHE	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Euphorbiaceae <i>Tipo 1</i>	UPHE	9	17	28	21	30	0	17	16	1	5	6	7
pólen	Fabaceae <i>Tipo 1</i>	UPHE	13	12	11	25	30	31	18	17	0	2	7	6
pólen	Fabaceae <i>Tipo 2</i>	UPHE	2	1	1	4	1	3	2	1	0	1	2	2
pólen	Poaceae <i>Tipo 1</i>	UPHE	3	5	7	5	9	7	9	6	1	5	7	2
pólen	Poaceae <i>Tipo 2</i>	UPHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Rubiaceae <i>Borreria</i>	UPHE	3	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0
pólen	Solanaceae	UPHE	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Urticaceae <i>Pilea</i>	UPHE	32	33	13	4	8	9	5	4	1	0	2	0
pólen	Alismataceae <i>Sagittaria</i>	AQVP	34	19	22	15	12	15	25	16	2	3	9	2
pólen	Lentibulariaceae <i>Utricularia</i>	AQVP	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Amassados/Dobrados	UNID	13	4	5	5	2	2	3	2	0	0	0	0
pólen	Não Identificado 1	UNID	5	18	20	28	17	5	14	4	3	1	3	2
pólen	Não Identificado 2	UNID	1	0	1	3	9	3	2	2	1	0	0	0
pólen	Não Identificado 3	UNID	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pólen	Não Identificado 4	UNID	3	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0
pólen	Não Identificado 5	UNID	0	1	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0
pólen	Não Identificado 6	UNID	0	0	0	0	1	2	9	0	2	0	0	0
esporo	Dennstaedtiaceae <i>Hypolepis</i>	VACR	0	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0
esporo	Pteridaceae <i>Adiantum</i>	VACR	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0
palinomorfo	Zygnemataceae <i>Zygnema</i>	ALGA	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
palinomorfo	Alga <i>Tipo 1</i>	ALGA	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
palinomorfo	Alga <i>Tipo 2</i>	ALGA	7	7	1	8	5	10	6	3	0	0	0	0
-	Carvão <25	MANG	319	443	856	933	891	904	992	724	267	349	1011	1311
-	Carvão >25	MANG	104	38	136	129	110	107	108	30	9	4	97	40
-	Carvão >50	MANG	18	4	13	22	14	14	11	2	1	0	11	0

ANEXO III

GRÁFICOS POLÍNICOS

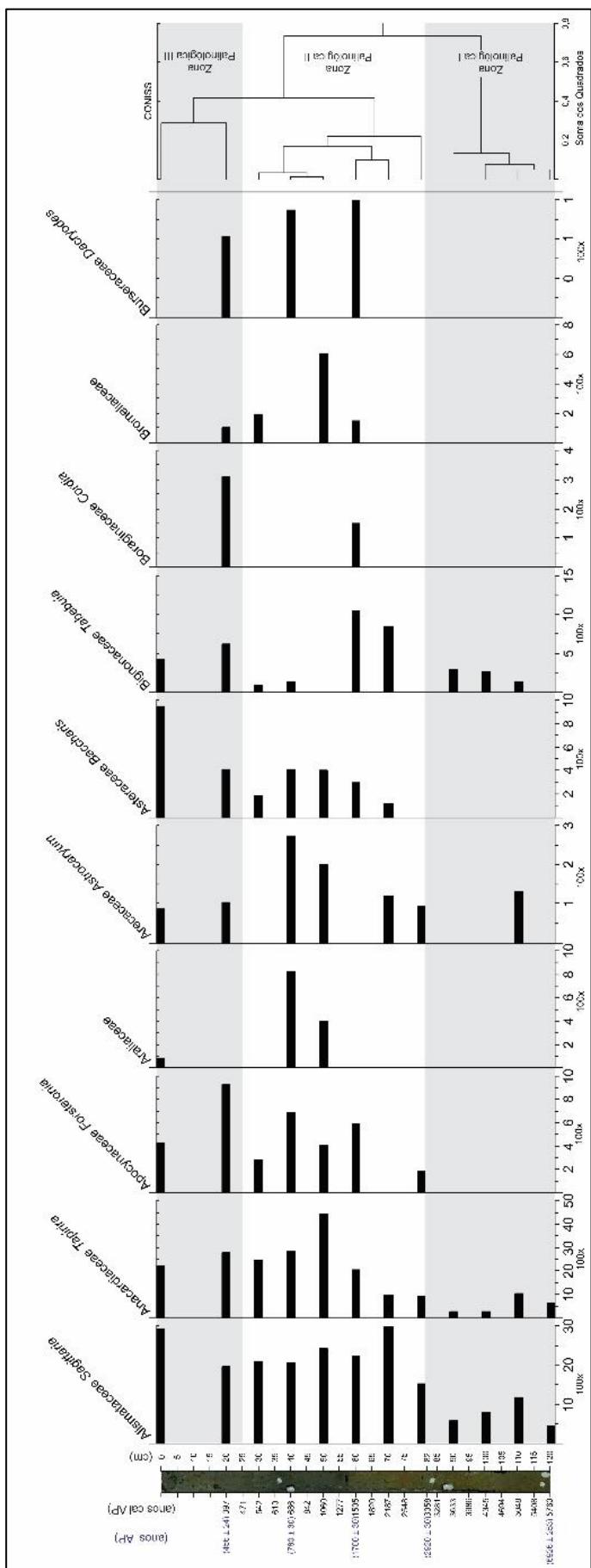


Gráfico 1: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) por táxon observado durante a contagem (parte 1) com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.

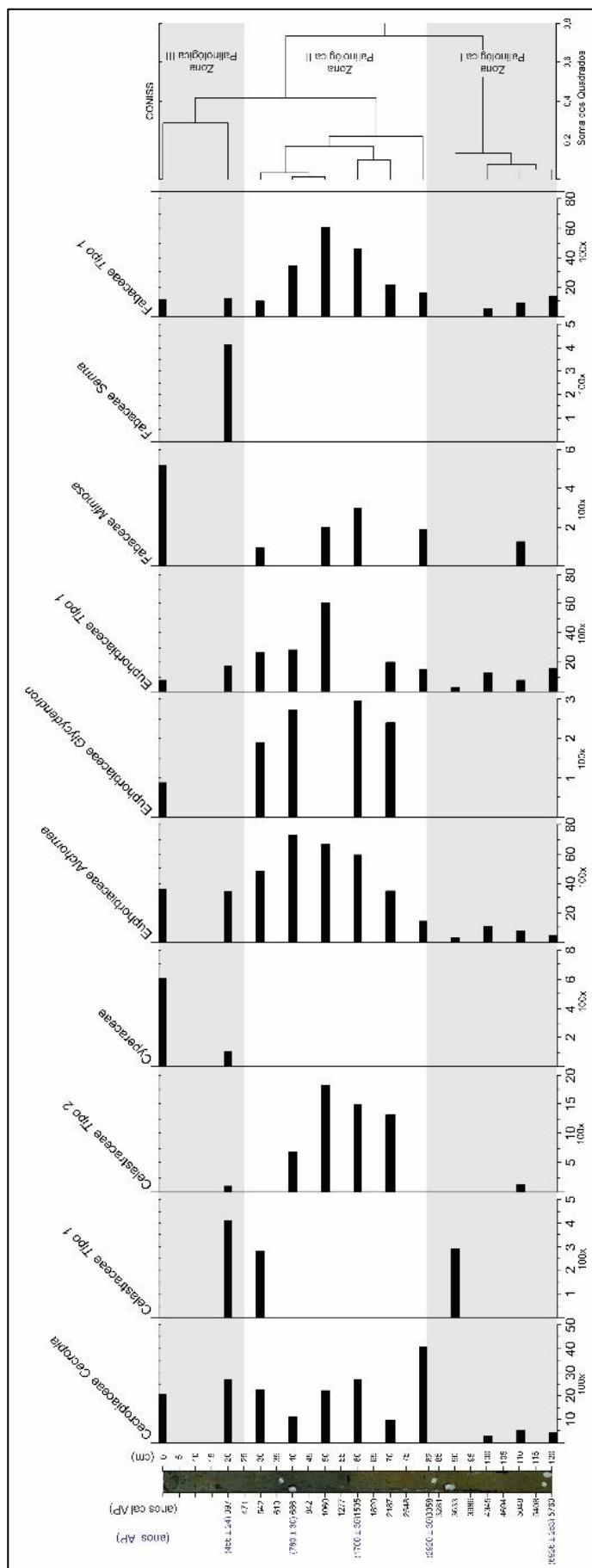


Gráfico 2: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) por táxon observado durante a contagem (parte 2) com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.

