

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

GIOVANNI MOREIRA DE SOUSA

PALINOESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS NEÓGENOS DA REGIÃO  
NORDESTE DE EIRUNEPÉ, BACIA DO SOLIMÕES, AMAZONAS

MANAUS

2022

GIOVANNI MOREIRA DE SOUSA

PALINOESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS NEÓGENOS DA REGIÃO  
NORDESTE DE EIRUNEPÉ, BACIA DO SOLIMÕES, AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências. Linha de Pesquisa: Geologia Sedimentar e Meio Ambiente

ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA

Manaus

2022

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S725p Sousa, Giovanni Moreira de  
Palinoestratigrafia dos depósitos Neógenos da região nordeste de Eirunepé, Bacia do Solimões, Amazonas / Giovanni Moreira de Sousa . 2022  
96 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Rosemary Rocha da Silveira  
Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Palinomorfos. 2. Bioestratigrafia. 3. Paleoambiente. 4. Mioceno.  
I. Silveira, Rosemary Rocha da. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

GIOVANNI MOREIRA DE SOUSA

PALINOESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS NEÓGENOS DA REGIÃO  
NORDESTE DE EIRUNEPÉ, BACIA DO SOLIMÕES, AMAZONAS

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geociências da Universidade Federal  
do Amazonas, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Mestre  
em Geociências, área de  
concentração em Geociências.

Aprovado em 14 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosemary Rocha da Silveira, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Emilio Alberto Amaral Soares, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Lucindo Antunes Fernandes Filho, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas  
Departamento de Geociências

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus queridos pais e irmão.*

## RESUMO

Nas exposições rochosas das comunidades Torre da Lua e Aquidabã, adjacências da região do município de Eirunepé, sudeste do Estado do Amazonas, foram coletadas 35 amostras de 2 (dois) afloramentos situados nas proximidades das comunidades supracitadas, cujos litótipos caracterizam a Formação Solimões. Por meio de levantamento estratigráfico e estudos palinológicos pretende-se fornecer informações de grupos palinomorfos, contextualizar o paleoambiente e posicionar cronoestratigraficamente a Formação Solimões na região de Eirunepé a partir dos afloramentos estudados. O conteúdo paleontológico é representado por fósseis de animais (e. g., moluscos, fragmento de casco de quelônio, fragmento ósseo de vertebrado e escama de peixe) e vegetais (fragmentos lenhosos e impressões foliares carbonizadas). A análise microflorística culminou na identificação de 8 espécies, 1 (um) esporo de fungo, 5 (cinco) esporos de licófitas e samambaias e 2 (dois) grãos de pólen de angiospermas, respectivamente: *Frasnacritetrus indicus*, *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae* e *Grimsdalea magnaclavata*. A análise de fácies sedimentares resultou na identificação de 6 (seis) litofácies: ortoconglomerado maciço (Cm), arenito com laminação cruzada (Ac), arenito maciço (Am), pelito maciço fossilífero (Pmf), pelito maciço (Pm) e linhito (L). Essas litofácies foram agrupadas em 2 (duas) associações de fácies, Lago (AF1) e Espreadimento de *crevasse* (AF2), em um contexto ambiental caracterizado por depósitos de decantação de argila com preservação de matéria orgânica em que, esporadicamente, houve aumento de tração, constatado pela ocorrência de *inputs* de arenitos e conglomerado. Já os dados palinológicos — que por meio da ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, apontam idade neomiocena para os depósitos da Formação Solimões — aliados aos dados faciológicos e da literatura, além de reconstituições paleoambientais realizadas em regiões próximas à deste trabalho, permitem afirmar que a referida unidade consiste em depósitos de planície de inundação formados em um ambiente flúvio-lacustre.

**Palavras-chave:** Palinomorfos, Bioestratigrafia, Paleoambiente, Mioceno.

## ABSTRACT

In two outcrops of the Solimões Formation, in the communities Torre da Lua and Aquidabã, region of Eirunepé, southeast of Amazonas, 35 samples were collected where, through palynological studies and stratigraphic survey, we aimed to provide information on palynomorph groups, contextualize the paleoenvironment and chronostratigraphically position the Solimões Formation in this region. The paleontological content is represented by animal fossils (e.g., molluscs, fragments of a chelonian shell, vertebrate bone fragment and fish scales) and plants (woody fragments and charred leaf impressions). The microfloristic analysis resulted in the identification of 8 species, 1 fungus spore, 5 lycophyte and fern spores and 2 angiosperm pollen grains, respectively: *Frasnacritetrus indicus*, *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae* and *Grimsdalea magnaclavata*. The analysis of sedimentary facies resulted in the identification of 6 lithofacies: massive orthoconglomerate (Cm), cross-laminated sandstone (Ac), massive sandstone (Am), massive fossiliferous pelite (Pmf), massive pelite (Pm) and lignite (L). These lithofacies were grouped into 2 facies associations, Lake (AF1) and Crevasse splay (AF2), in an environmental context characterized by clay decantation deposits with preservation of organic matter in which, sporadically, there was an increase in traction, confirmed by the occurrence of sandstone and conglomerate inputs. Palynological data — which, through the occurrence of *Grimsdalea magnaclavata*, indicate a Neomiocene age for the Solimões Formation deposits — combined with faciological and literature data, as well as paleoenvironmental reconstructions carried out in regions close to this work, allow us to state that the referred unit consists of floodplain deposits formed in a fluvial-lacustrine environment.

**Keywords:** Palynomorphs, Biostratigraphy, Paleoenvironment, Miocene.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização das comunidades Torre da Lua e Aquidabã, onde foram obtidas as amostras estudadas neste trabalho, nas adjacências do município de Eirunepé..... 15
- Figura 2 – Grãos de pólen são extremamente diversificados e compreendem uma grande variedade de possíveis combinações de seus elementos característicos, como as típicas perfurações denominadas poros, que podem ocorrer em número de um ou mais no mesmo grão (e.g. monoporado, diporado, triporado); aberturas semelhantes a fendas, denominadas colpos (e.g. monocolpado, tricolpado); ou uma combinação de poros e colpos (e.g. tricolporado). Ilustração adaptada de Carvalho (2011)..... 18
- Figura 3 – (A) Formação das tétrades tetraédricas e consequente marca trilete em esporos. (B) Formação de tétrades tetragonais e consequente marca monolete em esporos (adaptado de CARVALHO, 2011). ..... 19
- Figura 4 – São exibidos os diferentes tipos de laesura que podem ocorrer num esporo. Este elemento consiste em uma abertura/fissura haptotípica resultante da posição da tetrade de esporos, que confere a cada esporo uma cicatriz retilínea, que pode ser monolete, dilete, trilete, ou ainda alete em caso de ausência de laesura (Imagem do autor). ..... 21
- Figura 5 – Alguns exemplos do variado leque de domínios científicos alcançados pela palinologia (adaptado de KAPP *et al.*, 2000). ..... 23
- Figura 6 – Ilustração do modo de preparação da técnica palinológica segundo o método de Uesugui (1979). 1. Maceração das amostras; 2. Ataque com HCl a 32%; 3. Neutralização com água destilada; 4. Ataque com HF 40%; 5. Neutralização com água destilada; 6. Ataque com HCl 10%; 7. Neutralização com água destilada; 8. Ataque com KOH 10%; 9. Neutralização com água destilada; 10. Peneiramento das amostras; 11. Fixação do resíduo à lamínula após aplicação de goma de acácia e água destilada; 12. Confecção da lâmina na placa aquecedora; 13. Leitura das lâminas no microscópio. (Adaptado de BOM *et al.*, 2011)..... 27
- Figura 7 – Mapa de localização de estudos palinológicos efetuados a partir de furos da CPRM em regiões da Bacia do Solimões estudadas por D’Apolito (2016) [1AS-33AM], Kachniasz & Silva-Caminha (2016) [1AS-31AM], Kachniasz &

Silva-Caminha (2016) [1AS-34AM], Hoorn (1993) [1AS-4a-AM], Gomes <i>et al.</i> (2021) [1AS-15AM], Silva-Caminha (2010) [1AS-19AM e 1AS-27AM], Leandro <i>et al.</i> (2019) [1AS-52AM] e Hoorn (1993) [1AS-51AM]; além de estudos em afloramentos, realizados por Silveira (2015) [Alto Solimões e Coari]. ....	30
Figura 8 – Localização da Bacia do Solimões e suas sub-bacias Arco de Iquitos, Arco de Carauari e Arco de Purus (modificado de BARROSO, 2002). ....	31
Figura 9 – Carta estratigráfica da Bacia do Solimões (modificado de WANDERLEY FILHO <i>et al.</i> , 2007). ....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1A. Relação de ocorrência de esporomorfos em 20 lâminas advindas de 10 amostras de mão, referentes à porção basal do afloramento da comunidade Aquidabã.....	58
Tabela 1B. Relação de ocorrência de esporomorfos em 16 lâminas advindas de 8 amostras de mão, referentes à porção superior do afloramento da comunidade Aquidabã. ....	58
Tabela 2. Relação de ocorrência de esporomorfos em 30 lâminas advindas de 15 amostras de mão, referentes ao afloramento da comunidade Torre da Lua. As amostras 11 e 14 não estão representadas devido à esterilidade de suas respectivas lâminas. ....	59

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. Localização da área .....	14
2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1. Palinologia.....	16
3.1.1. Aspectos gerais .....	16
3.1.2. Distinção de pólen e esporo .....	17
3.1.3. Relevância da Palinologia.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1. Levantamento bibliográfico .....	24
4.2. Trabalho de campo .....	24
4.3. Coleta sistemática de amostras .....	25
4.4. Estudo laboratorial – Técnica de preparação das amostras .....	25
4.4.1. Pré-tratamento químico .....	25
4.4.2. Tratamento químico .....	25
4.5. Análise palinológica .....	28
4.6. Análise de fácies .....	29
5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	30
5.1. Bacia do Solimões .....	30
5.1.1. Preenchimento sedimentar .....	32
5.2. Formação Solimões .....	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
7. CONCLUSÕES .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

Houve significativo aumento no número de pesquisas em geociências para a porção ocidental da Amazônia. Dentre os principais trabalhos, destacam-se Latrubesse *et al.* (2010), na região do Acre; Silva-Caminha *et al.* (2010), no norte da Amazônia, a leste do Arco de Iquitos; Gross *et al.* (2011, 2013, 2014, 2016, 2019), em Eirunepé, Atalaia do Norte e Amazônia peruana; Nogueira *et al.* (2013), na região de Coari.

Sacek (2014), por sua vez, estudou a inversão da bacia de drenagem amazônica; Boonstra *et al.* (2015) efetuaram seus estudos nas Amazônia colombiana e peruana; Silveira & Souza (2015, 2016, 2017), nas regiões de Coari e Alto Solimões; D'Apolito (2016, 2021), na região de Tabatinga; Kachniasz & Silva-Caminha (2016), em Jutaí, no Alto Solimões; já Bicudo (2017) estudou a formação da bacia hidrográfica do rio Amazonas.

Jaramillo *et al.* (2017) estudaram a região de Tabatinga e Amazônia colombiana; Leite *et al.* (2017), Linhares *et al.* (2017, 2019), Medeiros (2017) e Medeiros *et al.* (2017a, 2017b) em Atalaia do Norte; Sá & Carvalho (2017, 2020), em São Paulo de Olivença e Japurá; Guimarães *et al.* (2018), em Jutaí, Alto Solimões.

Bissaro-Jr *et al.* (2019) efetuaram seus estudos em Senador Guimard e Manoel Urbano, municípios do Acre; Horbe *et al.* (2019), em Atalaia do Norte; Jorge *et al.* (2019), na parte oeste da Amazônia brasileira; Leandro *et al.* (2019), em Japurá e Santo Antônio do Içá; e, por fim, D'Apolito *et al.* (2021) e Gomes *et al.* (2021), em Tabatinga.

Neste sentido, o Neógeno foi palco da formação do atual cenário amazônico, um período decisivo no estabelecimento da geografia e da composição biótica como são conhecidos hoje (NOGUEIRA *et al.*, 2013; HOORN *et al.*, 2017, BISSARO-JR *et al.*, 2019; HOORN *et al.*, 2019; JORGE *et al.*, 2019). Uma reorganização do sistema de drenagem amazônico ocorreu, com captura da rede de canais da Amazônia ocidental para o Oceano Atlântico, a leste, caracterizando uma inversão da direção de fluxo do sistema fluvial (HOORN *et al.*, 1995; FIGUEIREDO *et al.*, 2009; HOORN *et al.*, 2010; LATRUBESSE *et al.*, 2010; SACEK, 2014; SHEPHARD *et al.*, 2010; NOGUEIRA *et al.*, 2013; ROSSETTI *et al.*, 2015).

Dados de origem marinha — como cistos de dinoflagelados e foraminíferos bentônicos — apontaram idade neomiocena para os depósitos da Formação Solimões

(HOORN, 1993, 1995; FIGUEIREDO *et al.*, 2010; GORINI *et al.*, 2014; HOORN *et al.*, 2017; LAMMERSTMA *et al.*, 2018). Os dados de origem continental — como conteúdo paleontológico de vertebrados, palinológico, e análise faciológica — indicaram idade plio-pleistocena (ROSSETTI *et al.*, 2005, 2015; CAMPBELL, 2005, 2010; LATRUBESSE *et al.*, 2010; RIBAS *et al.*, 2012; HORBE *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2021). Nos últimos anos também foram reconhecidas influências marinhas em sistemas fluviais no decorrer do Plioceno (KACHINASZ & SILVA-CAMINHA, 2016; SILVEIRA & SOUZA, 2016, 2017).

As incursões marinhas durante o Neógeno foram cogitadas devido à existência de microfósseis típicos desse ambiente, como palinoforaminíferos, pólen de mangue e dinoflagelados (HOORN *et al.*, 2010; KACHINASZ & SILVA-CAMINHA, 2016; SILVEIRA & SOUZA, 2016, 2017; JARAMILLO *et al.*, 2017). No entanto, Silva-Caminha *et al.* (2010) e Gross *et al.* (2011) descartaram a possibilidade de evidências de depósitos marinhos ou sistema de grandes lagos, ao passo que Gross *et al.* (2013, 2016) afirmaram que a ocorrência de ostracodes de origem marinha não denotam necessariamente a existência de incursões marinhas, uma vez que tais espécies teriam se adaptado a ambientes de água doce no Mioceno superior. Vale ressaltar que os estudos de Gross *et al.* (2011, 2013) se deram na mesma região estudada no presente trabalho.

Gross *et al.* (2019) por sua vez, afirmaram que ainda permanece sem resposta se ostracodes e foraminíferos marinhos foram capazes de se adaptar a ambientes de água doce e se incursões marinhas de fato afetaram a Amazônia Ocidental no final do Mioceno médio. Boonstra *et al.* (2015), por sua vez, registraram incursões marinhas no Mioceno médio a superior. Leite *et al.* (2017) encontraram evidências de duas fases deposicionais: uma correspondente ao sistema Pebas de grandes lagos e outra correspondente a um sistema fluvial.

Linhares *et al.* (2017) e Jaramillo *et al.* (2017), concordaram com dois eventos de incursões marinhas: um no Mioceno inferior e outro no Mioceno médio, com o adendo de que Linhares *et al.* (2017) relataram ainda um terceiro evento no Mioceno superior. Já Silveira & Souza (2016, 2017) reconheceram um ambiente deposicional de lagoas de água doce, lagos e/ou rios lentos, com influência marinha no decorrer do Plioceno, o que é confirmado por dados de subsuperfície (KACHINASZ & SILVA-

CAMINHA, 2016). Jorge *et al.* (2019), por sua vez, identificaram incursões marinhas por meio de perfilagem geofísica, em depósitos de idade Miocena.

Na área estudada não existem estudos palinológicos significativos direcionados à cronoestratigrafia (GROSS *et al.*, 2011) e bioestratigrafia, ainda que a Formação Solimões seja uma rica unidade fossilífera (HOORN, 1993, 2019; ADAMY, 2015; BOONSTRA *et al.*, 2015; GROSS *et al.*, 2016; SILVEIRA & SOUZA, 2017; LINHARES *et al.*, 2019) e uma das mais bem amostradas do norte da América do Sul (BISSARO-JR *et al.*, 2019). Informações sobre idade e ambiente ainda são insuficientes ao se considerar o tamanho da área de ocorrência da unidade investigada e a descontinuidade do registro bioestratigráfico, o que prejudica sobremaneira a compreensão acerca da evolução geológica dessa região.

### **1.1. Localização da área**

A área de estudo desta pesquisa compreende dois afloramentos que ocorrem nas adjacências das comunidades Torre da Lua e Aquidabã (Figura 1). O primeiro afloramento está situado aproximadamente 20 km a sudeste da sede municipal de Eirunepé, ao passo em que o segundo, em cerca de 25 km a nordeste. O município está localizado na região sudeste do estado do Amazonas, com coordenadas 6°49'26.8"S, 69°46'59.6"W (Torre da Lua); e 6°31'40.8"S, 69°39'52"W (Aquidabã).

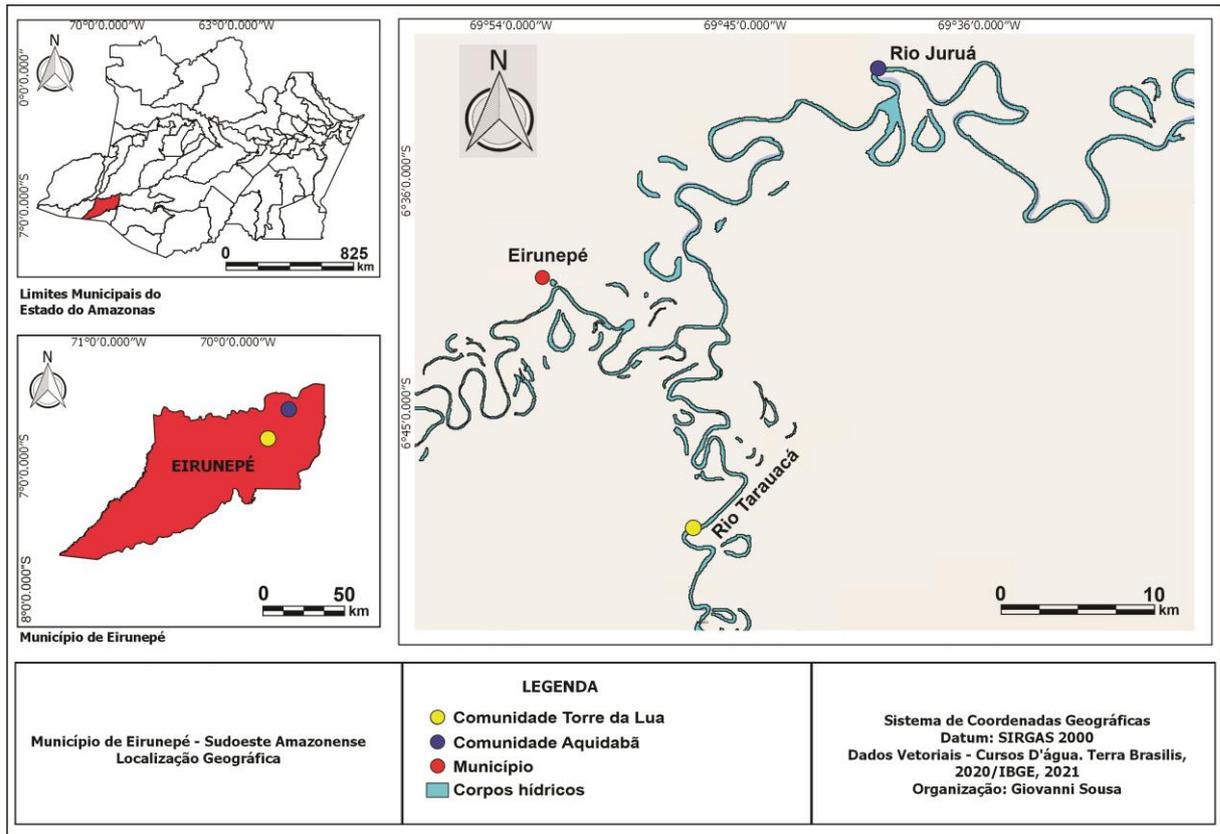


Figura 1 – Mapa de localização das comunidades Torre da Lua e Aquidabã, onde foram obtidas as amostras estudadas neste trabalho, nas adjacências do município de Eirunepé. Dados vetoriais de Terra Brasilis (Assis *et al.*, 2020) e IBGE, 2021.

O acesso aos afloramentos partindo do município é feito inteiramente via fluvial, por meio dos rios Tarauacá para a comunidade Torre da Lua e Juruá para a comunidade Aquidabã.

## 2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral do presente trabalho é realizar a classificação sistemática dos palinórfos e efetuar levantamento estratigráfico a fim de verificar o paleoambiente e a idade da Formação Solimões nos locais estudados.

Como objetivos específicos, buscar-se-á correlacionar os palinórfos às biozonas estabelecidas para a região norte da América do Sul, estabelecer afinidades taxonômicas dos grãos, além de estabelecer o empilhamento estratigráfico, reconhecer as fácies e associações de fácies, além do emprego do conteúdo fóssilífero para compreensão e determinação do paleoambiente da Formação Solimões nas adjacências de Eirunepé, representada pelos dois afloramentos

estudados. Será correlacionada a microflora/microfauna com os zoneamentos palinológicos vigentes, o que permitirá a datação relativa da Formação Solimões, fornecendo subsídios para um melhor entendimento acerca da evolução paleoambiental do Neógeno da Amazônia.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Palinologia**

##### **3.1.1. Aspectos gerais**

A análise polínica dos sedimentos, criada por Von Post em 1916, é um método paleontológico que se baseia em duas características da membrana polínica: especificidade e grande resistência à degradação (KAPP *et al.*, 2000; POÇAS, 2004).

A primeira reside no fato de os grãos de pólen ou esporos possuírem elementos morfológicos próprios, tais como estrutura, abertura, forma, simetria, ornamentação e dimensões, o que permite a correta identificação dos palinomorfos e a classificação do táxon a que eles pertencem. Uma limitação quanto à palinologia é que certas famílias de plantas têm apenas um ou poucos tipos de pólen, como é o caso das famílias Graminae e Compositae (MOORE *et al.*, 1991; POÇAS, 2004).

Genericamente, os palinomorfos apresentam a parede constituída por duas camadas: a exina e a intina. A exina é constituída por esporopolenina e uma pequena quantidade de polissacarídeos, enquanto a intina é constituída por celulose, à semelhança da parede de outras células vegetais (SMOL *et al.*, 2001; TRAVERSE, 2007; BERCOVICI & VELLEKOOP *et al.*, 2017; HALBRITTER *et al.*, 2018). Durante a fossilização, apenas a esporopolenina, por ser uma das estruturas mais resistentes dentre todos os seres vivos, permanece. Inalterada por milhares de anos apesar da morte celular, a esporopolenina é um revestimento orgânico muito resistente que preserva os palinomorfos (TRAVERSE, 2007; BERCOVICI & VELLEKOOP *et al.*, 2017). Tal resistência se estende inclusive ao método de ataque químico corrosivo tipicamente utilizado na palinologia. Além disso, a esporopolenina é uma das substâncias orgânicas quimicamente mais inertes que ocorre na natureza, o que favorece a acumulação e conservação de um grande número de palinomorfos nos sedimentos. (TRAVERSE, 1988; POÇAS, 2004).

A produção em elevado número e sua abundância em comparação com outros fósseis — uma vez que uma só lâmina pode conter milhares de palinomorfos — é

também uma importante característica desses elementos devido à possibilidade de se efetuar estudos estatísticos e populacionais (TRAVERSE, 1988).