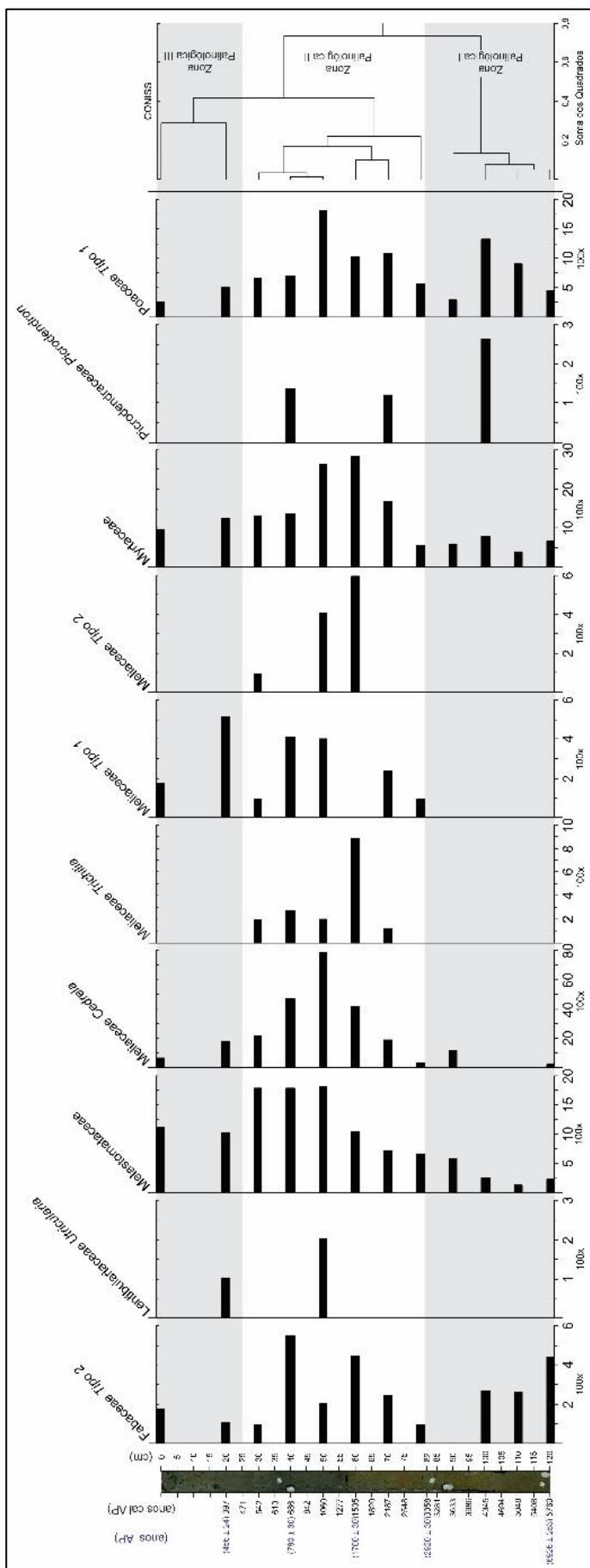
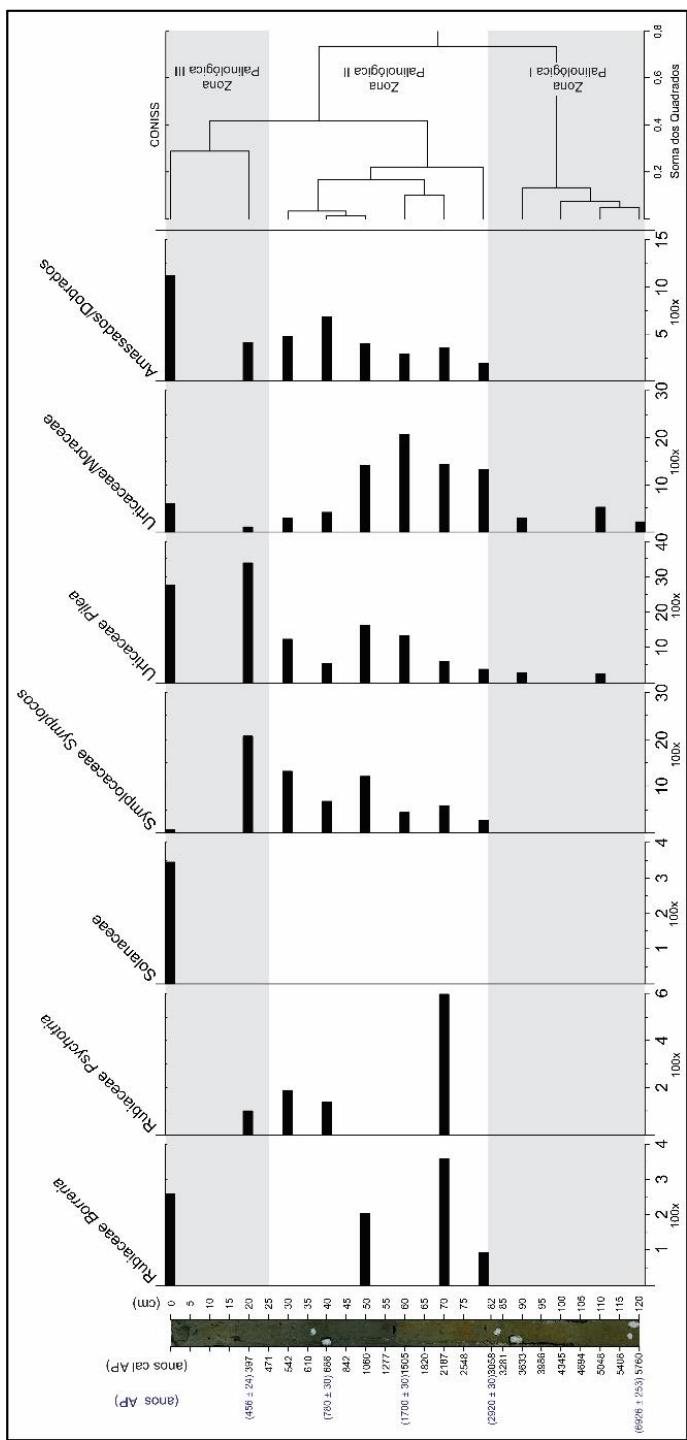


Gráfico 3: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) por táxon observado durante a contagem (parte 3) com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.



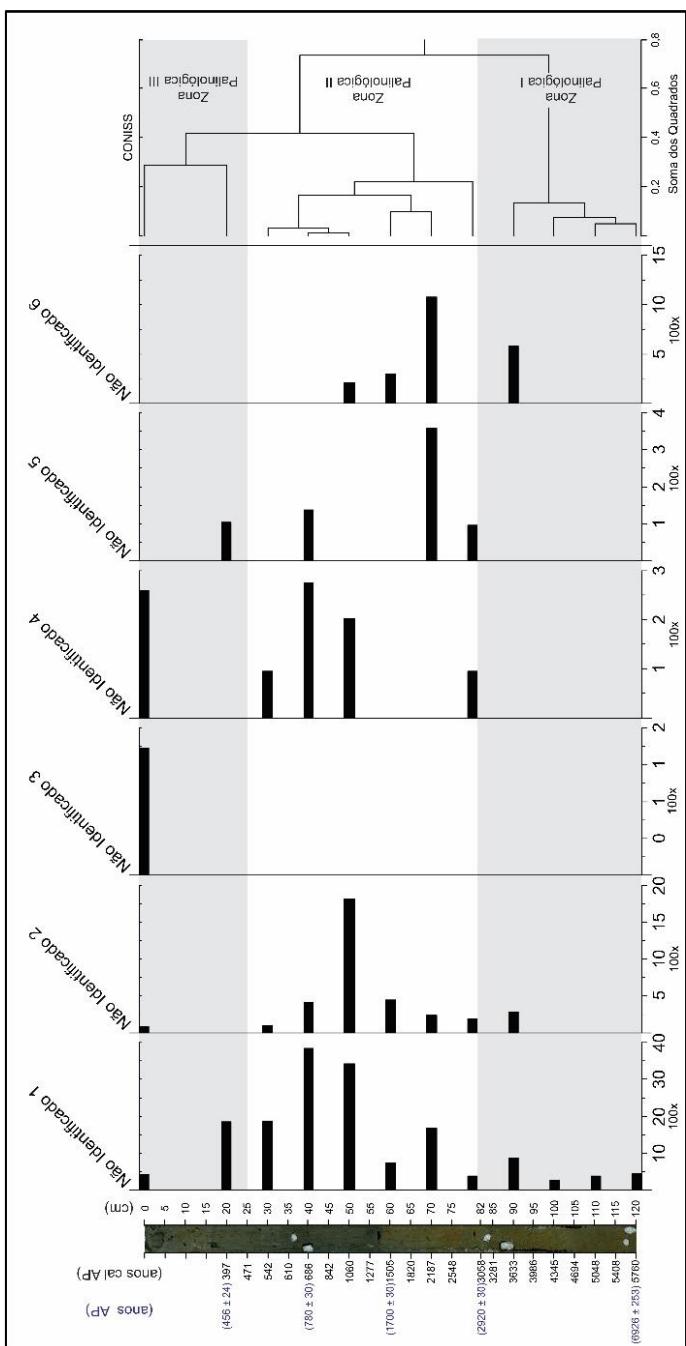


Gráfico 5: Gráfico polínico de concentração (grãos/cm³) por táxon não identificados durante a contagem com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ¹⁴C.

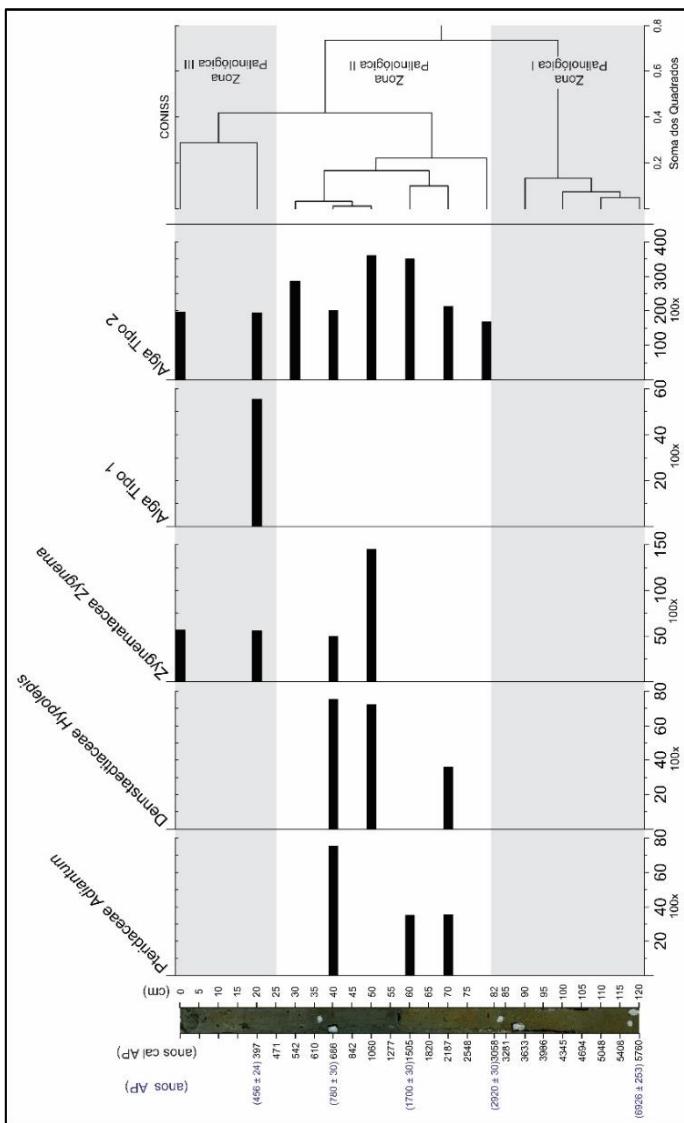


Gráfico 6: Gráfico de concentração (palinomorfos/ cm^3) dos palinomorfos observado durante a contagem com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

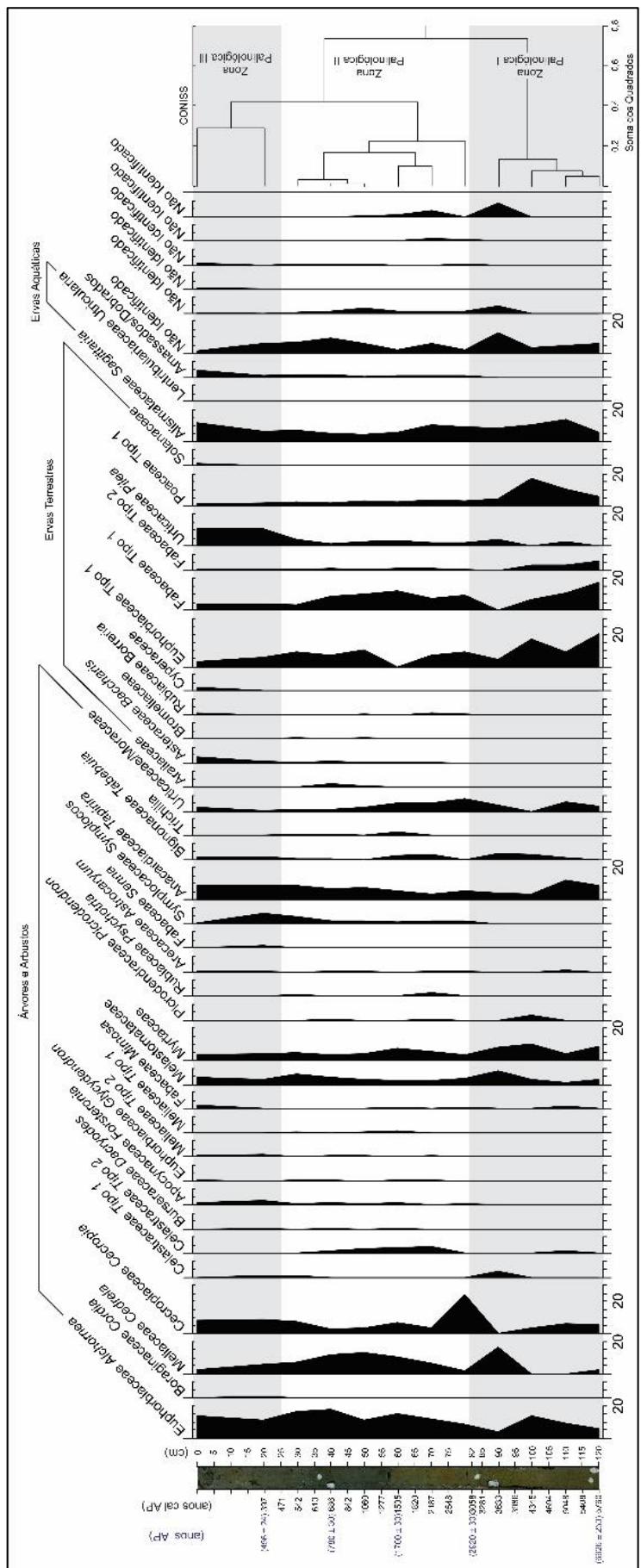


Gráfico 7: Gráfico polínico da porcentagem dos taxa observados durante a contagem com a divisão das zonas palinológicas de acordo com o subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

ANEXO IV

DADOS GEOQUÍMICOS

Tabela 1: Dados geoquímicos obtidos através de XRF.