### 3.1.2. Distinção de pólen e esporo

#### Aspectos morfológicos

##### Pólen

Os grãos de pólen são produzidos nas anteras de plantas sementeiras e abrigam os gametas masculinos das fanerógamas (angiospermas e gimnospermas), dispersos majoritariamente pelo vento (anemófila), por insetos (entomófila), ou ainda pela água, caso o pólen seja produzido por plantas que cresçam perto de lagoas/lagos e seja posteriormente incorporado diretamente aos sedimentos do corpo d'água (JANSSEN, 1984; JONES & JONES, 2001); ao passo que os esporos são as unidades reprodutivas das criptógamas (pteridófitas e briófitas), algas e fungos (JONES & JONES, 2001; TRAVERSE, 2007). Pólen e esporos se formam a partir de mecanismos distintos de divisão celular, mas ambos resultam da divisão celular envolvendo uma redução pela metade do conteúdo cromossômico (meiose) (FAEGRI & VAN DER PIJL, 1979; MOORE *et al.* 1991; PROCTOR *et al.*, 1996; TRAVERSE, 2007).

A classificação do pólen, assim como dos esporos, é baseada em caracteres morfológicos observados entre os vários grupos de fósseis, como número, localização e natureza da ornamentação dos diferentes tipos de aberturas que podem ocorrer na superfície do grão. Os grãos de pólen são geralmente esféricos ou elípticos e variam em diâmetro, de cerca de 10  $\mu\text{m}$  (0,01 mm) a cerca de 100  $\mu\text{m}$  (0,1 mm), dependendo da espécie: a maioria é de 20–30  $\mu\text{m}$  (0,02 mm–0,03 mm) (TRAVERSE, 2007; YBERT *et al.*, 2012; BERCOVICI & VELLEKOOP, 2017).

Morfologicamente, os grãos de pólen apresentam grande variedade de possíveis combinações de elementos característicos próprios que os diferenciam dos esporos, tais como perfurações, denominadas poros, que podem ocorrer em número de um ou mais no mesmo grão (*e.g.* monoporado, diporado, triporado); aberturas ou sulcos semelhantes a fendas, denominados colpos (*e.g.* monocolpado, tricolpado); ou uma combinação de ambos, poros e colpos (*e.g.* tricolporado) (SMOL *et al.*, 2001; TRAVERSE, 2007) (Figura 2). Quanto à ornamentação, a camada externa do grão de pólen pode ser lisa (psilada), semelhante a uma rede (reticulada), com múltiplos sulcos (estriado), ou ainda apresentar espinhos (equinato), dentre outros (JONES &

JONES, 2001). O assunto é abordado minuciosamente em livros como Faegri & Iversen (1989), Moore *et al.* (1991) e Punt *et al.* (1994).

### PRINCIPAIS TIPOS DE GRÃOS DE PÓLEN

VP – VISTA POLAR; VE – VISTA EQUATORIAL

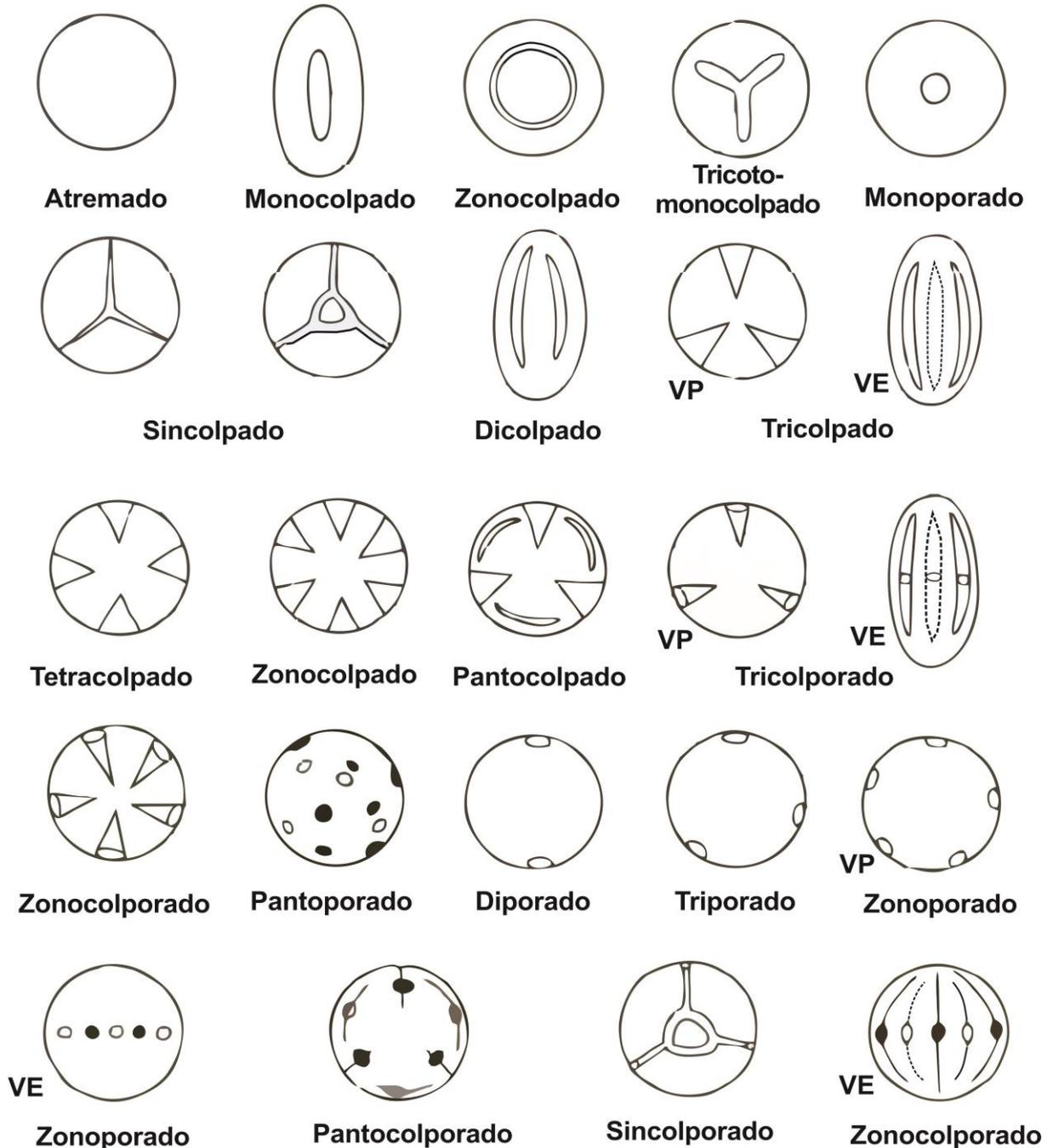


Figura 2 – Grãos de pólen são extremamente diversificados e compreendem uma grande variedade de possíveis combinações de seus elementos característicos, como as típicas perfurações denominadas poros, que podem ocorrer em número de um ou mais no mesmo grão (e.g. monoporado, diporado, triporado); aberturas semelhantes a fendas, denominadas colpos (e.g. monocolpado, tricolpado); ou uma combinação de poros e colpos (e.g. tricolporado). Ilustração adaptada de Carvalho (2011).

## Esporo

Os esporos são estruturas reprodutivas unicelulares produzidas pelos esporângios na fase esporofítica das espécies, e que germinam para formar um gametófito, dependendo da água para que isto ocorra. Duas formas básicas de esporos são reconhecidas com base na relação original dos esporos com arranjo em tetraedro, ainda no esporângio: tétrades tetraédricas e tétrades tetragonais (PUNT *et al.*, 2007; TRAVERSE, 2007; BERCOVICI & VELLEKOOP; 2017) (Figura 3).

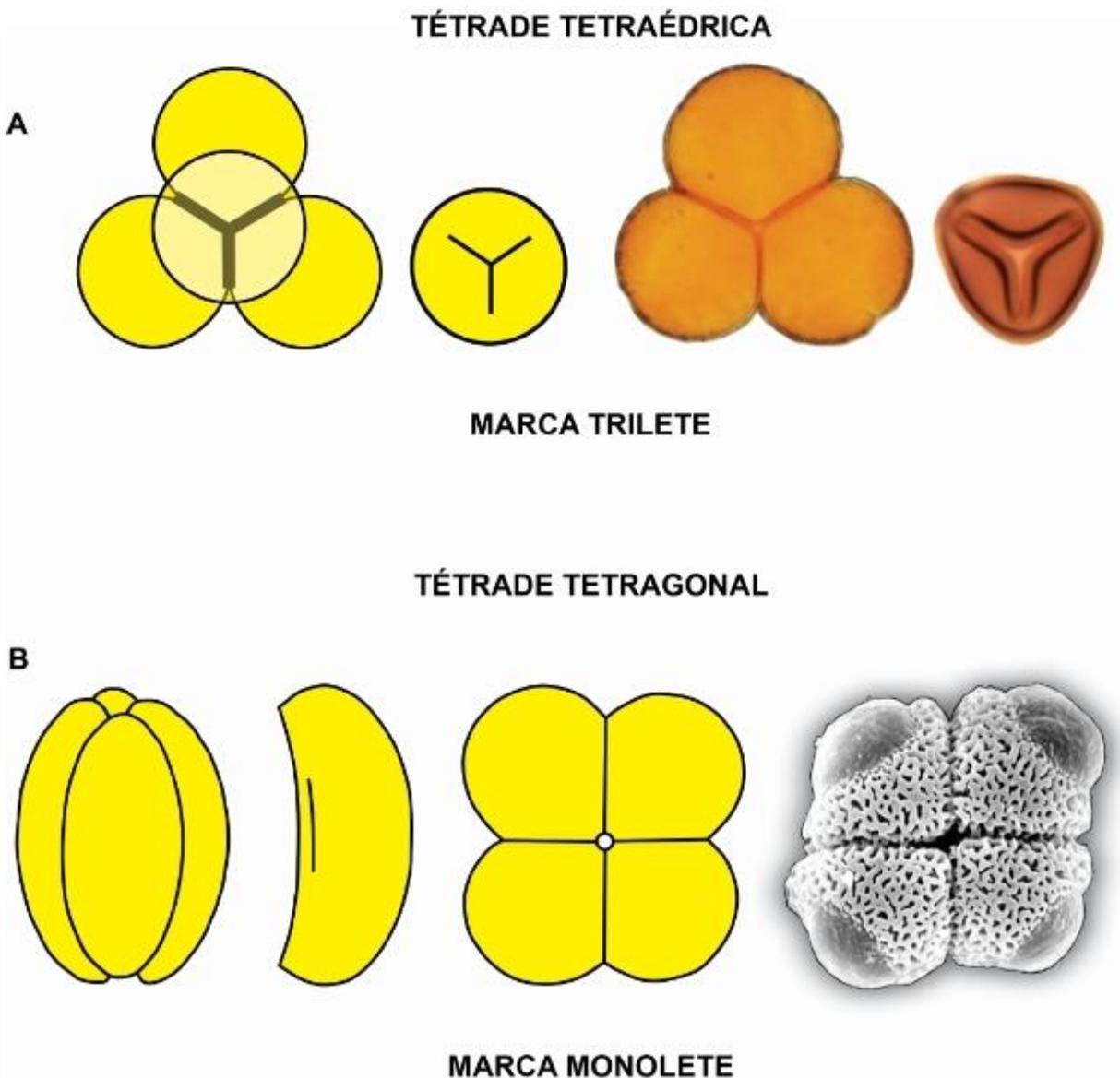


Figura 3 – (A) Formação das tétrades tetraédricas e consequente marca trilete em esporos. (B) Formação de tétrades tetragonais e consequente marca monolete em esporos (adaptado de CARVALHO, 2011).

Nas tétrades tetraédricas, cada um dos quatro esporos esteve em contato com todos os três vizinhos da tétrade de esporos na face proximal, produzidos pela meiose a partir de uma célula mãe de esporos no esporângio, o que dá a cada espora uma cicatriz ou marca distinta, a laesura ou lesão, característica haptotípica resultante da posição da tétrade de esporos (SMOL *et al.*, 2001; PUNT *et al.*, 2007; TRAVERSE, 2007; HALBRITTER *et al.*, 2018). Nas tétrades tetragonais, cada um dos quatro esporos esteve em contato com apenas dois de seus vizinhos da tétrade na face proximal, o que dá a cada espora uma cicatriz retilínea (PUNT *et al.*, 2007; BERCOVICI & VELLEKOOP *et al.*, 2017).

Os esporos apresentam morfologia bem definida, e carregam em si a supracitada laesura, que pode ser linear (“monolete”); ter dois braços, em forma de V (“dilete”), uma forma rara e intermediária; ter três braços, em forma de Y (“trilete”); ou ainda, a ausência dela (“alete”), aparentemente derivada da condição monolete ou trilete pela não formação de marcas haptotípicas, tendo como exemplo muitos esporos de musgos (TRAVERSE, 2007) (Figura 4). Esporos monoletes apresentam simetria bilateral, são elipsoidais a esféricos, e possuem laesura linear; já esporos triletes são radialmente simétricos, triangulares, tetraédricos a esferoidais, e a laesura é trirradiada (ERDTMAN, 1969; TRYON & LUGARDON, 1990). Em relação ao tamanho, variam de 15 a 50  $\mu\text{m}$  (diâmetro equatorial), com exceção de alguns gêneros e espécies, como observados por Erdtman & Sorsa (1971).

### **Aspectos reprodutivos**

No que diz respeito a aspectos reprodutivos, o pólen se distingue do espora na liberação dos gametas. Nas plantas heterospóricas, os micrósporos liberam os gametas flagelados na extremidade distal do espora (*i.e.*, na abertura do trilete), os quais nadam até o arquegônio para a fertilização. O pólen, em comparação, produz o tubo polínico da extremidade distal através do qual os gametas são transferidos diretamente para o óvulo (KARASAWA *et al.*, 2008). Os esporos das plantas não-sementeiras precisam apenas de qualquer superfície úmida onde possam reidratar e germinar. Já as plantas com sementes têm superfícies receptivas especializadas para reter o pólen, para que ele possa germinar (INGROUILLE, 2012).

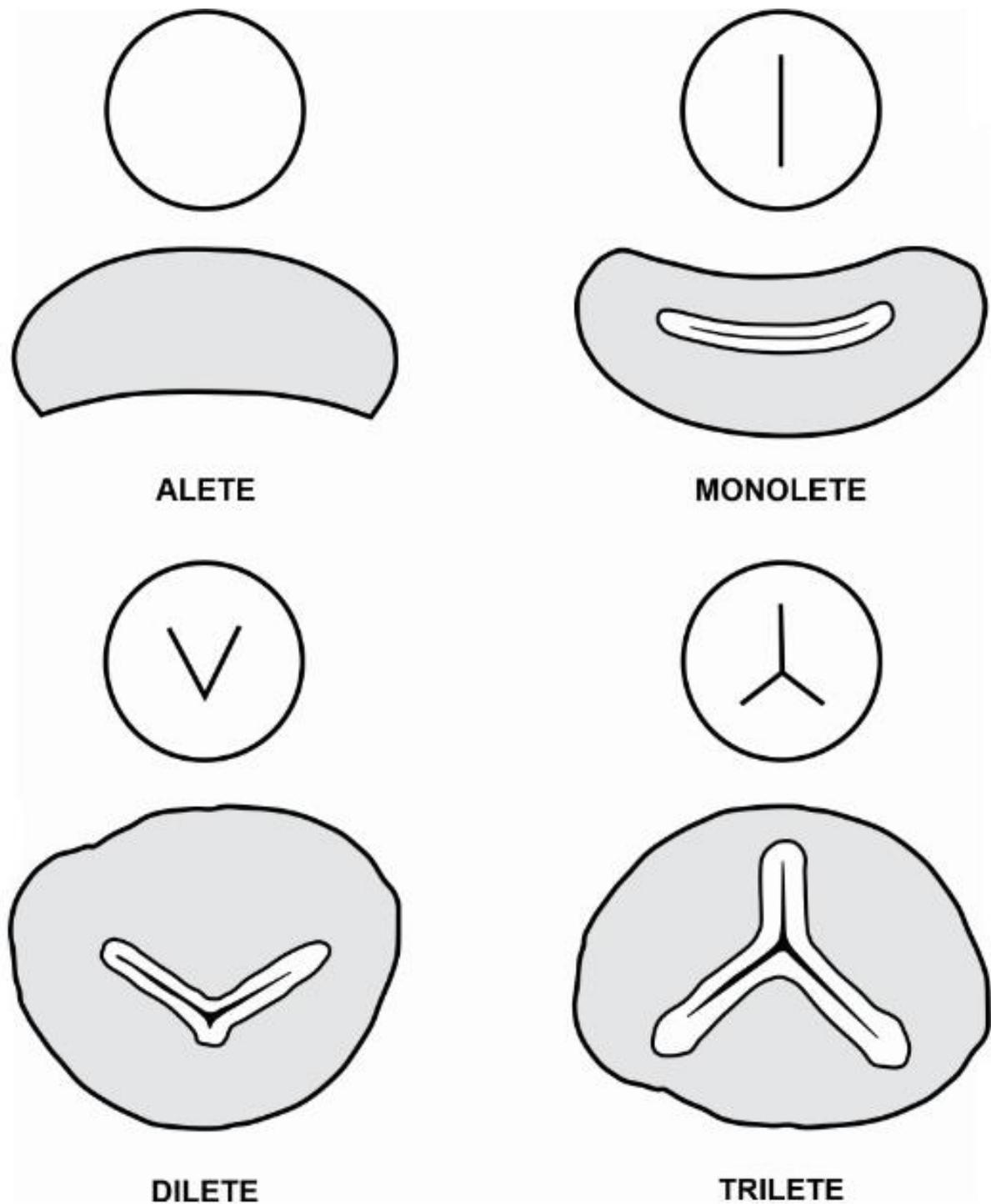


Figura 4 – São exibidos os diferentes tipos de laesura que podem ocorrer num esporo. Este elemento consiste em uma abertura/fissura haptotípica resultante da posição da tétrade de esporos, que confere a cada esporo uma cicatriz retilínea, que pode ser monolete, dilete, trilete, ou ainda alete em caso de ausência de laesura (Imagem do autor).

### 3.1.3. Relevância da Palinologia

Os grãos de pólen e esporos são produzidos em abundância e possuem dispersão eficiente, denominada “chuva polínica” (FAEGRI & IVERSEN, 1966; CORREIA *et al.*, 2017), que cai em sucessivas camadas sobre a superfície da terra. Esses grãos de pólen e esporos uma vez depositados em ambientes sedimentares e, posteriormente, quando em condições propícias forem fossilizados, podem refletir clima e vegetação local e regional existentes no período de deposição dos sedimentos, conferindo estudos de reconstituição paleoambiental (BEHLING *et al.*, 2005).

O registro fóssil é um dos meios utilizados para se fazer reconstituição dos paleoambientes. Neste sentido, o registro paleobotânico é sem dúvidas melhor representado pelos palinomorfos, não somente pelo potencial de preservação em boa qualidade e quantidade destes microfósseis, mas também pela diversidade morfológica passível de classificação taxonômica (TRAVERSE, 1988; POÇAS, 2004).

Os estudos palinológicos podem contribuir com informações que contemplam um variado leque de domínios científicos (Figura 5), nomeadamente: arqueologia, taxonomia, estudos genéticos e evolutivos, ciências forenses, estudos de cunho medicinal na especialidade de alergia e imunologia, reconstruções paleoambientais, geocronologia, paleoecologia, bioestratigrafia, paleobiogeografia e estudos paleoclimáticos (MOORE *et al.*, 1991; KAPP *et al.*, 2000).

Segundo Dino (1992), no universo da micropaleontologia, o método palinológico é capaz de atuar como elemento de correlação e de definição na subdivisão bio e cronoestratigráfica de sedimentos depositados em ambientes tanto marinhos quanto continentais. Isto se dá uma vez que os palinomorfos são encontrados em quase todas as fácies sedimentares (ao contrário dos foraminíferos, nanofósseis e ostracodes), e, por isso, possuem grande valor estratigráfico.

Isso caracteriza os palinomorfos como sensíveis indicadores de paleoambientes devido à origem do material palinológico, que inclui elementos de distintos ambientes, aquáticos e terrestres, possibilitando não somente a datação dos depósitos, como também correlações e interpretações acerca do paleoambiente, da paleoecologia, paleobiogeografia e paleoclima de determinada região a partir de afinidade botânica e ecológica entre espécies de palinomorfos (DINO, 1992; JANSONIUS & MCGREGOR, 2002; BARTH, 2003; POÇAS, 2004).

O conhecimento da evolução e das sucessivas transformações da flora e da fauna e suas relações estratigráficas com diferentes litologias ao redor do globo permitiram o estabelecimento de datações relativas que contam parte da história geológica da Terra (TEIXEIRA & PAIS, 1976; POÇAS, 2004).

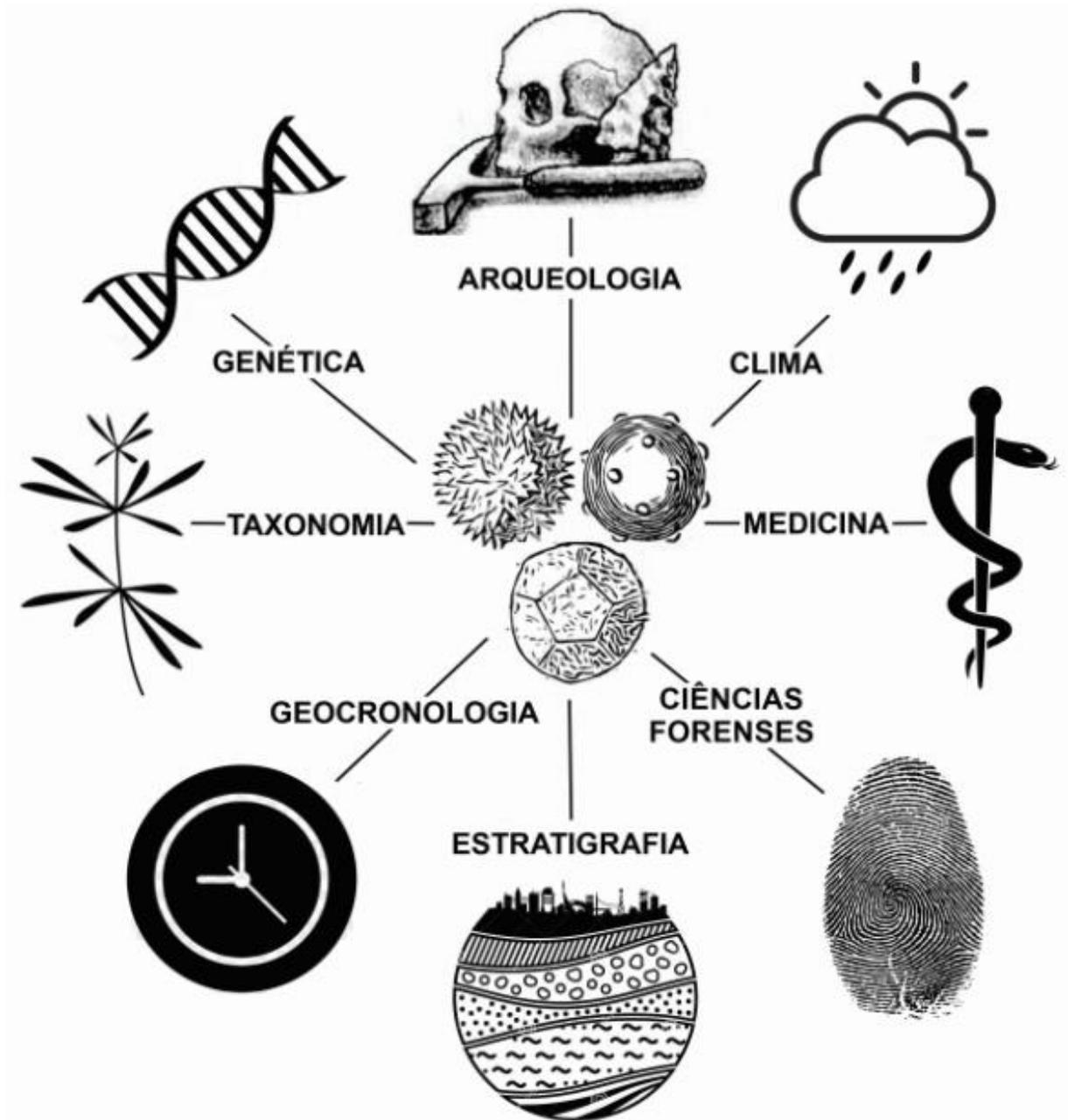


Figura 5 – Alguns exemplos do variado leque de domínios científicos alcançados pela palinologia (adaptado de KAPP *et al.*, 2000).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho divide-se nas etapas pré-campo, caracterizada por todo o processo de levantamento bibliográfico e leitura de artigos científicos e periódicos especializados na temática aqui abordada; etapa de campo com levantamento de perfis representativos dos afloramentos estudados, execução de amostragens e posterior acondicionamento das mesmas; e etapa pós-campo, com preparação das amostras representativas para análises laboratoriais (pré-tratamento químico e tratamento químico), além do tratamento, interpretação e integração dos dados obtidos, e apresentação dos resultados e conclusão.