Prof (cm)	A.P.	TOC	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Zr	Mo	Ba	Pb
0	0	5,7646	9,4502	21,7675	0,0152	0,1828	0,7565	0,1200	0,4749	0,0289	3,8834	0,0015	0,0030	0,0011	0,0125	0,0008	0,0031	0,0160	0,0041	0,0681	0,0012
2	39	5,3900	9,2895	20,6179	0,0043	0,1875	0,7444	0,0857	0,4718	0,0296	3,7988	0,0015	0,0031	0,0009	0,0114	0,0008	0,0020	0,0144	0,0044	0,0267	0,0013
4	78	5,4047	9,1902	20,2147	0,0030	0,1928	0,7151	0,0838	0,4612	0,0262	3,6051	0,0016	0,0033	0,0012	0,0116	0,0007	0,0022	0,0137	0,0042	0,0464	0,0013
6	117	4,6846	9,9554	21,3875	0,0030	0,2015	0,7653	0,0818	0,4662	0,0252	3,5243	0,0016	0,0034	0,0009	0,0116	0,0007	0,0024	0,0157	0,0040	0,0551	0,0011
8	153	4,6315	7,1175	16,7118	0,0000	0,1786	0,5449	0,0407	0,3624	0,0261	3,5365	0,0013	0,0032	0,0009	0,0113	0,0007	0,0022	0,0144	0,0043	0,0280	0,0011
10	192	4,8704	9,3068	19,9203	0,0002	0,1726	0,7186	0,0652	0,4470	0,0256	3,4927	0,0016	0,0032	0,0010	0,0114	0,0008	0,0020	0,0134	0,0045	0,0524	0,0013
12	231	4,3773	9,9362	20,9242	0,0019	0,1874	0,7534	0,0589	0,4568	0,0257	3,3830	0,0015	0,0034	0,0008	0,0112	0,0007	0,0025	0,0169	0,0038	0,0588	0,0012
14	270	4,3814	9,9756	21,6953	0,0071	0,1921	0,7950	0,0428	0,4577	0,0225	3,5730	0,0015	0,0034	0,0009	0,0107	0,0007	0,0027	0,0162	0,0038	0,0507	0,0012
16	309	4,2564	10,2703	21,5433	0,0048	0,1928	0,7879	0,0670	0,4712	0,0240	3,4905	0,0013	0,0029	0,0006	0,0114	0,0007	0,0017	0,0133	0,0043	0,0367	0,0013
18	348	4,1229	10,4374	21,0498	0,0000	0,2059	0,8005	0,0550	0,4736	0,0212	3,4529	0,0010	0,0031	0,0006	0,0109	0,0008	0,0024	0,0163	0,0038	0,0801	0,0015
20	397	4,2371	9,9998	20,5264	0,0026	0,1870	0,7880	0,0470	0,4529	0,0230	3,5135	0,0014	0,0033	0,0012	0,0108	0,0007	0,0026	0,0158	0,0039	0,0489	0,0013
22	426	4,2561	10,6032	21,4996	0,0045	0,1886	0,7976	0,0538	0,4759	0,0211	3,5090	0,0014	0,0032	0,0011	0,0110	0,0007	0,0024	0,0177	0,0039	0,0552	0,0012
24	456	3,9549	10,6170	21,4691	0,0055	0,1789	0,8515	0,0537	0,4849	0,0226	3,4915	0,0014	0,0029	0,0011	0,0110	0,0007	0,0028	0,0169	0,0035	0,0348	0,0012
26	485	3,9062	10,2145	21,2982	0,0028	0,1901	0,8100	0,0514	0,4736	0,0240	3,5085	0,0012	0,0032	0,0012	0,0113	0,0007	0,0027	0,0180	0,0038	0,0682	0,0012
28	514	3,8684	9,7331	21,0072	0,0031	0,1952	0,7929	0,0545	0,4836	0,0228	3,5843	0,0015	0,0033	0,0009	0,0105	0,0007	0,0028	0,0192	0,0035	0,0575	0,0012
30	542	3,9912	10,1156	21,6592	0,0059	0,2012	0,8364	0,0514	0,4896	0,0218	3,5455	0,0014	0,0039	0,0013	0,0111	0,0008	0,0031	0,0188	0,0034	0,0970	0,0016
32	569	3,9777	9,6226	22,4911	0,0073	0,1867	0,8499	0,0542	0,4912	0,0232	3,5408	0,0015	0,0033	0,0012	0,0105	0,0008	0,0028	0,0205	0,0029	0,0528	0,0015
34	597	4,0062	9,6290	22,5174	0,0071	0,1741	0,8395	0,0526	0,5001	0,0217	3,5655	0,0014	0,0034	0,0014	0,0110	0,0008	0,0028	0,0198	0,0032	0,0803	0,0015
36	625	4,2108	8,9934	22,8204	0,0096	0,1697	0,8246	0,0653	0,4956	0,0237	3,4614	0,0012	0,0033	0,0014	0,0107	0,0008	0,0033	0,0217	0,0026	0,0972	0,0016
38	656	4,3010	9,0833	22,6230	0,0065	0,1748	0,8513	0,0436	0,5041	0,0209	3,8994	0,0017	0,0031	0,0011	0,0109	0,0008	0,0031	0,0205	0,0032	0,0590	0,0013
40	686	4,2297	9,2184	22,6300	0,0104	0,1759	0,8208	0,0531	0,5247	0,0220	3,7130	0,0013	0,0029	0,0012	0,0107	0,0007	0,0030	0,0209	0,0030	0,0418	0,0013
42	749	4,2043	9,4220	23,0347	0,0131	0,1708	0,8576	0,0537	0,5018	0,0218	3,6423	0,0015	0,0030	0,0011	0,0115	0,0008	0,0035	0,0230	0,0028	0,0667	0,0012
44	811	4,2254	8,9252	22,9130	0,0095	0,1588	0,8245	0,0464	0,5041	0,0201	3,6708	0,0016	0,0025	0,0008	0,0099	0,0007	0,0028	0,0202	0,0031	0,0879	0,0013
46	886	4,1204	8,8278	23,5826	0,0260	0,1641	0,8482	0,0587	0,5340	0,0206	3,8255	0,0017	0,0031	0,0013	0,0107	0,0008	0,0033	0,0235	0,0029	0,1082	0,0015
48	973	4,0282	8,7876	23,3665	0,0093	0,1792	0,8393	0,0538	0,5005	0,0236	3,5008	0,0011	0,0028	0,0007	0,0104	0,0007	0,0031	0,0230	0,0030	0,0668	0,0014