### **4.1. Levantamento bibliográfico**

O levantamento bibliográfico consiste no vasto repertório de trabalhos científicos que fundamentam teoricamente as diversas áreas do conhecimento abordadas no desenvolvimento deste trabalho, tais como Palinologia, Paleontologia, Sedimentologia e Estratigrafia.

Tais referências foram obtidas por meio de publicações em periódicos nacionais e internacionais, com objetivo de contextualizar e embasar geologicamente temas referentes ao trabalho proposto. Além disso, visando uma correlação dos resultados obtidos com dados da literatura, foi feita revisão bibliográfica de trabalhos metodologicamente similares a este para que sejam posteriormente aplicados no contexto da Formação Solimões. Esta etapa foi executada durante todo o período desta pesquisa.

### **4.2. Trabalho de campo**

O trabalho de campo ocorreu nos dias 17 e 18 de outubro de 2018, com visita a dois afloramentos cujas descrições consideram parâmetros como litologia, geometria, relações de contato, textura, cor e estruturas sedimentares, segundo a concepção de Walker (1992).

Aliadas a essas descrições, foram elaboradas seções colunares representativas dos afloramentos como instrumento de auxílio e subsídio à identificação das fácies e interpretações dos processos sedimentares e sistemas deposicionais que ali atuaram. Ademais, foi feita coleta sistemática de amostras representativas dos afloramentos estudados além de registro fotográfico.

### **4.3. Coleta sistemática de amostras**

O material de estudo compreende 35 amostras obtidas em 2 (dois) afloramentos situados nas comunidades Torre da Lua e Aquidabã, designados com as abreviações TL e AQ, respectivamente. A coleta de amostras consistiu em retirada vertical de material em intervalos de cerca de 20 cm da base para o topo das exposições — conforme proposto por Ybert *et al.* (1992).

Nesse trabalho, Ybert *et al.* (1992) propõem uma padronização da metodologia empregada na amostragem de estudos palinológicos — seguindo controle faciológico, onde foram selecionados os níveis de afloramentos com coloração cinza-escura, elemento indicativo de níveis ricos em matéria orgânica propiciados por ambiente redutor. O posterior acondicionamento do material coletado se deu por meio de sacos plásticos com marcações referentes à localidade e numeração das amostras.

### **4.4. Estudo laboratorial – Técnica de preparação das amostras**

#### **4.4.1. Pré-tratamento químico**

Após a etapa de campo, as amostras coletadas passaram pelo processo denominado pré-tratamento químico, procedimento que envolve as fases de secagem, trituração e pesagem das amostras.

Em linhas gerais, o pré-tratamento químico busca preparar as amostras de mão coletadas para desagrega-las e reduzi-las em porções particuladas, em alíquotas de 10 g para níveis mais escuros (folhelho e argila escuros, carvões e turfas) e 30 g para material mais claro (folhelho e siltito cinza-claros), de acordo com a metodologia padrão de Uesugui (1979), realizada no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas.

#### **4.4.2. Tratamento químico**

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT–UFRGS) para etapa de tratamento químico e confecção das lâminas palinológicas, conforme metodologia padrão para amostras pré-quadernárias seguida pelo laboratório e descrita em Uesugui (1979) (Figura 6).

Por volta de 50 g de cada amostra foram colocadas em béquer e tratadas inicialmente com adição de 50 mL de ácido clorídrico (HCl) a 32% por 2 horas para

remoção de carbonatos. Após esse primeiro ataque ácido, as amostras foram então inseridas em um béquer e lavadas por três vezes com água destilada em quantidade suficiente para que as amostras fiquem totalmente submersas no líquido.

Posteriormente, foi feito segundo ataque químico com 50 mL de ácido fluorídrico (HF) a 40% por pelo menos 12 horas para eliminação dos silicatos. Após esta etapa, as amostras foram novamente lavadas com água destilada por três vezes, a fim de neutralizar a ação dos ácidos. A verificação da neutralização das amostras foi feita a partir da utilização de fitas medidoras de pH. Essas fitas possuem em sua embalagem um esquema de cores representativas de pH ácido, neutro e alcalino para utilizar como referência. Ao mergulhar a fita na solução, esta deverá apresentar cor equivalente à indicada na embalagem para pH neutro.

Após segunda adição de 50 mL de ácido clorídrico (HCl), dessa vez a 10%, e água destilada em banho-maria a 60°C por 30 minutos com o intuito de remover os flúor-silicatos gerados na reação anterior, a amostra permaneceu em béquer por um período de 24 horas para que houvesse a decantação dos minerais pesados e para recuperação do material sobrenadante mais leve. Esta metodologia substituiu a centrifugação, que causa a destruição dos palinóforos mais frágeis. O concentrado obtido foi lavado com 50 mL de hidróxido de potássio (KOH) 10%, visando a remoção do excesso de matéria orgânica amorfa.

O material foi novamente lavado com água destilada e peneirado em malha de 200  $\mu\text{m}$ . O resíduo palinológico retido na peneira foi então acondicionado em frasco de vidro com tampa. Para a montagem das lâminas, o resíduo foi fixado às lamínulas após aplicação de goma de acácia e utilização de chapa aquecedora em temperatura média de 60°C. As lamínulas foram posteriormente fixadas às lâminas de vidro por meio da aplicação de algumas gotas de cola Entellan.

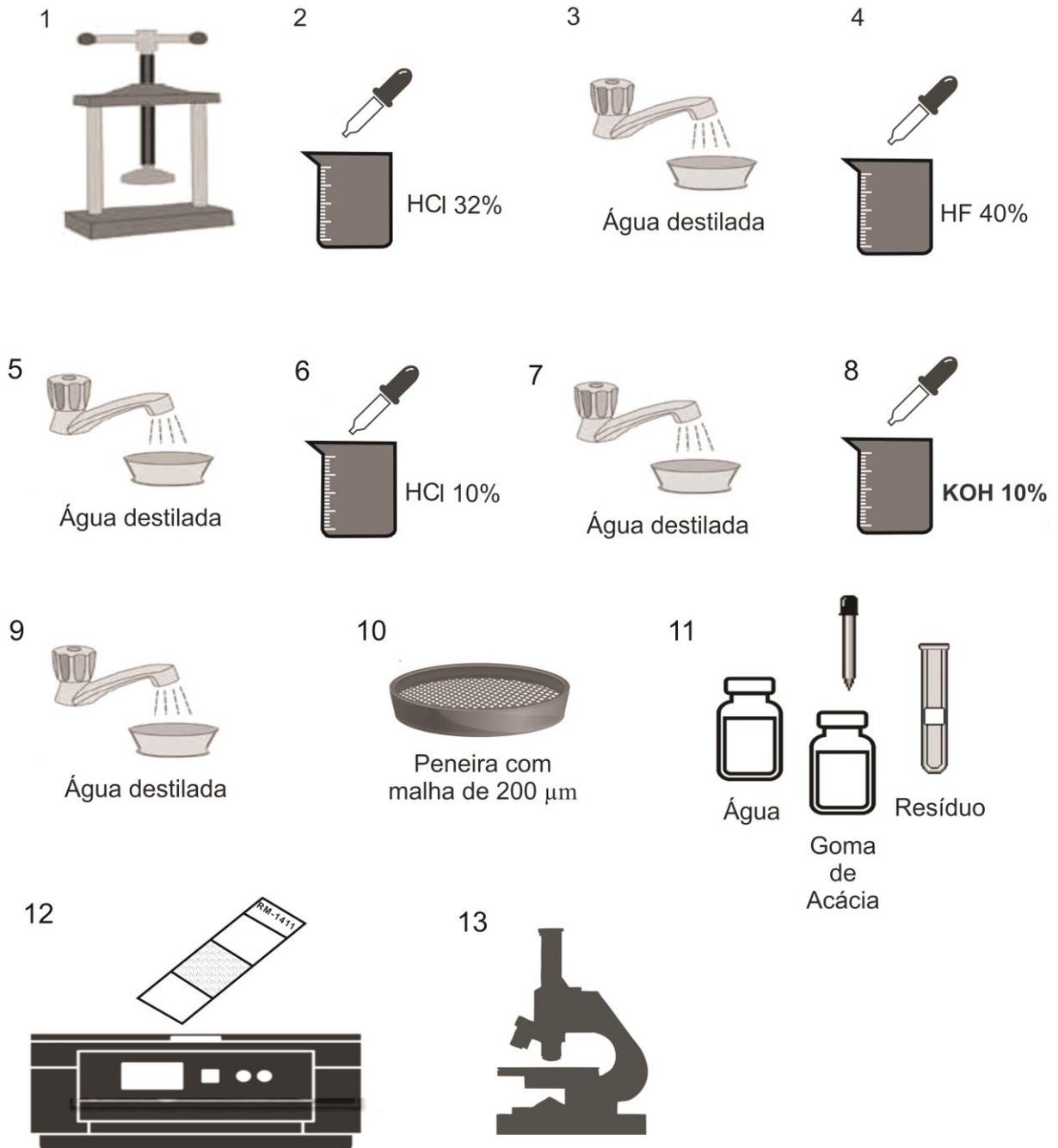


Figura 6 – Ilustração do modo de preparação da técnica palinológica segundo o método de Uesugui (1979). 1. Maceração das amostras; 2. Ataque com HCl a 32%; 3. Neutralização com água destilada; 4. Ataque com HF 40%; 5. Neutralização com água destilada; 6. Ataque com HCl 10%; 7. Neutralização com água destilada; 8. Ataque com KOH 10%; 9. Neutralização com água destilada; 10. Peneiramento das amostras; 11. Fixação do resíduo à lamínula após aplicação de goma de acácia e água destilada; 12. Confeção da lâmina na placa aquecedora; 13. Leitura das lâminas no microscópio. (Adaptado de BOM *et al.*, 2011).

#### 4.5. Análise palinológica

Para cada amostra coletada foram confeccionadas 2 (duas) lâminas palinológicas por nível amostrado, além de resíduos, em caso de necessidade de confecção de lâminas sobressalentes. No total, foram obtidas 70 lâminas palinológicas (com identificação da amostra e afloramento), posteriormente utilizadas na etapa de análise palinológica, com a utilização de microscópio petrográfico Olympus, modelo BX51, com auxílio das objetivas de 20x e 40x. Esta fase foi executada no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO), do Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas.

A leitura das lâminas foi realizada por transecções verticais, de cima para baixo e da esquerda para direita, com espaçamento entre as linhas de, aproximadamente, um campo visual, para evitar a recontagem de palinomorfos (SALGADO-LABORIAU, 2007).

A contagem de palinomorfos concomitantemente à sua identificação foi realizada para possibilitar análises estatísticas que serviram de base para as inferências paleoambientais. Para tal, foram quantificados os palinomorfos presentes em cada amostra, que foram separados por grupos: fungo, licófitas e samambaias, e angiospermas. A caracterização dos palinomorfos descritos para o Neógeno da porção norte da América do Sul foi feita em nível específico, quando possível, ou nível genérico.

A descrição do material palinológico baseou-se na identificação de elementos microfósseis, tais como esporos, grãos de pólen e outros palinomorfos cujas descrições gerais das espécies e classificação supragenérica se deram segundo Germeraad *et al.* (1968), Regali *et al.* (1974b), Cruz (1984), Lorente (1986), Saxena & Khare (1992), Hoorn (1993), Leite (2006), Silva-Caminha *et al.* (2010), Silveira (2015), D'Apolito (2016), Kachniasz (2016) e Gomes *et al.* (2021). A interpretação paleoambiental foi realizada a partir de associação com as afinidades botânicas e paleoecológicas dos palinomorfos, sendo, para tanto, utilizados os trabalhos supracitados.

As referências bibliográficas principais adotadas para descrição do referido material, bem como dos parâmetros utilizados para tal foram Punt *et al.* (2007) e Traverse (2007), literatura especializada em terminologia e descrição morfológica de

grãos de pólen e esporos. As imagens dos palinomorfos obtidas foram tratadas nos *softwares* de edição de imagem CorelDRAW 2021 e PicPick.

#### **4.6. Análise de fácies**

Nesta pesquisa foi utilizada a técnica de modelamento de litofácies sedimentares que leva em consideração características como geometria, relação de contato, textura, litologia e estruturas sedimentares para individualização dos litótipos (WALKER, 1992). A individualização e descrição de litofácies tiveram como objetivo interpretar o processo sedimentar, enquanto o agrupamento de litofácies permitiu identificar os ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais envolvidos (HOLZ, 2012).

Para a nomenclatura das litofácies sedimentares foi adotado um código (sigla) a fim de representá-las de forma simplificada, de acordo com a proposta de Miall (2006), que é regida pelo nome da litofácies resumida em duas ou três letras. A letra inicial maiúscula se refere à textura da rocha (C = cascalho; A = areia; S = silte) e a segunda e/ou terceira são representadas por letras minúsculas, com a principal estrutura/textura sedimentar (f = litofácies de granulação fina; m = estrutura sedimentar maciça) observada diretamente na rocha.

A análise faciológica foi complementada com a elaboração de seções colunares, registro fotográfico em macro e mesoescala, além de elaboração de seções panorâmicas obtidas a partir de fotomosaicos dos afloramentos, por meio dos quais foi possível identificar a geometria deposicional do corpo sedimentar (MIALL, 1985). A utilização integrada de tais ferramentas auxiliou na definição dos subambientes sedimentares (WIZEVIC, 1991; ARNOT *et al.*, 1997; TUCKER, 2014).

O tratamento e edição do registro fotográfico, das seções colunares e seções panorâmicas se deu por meio da utilização dos *softwares* de edição de imagem CorelDRAW 2021 e PicPick. Para a execução da técnica de fotomosaico das seções panorâmicas foi utilizado o *software* PhotoStitch.

## 5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A porção Ocidental da Amazônia tem sido alvo de pesquisas de cunho palinológico de diversos autores ao longo das últimas décadas. Esses estudos têm se concentrado especialmente na Bacia do Solimões, em municípios circunvizinhos e regiões adjacentes à área de estudo do presente trabalho, como a microrregião do Alto Solimões, nos municípios de Jutai (KACHNIASZ & SILVA-CAMINHA, 2016) e Atalaia do Norte (D'APOLITO, 2016), além das microrregiões acreanas do Baixo Acre (município de Senador Guimard) e Vale do Purus (município de Manoel Urbano), estudadas por Bissaro-Jr *et al.* (2019). Os trabalhos mais relevantes e próximos da área de estudo estão aqui representados da seguinte forma (Figura 7):

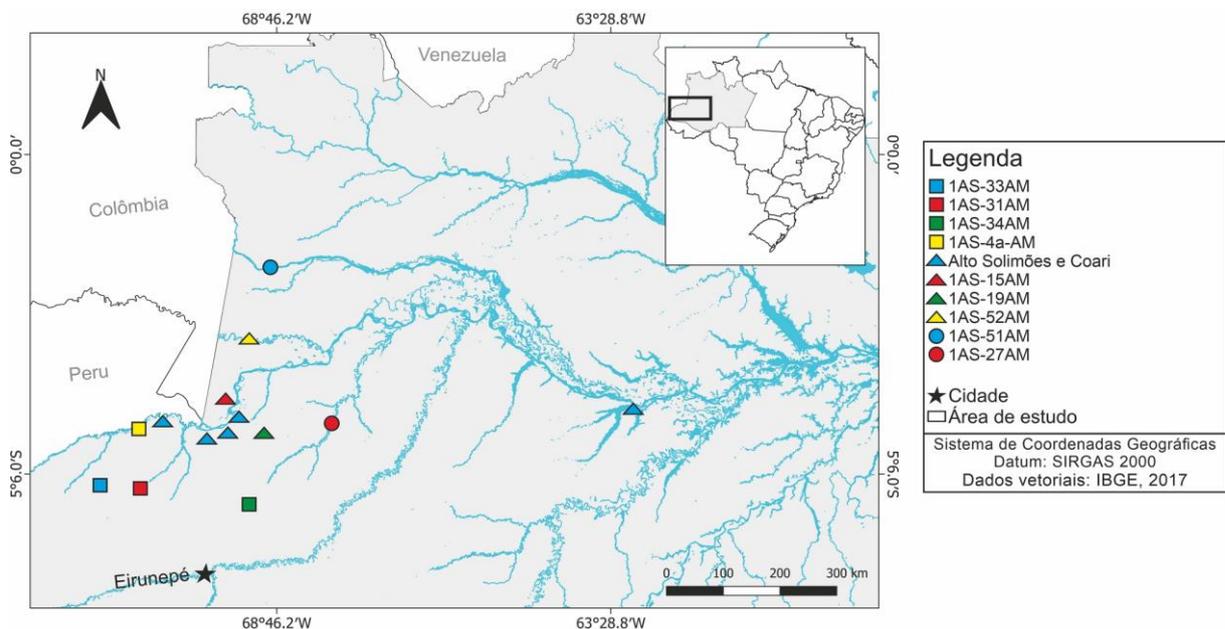


Figura 7 – Mapa de localização de estudos palinológicos efetuados a partir de furos da CPRM em regiões da Bacia do Solimões estudadas por D’Apolito (2016) [1AS-33AM], Kachniasz & Silva-Caminha (2016) [1AS-31AM], Kachniasz & Silva-Caminha (2016) [1AS-34AM], Hoorn (1993) [1AS-4a-AM], Gomes *et al.* (2021) [1AS-15AM], Silva-Caminha (2010) [1AS-19AM e 1AS-27AM], Leandro *et al.* (2019) [1AS-52AM] e Hoorn (1993) [1AS-51AM]; além de estudos em afloramentos, realizados por Silveira (2015) [Alto Solimões e Coari].

### 5.1. Bacia do Solimões

A Bacia Intracratônica do Solimões se estende em uma área de cerca de 440.000 km<sup>2</sup> e está situada no Estado do Amazonas, cujos limites geológicos são, ao norte, o Escudo das Guianas; ao sul, o Escudo Brasileiro; a oeste, o Arco de Iquitos e, a leste, o Arco de Purus (Figura 8). Esta subdivide-se em duas áreas bem definidas, separadas pelo Arco de Caruari: a sub-bacia do Jandiatuba, a oeste, e a sub-bacia

do Juruá, a leste (CAPUTO, 1984; EIRAS *et al.*, 1994; WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

A sedimentação da bacia desenvolveu-se sobre o Cráton Amazônico, mais precisamente acima de duas províncias geocronológicas: Rio Negro-Juruena e Rondoniana-San Ignácio (TASSINARI & MACAMBIRA, 2004). A Província Rio Negro-Juruena (1,80 – 1,55 Ga), com estruturas NW-SE, se estende em cerca de 2.000 km por 600 km de largura nos territórios do oeste do Brasil, Venezuela e Colômbia, ao passo que, de acordo com Bettencourt *et al.* (2010), a Província Rondoniana-San Ignácio é composta pelos terrenos Jauru (1,78 a 1,42 Ga), Paraguá (1,74 a 1,32 Ga) e Rio Alegre (1,51 a 1,38 Ga) e Cinturão do Alto Guaporé (1,42 a 1,34 Ga).



Figura 8 – Localização da Bacia do Solimões e suas sub-bacias Arco de Iquitos e Arco de Purus (modificado de BARROSO, 2002).

Na sub-bacia Juruá, a leste, há uma cobertura Pré-Cambriana entre o embasamento (Província Rio Negro-Juruena) e o pacote sedimentar Fanerozoico. Esta sequência sedimentar foi depositada sobre um sistema de *rifts* do Paleoproterozoico, possivelmente precursor da Bacia do Solimões (EIRAS *et al.*, 1994; WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

### **5.1.1. Preenchimento sedimentar**

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Solimões pode ser dividido em cinco seqüências deposicionais (SD) limitadas por discordâncias regionais, do Ordoviciano ao Quaternário. Assim sendo, sob os critérios litoestratigráficos, essas seqüências deposicionais foram denominadas, respectivamente, como Formação Benjamin Constant, Formação Jutaí, Grupo Marimari, Grupo Tefé, Grupo Javari, incluindo-se ainda o Magmatismo Penatecaua de idade Triássica (Figura 9) (WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

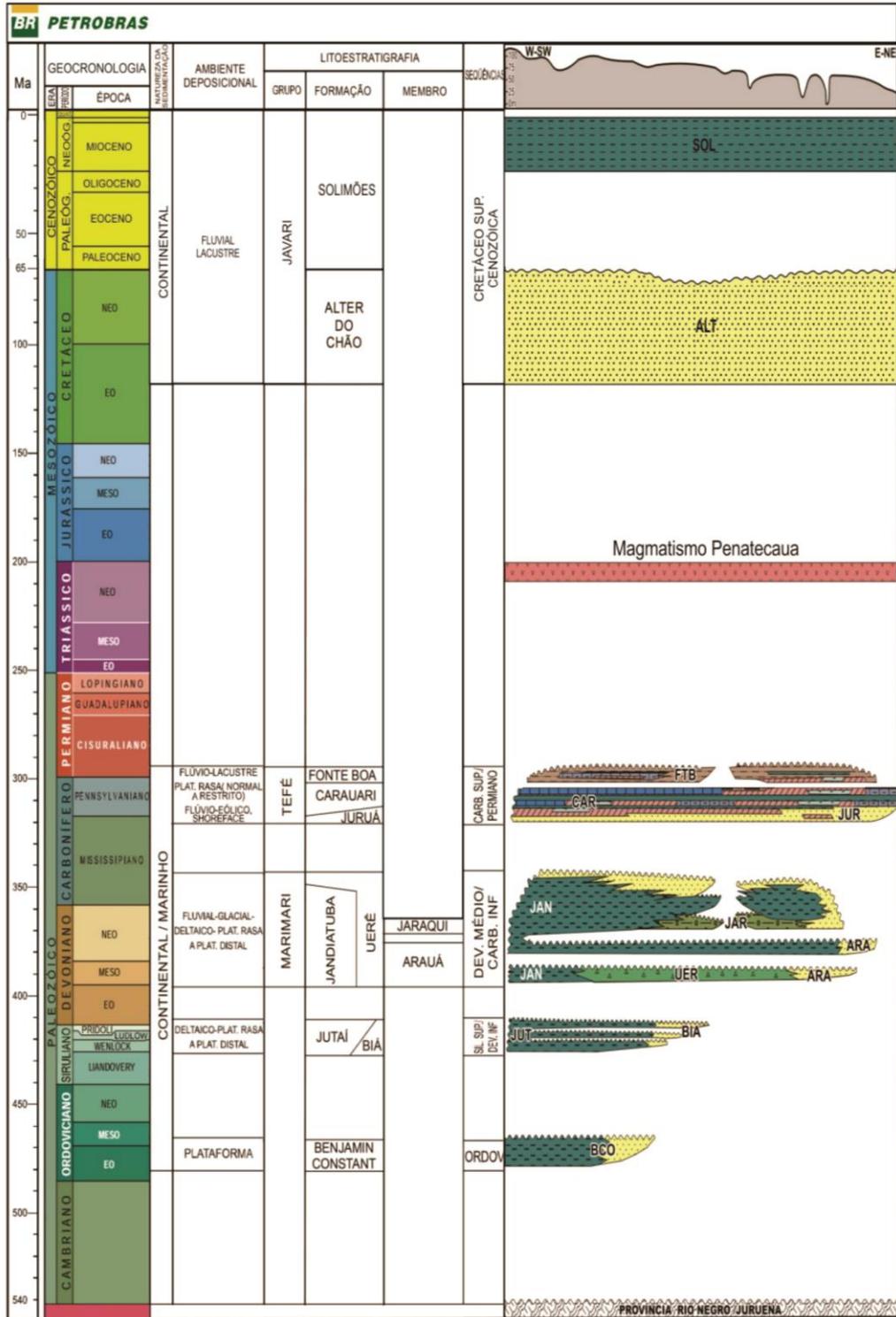


Figura 9 – Carta estratigráfica da Bacia do Solimões (modificado de WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

Neste trabalho serão apresentadas informações sobre a última SD, correspondente ao Grupo Javari. A SD Cretácea é representada pela Formação Alter

do Chão, já a SD Cenozoica, pelas formações Solimões e Içá (EIRAS *et al.*, 1994, ROSSETTI *et al.*, 2005).