50	1060	3,9321	8,5471	23,5898	0,0135	0,1673	0,8343	0,0528	0,5168	0,0210	3,5910	0,0014	0,0030	0,0009	0,0107	0,0007	0,0032	0,0243	0,0029	0,0761	0,0013
52	1147	3,8694	8,7487	23,6175	0,0246	0,1545	0,8618	0,0516	0,5144	0,0210	3,4298	0,0011	0,0027	0,0009	0,0104	0,0007	0,0030	0,0214	0,0029	0,0699	0,0016
54	1233	3,9351	8,9901	23,6271	0,0165	0,1644	0,8724	0,0611	0,5421	0,0227	3,4431	0,0012	0,0026	0,0009	0,0098	0,0007	0,0029	0,0222	0,0028	0,0175	0,0013
56	1322	3,9145	8,5772	23,6562	0,0226	0,1721	0,8692	0,0494	0,4889	0,0221	3,2024	0,0010	0,0027	0,0012	0,0087	0,0006	0,0029	0,0229	0,0029	0,0808	0,0011
58	1414	3,1300	7,7911	23,7193	0,1370	0,0517	0,7563	0,0445	0,4670	0,0260	3,9270	0,0011	0,0024	0,0004	0,0075	0,0005	0,0029	0,0206	0,0024	0,0784	0,0016
60	1505	3,1609	9,6671	21,6227	0,0142	0,1462	0,8710	0,0486	0,4953	0,0199	4,4166	0,0019	0,0024	0,0012	0,0096	0,0006	0,0028	0,0220	0,0026	0,0486	0,0013
62	1631	3,2159	9,1320	22,2122	0,0271	0,1452	0,8414	0,0535	0,4770	0,0216	4,2770	0,0017	0,0029	0,0012	0,0109	0,0007	0,0033	0,0238	0,0021	0,0941	0,0012
64	1757	3,0770	8,7838	23,1736	0,0361	0,1950	0,9034	0,0455	0,5167	0,0215	4,0036	0,0017	0,0025	0,0013	0,0096	0,0006	0,0033	0,0246	0,0023	0,0310	0,0010
66	1893	2,9139	8,5360	23,4449	0,0172	0,1588	0,8950	0,0444	0,4948	0,0212	3,7383	0,0012	0,0025	0,0010	0,0100	0,0007	0,0034	0,0244	0,0023	0,0936	0,0014
68	2040	2,8523	9,0536	23,1294	0,0202	0,1545	0,9367	0,0631	0,5575	0,0207	3,7358	0,0013	0,0023	0,0010	0,0096	0,0007	0,0031	0,0279	0,0022	0,0855	0,0012
70	2187	2,4856	10,6018	20,5878	0,0069	0,1286	0,9907	0,0389	0,5563	0,0239	4,2457	0,0017	0,0030	0,0013	0,0123	0,0009	0,0031	0,0265	0,0020	0,0693	0,0012
72	2331	2,2433	11,1330	21,4571	0,0125	0,1390	1,0297	0,0378	0,5393	0,0202	4,1806	0,0015	0,0037	0,0019	0,0120	0,0009	0,0036	0,0270	0,0016	0,1092	0,0014
74	2476	1,8919	10,3953	21,2321	0,0076	0,1590	0,9680	0,0309	0,4964	0,0201	4,4577	0,0017	0,0033	0,0014	0,0115	0,0008	0,0032	0,0242	0,0022	0,0974	0,0013
76	2621	0,7047	7,9621	25,1380	0,0254	0,1471	0,9345	0,0267	0,4045	0,0182	3,4079	0,0008	0,0020	0,0004	0,0080	0,0005	0,0039	0,0190	0,0022	0,0000	0,0012
78	2765	0,5992	6,9025	27,2957	0,0298	0,1410	0,8079	0,0166	0,2889	0,0164	2,5599	0,0002	0,0017	0,0000	0,0061	0,0004	0,0039	0,0197	0,0021	0,0370	0,0012
80	2909	0,5318	6,8790	25,7403	0,0235	0,1537	0,8514	0,0222	0,2747	0,0171	2,4977	0,0000	0,0015	0,0000	0,0059	0,0004	0,0034	0,0174	0,0026	0,0577	0,0009
82	3058	0,5623	6,1632	26,0732	0,2550	0,0000	0,8064	0,0110	0,3234	0,0194	2,5099	0,0000	0,0020	0,0000	0,0056	0,0004	0,0036	0,0125	0,0028	0,0000	0,0011
84	3206	0,2968	7,2907	26,9724	0,0178	0,1612	1,1241	0,0056	0,2115	0,0136	1,4440	0,0000	0,0011	0,0000	0,0022	0,0002	0,0025	0,0122	0,0034	0,0076	0,0009
86	3351	0,4657	7,4941	27,1749	0,0158	0,1607	0,7250	0,0252	0,2504	0,0165	1,9119	0,0001	0,0019	0,0000	0,0035	0,0003	0,0034	0,0119	0,0023	0,0041	0,0008
88	3492	0,3175	6,5169	29,0138	0,0177	0,1474	0,8574	0,0510	0,1862	0,0140	1,2332	0,0000	0,0014	0,0000	0,0009	0,0002	0,0028	0,0221	0,0020	0,0000	0,0008
90	3633	0,1025	2,9213	34,8393	0,0318	0,1712	0,6256	0,0000	0,0410	0,0130	0,9316	0,0001	0,0010	0,0000	0,0000	0,0002	0,0027	0,0109	0,0031	0,0000	0,0009
92	3774	0,0994	4,2811	34,0626	0,0285	0,1674	1,0372	0,0132	0,1468	0,0161	0,9442	0,0002	0,0013	0,0000	0,0000	0,0002	0,0036	0,0117	0,0022	0,0000	0,0008
94	3915	0,0569	2,5712	36,6608	0,0377	0,1531	0,7300	0,0000	0,0142	0,0137	0,7963	0,0002	0,0009	0,0000	0,0000	0,0002	0,0029	0,0126	0,0023	0,0000	0,0007
96	4057	0,0236	2,8574	34,2731	0,0195	0,1089	0,5411	0,0000	0,0433	0,0143	0,7034	0,0003	0,0010	0,0000	0,0000	0,0002	0,0026	0,0151	0,0024	0,0000	0,0006
98	4201	0,0107	3,2585	34,3308	0,0322	0,1371	1,2904	0,0006	0,0497	0,0138	0,6218	0,0003	0,0011	0,0000	0,0000	0,0001	0,0056	0,0088	0,0025	0,0000	0,0008
100	4345	0,0545	3,0729	34,5832	0,0245	0,1590	0,1656	0,0000	0,0366	0,0132	0,6440	0,0003	0,0011	0,0000	0,0000	0,0002	0,0029	0,0104	0,0031	0,0000	0,0009
102	4484	0,2278	4,0717	31,8526	0,0127	0,1372	0,4554	0,0000	0,0892	0,0136	0,8718	0,0002	0,0012	0,0000	0,0000	0,0002	0,0025	0,0133	0,0029	0,0000	0,0007
104	4624	0,1340	4,2102	29,3600	0,0020	0,1195	0,4622	0,0000	0,0768	0,0141	0,7449	0,0001	0,0013	0,0000	0,0000	0,0001	0,0026	0,0081	0,0030	0,0000	0,0009