A Formação Alter do Chão, primeira unidade do Grupo Javari, foi primeiramente definida por P. Kistler em 1954, que a caracterizou a partir da ocorrência de arenitos avermelhados, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais, litologias atribuídas a ambiente flúvio-lacustre-deltaico (KISTLER, 1954 *apud* DAEMON, 1975). Esta unidade é relativamente pobre em fósseis, representados por plantas dicotiledôneas e vértebras de dinossauros (DINO *et al.*, 1999). No Paleógeno, com o soerguimento da Cadeia Andina, o depocentro sedimentar foi deslocado, fazendo com que os rios de alta energia dessem lugar a rios meandrantos e lagos de baixa energia, onde predominou a deposição dos pelitos correspondentes à Formação Solimões (ANP, 2015).

A seguir serão apresentadas informações acerca da unidade alvo de investigação, Formação Solimões, em seus aspectos estratigráficos, paleontológicos e idades atribuídas.

## **5.2. Formação Solimões**

A Formação Solimões está inserida na última sequência deposicional do Grupo Javari, que compreende rochas siliciclásticas associadas à ambiente de grandes lagos de água doce rasa pouco movimentados e alimentados por um sistema fluvial meandrante de baixa energia, relacionado à evolução da Cadeia Andina (EIRAS *et al.*, 1994; WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

Maia *et al.* (1977) afirmam com base em sondagens e levantamentos em superfície que o termo Formação Solimões deve ser utilizado restringindo-se aos pacotes pelíticos, enquanto que os pacotes arenosos a ela sotopostos referem-se à Formação Içá. Litologicamente, a Formação Solimões, que possui por volta de 1800 m de espessura, é caracterizada por arenitos finos, grossos, subangulares a subarredondados, intercalados com camadas centimétricas a métricas de argila branco-avermelhada (MAIA *et al.*, 1977; CAPUTO, 1984; WANDERLEY FILHO *et al.*, 2007).

Segundo Soares *et al.* (2021), a Formação Solimões é constituída pelas fácies pelito maciço e pelito-arenito com estratificação plano-paralela, onde ocorrem predominantemente pelitos com intercalações rítmicas de arenitos, além de delgadas

e esparsas camadas de linhito, carbonato e conglomerado. Gomes *et al.* (2021), por sua vez, através de conteúdo polínico, atribuem à unidade em questão ambientes inundados, representados por planícies de inundação e margens de lagos.

Para D'Apolito (2016), as fácies que caracterizam a unidade são pelitos laminados e carbonáceos, localmente bioturbados com gradação granodecrescente ascendente para arenito conglomerático, além de camadas centimétricas a métricas de linhito e fragmentos de concha. Também ocorrem arenitos finos planares e ondulados. Quanto ao paleoambiente, o autor indica o desenvolvimento de planícies ao redor de sistemas lacustres com avanço de canais fluviais, além de planícies deltaicas com canais rasos, terminando em sistemas lacustres rasos.

Gross *et al.* (2011), por sua vez, aponta como fácies sedimentares a ocorrência de arenitos finos e pelitos maciços ou laminados com raros restos de bivalves. Há ainda a presença de conglomerado intraclasto (clastos de pelito) com abundantes restos de moluscos e vertebrados (crocodilos, tartarugas), bem como camadas ricas em fragmentos de linhito (madeira, folhas) em seu topo.

Quanto ao paleoambiente, esses autores apontam a existência de vários subambientes de um sistema fluvial. Ao lado dos depósitos arenosos do canal, a parte principal compreende sedimentos de margem de diques, *crevasse splays/canais/deltas*, canais abandonados, pântanos e paleossolos de várzea. Já os depósitos pelíticos pertencem a ambientes lacustres, e consistem apenas em lagoas/lagos de várzea de curta duração.

Silveira (2015) identificou 11 fácies que constituem a Formação Solimões nas regiões de Coari e Alto Solimões: pelito maciço, argilito e siltito maciço, argilito e siltito com moluscos, siltito/linhito rítmico, linhito, arenitos com estratificação cruzada acanalada, arenitos com estratificação cruzada acanalada incipiente, arenitos maciços, arenitos com laminação cruzada cavalgante, arenitos com marcas de onda, e conglomerado maciço. Dessa forma, foram definidas 3 associações de fácies para essa região ocidental da Amazônia: planície de inundação, *crevasse splay*, e canal fluvial meandrante.

Nogueira *et al.* (2013) definiu como fácies para a unidade em questão pelitos laminados, arenitos finos com estratificações cruzada complexa e heterolítica inclinada, siltitos e conglomerados intraformacionais. No que tange ao paleoambiente, os autores consideram a existência de sistema flúvio-deltaico com lagos abastecidos

por afluentes meandrantas. O lago e os afluentes eram margeados por extensas planícies aluviais colonizadas por florestas de água doce de várzea sob condições de clima úmido. Jaramillo *et al.* (2017), por sua vez, interpreta suas associações de fácies como pertencentes a um conjunto de planícies de inundação, pequenos lagos e pântanos. Como estruturas ocorrem estratificações inclinadas heterolíticas, *tidal bundles* e acamamento *wavy-flaser-linsen* (NOGUEIRA *et al.*, 2003; CAPUTO, 2014).

O limite inferior da Formação Solimões apresenta discordância erosiva, enquanto que o superior é caracterizado por possuir contato brusco. A base dessa unidade é composta por camadas argilosas cinzento-esverdeadas, de textura maciça, rica em fósseis vegetais (folhas e troncos), bem como fragmento ósseo de vertebrado, escamas de peixe e bioturbação, a saber, *Taenidium*, além de marcas de raízes (CAPUTO *et al.*, 1971; CUNHA *et al.*, 1994). Já o topo da unidade tende a apresentar composição mais arenosa, caracterizada basicamente por arenito fino e pelitos subordinados (HORBE *et al.*, 2007).

No que diz respeito a ambientes pretéritos, as estruturas supracitadas e a ocorrência de dinoflagelados (ARAI *et al.*, 2003) confirmam uma influência marinha na parte ocidental da bacia, região de Coari (SILVEIRA, 2005). Com base em algumas análises faciológicas, Vega (2005) mostra que na região de Coari, tal unidade é caracterizada por onze fácies sedimentares agrupadas em quatro associações que constituem um ambiente deltaico-lacustre.

No que tange às idades estabelecidas para o Neógeno do norte da América do Sul, há que se destacar os trabalhos pioneiros de Van der Hammen (1954) (Colômbia), Germeraad *et al.* (1968) (Colômbia e Venezuela), Regali *et al.* (1974a,b) e Cruz (1984) (Brasil), Lorente (1986) (Venezuela), Muller *et al.* (1987) (Colômbia, Venezuela e Brasil) e Hoorn (1993, 1994) (Brasil, Colômbia e Peru), que contribuíram para o conhecimento da palinoflora da época e o estabelecimento de marcadores bioestratigráficos, uma vez que dados palinológicos foram utilizados para estimar a idade de deposição da Formação Solimões por comparação entre os zoneamentos estabelecidos no Brasil e nos países vizinhos supracitados. Alguns deles são mencionados a seguir.

Regali *et al.* (1974b) por meio do estudo de 9 gêneros e 63 novas espécies, propuseram zoneamentos palinológicos, todos vinculados ao Eomioceno. Lorente (1986), que estudou as bacias de Falcon, Maracaibo e Venezuela Oriental, na

Venezuela, reconheceu quatro palinozonas para o Mioceno: 1. *Verrutricolporites-cicatricosisporites* (Mioceno inferior), 2. *Crassoretitriletes – Grimsdalea* (Mioceno médio), 3. Asteraceae e *Fenestrites longispinosus* (Mioceno superior), e 4. Asteraceae e *Stephocolpites evansii* (Mioceno superior). Essas palinozonas são utilizadas na Amazônia, em correlações com áreas limítrofes.

Muller *et al.* (1987) também apresentaram zoneamento palinológico dos palinomorfos distribuídos do Cretáceo ao Recente. As zonas que correspondem ao Neógeno são: Zona 26 (parte inicial do Mioceno), Zona 27 (Eomioceno), Zona 28 (Mesomioceno), Zona 29 (Neomioceno), Zona 30 (Plioceno) e Zona 31 (Pleistoceno).

Horn (1993) estudou associações palinológicas da porção ocidental do Estado do Amazonas, em dois testemunhos de sondagens, nomeados 1AS-4a-AM e 1AS-51-AM, atribuídos à Formação Solimões, que se distribuem do Eomioceno a Meso-Neomioceno, interpretados através de cinco zonas palinológicas para o noroeste da Amazônia: 1. Zona de acme de *Verrutricolporites* (Mioceno inferior), 2. Zona de acme de *Retitricolporites* (Mioceno inferior), 3. Zona de concorrência de *Psiladiporites-Crototricolpites* (Mioceno superior a início do Mioceno médio), 4. Zona de intervalo de *Crassoretitriletes* (Mioceno médio) e 5. Zona de intervalo de *Grimsdalea* (término do Mioceno médio até o início do Mioceno superior).

Horn (1994a) apresentou dados palinoestratigráficos de afloramentos na Colômbia e, com base na abundância de *Retitricolporites guianensis* e pela associação de *Psiladiporites/Crototricolpites*, foi sugerida idade Mioceno inferior a Mioceno médio para os afloramentos.

Silveira (2005) desenvolveu estudo palinoestratigráfico em nove afloramentos na porção central da Amazônia, na região de Coari. Foram reconhecidas duas unidades, separadas por superfícies de descontinuidade, e associação palinológica: formações Solimões (Neomioceno-Plioceno) e Içá (Pleistoceno), e os mesmos dados são confirmados por Nogueira *et al.* (2013).

Pons & De Franceschi (2007), por sua vez, descreveram 34 amostras de angiospermas, formas essas atribuídas ao Mesomioceno.

D'Apolito *et al.* (2021), ao estudarem o testemunho de sondagem denominado 1-AS-105-AM, em Tabatinga, concluíram que este teve duas fases distintas de palinoflora, uma no Mioceno inferior (~18,8 a ~16,1 Ma) e outra no Mioceno médio a início do Mioceno superior (~16,1 a ~10,7 Ma).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

The screenshot shows the submission confirmation page in the OJS system. The page is titled "Submeter um artigo" and is part of a five-step process. The current step is "5. Próximos Passos". The main heading is "Submissão completa". The text informs the user that their submission has been received and a confirmation email has been sent. It also provides instructions on what to expect next and offers links for reviewing the submission, creating a new one, or returning to the dashboard.

Pesquisas em Geociências Tarefas 0 Português (Brasil) Ver o Site giovannisousa65

**OJS**  
OPEN JOURNAL SYSTEMS

Submissões

**Submeter um artigo**

1. Início 2. Transferência do manuscrito 3. Inserir metadados 4. Confirmação 5. Próximos Passos

**Submissão completa**

Obrigado pelo seu interesse em publicar com Pesquisas em Geociências.

**O que acontece a seguir?**

O periódico foi notificado de sua submissão e uma mensagem de confirmação foi enviada para o seu e-mail cadastrado. Assim que um dos editores revisar sua submissão, ele entrará em contato.

Por enquanto, você pode:

- [Revisar esta submissão](#)
- [Criar uma nova submissão](#)
- [Voltar para seu painel](#)

Platform & workflow by  
**OJS / PKP**

## Palinoestratigrafia dos depósitos miocênicos da Região Nordeste de Eirunepé, Bacia do Solimões, Amazonas

## Palinostratigraphy of miocenic deposits in the Northeast Region of Eirunepé, Solimões Basin, Amazonas

Giovanni Moreira de SOUSA<sup>1</sup> & Rosemary Rocha da SILVEIRA<sup>2</sup>

- <sup>(1)</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Geociências, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas. Av. Gal. Rodrigo Jordão Ramos, 3000, CEP 69077-000, Manaus, AM, Brasil (giovanisousa65@live.com).
- <sup>(2)</sup> Departamento de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Amazonas. Av. Gal. Rodrigo Jordão Ramos, 3000, CEP 69077-000, Manaus, AM, Brasil (rrsilveira@ufam.edu.br).

**Resumo.** Nas exposições rochosas de dois afloramentos da Formação Solimões, nas comunidades Torre da Lua e Aquidabã, região de Eirunepé, sudeste do Amazonas, foram coletadas 35 amostras onde, por meio de estudos palinológicos e levantamento estratigráfico, pretende-se fornecer informações de grupos palinomorfos, contextualizar o paleoambiente e posicionar cronoestratigraficamente a Formação Solimões nessa região. A análise microflorística culminou na identificação de oito espécies, um esporo de fungo, cinco esporos de licófitas e samambaias e dois grãos de pólen de angiospermas, respectivamente: *Frasnacritetrus indicus*, *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae* e *Grimsdalea magnaclavata*. A análise de fácies sedimentares resultou na identificação de seis litofácies: ortoconglomerado maciço (Cm), arenito com laminação cruzada (Ac), arenito maciço (Am), pelito maciço fossilífero (Pmf), pelito maciço (Pm) e linhito (L). Estas foram agrupadas em duas associações de fácies, Lago (AF1) e Espraçamento de *crevasse* (AF2). Os dados palinológicos, por meio da ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, apontam idade não superior à neomiocena para a Formação Solimões dessa porção.

**Palavras-chave.** Palinomorfos, Cronoestratigrafia, Paleoambiente, Mioceno.

**Abstract.** In two outcrops of the Solimões Formation, in the communities Torre da Lua and Aquidabã, region of Eirunepé, southeast of Amazonas, 35 samples were collected where, through palynological studies and stratigraphic survey, it is intended to provide information on palynomorph groups, contextualize the paleoenvironment and chronostratigraphically position the Solimões Formation in this region. The microfloristic analysis resulted in the identification of eight species, one fungus spore, five lycophytes and ferns spores and two angiosperm pollen grains, respectively: *Frasnacritetrus indicus*, *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae* and *Grimsdalea magnaclavata*. The analysis of sedimentary facies resulted in the identification of six lithofacies: massive orthoconglomerate (Cm), cross-laminated sandstone (Ac), massive sandstone (Am), massive fossiliferous pelite (Pmf), massive pelite (Pm) and lignite (L). These were grouped into two facies associations, Lake (AF1) and Crevasse splay (AF2). Palynological data, through the occurrence of *Grimsdalea magnaclavata*, indicate a Neomiocene age for the Solimões Formation.

**Keywords.** Palynomorphs, Chronostratigraphy, Paleoenvironment, Miocene.

## 1 Introdução

O Neógeno foi palco da formação do atual cenário amazônico, um período decisivo no estabelecimento da geografia e da composição biótica como são conhecidos hoje (Nogueira *et al.*, 2013; Hoorn *et al.*, 2017, Bissaro-Jr *et al.*, 2019; Hoorn *et al.*, 2019; Jorge *et al.*, 2019). Uma reorganização do sistema de drenagem amazônico ocorreu, com captura da rede de canais da Amazônia ocidental para o Oceano Atlântico, a leste, caracterizando uma inversão da direção de fluxo do sistema fluvial (Hoorn *et al.*, 1995; Figueiredo *et al.*, 2009; Hoorn *et al.*, 2010; Latrubesse *et al.*, 2010; Sacek, 2014; Shephard *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013; Rossetti *et al.*, 2015).

Dados de origem marinha — como cistos de dinoflagelados e foraminíferos bentônicos — apontaram idade neomiocena para os depósitos da Formação Solimões (Hoorn, 1993; Hoorn *et al.*, 1995; Figueiredo *et al.*, 2010; Gorini *et al.*, 2014; Hoorn *et al.*, 2017; Lammerstma *et al.*, 2018). Os dados de origem continental — como conteúdo paleontológico de vertebrados, palinológico, e análise faciológica — indicam idade plio-pleistocena (Rossetti *et al.*, 2005, 2015; Campbell, 2005, 2010; Latrubesse *et al.*, 2010; Ribas *et al.*, 2012; Horbe *et al.*, 2013; Gomes, 2019). Nos últimos anos também foram reconhecidas influências marinhas em sistemas fluviais no decorrer do Plioceno (Kachinasz & Silva-Caminha, 2016; Silveira & Souza, 2016, 2017).

As incursões marinhas durante o Neógeno foram cogitadas devido à existência de microfósseis típicos desse ambiente, como palinoforaminíferos, pólen de mangue e dinoflagelados (Hoorn *et al.*, 2010; Kachinasz & Silva-Caminha, 2016; Silveira & Souza, 2016, 2017; Jaramillo *et al.*, 2017).

Boonstra *et al.* (2015), por sua vez, registraram incursões marinhas no Mioceno médio a superior. Leite *et al.* (2017) encontraram evidências de duas fases deposicionais: uma correspondente ao sistema Pebas de grandes lagos e outra correspondente a um sistema fluvial. Linhares *et al.* (2017) e Jaramillo *et al.* (2017), concordaram com dois eventos de incursões marinhas: um no Mioceno inferior e outro no Mioceno médio, com o adendo de que Linhares *et al.* (2017) relataram ainda um terceiro evento no Mioceno superior. Já Silveira & Souza (2016, 2017) reconheceram um ambiente deposicional de lagoas de água doce, lagos e/ou rios lentos, com influência marinha no decorrer do Plioceno.

Na área estudada não existem estudos palinológicos significativos direcionados à cronoestratigrafia (Gross *et al.*, 2011) e bioestratigrafia, ainda que a Formação Solimões seja uma rica unidade fossilífera (Hoorn, 1993, 2019; Adamy, 2015; Boonstra *et al.*, 2015; Gross *et al.*, 2016; Silveira & Souza, 2017; Linhares *et al.*, 2019) e uma das mais bem amostradas do norte da América do Sul (Bissaro-Jr *et al.*, 2019).

Informações sobre idade e ambiente ainda são insuficientes ao se considerar o tamanho da área de ocorrência da unidade investigada e a descontinuidade do registro bioestratigráfico, o que prejudica sobremaneira a compreensão acerca da evolução geológica dessa região. Dessa maneira, este trabalho tem como principal objetivo identificar o paleoambiente e a idade da Formação Solimões nos locais estudados.

## **2 Área, materiais e métodos**

### *2.1 Área de estudo*

A área de estudo desta pesquisa compreende dois afloramentos que ocorrem nas adjacências das comunidades Torre da Lua e Aquidabã. O primeiro afloramento está situado aproximadamente 20 km a sudeste da sede municipal de Eirunepé, ao passo em que o segundo, em cerca de 25 km a nordeste. O município está localizado na região sudeste do estado do Amazonas, com coordenadas 6°49'26.8"S, 69°46'59.6"W (Torre da Lua); e 6°31'40.8"S, 69°39'52"W (Aquidabã) (Fig. 1). O acesso aos afloramentos partindo do município é feito inteiramente via fluvial, por meio dos rios Tarauacá para a comunidade Torre da Lua e Juruá para a comunidade Aquidabã.

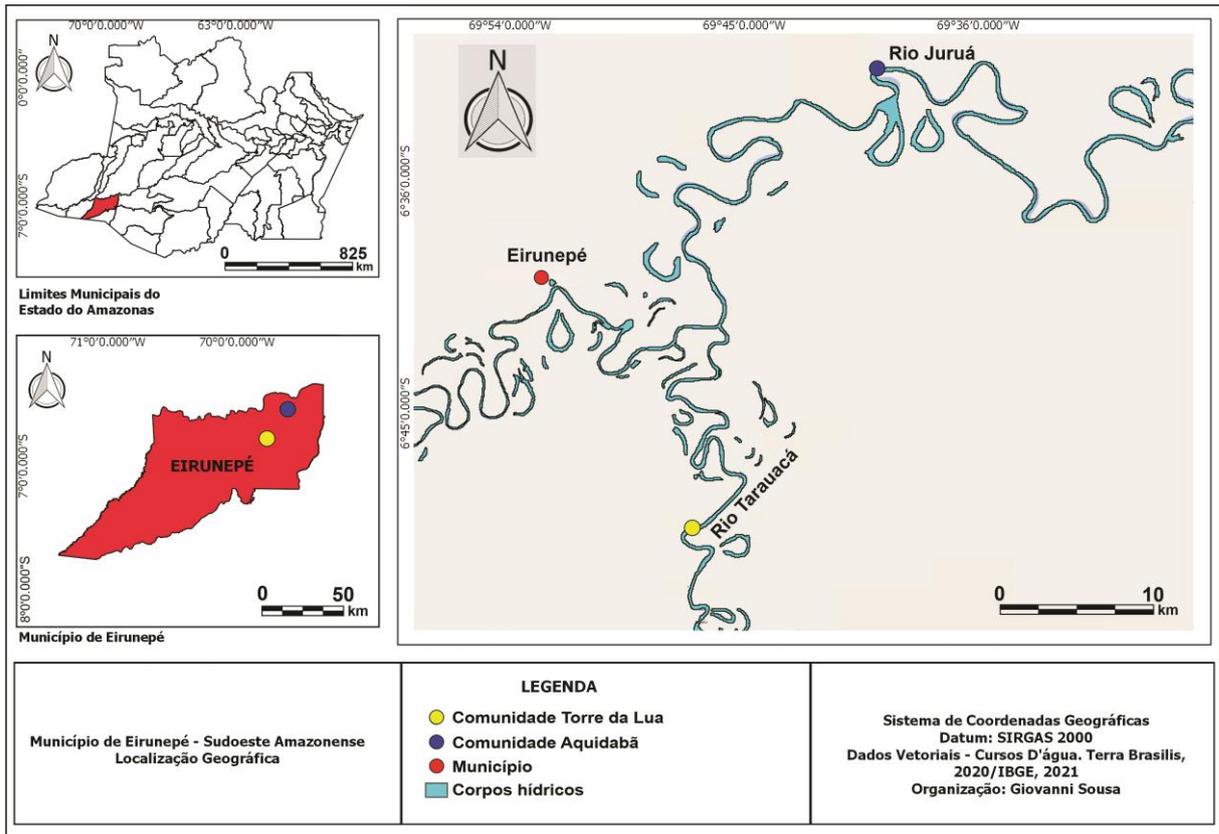


Figura 1. Mapa de localização das comunidades Torre da Lua e Aquidabã, onde foram obtidas as amostras estudadas neste trabalho, nas adjacências do município de Eirunepé. Dados vetoriais de Terra Brasilis (Assis *et al.*, 2020) e IBGE, 2021.

*Figure 1. Location map of Torre da Lua and Aquidabã communities, where the samples studied in this work were obtained, from the samples studied in this work are located, near the municipality of Eirunepé. Vector data from Terra Brasilis (Assis *et al.*, 2020) e IBGE, 2021.*

## 2.2 Amostragem

A coleta sistemática de 35 amostras representativas foi feita nos afloramentos estudados, além de seções colunares e panorâmicas representativas deles, utilizadas como instrumento de auxílio e subsídio à identificação das fácies e interpretações dos processos sedimentares e sistemas deposicionais que ali atuaram.

Após coletadas, acondicionadas e enumeradas em sacos plásticos com marcações referentes às localidades, as amostras passaram pelo processo denominado pré-tratamento químico, procedimento que envolve as fases de secagem, trituração e pesagem das amostras. Em linhas gerais, essa etapa busca preparar as amostras de mão coletadas para desagrega-las e

reduzi-las em porções particuladas, em alíquotas de 10 g para níveis mais escuros (folhelho e argila escuros, carvões e turfas) e 30 g para material mais claro (folhelho e siltito cinza-claros), de acordo com a metodologia padrão de Uesugui (1979), realizada no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas.

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT–UFRGS) para etapa de tratamento químico e confecção das lâminas palinológicas, conforme metodologia padrão para amostras pré-quadernárias seguida pelo laboratório e descrita em Uesugui (1979).

Para cada amostra coletada, foram confeccionadas duas lâminas palinológicas por nível amostrado, no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo (LPMMT–UFRGS), totalizando 70 lâminas, utilizadas na análise palinológica.

### 2.3 Contexto geológico

A Bacia do Solimões abrange uma área de aproximadamente 440.000 km<sup>2</sup>, compreendida no estado Amazonas, e é subdividida pelo Arco de Carauari nas sub-bacias Juruá, a leste, e Jandiatuba, a oeste. Apresenta limite ao norte com o Escudo das Guianas, a sul com o Escudo Brasileiro; a oeste o Arco de Iquitos a separa da Bacia do Acre e demais bacias andinas; a leste é separada da Bacia do Amazonas pelo Arco de Purus (Caputo, 1984; Eiras *et al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007) (Fig. 2).



Figura 2. Localização da Bacia do Solimões, subdividida ao norte pelo Escudo das Guianas, a sul pelo Escudo Brasileiro, a leste pelo Arco de Purus, e a oeste pelo Arco de Iquitos (modificado de Barroso, 2002).

*Figure 2. Location of the Solimões Basin, subdivided in the northern part of the Basin by the Guyana Shield, in the southern part by the Brazilian Shield, in the eastern part by the Purus Arch, and in the western part by the Iquitos Arch (modified from Barroso, 2002).*

A Formação Solimões está inserida na última sequência deposicional da bacia, correspondente ao Grupo Javari. A Formação Alter o Chão, primeira unidade do Grupo Javari, foi primeiramente definida por P. Kistler em 1954, que descreveu arenitos avermelhados, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais, litologias atribuídas a ambiente flúvio-lacustre-deltaico (Kistler, 1954).

No Paleógeno, com o soergimento da cadeia Andina, o depocentro sedimentar foi deslocado, fazendo com que os rios de alta energia dessem lugar a rios meandantes e lagos de baixa energia, onde predominou a deposição dos pelitos correspondentes à Formação Solimões (ANP, 2015). Esta é separada por discordância erosiva da sotoposta Formação Alter do Chão. Terraços fluviais quaternários mais jovens recobrem localmente as unidades neógenas (Caputo, 1984; Eiras *et al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007) (Fig. 3).

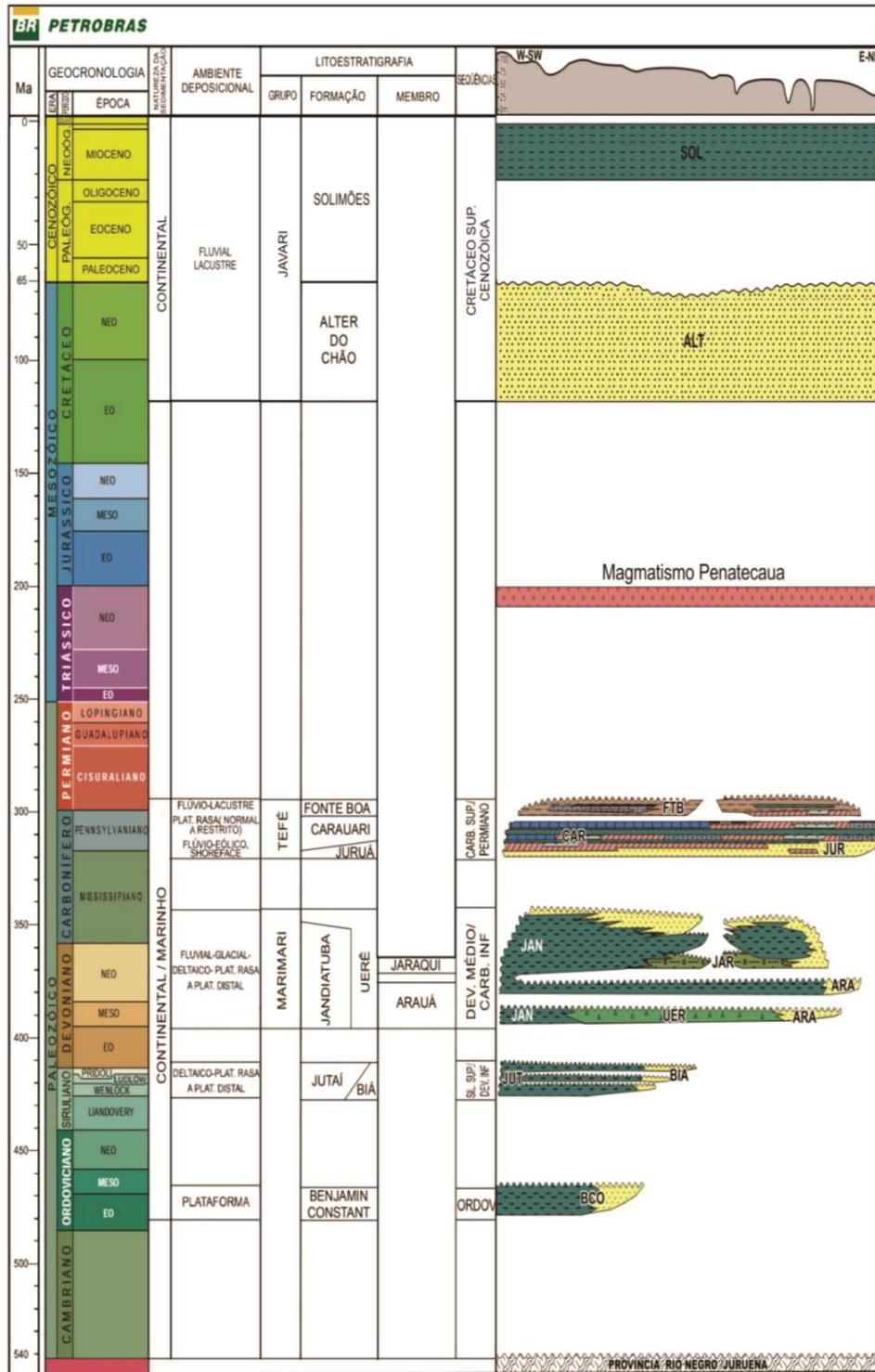


Figura 3. Carta estratigráfica da Bacia do Solimões (modificado de Wanderley Filho *et al.*, 2007).

Figure 3. Stratigraphic chart of the Solimões Basin (modified from Wanderley Filho *et al.*, 2007).

A idade da Formação Solimões é estabelecida a partir de estudos palinológicos, e foi primeiramente proposta por Daemon & Contreiras (1971), que posicionaram a unidade entre o Paleoceno e o Pleistoceno. Cruz (1984) admitiu para a unidade na porção central da Amazônia, uma idade entre Eomioceno ao Plioceno. As análises palinológicas de Hoorn (1993) revelaram conjuntos palinológicos do Eomioceno ao limite Meso-Neomioceno, que é contemplado em trabalhos de superfície, onde é identificada uma associação palinológica relacionada à passagem Serravaliano-Tortoniano (Silveira & Souza, 2015). Trabalhos desenvolvidos nas porções ocidental e central da Amazônia brasileira (Silva-Caminha *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013) apontam idades compatíveis àquela estabelecida por Cruz (1984).

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Análise de fácies

A análise de fácies sedimentares dos afloramentos Aquidabã (AQ) (Fig. 4) e Torre da Lua (TL) (Fig. 5) culminou na identificação de 6 litofácies: i) ortoconglomerado maciço (Cm); ii) arenito com laminação cruzada (Ac); iii) arenito maciço (Am); iv) pelito maciço fossilífero (Pmf); v) pelito maciço (Pm); vi) linhito (L).

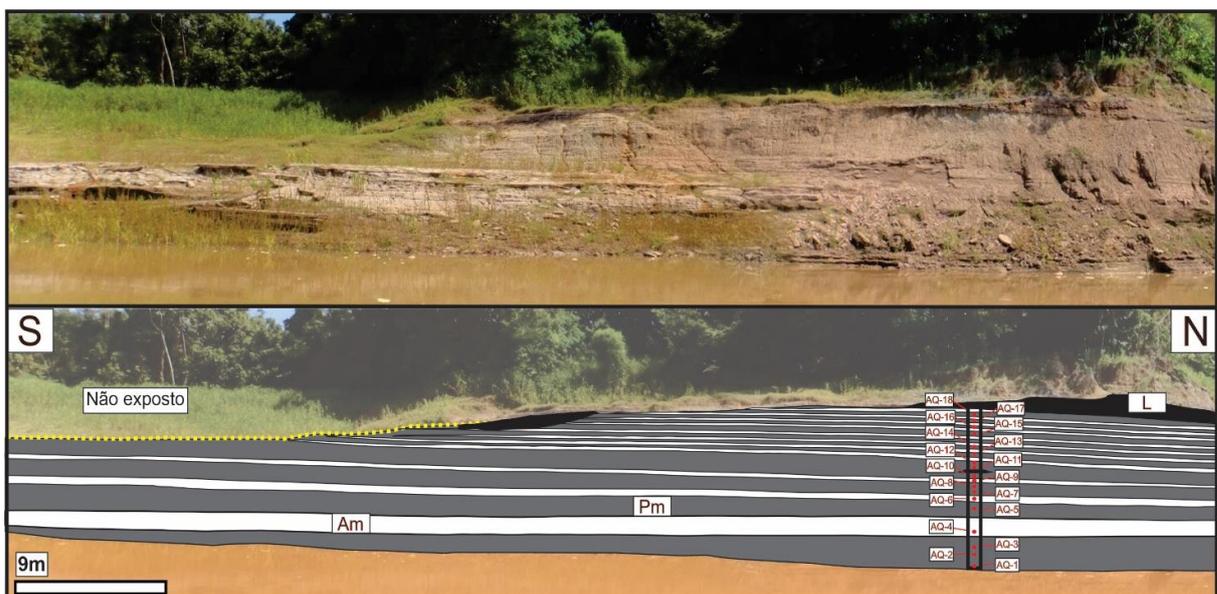


Figura 4. Seção interpretativa do afloramento pertencente à Formação Solimões, situado na comunidade Aquidabã. A exposição é caracterizada por estratos pelíticos (representados pelas litofácies pelito maciço – Pm e linhito – L) intercalados com estratos arenosos (representados pela litofácies arenito maciço – Am). Conforme indicado na imagem, os estratos de cor branca representam os arenitos maciços, estratos cinza-escuros representam os pelitos maciços e de cor preta, os linhitos. Na porção direita da seção é indicada a localização de onde foram feitos o perfil e as coletas das amostras.

*Figure 4. Interpretive section corresponding to the outcrop belonging to the Solimões Formation, located in the Aquidabã community. The exposure is characterized by pelitic strata (represented by massive pelite lithofacies – Pm and lignite – L) interspersed with sandy strata (represented by massive sandstone lithofacies – Am). As indicated in the image, the white strata represent the massive sandstones, dark gray strata represent the massive mudstones and the black strata represent the lignites. In the right portion of the section is indicated the location where the profile and sample collections were made.*

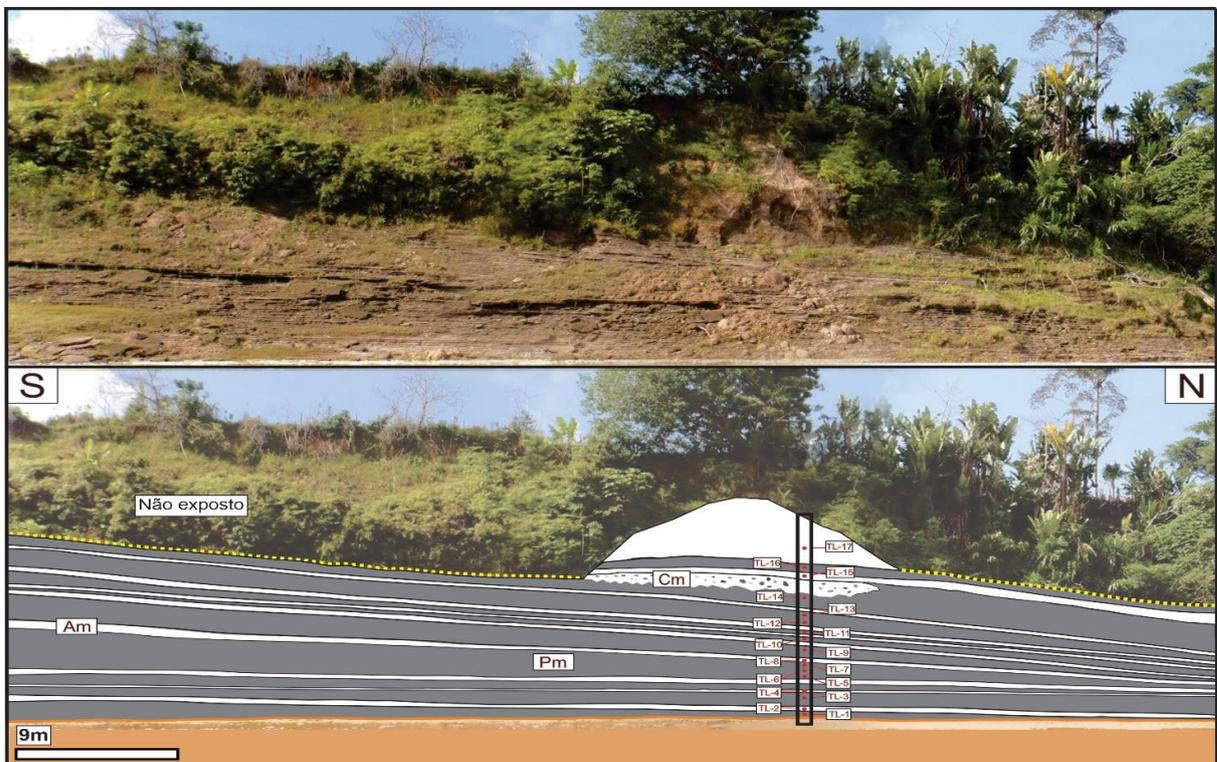


Figura 5. Seção interpretativa do afloramento da Formação Solimões, situado na comunidade Torre da Lua. A exposição é caracterizada por estratos pelíticos (representados pela litofácies pelito maciço – Pm) intercalados com estratos arenosos (representado pela litofácies arenito maciço – Am) e conglomerático (representado pela litofácies ortoconglomerado maciço – Cm). Conforme indicado na imagem, os estratos de cor branca representam os arenitos maciços, estratos cinza-escuros representam os pelitos maciços, e estrato branco com clastos acinzentados representa o ortoconglomerado maciço. Na porção direita da seção é indicada a localização de onde foram feitos o perfil e as coletas das amostras.

*Figure 5. Interpretive section corresponding to the outcrop of the Solimões Formation, located in the Torre da Lua community. The exposure is characterized by pelitic strata (represented by the massive pelite lithofacies – Pm) interspersed with sandy strata (represented by the massive sandstone lithofacies – Am) and conglomeratic strata (represented by the massive orthoconglomerate lithofacies – Cm). As indicated in the image, white strata represent massive sandstones, dark gray strata represent massive mudstones, and white strata with gray clasts represent the massive orthoconglomerate. In the right portion of the section is indicated the location where the profile and sample collections were made.*

Neste sentido, as litofácies identificadas são representadas da seguinte forma (Fig. 6):

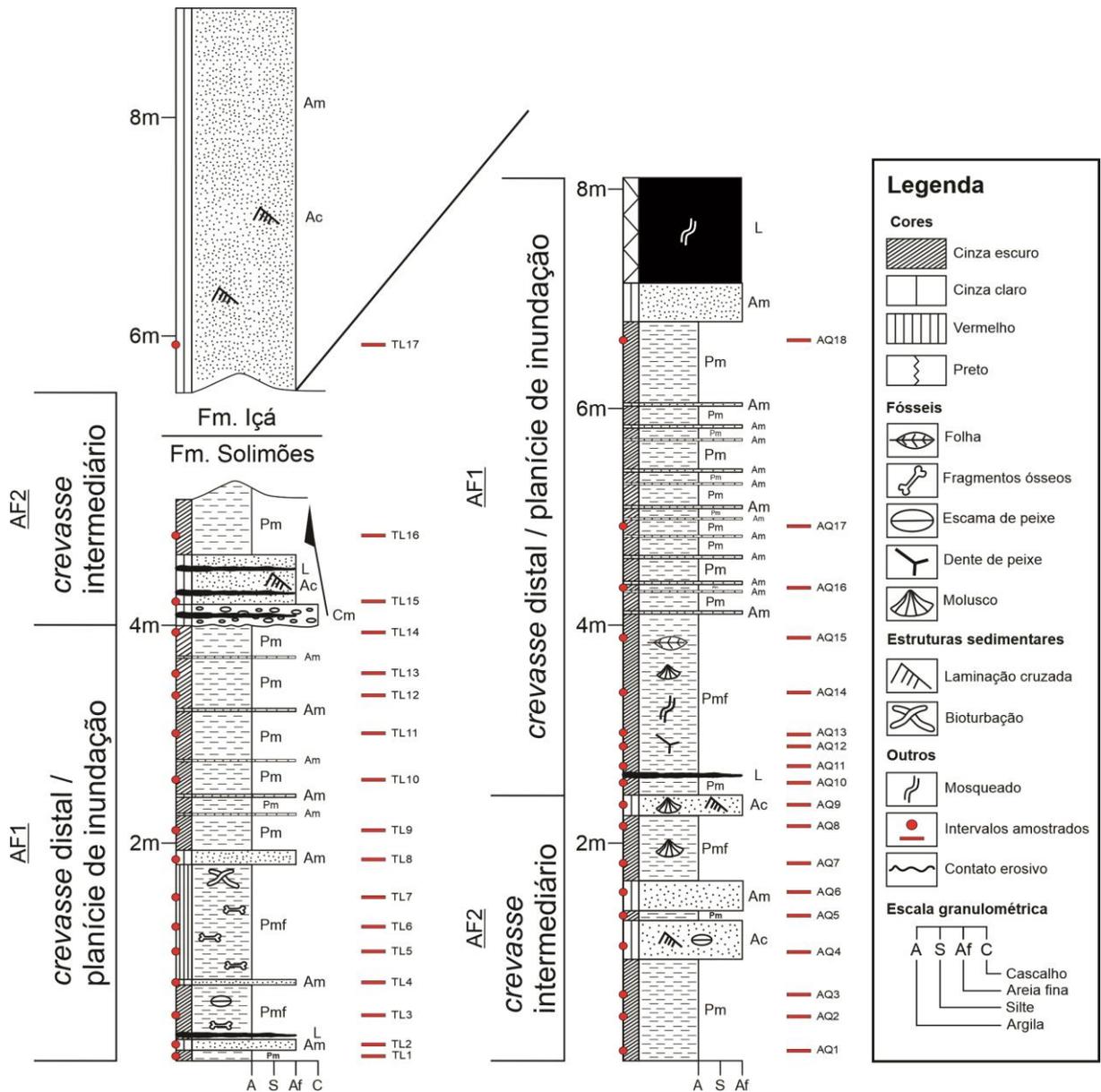


Figura 6. Seções colunares e ambientes propostos, representativos das sucessões siliciclásticas das comunidades Torre da Lua (TL) à esquerda e Aquidabã (AQ) à direita, pertencentes à Formação Solimões.

Figure 6. Columnar sections and proposed environments, representing the siliciclastic successions of the Torre da Lua (TL) and Aquidabã (AQ) communities (left and right, respectively), which belong to the Solimões Formation.

A fácies ortoconglomerado maciço (Cm) (Fig. 7A) é assim caracterizada devido à ocorrência de ortoconglomerado oligomítico lenticular com clastos de pelito acinzentado (Fig.

7B) de diâmetro entre 2 mm e 8 mm, arredondados e mal selecionados (Fig. 7C). A matriz é composta por arenito acinzentado de granulometria fina, grãos arredondados e moderadamente selecionados, e de estrutura maciça. O contato inferior é erosivo com Pm e o superior é gradacional com Ac. À formação dessa fácies é atribuído processo de deposição residual (*lag deposits*) a partir de fluxos de detritos viscosos subaquosos.

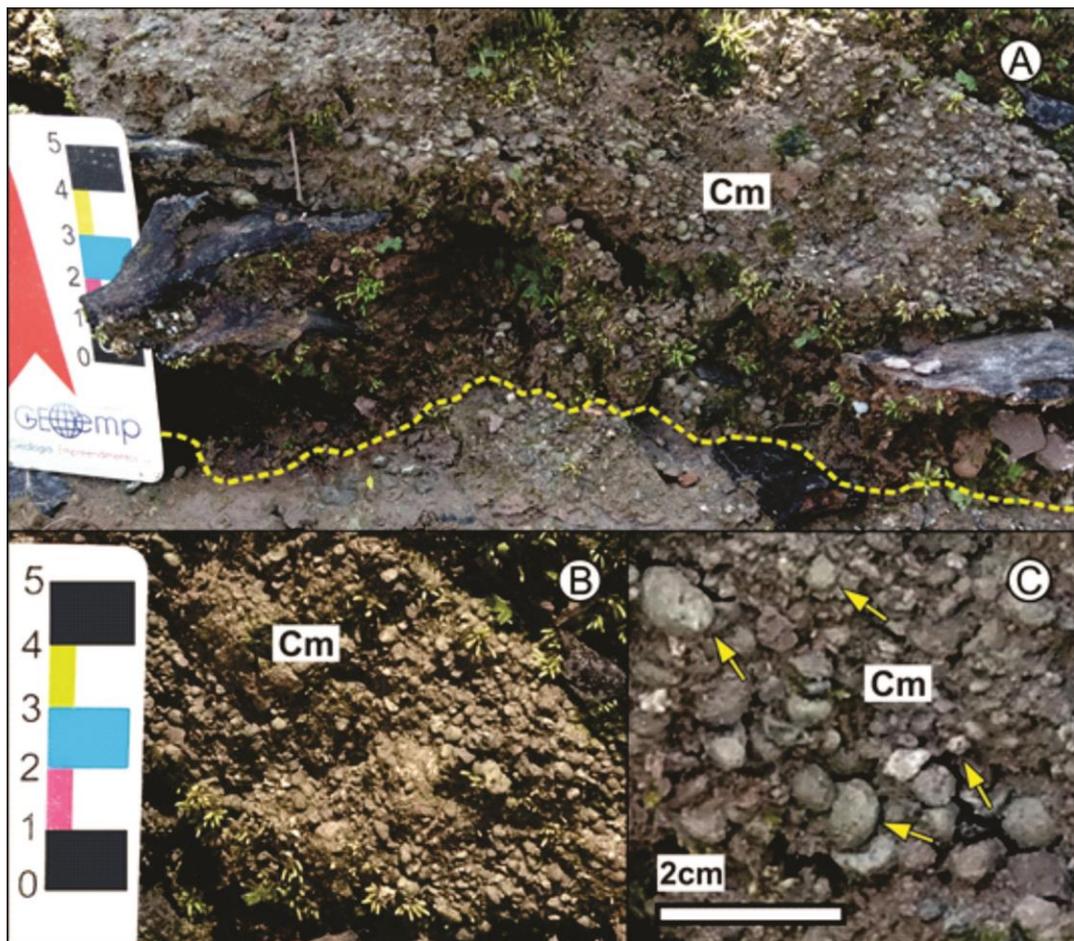


Figura 7. A fácies ortoconglomerado maciço (Cm), observada em detalhe, contém fragmentos centimétricos de lenhos fósseis e possui contato inferior erosivo com Pm (tracejado amarelo) (A). Em (B) e, especialmente em (C), indicada pelas setas amarelas, destaca-se a variação de tamanho dos clastos, o que caracteriza a má seleção dos grãos do ortoconglomerado.

*Figure 7. The massive orthoconglomerate facies (Cm), shown in detail, contains centimetric fragments of fossil woods and has erosive lower contact with Pm (dashed yellow) (A). In (B)*

and, especially in (C), indicated by the yellow arrows, the variation in the size of the clasts stands out, which characterizes the poor selection of grains in the orthoconglomerate.

A fácies arenito com laminação cruzada (Ac) (Fig. 8A) diz respeito aos arenitos tabulares de cor cinza-claro, granulometria fina, de grãos arredondados e bem selecionados. Apresentam laminação cruzada, além de contatos inferior e superior planares com Am. O processo de deposição ocorreu a partir de deposição por migração de marcas onduladas sob fluxo unidirecional, e, eventualmente, fluxo oscilatório.