106	4765	0,0875	4,5570	31,3247	0,0133	0,1412	0,6568	0,0000	0,1125	0,0142	0,7744	0,0002	0,0011	0,0000	0,0000	0,0002	0,0024	0,0063	0,0031	0,0001	0,0005
108	4907	0,1563	5,0058	29,5592	0,0101	0,1444	0,3593	0,0000	0,0652	0,0140	1,0746	0,0001	0,0013	0,0000	0,0012	0,0002	0,0031	0,0078	0,0031	0,0000	0,0006
110	5048	0,2016	5,1518	30,4935	0,0153	0,1608	0,5448	0,0098	0,1486	0,0141	1,0607	0,0002	0,0011	0,0000	0,0007	0,0002	0,0033	0,0107	0,0026	0,0000	0,0007
112	5192	0,2083	5,2270	30,9145	0,0217	0,1565	0,7640	0,0000	0,0875	0,0129	1,4917	0,0002	0,0012	0,0000	0,0010	0,0002	0,0033	0,0067	0,0028	0,0014	0,0010
114	5336	0,1444	4,5440	30,2420	0,0154	0,1313	0,3961	0,0000	0,0721	0,0126	1,0430	0,0003	0,0007	0,0000	0,0002	0,0002	0,0046	0,0064	0,0032	0,0000	0,0006
116	5479	0,1618	4,0527	30,9738	0,0257	0,1312	0,5934	0,0078	0,0736	0,0137	1,2164	0,0002	0,0010	0,0000	0,0004	0,0002	0,0032	0,0066	0,0028	0,0000	0,0008
118	5619	0,0822	3,9025	30,0252	0,0148	0,1303	0,4295	0,0188	0,0670	0,0144	1,1147	0,0002	0,0008	0,0000	0,0003	0,0001	0,0027	0,0084	0,0031	0,0000	0,0006
120	5760	0,1300	4,7977	31,6371	0,0317	0,1483	0,7087	0,0000	0,0794	0,0143	1,1530	0,0001	0,0009	0,0000	0,0000	0,0002	0,0027	0,0063	0,0029	0,0000	0,0008
122		0,1043	4,0238	33,0903	0,0269	0,1499	0,3216	0,0000	0,0507	0,0127	1,2282	0,0001	0,0011	0,0000	0,0005	0,0002	0,0047	0,0090	0,0026	0,0000	0,0011

ANEXO V

GRÁFICOS GEOQUÍMICOS

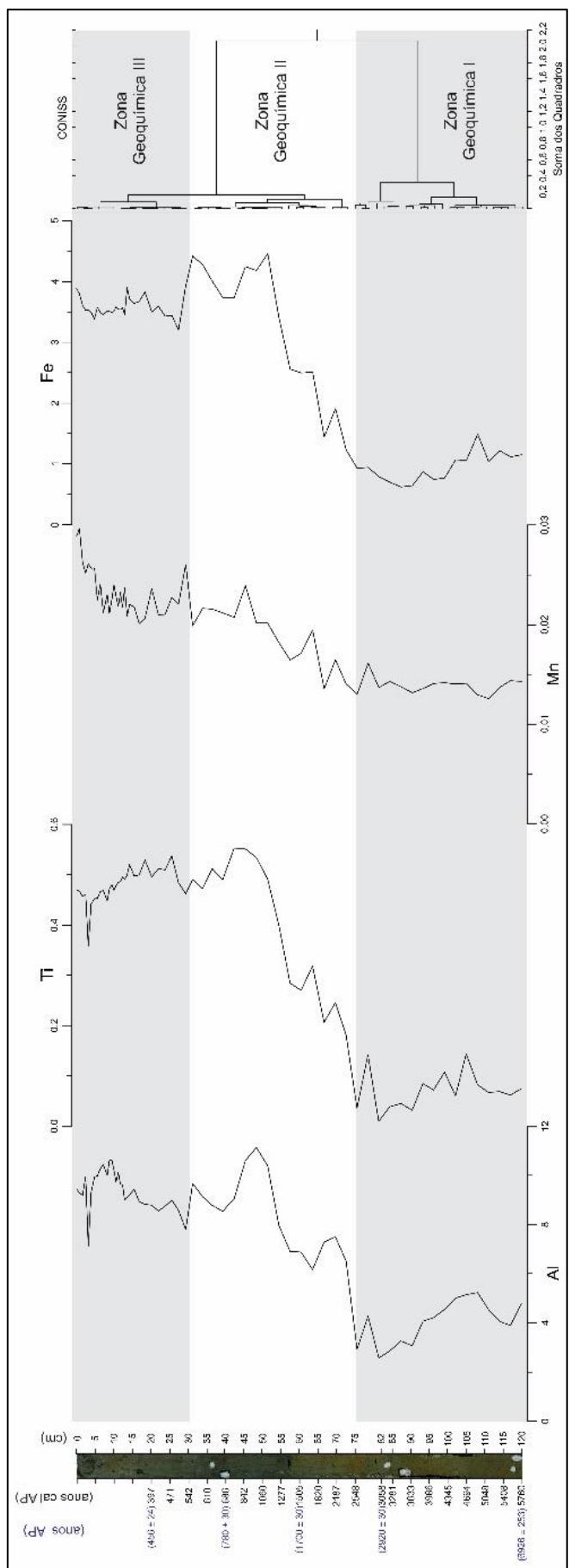


Gráfico 1: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos metálicos (Al, Ti, Mn, Fe) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

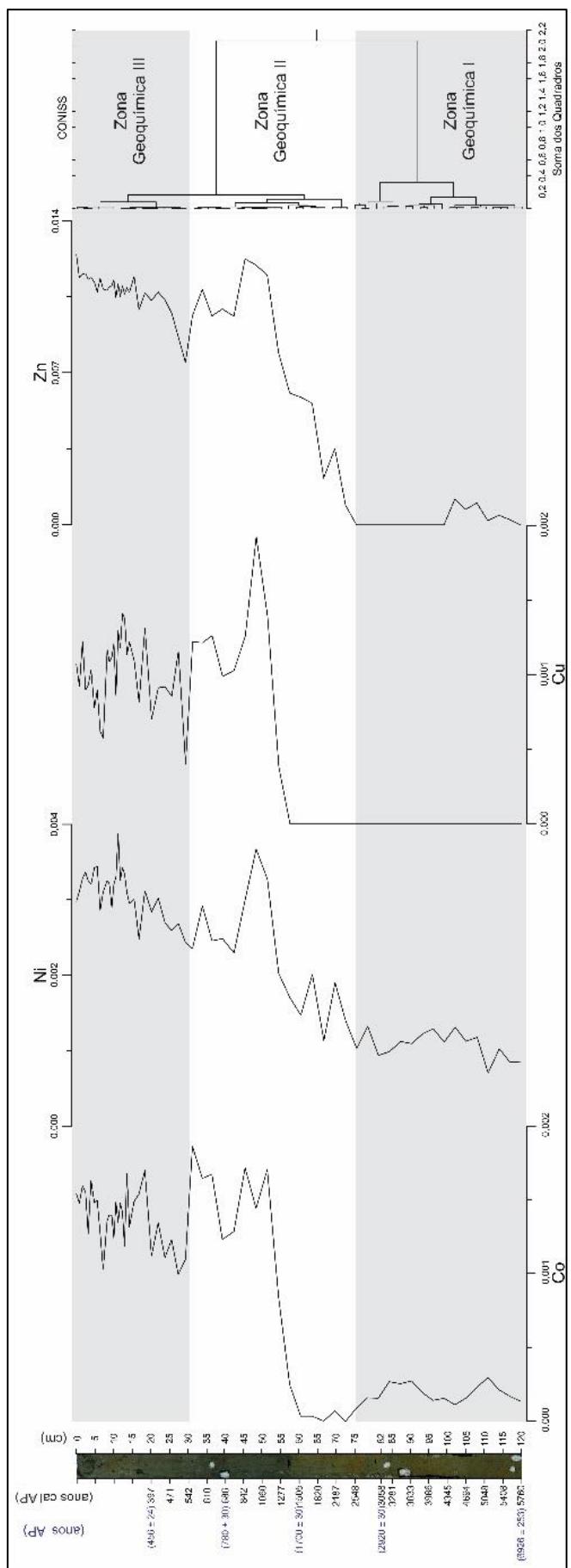


Gráfico 2: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos metálicos (Co, Ni, Cu, Zn) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