A fácies arenito maciço (Am) (Fig. 8B e C) consiste em arenito tabular esbranquiçado a cinza-claro, granulometria fina, grãos arredondados e bem selecionados. Além disso, apresenta estrutura sedimentar maciça, e contato inferior gradacional com Pm e Pmf; o contato superior é gradacional com Pm, Pmf e L. O processo de formação dessa fácies se deu a partir de deposição rápida associada a ausência de contraste granulométrico.

A fácies pelito maciço (Pm) (Fig. 8D) é caracterizada pelos pelitos maciços tabulares de cor cinza-escuro a castanho-avermelhado. O contato inferior é planar com Am e gradacional com Ac e Am; o contato superior é erosivo com Cm e gradacional com Ac e Am. Essa fácies foi formada a partir de deposição por suspensão.



Figura 8. (A) Fácies Ac com presença de laminação cruzada, representada por linhas amarelas e vermelhas. (B) e (C) Fácies Am exibindo visões geral e em detalhe, respectivamente. (D) Em visão geral, é exibida a fácies Pm, caracterizada por pelito maciço. Na porção basal desta fácies, há fragmentos linhíticos associados, indicados pelas setas amarelas.

*Figure 8. Ac facies with cross lamination, represented by yellow and red lines. (B) and (C) Am facies showing wide and detailed sight, respectively. It has a massive sedimentary structure in fine-grained sandstone. (D) The Pm facies is characterized by massive pelite. In the basal portion of this facies, there are associated lignitic fragments, indicated by yellow arrows.*

A fácies pelito maciço fossilífero (Pmf) consiste em pelitos tabulares de cor castanho-avermelhado a cinza-escuro com ocorrência de macrofósseis animais, como escama de peixe (Fig. 9A), fragmento ósseo de vertebrado (Fig. 9B), fragmento de casco de tartaruga (Fig. 9C); e conchas de moluscos (Fig. 9D). Ocorrem ainda estruturas sedimentares maciça e biogênica (ocorrência de bioturbação no topo desta fácies) (Fig. 9E), além de mosqueamento, bem como fragmentos linhíticos e carbonificação foliar (Fig. 9F). Os contatos inferior e superior são gradacionais com Am e Ac. Essa fácies se formou a partir de processo de deposição por suspensão, com exposição subaérea.



Figura 9. A fácies Pmf é constituída por pelito maciço fossilífero castanho-avermelhado a cinza-escuro. Nela foram observados macrofósseis como escama de peixe (A), fragmento ósseo de vertebrado (B), fragmento de casco de tartaruga (C), conchas de moluscos (D), bioturbação, situada na porção superior desta fácies e preenchida por arenito fino, cujas dimensões se dão por volta de 0,9 cm de largura, 15 cm de comprimento e 3,6 cm de amplitude, e que coincide com a fácies sobreposta. (Am) (E), e impressão foliar carbonizada (F).

*Figure 9. The Pmf facies is made up of a fossiliferous massive reddish-brown to dark gray pelite. Macrofossils such as fish scale (A), fish teeth (B), fragment of turtle shell (C), mollusc shells (D), bioturbation, located in the upper portion of this facies and filled with fine sandstone, whose dimensions are around 0.9 cm width, 15 cm length and 3.6 cm amplitude, which coincides with the superimposed facies (Am) (E), and carbonized leaf print (F).*

A fácies linhito (L) apresenta fragmentos vegetais lenhosos na forma de troncos (Fig. 10A), níveis lenticulares (Fig. 10B), além de impressões foliares carbonizadas, subordinadamente (Fig. 10C). Quando é observada em sua forma mais espessa, a fácies L é mosqueada (Fig. 10D).

O contato inferior é gradacional com Am. Essa fácies foi depositada por meio de suspensão com acumulação *in situ* de restos vegetais em condições redutoras/anóxicas, propícias à preservação de matéria orgânica.

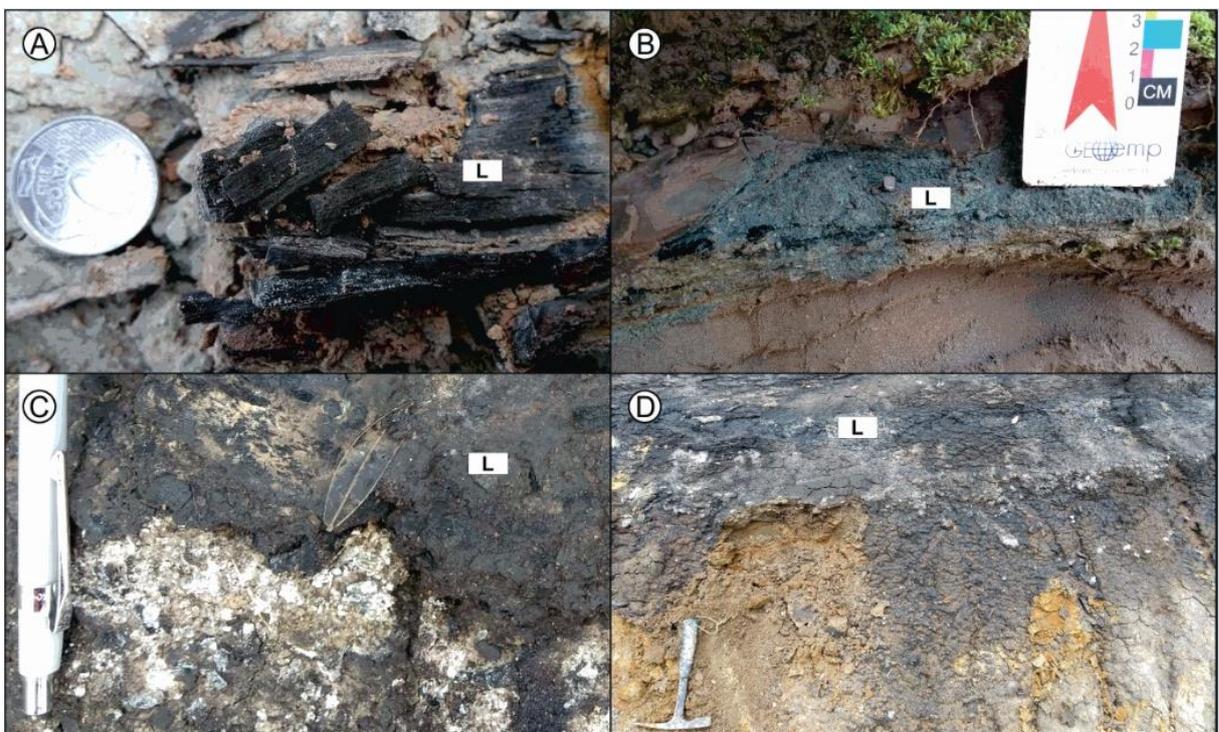


Figura 10. A fácies L apresenta variadas formas de ocorrência, que vão desde fragmentos vegetais lenhosos na forma de troncos (A), níveis lenticulares de cerca de 3 cm de espessura (B), folhas e carbonificações foliares (C) a uma camada maciça, mais espessa, mosqueada, de aproximadamente 90 cm de espessura (D).

*Figure 10. The L facies presents various forms of occurrence, ranging from woody plant fragments in the form of trunks (A), lenticular levels of about 3 cm thick (B), leaves and carbonized leaf prints (C) to a massive, thicker, mottled layer approximately 90 cm thick (D).*

### 3.1.1 Análise de fácies

A análise faciológica possibilitou que as seis fácies identificadas na área de estudo fossem agrupadas em duas associações: Lago (AF1) e Espriamento de *crevasse* (AF2).

A associação AF1, composta por pelito maciço (Pm), pelito maciço fossilífero (Pmf), e linhito (L), é caracterizada por depósitos tabulares com predomínio de fácies argilosas com acamamento maciço e laminações cruzadas, eventualmente apresentando lenhos fósseis carbonatizados.

É atribuída a essa associação de fácies a interpretação de que as camadas tabulares remetem a um sítio de deposição marginal a canalizações principais do sistema fluvial onde predominam depósitos oriundos de argila em suspensão (Nichols, 2007; Scherer *et al.*, 2007; Renaut & Gierlowski-Kordesch, 2010; Albarelli *et al.*, 2015; Scherer *et al.*, 2015; Widera, 2016; Burns *et al.*, 2017; Yeste *et al.*, 2020). A exposição subaérea desses depósitos permitiu o crescimento de vegetais — evidenciado pela ocorrência de lenhos fósseis, carbonificações foliares e palinomorfos — além de atividade biológica, atestada pela ocorrência de macrofósseis animais e bioturbação (Gross *et al.*, 2011; Albarelli *et al.*, 2015; D’Apolito, 2016; Yeste *et al.*, 2020).

O caráter maciço desses depósitos pode estar ligado à ausência de contraste granulométrico ou por perturbação pós-deposicional dos sedimentos por bioturbação e processos pedogênicos como mosqueamento (Retallack, 1997; Jo, 2003; Potter *et al.*, 2005; Gruszka, 2007; Renaut & Gierlowski-Kordesch, 2010).

Lenhos fósseis carbonatizados encontrados associados a esses depósitos refletem condições hidrodinâmicas com ausência de tração e predomínio de processos de decantação de argila compatíveis com sistemas de lagos (Roberts *et al.*, 2007; Scherer *et al.*, 2007; Gulliford *et al.*, 2017; Scherer *et al.*, 2015; Widera, 2016). Além disso, a ocorrência de tais lenhos fósseis carbonatizados encontrados associados a esses depósitos refletem condições redutoras necessárias para preservação da matéria orgânica e compatíveis com zonas anóxicas em regiões mais profundas deste lago. (Jo, 2003; Roberts *et al.*, 2007; Renaut & Gierlowski-Kordesch, 2010; Gross *et al.*, 2011; Davies-Vollum *et al.*, 2012; Widera 2012; Scherer *et al.*, 2015; Widera, 2016; Yeste *et al.*, 2020).

A associação AF2, composta por ortoconglomerado maciço (Cm), arenito com laminação cruzada (Ac) e arenito maciço (Am), é caracterizada por depósitos majoritariamente tabulares, e lenticular subordinadamente, com predomínio de fácies arenosas e conglomerática, respectivamente, com acamamento maciço e laminações cruzadas, eventualmente apresentando lenhos fósseis carbonatizados.

É atribuída a essa associação de fácies a interpretação de que sua sedimentação se deu quando águas de enchente provocaram o rompimento do dique marginal (Farrell, 2001; Fambrini *et al.*, 2011; Kordowski *et al.*, 2013; Reis, 2016; Burns *et al.*, 2017; Gulliford *et al.*, 2017), promovendo rápida deposição de fluxos unidirecionais de alta energia que adentram a planície de inundação, caracterizando assim o espriamento de *crevasse*.

Durante os eventos de inundação, a erosão local do dique marginal, que é majoritariamente argiloso (em alguns casos com variações granulométricas e, por vezes, rítmicas), o posterior rompimento do canal e consequente remobilização de sua margem são responsáveis por formar os clastos de pelito, que são incorporados aos sedimentos arenosos do próprio rio, formando o ortoconglomerado maciço com clastos de pelito de base erosiva, que marca o limite basal do lobo de *crevasse* (Jo, 2003; Allen *et al.*, 2013; Veeken & Moerkerken, 2013).

Permanecem *in situ* os depósitos residuais (*lag deposits*) que não podem ser levados em suspensão ou saltação. Dessa forma, a alta velocidade de fluxo e rápida sedimentação decorrentes do rompimento abrupto da margem do canal são responsáveis pela textura maciça do ortoconglomerado e a má seleção dos clastos de pelito (Suguo, 2003; Ghazy & Mountey, 2009; Reis, 2016). Neste sentido, a fração mais grossa desses sedimentos (cascalho) é transportada e depositada preferencialmente na parte proximal. Já as frações mais finas (silte/argila) são transportadas em suspensão e depositadas nas porções medial a distal, onde ocorrem os arenitos finos com feições associadas a formas de leito de menor escala, como as laminações cruzadas, além dos arenitos maciços. A ocorrência de laminações cruzadas sugere períodos em que o fluxo desacelera bruscamente, provavelmente associado ao final de um evento de enxurrada (Reis, 2016; Widera, 2016; Gulliford *et al.*, 2017).

Esses arenitos ocorrem em delgadas intercalações associadas aos pelitos, e refletem ocorrências individuais de inundação que forneceram os *inputs* de areia observados nas exposições rochosas (Scherer *et al.*, 2007; Gross *et al.*, 2011; Scherer *et al.*, 2015; Widera, 2016).

O ortoconglomerado é sucedido por arenito e pelito, respectivamente, o que caracteriza sequência granodecrescente ascendente. Essa sequência marca uma transição proximal/distal, uma vez que há gradual tendência decrescente de energia de fluxo e de concentração de sedimentos conforme as águas da enchente avançam e se espalham planície adentro, substituindo assim, as correntes trativas unidirecionais por processo de decantação de sedimentos argilosos (Anderson, 2005; Ghosh *et al.*, 2006; Aslan & Scott, 2007; Nichols &

Fisher, 2007; Wakelin-King & Webb, 2007; Arnaud-Fassetta, 2013; Veeken & Moerkerken, 2013; Burns *et al.*, 2017).

Apesar de os depósitos de espriamento de crevasse tradicionalmente apresentarem tendência granocrescente ascendente, mais compatível com canalizações principais, a presença de linhitos intercalados nessa associação indica condições de águas estagnadas, ou seja, canais inseridos dentro da planície de inundação. Além disso, a tendência granocrescente ascendente constatada em depósitos de *crevasse splay* só pode ser observada nas porções mais próximas ao rompimento do dique marginal.

### 3.2. Palinologia

A análise palinológica foi realizada em 70 lâminas, correspondentes a 35 amostras de mão: 18 do afloramento AQ (Tab. 1A e 1B) e 17 do afloramento TL (Tab. 2). As espécies identificadas foram ordenadas respectivamente pela ordem esporo de fungo, esporo de licófitas e samambaias, e grão de pólen.

As espécies de palinómorfos identificadas em lâmina foram comparadas com as existentes na literatura por meio do banco de dados bibliográficos *online* “Palynodata”, de Ken Piel; da base de dados eletrônica de Jaramillo & Rueda (2018), que possui informações atualizadas sobre pólen e esporos do período Cretáceo e Cenozoico para a região norte da América do Sul; autores clássicos da literatura especializada como Germeraad *et al.* (1968) e Regali *et al.* (1974a, 1974b), além de outros, como Cruz (1984), Lorente (1986), Saxena & Khare (1992), Hoorn (1993), Leite (2006), Silva-Caminha *et al.* (2010), D’Apolito (2016), Kachniasz (2016) e Gomes (2019), que fornecem informações taxonômicas de grãos de pólen e esporos do Neógeno do norte da América do Sul.

A microflora é pouco abundante, cujos espécimes apresentaram baixa ocorrência e baixa qualidade de preservação, o que dificultou o reconhecimento taxonômico e desfavoreceu os estudos paleoecológicos. Neste sentido, no total, foram reconhecidos 416 palinómorfos de 8 espécies diferentes. Dos 416 palinómorfos identificados, 333 são grãos de esporos (238 esporos de licófitas e samambaias e 95 esporos de fungos) e 83 são grãos de pólen. Das 8 espécies reconhecidas, 1 é esporo de fungo, 5 são esporos de plantas e 2 são de grãos de pólen. A terminologia usada nas descrições segue Punt *et al.* (2007).



Tabela 2. Relação de ocorrência de esporomorfos em 34 lâminas advindas de 17 amostras de mão, referentes ao afloramento da comunidade Torre da Lua. As amostras 11 e 14 não estão representadas devido à esterilidade de suas respectivas lâminas. T indica o somatório de palinomorfos em cada amostra, segundo suas respectivas espécies.

Táxons	Amostras palinológicas TL																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	16	17	T	
<b>Esporos de fungos</b>																	
<i>Frasnacritetrus indicus</i>	4			1	6	1		1	7	1			1	8	1	31	
<b>Esporos de licófitas e samambaias</b>																	
<i>Cyathidites</i> spp	1			2	13				1							17	
<i>Deltoidospora adriennis</i>																	
<i>Echinatisporis muelleri</i>	1			1												2	
<i>Ischyosporites dubius</i>																	
<i>Magnastriatites grandiosus</i>		2	5	6	3	7		5	5	1	1	2		4	4	45	
<b>Pólen de angiospermas</b>																	
<i>Echiperiporites estelae</i>	2	2	1	3	1	1	2	4	5	1		1		4	3	30	
<i>Grimsdalea magnaclavata</i>																	

As espécies identificadas foram o esporo de fungo *Frasnacritetrus indicus* Saxena e Khare 1992, os esporos de licófitas e samambaias *Cyathidites* spp Couper 1953, *Deltoidospora adriennis* Potonié e Gelletich 1933 Frederiksen 1983, *Echinatisporis muelleri* (Regali *et al.*, 1974a,b) Silva-Caminha *et al.* 2010, *Ischyosporites dubius* D’Apolito 2016, *Magnastriatites grandiosus* Kedves e Soles de Porta 1963 Dueñas 1980, e grãos de pólen de angiospermas *Echiperiporites estelae* Germeraad *et al.* 1968 e *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad *et al.* 1968 (Fig. 11). Os táxons registrados nos afloramentos AQ e TL foram distribuídos estratigraficamente de modo a destacar a representatividade dos palinomorfos em cada localidade (Fig. 12 e 13).

Dentre os táxons identificados, os de maior representação, com ocorrências em ambos afloramentos e na maioria dos níveis amostrados, estão *Frasnacritetrus indicus*, *Magnastriatites grandiosus* e *Echiperiporites estelae*. De modo geral, os demais táxons ocorrem de forma subordinada em ambas sucessões sedimentares, com destaque quantitativo restrito de ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata* em um único nível estratigráfico, no afloramento AQ.

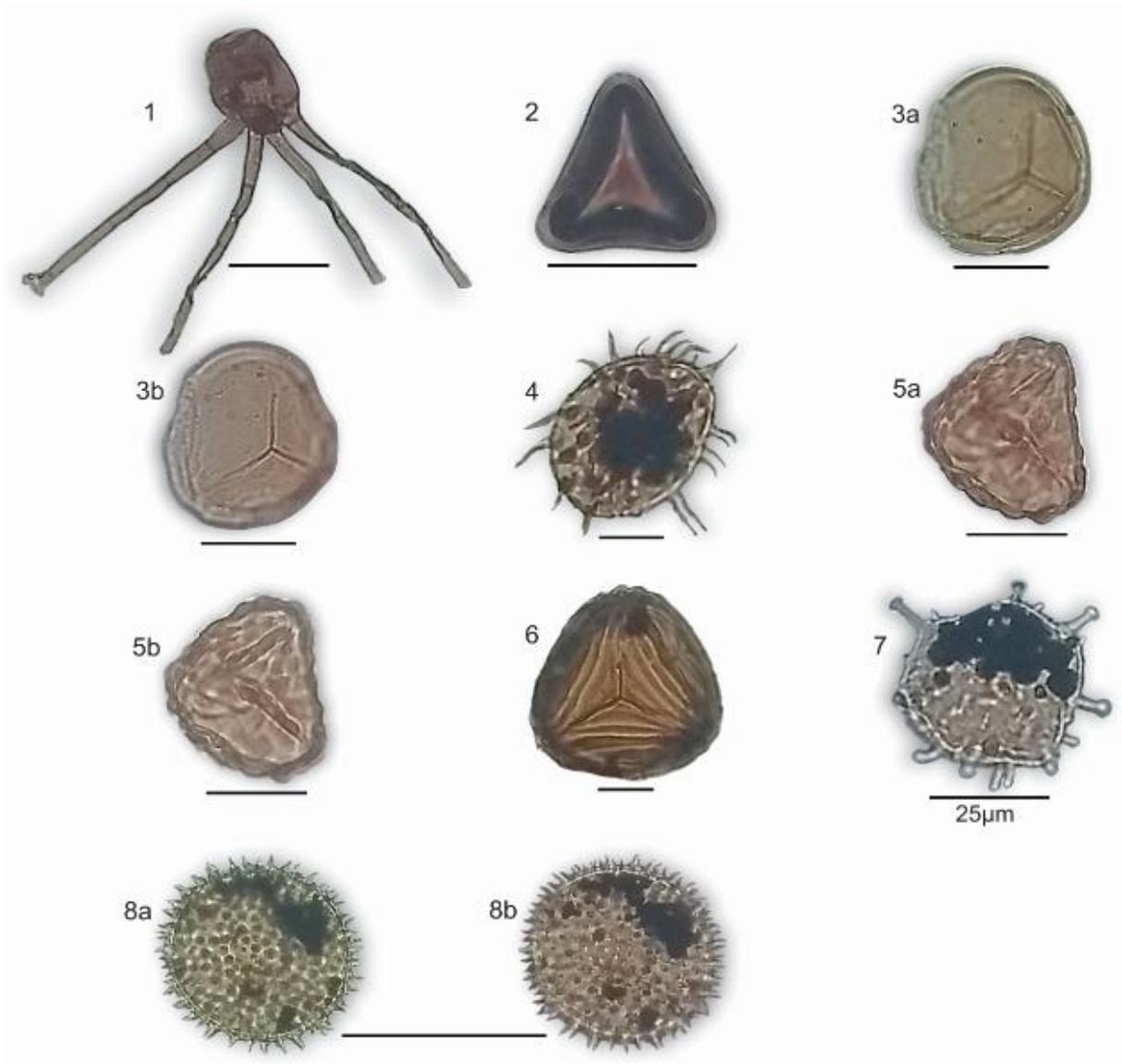


Figura 11. Fotomicrografías de palinómorfos seleccionados. 1) *Frasnacritetrus indicus*; 2) *Cyathidites* spp; 3a, 3b) *Deltoidospora adriennis*; 4) *Echinatisporis muelleri*; 5a, 5b) *Ischyosporites dubius*; 6) *Magnastriatites grandiosus*; 7) *Grimsdalea magnaclavata*; 8a, 8b) *Echiperiporites estelae*.

Figure 11. Photomicrographs of selected palynomorphs. 1) *Frasnacritetrus indicus*; 2) *Cyathidites* spp; 3a, 3b) *Deltoidospora adriennis*; 4) *Echinatisporis muelleri*; 5a, 5b) *Ischyosporites dubius*; 6) *Magnastriatites grandiosus*; 7) *Grimsdalea magnaclavata*; 8a, 8b) *Echiperiporites estelae*.

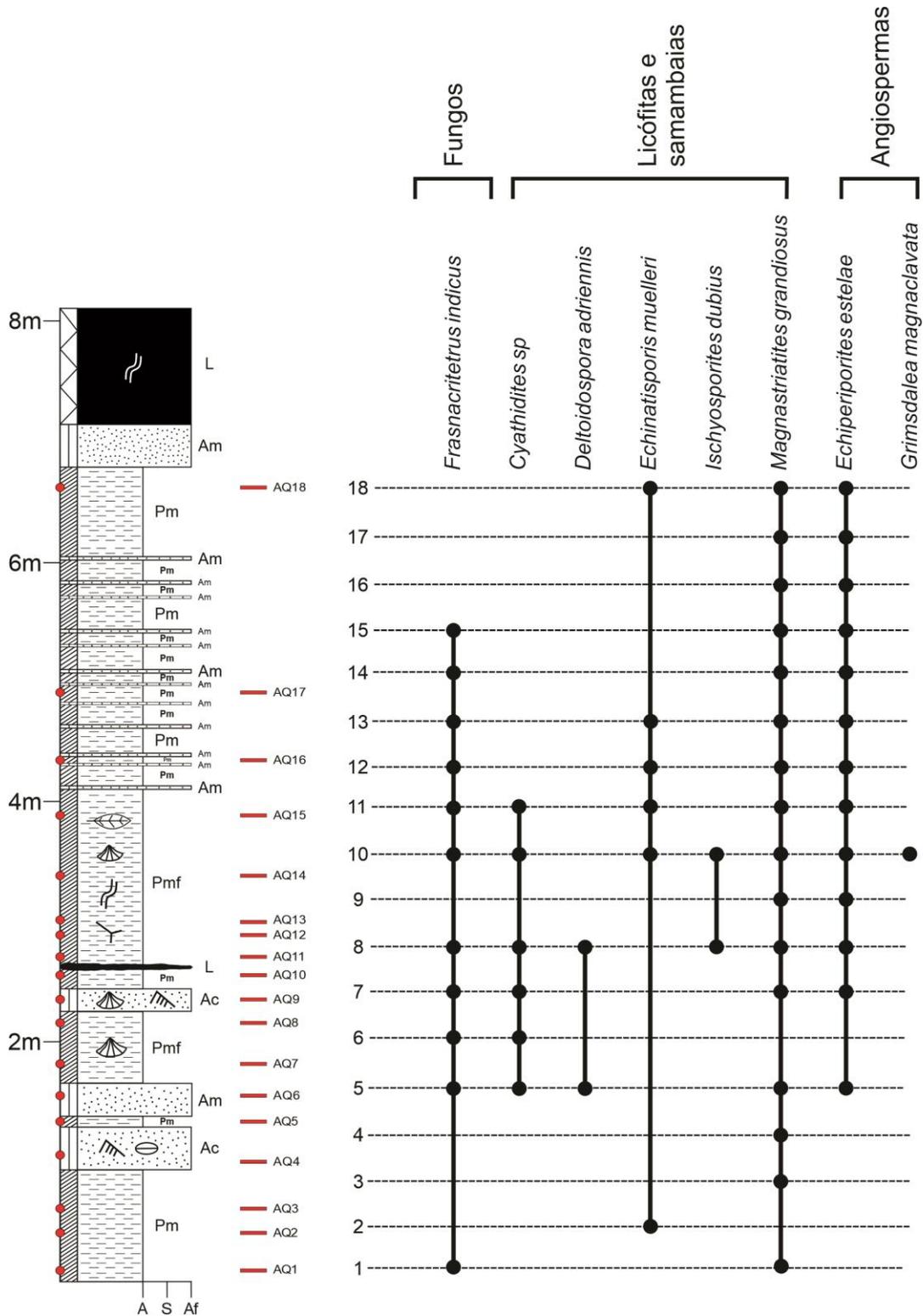


Figura 12. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento AQ. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; AQ refere-se à codificação das lâminas confeccionadas a

partir das amostras coletadas do afloramento Aquidabã; a numeração de 1 a 18 refere-se aos níveis amostrados.

Figure 12. Stratigraphic distribution of taxa recorded in the AQ outcrop. Black dots correspond to occurrence levels; AQ refers to the coding of thin sections made from samples collected from the Aquidabã outcrop; the numbering from 1 to 18 refers to the sampled levels.

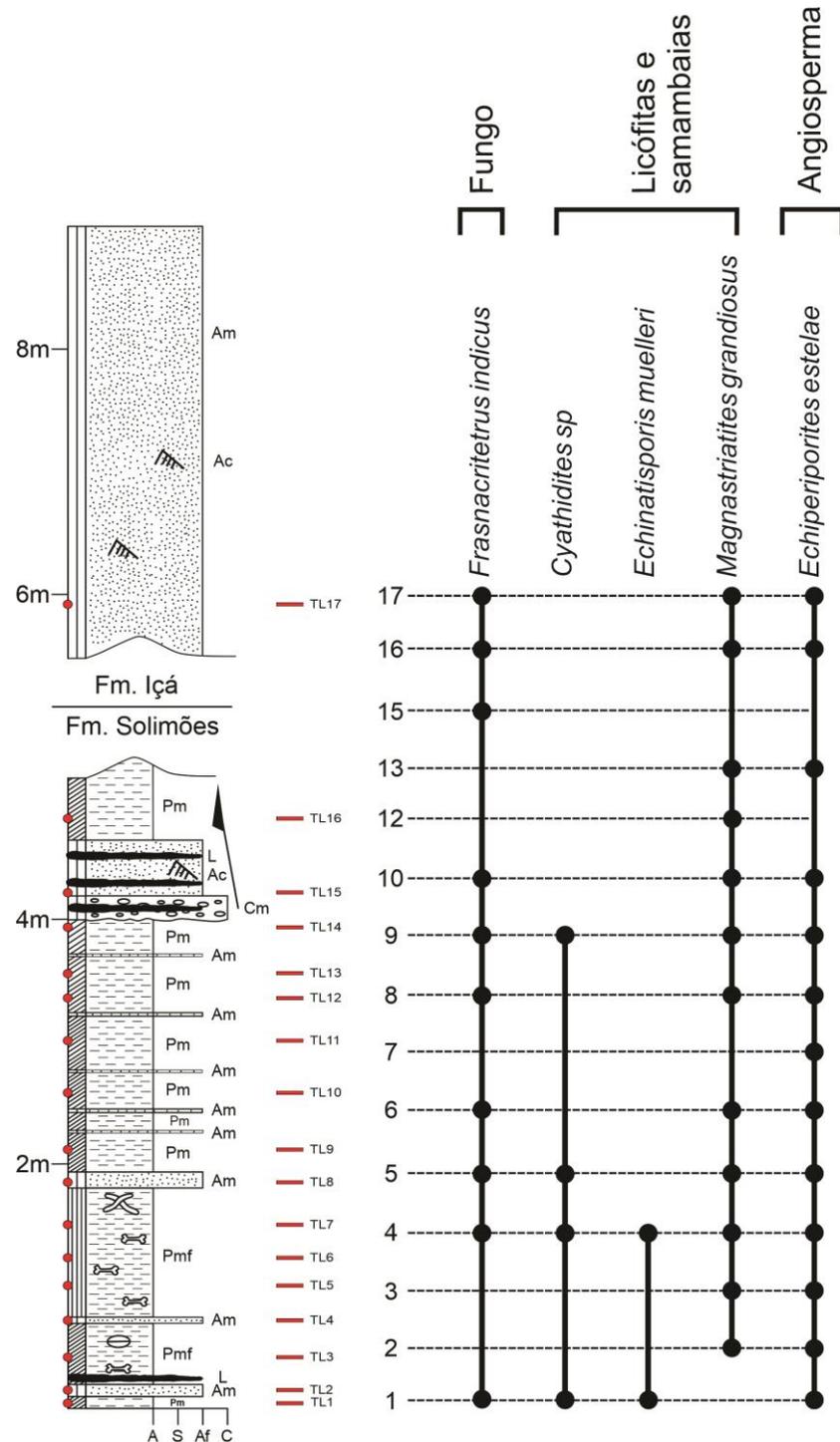


Figura 13. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento TL. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; TL refere-se à codificação das lâminas confeccionadas a partir das amostras coletadas do afloramento Torre da Lua; a numeração de 1 a 17 refere-se aos níveis amostrados.

*Figure 13. Stratigraphic distribution of taxa recorded in the TL outcrop. Black dots correspond to occurrence levels; TL refers to the coding of thin sections made from samples collected from the Torre da Lua outcrop; the numbering from 1 to 17 refers to the sampled levels.*

### 3.2. Ambiente Depositional

Os dados obtidos neste trabalho a partir da análise faciológica indicam ambiente onde predominam depósitos de decantação de argila com preservação de matéria orgânica, representados pelos linhetos. Esporadicamente há aumento de tração, evidenciado pela ocorrência de *inputs* de arenitos e conglomerado. Essas informações apontam para ambiente de lago.

No entanto, há consenso na literatura que a Formação Solimões foi depositada em ambiente flúvio-lacustre (Leite *et al.*, 2017; Medeiros, 2017; Silveira & Souza, 2017) associado à evolução da Cadeia Andina (Eiras *et al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007; Gross *et al.*, 2011).

Autores como Westaway (2006) e Latrubesse *et al.* (2007, 2010) atribuem à Formação Solimões um contexto paleoambiental que envolve um complexo de rios e zonas úmidas associadas a lagos de várzea, deltas, pântanos e planícies de inundação. Para Gross *et al.* (2011), as seções ao redor de Eirunepé estavam localizadas em uma posição mais distal desse sistema fluvial. Ainda segundo este autor, bem como Wesselingh & Salo (2006), do ponto de vista estratigráfico, os moluscos dos afloramentos de Aquidabã e Torre da Lua são pertencentes a depósitos de lagos/planície de inundação, que indicam condições de água doce em um ambiente flúvio-lacustre.

Neste sentido, os dados faciológicos obtidos nesta pesquisa, neste contexto paleodeposicional, indicam que os litótipos em questão caracterizam depósitos de lago com eventuais incursões de fluxos associados a espriamento de *crevasse* (Fig. 14), posicionado numa região lateral ao rio desse sistema fluvial.

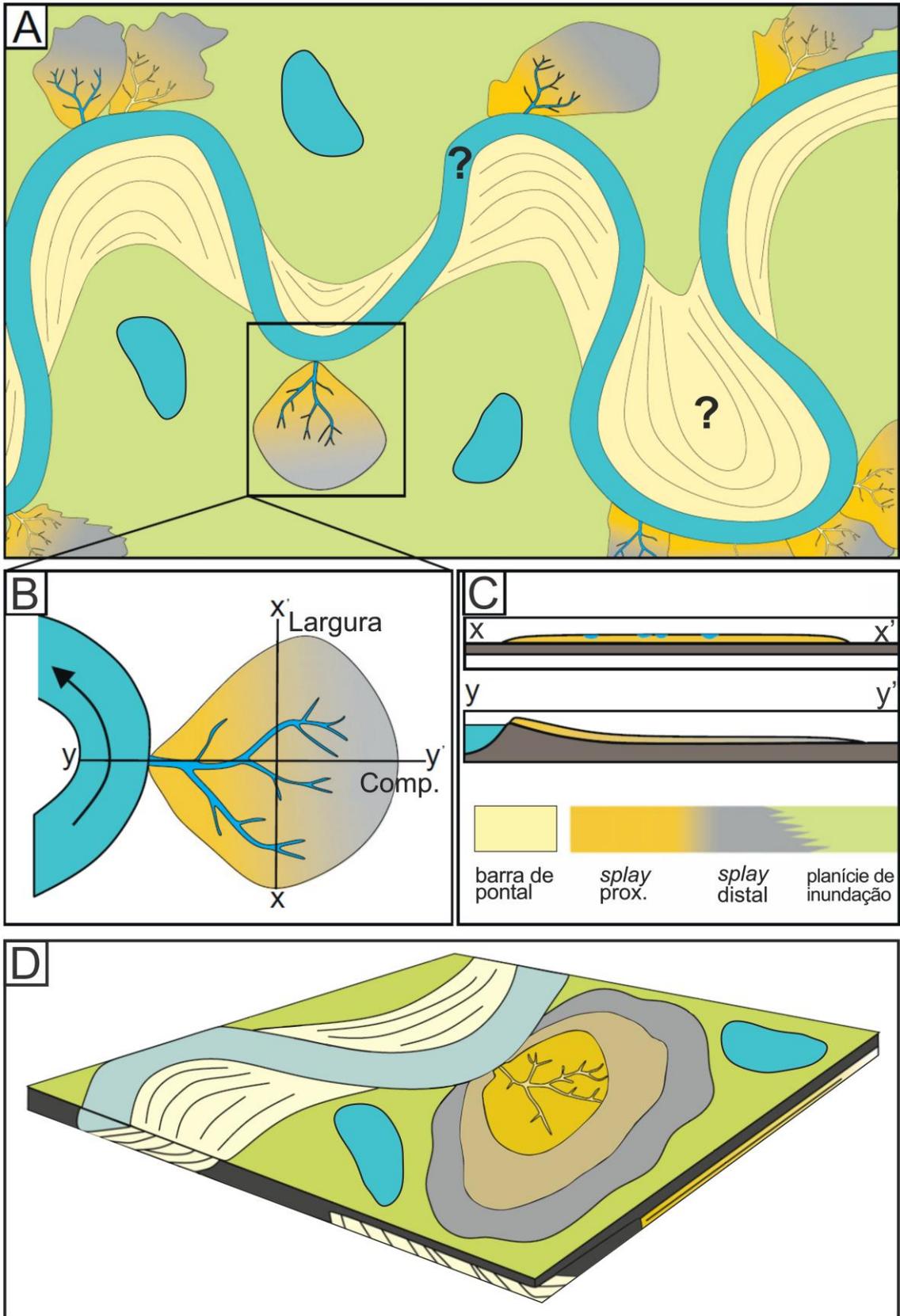


Figura 14. Ilustração esquemática em planta e em bloco diagrama de uma morfologia típica de espraiamento de *crevasse* com lagos associados. O tamanho do grão diminui à medida que se

distancia do ponto de origem do rompimento do canal. (A) Imagem esquemática em planta do sistema fluvial com lobos de espraiamento de *crevasse*. O sinal de interrogação é devido não terem sido encontradas evidências do canal principal ou de barras de pontal neste trabalho. (B) Imagem esquemática em planta de um lobo de *crevasse* mostrando as orientações de comprimento e largura. (C) Vista em corte transversal da largura e comprimento do lobo de *crevasse*. (D) Ilustração esquemática em bloco diagrama de uma morfologia típica de espraiamento de *crevasse* com lagos associados (modificado de Burns *et al.*, 2017).

*Figure 14. Schematic plan-view illustration and block diagram of a typical crevasse-splay morphology with associated lakes. Grain size decreases as it moves away from the point source of the channel breach. (A) Schematic plan-view illustration of the river system with crevasse splay lobes. The question mark is due to the fact that no evidence of the main channel or point bars were found in this work. (B) Schematic plan-view illustration of a crevasse-splay lobe showing length and width guidelines. (C) Cross-sectional view of the width and length of the crevasse-splay lobe. (D) Schematic illustration in block diagram of a typical crevasse-splay morphology with associated lakes (modified from Burns et al., 2017).*

Quanto aos dados palinológicos, *Frasnacritetrus indicus* é um esporo de fungo saprófito de gramíneas Poaceae (Neves & Bauermann, 2003; Freitas & Carvalho, 2011). D’Apolito *et al.* (2021) alegaram que Poaceae eram abundantes em lagos, ao passo que Gomes (2019) e Akabane *et al.* (2020) sustentaram que este palinomorfo era comum em sedimentos de rios superficiais, mas que também era associado a ambientes inundáveis.

*Cyathidites* spp encontrados nas amostras, assim como alguns outros táxons identificados neste trabalho, apresentam distribuição estratigráfica ampla, não contribuindo e não sendo empregados na determinação de idade, tais como *Deltoidospora adriennis* e *Magnastriatites grandiosus*. O táxon *Cyathidites* spp ocorre na forma de samambaias terrestres, mais comumente de hábito arbóreo, e, menos comumente, como epífitas ou trepadeiras (Tryon & Tryon, 1982).

O esporo de samambaia *Deltoidospora adriennis* possui afinidade botânica com *Acrostichum aureum* (Lorente, 1986), uma samambaia halófito associada a vegetação de mangue e lagos (Medina *et al.*, 1990; Hoorn *et al.*, 2010; Kachinasz & Silva-Caminha, 2016; Silveira & Souza, 2016, 2017; e Jaramillo *et al.*, 2017).

O palinomorfo *Magnastriatites grandiosus*, também esporo de samambaia, possui afinidade botânica com *Ceratopteris* (Hoorn, 1993), uma pequena samambaia aquática que

ocorre em águas rasas de lagos, rios de planícies aluviais e pântanos costeiros (Germeraad *et al.*, 1968; Lorente, 1986; Hoorn, 1993; Jaramillo *et al.*, 2010), e ocorre em abundância nos depósitos estudados.

O grão de pólen de *Grimsdalea magnaclavata*, um dos marcadores bioestratigráficos do Neógeno do Norte da América do Sul — definido por Germeraad *et al.* (1968), Lorente (1986), Müller *et al.* (1987) e Hoorn (1993) — é associado à Arecaceae (Kachniasz, 2016), uma palmeira extinta de vegetação costeira (Hoorn, 1994).

Rull (1997) reiterou que *G. magnaclavata* é um componente significativo das floras de planície costeira, enquanto que Hoorn (1993; 1994) afirmou que se trata possivelmente de uma palmeira extinta de vegetação costeira, podendo ocorrer ainda em margens de lagos rasos de várzea, pântanos ou elementos florestais, o que corrobora com as afirmações de Germeraad *et al.* (1968), que, segundo Pocknall & Jarzen (2012), consideravam que o *Grimsdalea magnaclavata* possuía acentuada adaptabilidade a diversos *habitats*.

Jaramillo *et al.* (2010) correlacionaram a zona definida por Germeraad *et al.* (1968) com a parte mais recente do Mioceno médio e do Mioceno superior. Muller *et al.* (1987) afirmaram que o *Grimsdalea magnaclavata* se extinguiu no oeste da Venezuela no topo da Zona *Echitricolporites spinosus* durante o Mioceno superior. A ocorrência desse palinomorfo no afloramento AQ permite que se atribua idade neomiocena a esses depósitos.

Em linhas gerais, os palinomorfos identificados pertencem majoritariamente a esporos de licófitas e samambaias com esporos de fungo decompositor de gramíneas, além de subordinados grãos de pólen de angiospermas.

Neste sentido, tem-se representantes de uma paleoflora composta por elementos de planície de inundação, elementos aquáticos e gramíneas, com uma paisagem caracterizada por vegetais de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo, com ocorrência de uma espécie de palmeira (Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Silveira, 2015).

Em face disso, dados faciológicos e palinológicos deste estudo, aliados a dados da literatura, além de reconstituições paleoambientais realizadas em regiões próximas à deste trabalho, indicam que a Formação Solimões foi depositada em um ambiente flúvio-lacustre.

#### 4 Conclusões

A Formação Solimões, presente na região nordeste do município de Eirunepé, sudoeste do Amazonas, representada pelas sucessões sedimentares aflorantes nas comunidades Aquidabã e Torre da Lua, é constituída majoritariamente por pelitos com delgadas intercalações de arenitos finos, além de esporádicas ocorrências de linhitos e conglomerado, subordinadamente. Muito embora prevaleça a estrutura maciça nesses depósitos, é possível identificar ocorrência de laminação cruzada, além de macrofósseis animais e vegetais.

A análise das fácies sedimentares desses depósitos culminou na identificação de 6 litofácies: ortoconglomerado maciço (Cm), arenito com laminação cruzada (Ac), arenito maciço (Am), pelito maciço fossilífero (Pmf), pelito maciço (Pm) e linhito (L). Estas foram interpretadas e agrupadas em 2 associações de fácies: Lago (AF1) (Pm, Pmf e L) e Espraimento de *crevasse* (AF2) (Cm, Ac e Am).

A partir da análise palinológica, foram reconhecidos 416 palinomorfos de 8 espécies diferentes. Destas, 6 são de grãos de esporos e 2 de grãos de pólen. As espécies identificadas foram: esporo de fungo *Frasnacritetrus indicus*, esporos de licófitas e samambaias *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus* e grãos de pólen de angiospermas *Echiperiporites estelae* e *Grimsdalea magnaclavata*.

O esporo de fungo saprófito de gramíneas, *F. indicus*, indica ambiente de lagos, ao passo que o esporo de samambaia, *D. adriennis*, indica ambiente de mangue. O esporo de samambaia *M. grandiosus* e grão de pólen *G. magnaclavata* ocorrem ambos em ambientes de lago e costeiros. Dessa forma, uma vez que os palinomorfos *D. adriennis*, *M. grandiosus* e *G. magnaclavata* são correlatos a ambientes costeiros, é possível associá-los a ocorrência de incursões marinhas.

A ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, um dos biomarcadores do Neógeno para a região Norte da América do Sul, cuja Zona de Intervalo vai do Serravaliano superior a Tortoniano médio (para a Venezuela), permite atribuir, portanto, idade neomiocena aos depósitos da Formação Solimões estudados neste trabalho.

A análise faciológica possibilitou interpretações que indicam que os litótipos da Formação Solimões, na região nordeste de Eirunepé, caracterizam ambiente com predomínio de depósitos de decantação de argila com preservação de matéria orgânica, vide linhitos, — indicando ambiente de lago — e eventuais incursões de fluxos com aumento de tração — apontando ambiente de espraimento de *crevasse* —.

A análise palinológica permitiu associar os palinomorfos a ambientes de lago e espraiamento de *crevasse*, além de fornecer idade neomiocena aos depósitos em questão. Aliados a dados da literatura, os dados faciológicos e palinológicos indicam que a Formação Solimões na região nordeste de Eirunepé foi depositada em ambiente flúvio-lacustre.

### Referências bibliográficas

- Adamy A. 2015. Geodiversidade do Estado do Acre. Porto Velho: CPRM, 321 p.
- Akabane T.K., Sawakuchi A.O., Chiessi C.M., Kern A.K., Pinaya J.L.D., Ceccantini G.C.T., Oliveira P.E. 2020. Modern pollen signatures of Amazonian rivers and new insights for environmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 554.
- Albarelli D.S.N.A., Batezelli A., Junior M.C. 2015. Paleoambientes e caracterização tecnológica para fins cerâmicos da formação Araçatuba no Vale do Rio Santo Anastácio (Bacia Bauru, SP). *Geosciences*, 34(4), 784-800.
- Allen J.P., Fielding C.R., Rygel M.C., Gibling M.R. 2013. Deconvolving signals of tectonic and climatic controls from continental basins: an example from the late Paleozoic Cumberland Basin, Atlantic Canada. *Journal of Sedimentary Research*, 83(10), 847-872.
- Anderson D.S. 2005. Architecture of crevasse splay and point-bar bodies of the nonmarine Iles Formation north of Rangely, Colorado: Implications for reservoir description. *The Mountain Geologist* 42: 109–122. *Mountain Geologist*, 42, 109–122.
- ANP. Bacia do Amazonas: Sumário Geológico e Setores em Oferta, Décima Terceira Rodada de Licitações, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: novembro de 2019. 14 p.
- Arnaud-Fassetta G., 2013. Dyke breaching and crevasse-splay sedimentary sequences of the Rhône Delta, France, caused by extreme river-flood of December 2003. *Geografia Física e Dinâmica Quaternária* 36, 7–26.
- Aslan A., and Scott A.E. 2007. Fluvial environments: Sediments, in *Encyclopedia of Quaternary Science*, pp. 672–685, Elsevier, Amsterdam.
- Assis, L., Ferreira, K., Vinhas, L., Maurano, L., Almeida, C., Carvalho, A., Rodrigues, J., Maciel, A., Camargo, C. 2020. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure

- for Large-Scale Thematic Mapping. ISPRS International Journal of Geo-Information. 8, 513 p.
- Barroso M.S. 2002. Sistemática, Paleoecologia e Bioestratigrafia dos Macrofósseis (Invertebrados) do Siluriano Sup. – Devoniano Inf. da Formação Manacapuru. Bacia do Amazonas, Brasil. Trabalho Final de Graduação. Universidade Federal do Amazonas. 107p.
- Bissaro-Júnior M.C., Kerber L., Crowley J.L., Ribeiro A.M., Ghilardi R.P., Guilherme E., Negri F.R., Filho J.P.S., Hsiou A.S. 2019. Detrital zircon U–Pb geochronology constrains the age of Brazilian Neogene deposits from Western Amazonia. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, **516**, 64–70.
- Boonstra M., Ramos M.I.F., Lammertsma E.I., Antoine P.O., Hoorn C. 2015. Marine connections of Amazonia: Evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **417**:176–194.
- Burns C.E., Mountney N.P., Hodgson D.M., Colombera L. 2017. Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, USA. *Sedimentary Geology*, **351**, 21–35.
- Campbell A.E. 2005. Shelf-geometry response to changes in relative sea level on a mixed carbonate-siliciclastic shelf in the Guyana Basin. *Sedimentary Geology*. **175** (1–4):259–275.
- Campbell K.E. 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin: comment. *Geology* **38** (7), 212.
- Caputo M.V. 1984. Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil. University of California, Santa Barbara. PhD Thesis. **586** p.
- Cruz N.M.C. 1984. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. II Simpósio Amazônico. Anais. Manaus. p. 473–480.
- D’Apolito C. 2016. *Landscape evolution in Western Amazonia: palynostratigraphy, palaeoenvironments and diversity of the Miocene Solimões Formation, Brazil*. Tese de Doutorado, School of Geography, Earth and Environmental Sciences College of Life and Environmental Sciences/University of Birmingham, Birmingham. 350p.
- D’Apolito C., Jaramillo C., Harrington G. 2021. Miocene palynology of the Solimões Formation (well 1-AS-105-AM), western Brazilian Amazonia. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, **105**, 1-134.