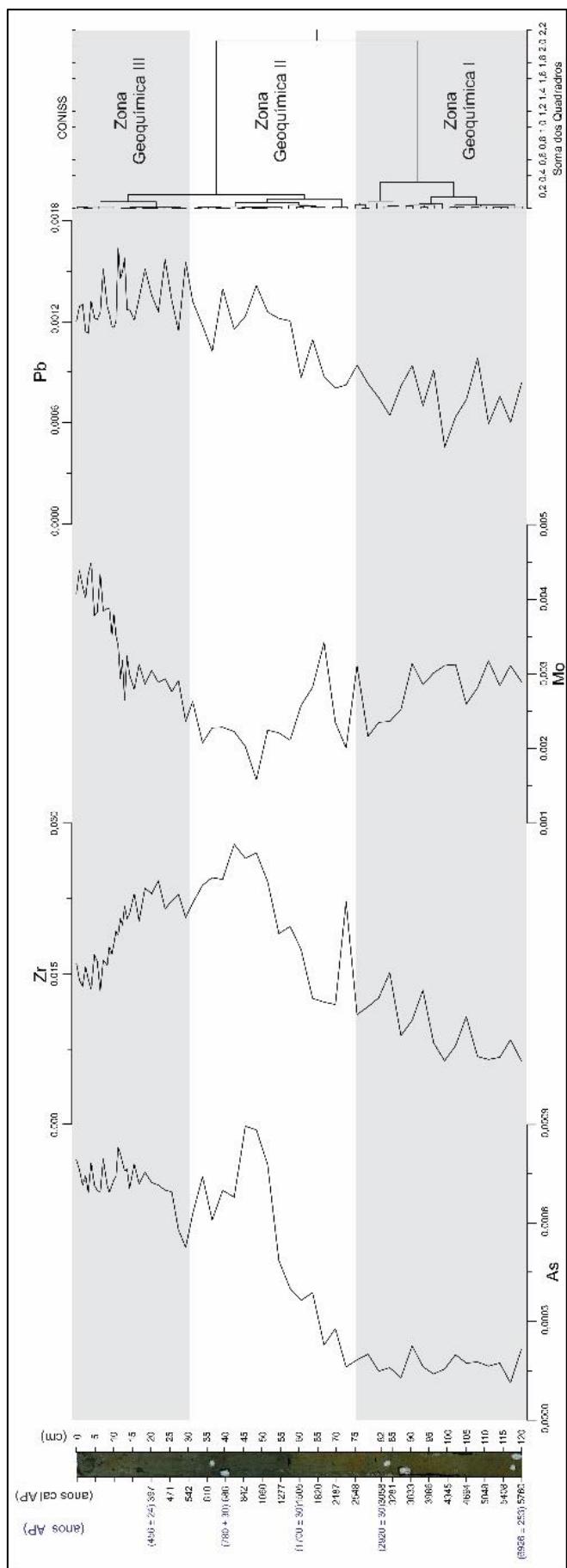


Gráfico 3: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos metálicos (As, Zr, Mo, Pb) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

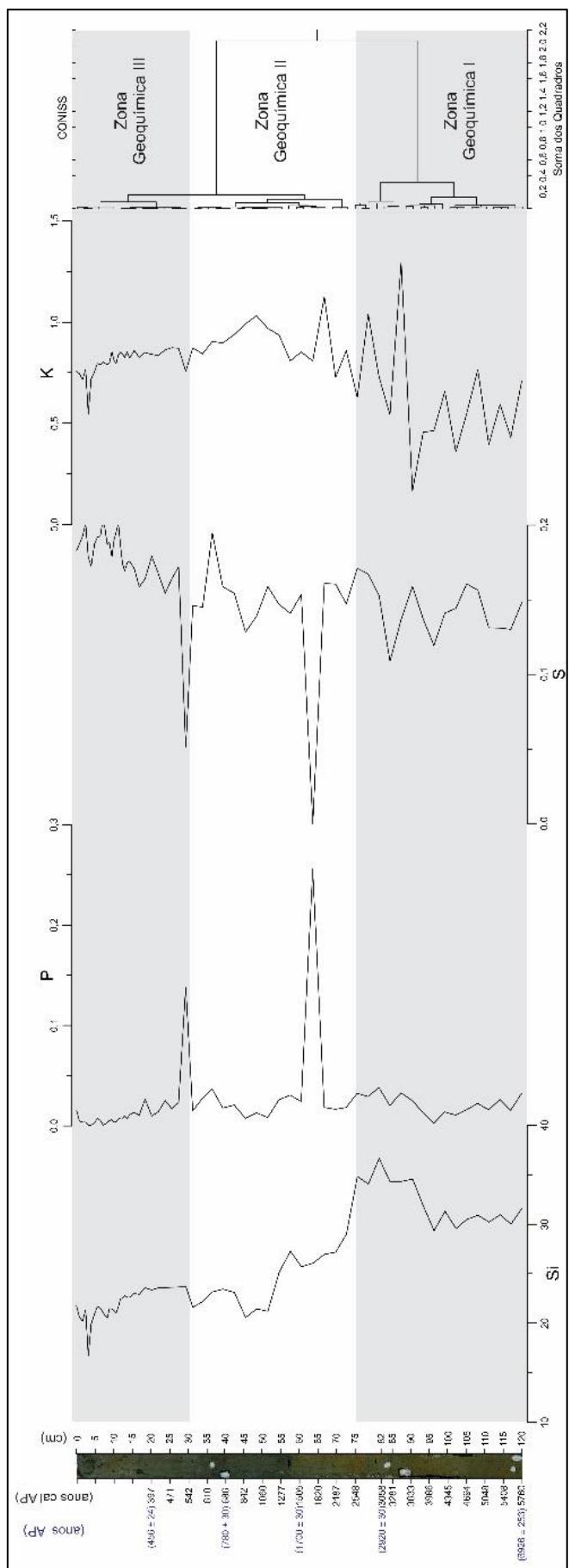


Gráfico 4: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos não metálicos (Si, P, S, K) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

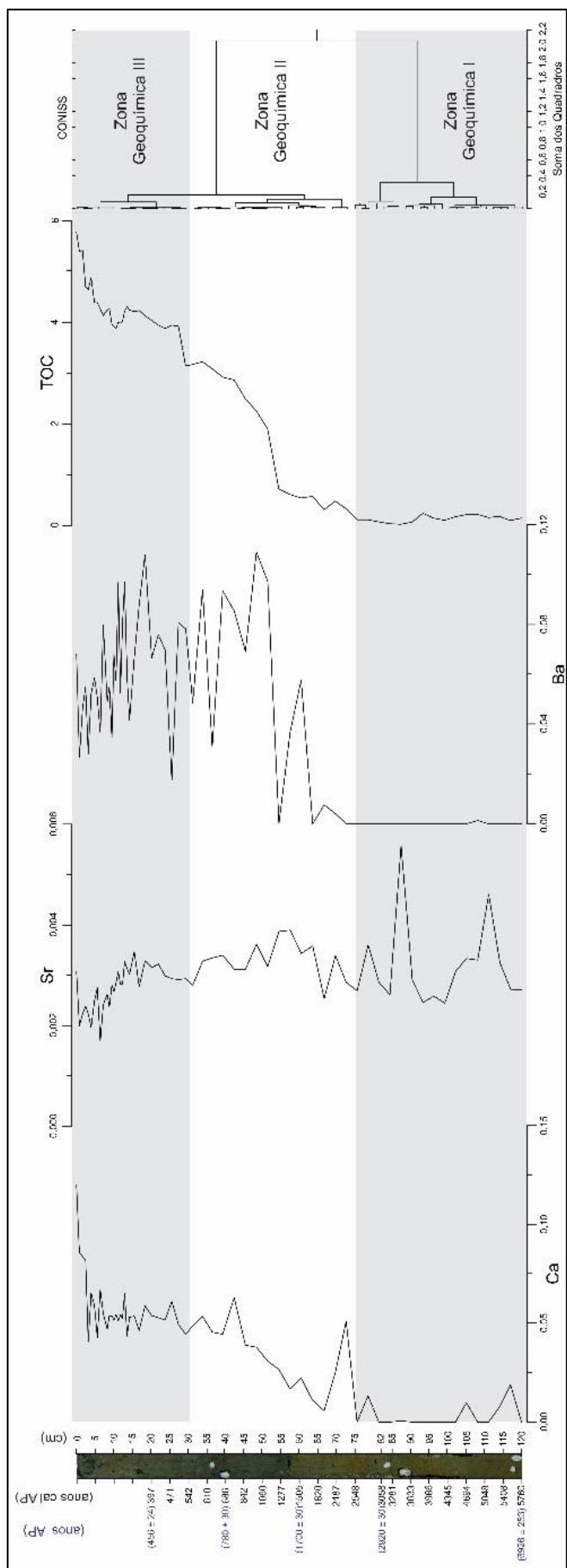


Gráfico 5: Gráfico geoquímico da intensidade do sinal (cps) dos elementos não metálicos (Ca, Sr, Ba) e carbono orgânico total (TOC) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CON/SS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

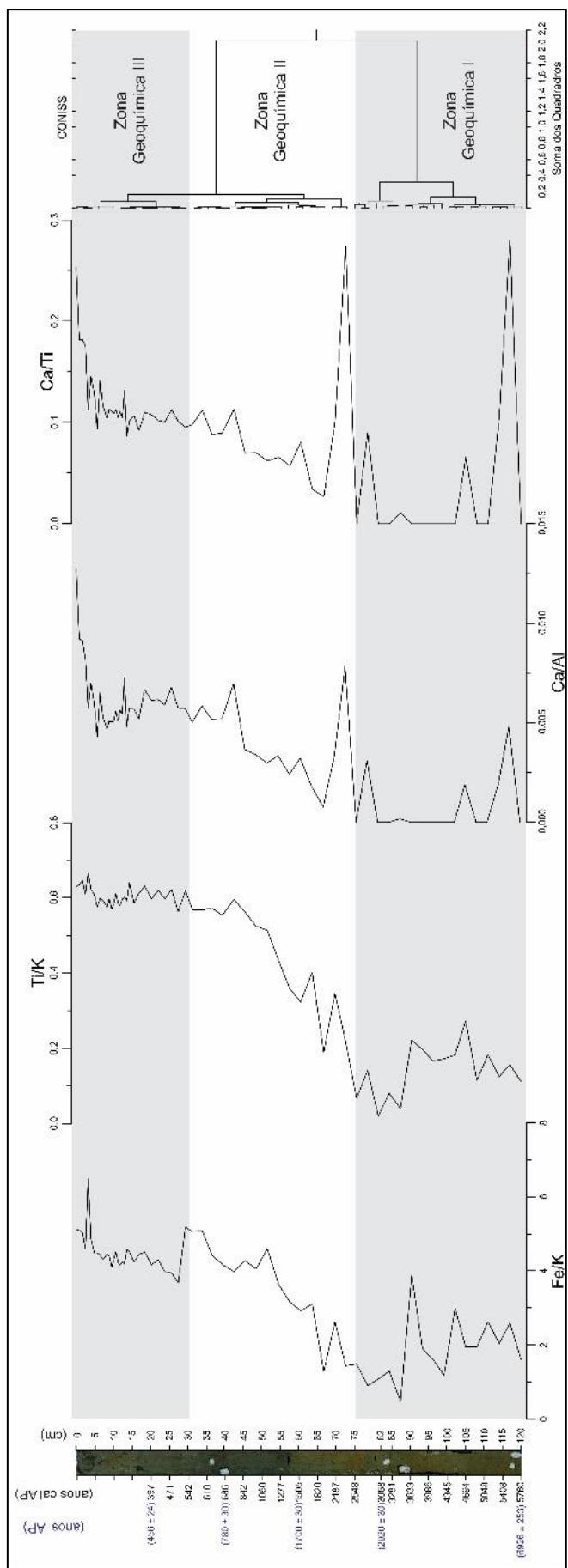


Gráfico 6: Gráfico das razões (Fe/K, Ti/K, Ca/Al, Ca/Ti) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CONISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .

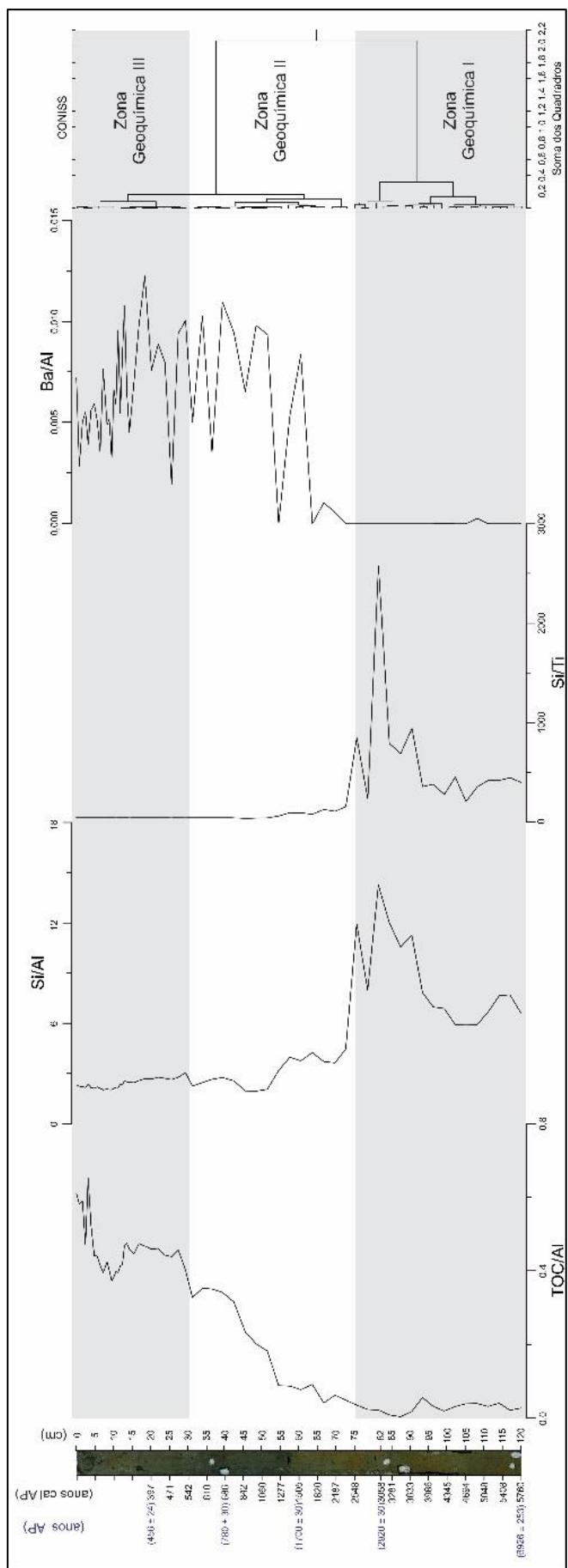


Gráfico 7: Gráfico das razões (TOC/Al, Si/Al, Si/Ti, Ba/Al) e as divisões das Zonas Geoquímicas realizada por meio do subprograma CON/ISS. Em preto as idades modeladas e em azul os pontos e as idades ^{14}C .