- Daemon R.F. & Contreiras J.A. 1971. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25, Anais, v.3, p. 79-88.
- Davies-Vollum K.S., Guion P.D., Satterfield D.A., Suthren, R.J. 2012. Lacustrine delta deposits and their effects on coal mining in a surface mine in Derbyshire, England. *International Journal of Coal Geology*. **102**, 52-74.
- Eiras J.F., Becker C.R., Souza E.M., Gonzaga F.G., Silva J.G.F., Daniel L.M.F., Matsuda N.S., Feijó F.J. 1994. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro: CENPES, **8**:17–45.
- Fambrini G.L., Lemos D.R., Tesser J.S., Araújo J.T., Silva-Filho W.F., Souza B.Y., Neumann V.H. 2011. Estratigrafia, arquitetura deposicional e faciologia da Formação Missão Velha (Neojurássico-Eocretáceo) na área-tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Exemplo de sedimentação de estágio de início de rifte a clímax de rifte. *Geologia USP. Série Científica*. **11**(2):55-87.
- Farrell K.M., 2001. Geomorphology, facies architecture, and high-resolution, non-marine sequence stratigraphy in avulsion deposits, Cumberland Marshes, Saskatchewan. *Sedimentary Geology* **139**, 93–150.
- Figueiredo J., Hoorn C., Van der Ven P., Soares E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon river and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas basin. *Geology*, v. **37**, n. 7, p. 619–622.
- Figueiredo J., Hoorn C., Van der Ven P., Soares E. 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas basin: REPLY. *Geology Forum* **38**, 213p.
- Freitas A.G. and Carvalho M.A. 2011. Esporos de fungos holocênicos de testemunho da Lagoa da Ferradura (Armação do Búzios, Rio de Janeiro, Brasil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14(2):179–188.
- Germeraad J.H., Hopping C.A. Muller J. 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **6**:189–348.
- Ghazi S., Mountney N.P. 2009. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. *Sedimentary Geology*. **221**(1-4):99-126.
- Ghosh P., Sarkar S., Maulik P. 2006. Sedimentology of a muddy alluvial deposit: Triassic Denwa Formation, India. *Sedimentary Geology*. **191**(1-2):3-6.

- Gomes B.T. 2019. Diversidade e composição ecológica do conteúdo palinológico de depósitos neogênicos (Formação Solimões) e holocênicos da bacia do Solimões. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Botânica, INPA, 146 p.
- Gorini C., Haq B.U., Reis A.T., Silva C.G., Cruz A., Soares E., Grangeon D. 2014. Late Neogene sequence stratigraphic evolution of the Foz do Amazonas Basin, Brazil. *Terra Nova*, **26**(3):179–185.
- Gross M., Piller W.E., Ramos M.I., Silva Paz J.D. 2011. Late Miocene sedimentary environments in south-western Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. **32**(2):169-81.
- Gross M., Ramos M.I.F., Piller W.E. 2016. A minute ostracod (Crustacea: Cytheromatidae) from the Miocene Solimões Formation (western Amazonia, Brazil): evidence for marine incursions? *Journal of Systematic Paleontology*, **14**(7):581–602.
- Gruszka B. 2007. The Pleistocene glaciolacustrine sediments in the Belchatów mine (central Poland): Endogenic and exogenic controls. *Sedimentary Geology*. **193**(1-4):149-66.
- Gulliford A.R., Flint S.S., Hodgson D.M. 2017. Crevasse splay processes and deposits in an ancient distributive fluvial system: The lower Beaufort Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, **358**, 1–18.
- Horn C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, **105**:267–309.
- Horn C. 1994. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (early Miocene-early middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **109**(1), 1–54.
- Horn C., Bogotá-A G.R., Romero-Baez M., Lammertsma E.I., Flantua S.G.A., Dantas E.L., Dino R., Carmo D.A., Chemale Jr F. 2017. The Amazon at sea: onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change*, **153**:51–65.
- Horn C., Guerrero J., Sarmiento G.A., Lorente, M.A. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, **23**:237–240.
- Horn C., Van der Ham R., de la Parra, F., Salamanca S., Ter Steege H., Banks H., Star W., Van Heuven B.J., Langelaan R., Carvalho F.A., Rodriguez-Forero G., Lagomarsino L.P. 2019. Going north and south: The biogeographic history of two Malvaceae in the wake

- of Neogene Andean uplift and connectivity between the Americas. *Review of palaeobotany and palynology*, **264**, 90–109.
- Horn C., Wesselingh F.P., Ter Steege H., Bermudez M.A., Mora A., Sevink J., Sanmartín I., Sanchez-Meseguer A., Anderson C.L., Figueiredo J.P., Jaramillo C. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *science*. **12**;330(6006):927-31.
- Horbe A.M.C., Motta M.B., de Almeida C.M., Dantas E.L., Vieira L.C. 2013. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazônia, Brazil: consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. *Sedimentary Geology*. **296**:9–20.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Base cartográfica integrada do Brasil ao milionésimo digital. Disponível em: ([https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads\\_geociencias.html?caminho=cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc250/versao2021/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads_geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/)) Acesso em: jul. 2022.
- Jaramillo C., Horn C., Silva S.A.F., Leite F., Herrera F., Quiroz L., Dino R., Antonioli L. 2010. The origin of the modern Amazon rainforest: implications of the palynological and palaeobotanical record *In*: Horn, C and Wesselingh, F.P. (eds.) Amazonia: landscape and species evolution – a look into the past. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 317—334.
- Jaramillo C., Romero I., D’Apolito C., Bayona G., Duarte E., Louwye S., Escobar J., Luque J., Carrillo-Briceño J. D., Zapata V., Mora A., Schouten S., Zavada M., Harrington G., Ortiz J., Wesselingh F. P. 2017. Miocene flooding events of western Amazonia. *Science advances*, **3**(5).
- Jaramillo, C.A., Rueda, J.M. 2018. A Morphological Electronic Database of Cretaceous-Tertiary and Extant pollen and spores from Northern South America. v. 2018. (<https://biogeodb.stri.si.edu/jaramillosdb/web/login>). Acesso: 01/10/2022.
- Jo H.R. 2003. Depositional environments, architecture, and controls of Early Cretaceous non-marine successions in the northwestern part of Kyongsang Basin, Korea. *Sedimentary Geology*. **161**(3-4):269–94.
- Jorge V., D’Apolito C., Silva-Caminha S.A. 2019. Exploring geophysical and palynological proxies for paleoenvironmental reconstructions in the Miocene of western Amazonia (Solimões Formation, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. **94**:102223.

- Kachinasz K.R. and Silva-Caminha S.A.F. 2016. Palinoestratigrafia da Formação Solimões: comparação entre bioestratigrafia tradicional e o método de associações unitárias. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **19**(3):481–490.
- Kachniasz K.R. 2016. Palinoestratigrafia e Paleoambientes da Formação Solimões, poços 1AS-34-AM e 1AS-31-AM, borda noroeste da Bacia do Solimões. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Geociências, Cuiabá, 154p.
- Kistler P. 1954. Historical Resumé of the Amazon Basin. Petrobras. Relatório Interno 104-A.
- Kordowski J. 2013. The role of blocks of dead ice in the deposition of late glacial sediments in a large valley: A case study from the Vistula river valley in the Grudziądz Basin, north Poland. *Geographia Polonica*. **86**(4):341-61.
- Lammertsma E.I., Troelstra S.R., Flores J.A., Sangiorgi F., Chemale Jr., Carmo D.A., Hoorn C. 2018. Primary productivity in the western tropical Atlantic follows Neogene Amazon River evolution. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, **506**, 12–21.
- Latrubesse E.M., Cozzuol M., Silva-Caminha, S.A.F., Rigsby C.A., Absy M.L., Jaramillo C. 2010. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Science Reviews*, **99**:99–124.
- Latrubesse E.M., Silva S.A., Cozzuol M., Absy M.L. 2007. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazon and its regional significance: biotic and geological evidences. *Journal of South American Earth Science*, v. **23**, p. 61–80.
- Leite F.P.R. 2006. Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas: Implicações paleoambientais e bioestratigráficas. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 128 p.
- Leite F.P.R., Paz J., Carmo D.A., Silva-Caminha S.A.F. 2017. The effects of the inception of Amazonian transcontinental drainage during the Neogene on the landscape and vegetation of the Solimões Basin, Brazil. *Palynology*, **41**:412–422.
- Linhares A.P., Gaia V.D.C., Ramos M.I.F. 2017. The significance of marine microfossils for paleoenvironmental reconstruction of the Solimões Formation (Miocene), western Amazonia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **79**, 57–66.
- Linhares A.P., Ramos M.I., Gaia V.C., Friaes Y.S. 2019. Integrated biozonation based on palynology and ostracods from the Neogene of Solimões Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **91**, 57–70.
- Lorente M.A. 1986. Palynology and palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. *Dissertationes Botanicae*, **99**:1–224.

- Medeiros C. G. 2017. Ostracodes da Formação Solimões, Brasil: contribuição à bioestratigrafia do Neógeno da Amazônia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 67p.
- Medina E.E., Cuevas M.P., Lugo, A. 1990. Soil salinity, sun exposure, and growth of *Acrostichum aureum*, the mangrove fern. *Botanical Gazette*, **151**(1):41–45.
- Muller J., Di Giacomo E., Van Erve A.W. 1987. *Janmulleripollis*, a new pollen genus from the Eocene of Venezuela (No. 19). American Association of Stratigraphic Palynologists.
- Neves P.C.P., and Bauermann S.G. 2003. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias no Estado Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições Taxonômicas – Parte I: fungos, algas, palinomorfos e outros fragmentos de invertebrados. *Botânica*, **53**:121–149.
- Nichols D. J. 2007. Selected plant microfossil records of the terminal Cretaceous event in terrestrial rocks, western North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **255**(1-2), 22-34.
- Nichols G.J., Fisher J.A. 2007. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*. **195**(1-2):75-90.
- Nogueira A.C.R., Silveira R.R., Guimarães J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences*, **46**:89–99.
- Pocknall, D. T., & Jarzen, D. M. 2012. *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad, Hopping & Muller: an enigmatic pollen type from the Neogene of northern South America. *Palynology*, **36**, 134-143.
- Potter P.E., Maynard J.B., Depetris P.J. 2005. Mud and Mudstones. BerlinHeidelberg-New York, *Springer*, 244 p.
- Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of palaeobotany and palynology*, **143**(1-2), 1-81.
- Regali M.S.P., Uesegui N., Santos A.S. 1974a. Palinologia dos sedimentos Meso-Cenozoicos do Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobras*, **17**(3):177–190.
- Regali M.S.P., Uesegui N., Santos, A.S. 1974b. Palinologia dos sedimentos Meso-Cenozoicos do Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobras*, **17**(4):263–301.
- Reis A.D.D. 2016. Análise arquitetural de depósitos fluviais da Formação Guará (Jurássico Superior-Cretáceo Inferior) na borda sudeste da Bacia do Paraná, RS, Brasil.

- Renaut R.W., Gierlowski-Kordesch, E.H., Dalrymple R., James, N. 2010. Lakes. *Facies models*, **4**, 541-575.
- Retallack G. J. 1997. Early forest soils and their role in Devonian global change. *science*, **276**(5312), 583-585.
- Ribas C.C., Aleixo A., Nogueira A.C.R., Miyaki C.Y., Cracraft J. 2012. A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. **279**:681–689.
- Roberts E.M., Rogers R.R., Foreman B.Z. 2007. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the Late Cretaceous of Madagascar and Utah. *Journal of Paleontology*. **81**, 201–208.
- Rossetti D.F., Cohen M.C.L., Tatumi S.H., Sawakuchi A.O., Cremon É.H., Mittani J.C.R., Bertani T.C., Munita C.J.A.S., Tudela D.R.G., Yee M., Moya G., 2015. Mid–Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. *Sedimentary Geology*, **330**, 1–15.
- Rossetti D.F., Toledo P.M., Góes A.M. 2005. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary research*. **63**(1), 78–89
- Rull, V. (1997). Oligo-miocene palynology of the Rio Chama sequence (Western Venezuela), with comments on fossil algae as paleoenvironmental indicators. *Palynology*, 21(1), 213-229.
- Sacek V. 2014. Drainage reversal of the Amazon River due to the coupling of surface and lithospheric processes. *Earth and Planetary Science Letters*, **401**:301–312.
- Saxena R.K., and Khare S. 1992. Fungal remains from the Neyveli Formation of Tiruchirapalli District, Tamil Nadu, India. *Geophytology*, **21**:37–43.
- Scherer C. M., Goldberg K., Bardola T. 2015. Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, **322**, 43-62.
- Scherer C.M., Lavina E.L., Dias Filho, D.C., Oliveira F.M., Bongiolo D.E., Aguiar E.S. 2007. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial–aeolian–lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, **194**(3-4), 169-193.
- Sheppard, L.M., Bate, R.H., 1980. Plio-Pleistocene ostracods from the Upper Amazon of Colombia and Peru. *Palaeontology* 23:97–124.

- Silva-Caminha S.A.F., Jaramillo C.A., Absy M.L. 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazonia. *Palaeontographica, Abteilung B*, **283**:1–67.
- Silveira R.R. 2005. Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental dos Depósitos Mioceno da Formação Solimões, região de Coari. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 117p.
- Silveira R.R. 2015. Bioestratigrafia e paleoecologia de depósitos Neógenos e Pleistocenos aflorantes na porção central e ocidental da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil. Dissertação de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 264p.
- Silveira R.R., Souza P.A. 2015. Palinologia (grãos de pólen de angiospermas) das formações Solimões e Içá (bacia do Solimões), nas regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **18**(3):455–474.
- Silveira R.R., Souza P.A. 2016. Palinologia (esporos de fungos e pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas, cistos de algas e escolecodonte) das formações Solimões e Içá (Neógeno e Pleistoceno, Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, **43**(1):17–39.
- Silveira R.R., Souza P.A. 2017. Palinoestratigrafia da Formação Solimões na Região do Alto Solimões (Atalaia do Norte e Tabatinga), Amazonas, Brasil. *Geociências*, **36**(1):100–117.
- Suguio, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 400p.
- Tryon R.M. and Tryon A.F. 1982. Ferns and Allied Plants: With special reference to Tropical America. New York: Springer-Verlag, 858 p.
- Uesugui N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim técnico da PETROBRAS*, **22**(4), 229–240.
- Veeken P. P. and Moerkerken, B. 2013. *Seismic stratigraphy and depositional facies models*. Academic Press. 453p.
- Wakelin-King G. A. and Webb J. A. 2007. Threshold-dominated fluvial styles in an arid-zone mud-aggregate river: the uplands of Fowlers Creek, Australia. *Geomorphology*, **85**(1-2), 114-127.
- Wanderley Filho J.R., Eiras J.F., Vaz P.T. 2007. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, **15**:217–225.
- Wesselingh F. P. and Salo J. A. 2006. A Miocene perspective on the evolution of the Amazonian biota. *Scripta Geologica*, **133**, 439-458.

- Westaway R. 2006. Late Cenozoic sedimentary sequences in Acre state, southwestern Amazonia: Fluvial or tidal? Deductions from the IGCP 449 fieldtrip. *Journal of South American Earth Sciences*, **21**(1-2), 120-134.
- Widera M. 2012. Ksylity w kenozoicznych osadach drobnokrystalicznych z odkrywek KWB Konin SA i KWB Adamów SA. *Górnictwo Odkrywkowe*, **53**, 119-122.
- Widera M. 2016. Depositional environments of overbank sedimentation in the lignite-bearing Grey Clays Member: New evidence from Middle Miocene deposits of central Poland. *Sedimentary Geology*, **335**, 150-165.
- Yeste L.M., Varela A.N., Viseras C., Mcdougall N.D., García-García F. 2020. Reservoir architecture and heterogeneity distribution in floodplain sandstones: Key features in outcrop, core and wireline logs. *Sedimentology*, **67**(7), 3355-3388.

## 7. CONCLUSÕES

Em linhas gerais, em um contexto geológico onde ao longo do Neógeno houve a formação do atual cenário amazônico, com o estabelecimento da geografia e da biota tal qual são conhecidas hoje, considerando que na região estudada não há estudos palinoestratigráficos significativos direcionados à bioestratigrafia — ainda que a Formação Solimões seja uma rica unidade fossilífera e uma das mais bem amostradas do norte da América do Sul — estudos sobre idade e sistemas deposicionais dos litótipos da Formação Solimões ainda são insuficientes, dada a extensão da área de ocorrência da unidade investigada, prejudicando significativamente o entendimento dos aspectos paleoambientais e de idade dos depósitos sedimentares estudados nessa região.

Diante disso, as análises faciológica e palinológica possibilitaram melhor compreensão acerca do contexto paleoambiental do Neógeno da Amazônia na região nordeste de Eirunepé, bem como da idade desses depósitos. A análise faciológica — por meio da individualização e descrição das fácies — permitiu a interpretação e definição dos processos de deposição dos litótipos, enquanto que a associação de fácies proporcionou a identificação dos subambientes de sedimentação que ali atuaram.

A análise palinológica, por sua vez, por intermédio da classificação sistemática dos palinomorfos, possibilitou — além da correlação dos táxons com os subambientes que lhes são característicos — a interpretação da idade dos depósitos em questão através da correlação da microflora/microfauna com os zoneamentos palinológicos vigentes para o Neógeno da porção norte da América do Sul, permitindo assim, a datação relativa da Formação Solimões. A interpretação paleoambiental foi realizada a partir de associação com as afinidades botânicas e paleoecológicas dos táxons identificados.

Neste sentido, a Formação Solimões, presente na região nordeste do município de Eirunepé, sudoeste do Amazonas, representada pelas sucessões sedimentares aflorantes nas comunidades Aquidabã e Torre da Lua, é constituída majoritariamente por pelitos com delgadas intercalações de arenitos finos e ocorrências de linhitos e conglomerado, subordinadamente. Muito embora prevaleça a estrutura maciça nesses depósitos, é possível identificar ocorrência de laminação cruzada, além de macrofósseis animais e vegetais.

A análise das fácies sedimentares desses depósitos culminou na identificação de 6 litofácies: ortoconglomerado maciço (Cm), arenito com laminação cruzada (Ac), arenito maciço (Am), pelito maciço fossilífero (Pmf), pelito maciço (Pm) e linhito (L). Estas foram interpretadas e agrupadas em 2 associações de fácies: Lago (AF1) (Pm, Pmf e L) e Espraimento de *crevasse* (AF2) (Cm, Ac e Am).

A partir da análise palinológica, foram reconhecidos 416 palinomorfos de 8 espécies diferentes. Destas, 6 são de grãos de esporos e 2 de grãos de pólen. As espécies identificadas foram: esporo de fungo *Frasnacritetrus indicus*, esporos de licófitas e samambaias *Cyathidites* spp, *Deltoidospora adriennis*, *Echinatisporis muelleri*, *Ischyosporites dubius*, *Magnastriatites grandiosus* e grãos de pólen de angiospermas *Echiperiporites estelae* e *Grimsdalea magnaclavata*.

O esporo de fungo saprófito de gramíneas, *F. indicus*, indica ambiente de lagos, ao passo que o esporo de samambaia, *D. adriennis*, indica ambiente de mangue e lagos. O esporo de samambaia *M. grandiosus* e grão de pólen *G. magnaclavata* ocorrem ambos em ambientes de lago e costeiros; já o grão de pólen *E. estelae* corresponde a ambientes de lago e planície de inundação.

A ocorrência no afloramento AQ de *Grimsdalea magnaclavata*, um dos biomarcadores do Neógeno para a região Norte da América do Sul, cuja Zona de Intervalo vai do Serravaliano superior a Tortoniano médio (para a Venezuela), permite atribuir, portanto, idade neomiocena a esses depósitos.

A análise faciológica possibilitou interpretações que indicam que os litótipos da Formação Solimões, na região nordeste de Eirunepé, caracterizam ambiente com predomínio de depósitos de decantação de argila com preservação de matéria orgânica, vide linhitos, — indicando ambiente de lago — e eventuais incursões de fluxos com aumento de tração — apontando ambiente de espraimento de *crevasse* —.

A análise palinológica permitiu associar os palinomorfos a ambientes de lago e espraimento de *crevasse*, além de fornecer idade neomiocena aos depósitos em questão por meio de datação bioestratigráfica. Aliados a dados da literatura, os dados faciológicos e palinológicos indicam que a Formação Solimões na região nordeste de Eirunepé foi depositada em ambiente flúvio-lacustre.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamy A. 2015. Geodiversidade do Estado do Acre. Porto Velho: CPRM, 321 p.
- Akabane T.K., Sawakuchi A.O., Chiessi C.M., Kern A.K., Pinaya J.L.D., Ceccantini G.C.T., Oliveira P.E. 2020. Modern pollen signatures of Amazonian rivers and new insights for environmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 554.
- Albarelli D.S.N.A., Batezelli A., Junior M.C. 2015. Paleoambientes e caracterização tecnológica para fins cerâmicos da formação Araçatuba no Vale do Rio Santo Anastácio (Bacia Bauru, SP). *Geosciences*, 34(4), 784-800.
- Allen J.P., Fielding C.R., Rygel M.C., Gibling M.R. 2013. Deconvolving signals of tectonic and climatic controls from continental basins: an example from the late Paleozoic Cumberland Basin, Atlantic Canada. *Journal of Sedimentary Research*, 83(10), 847-872.
- Anderson D.S. 2005. Architecture of crevasse splay and point-bar bodies of the nonmarine Iles Formation north of Rangely, Colorado: Implications for reservoir description. *The Mountain Geologist* 42: 109–122. *Mountain Geologist*, 42, 109–122.
- ANP. Bacia do Amazonas: Sumário Geológico e Setores em Oferta, Décima Terceira Rodada de Licitações, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: novembro de 2019. 14 p.
- Arnaud-Fassetta G., 2013. Dyke breaching and crevasse-splay sedimentary sequences of the Rhône Delta, France, caused by extreme river-flood of December 2003. *Geografia Física e Dinâmica Quaternária* 36, 7–26.
- Arnot M.J., Good T.R., Lewis J.J.M. 1997. Photogeological and image-analysis techniques for collection of large-scale outcrop data. *Journal of Sedimentary Research*, v.67, n.5, p. 984–987.
- Aslan A., and Scott A.E. 2007. Fluvial environments: Sediments, in *Encyclopedia of Quaternary Science*, pp. 672–685, Elsevier, Amsterdam.

Assis, L., Ferreira, K., Vinhas, L., Maurano, L., Almeida, C., Carvalho, A., Rodrigues, J., Maciel, A., Camargo, C. 2020. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 8, 513 p.

Balme B.E. 1957. Spores and pollen grains from the Mesozoic of Western Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, Coal Research, Section T.C. 25, 48 p.

Barroso M.S. 2002. Sistemática, Paleoecologia e Bioestratigrafia dos Macrofósseis (Invertebrados) do Siluriano Sup. – Devoniano Inf. da Formação Manacapuru. Bacia do Amazonas, Brasil. Trabalho Final de Graduação. Universidade Federal do Amazonas. 107p.

Barth O.M. 2003. A Palinologia como ferramenta no diagnóstico e monitoramento ambiental da Baía de Guanabara e regiões adjacentes, Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26, 52–59.

Behling H., Pillar V.D., Bauermann S.G. 2005. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of palaeobotany and palynology*, 133(3–4), 235–248.

Bercovici A., and Vellekoop J. 2017. Methods in Paleopalynology and Palynostratigraphy: An Application to the K-Pg Boundary. In: Zeigler, K.E., and Parker, W. eds. *Terrestrial Depositional Systems: Deciphering Complexities through Multiple Stratigraphic Methods*. Cambridge, *Elsevier*, p. 127–164.

Berkeley M. J., and Broome C. E. 1850. XL. Notices of British fungi. *Annals and magazine of natural history*, 5(30), 455–466.

Bezerra P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p.41–59.

Bezerra P.E.L., Lima M.I.C., Coelho F.A. 1999. Estruturação Neotectônica da Folha SA.20-Manaus. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6., Manaus. Bol. de Res. Expandidos. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, p. 288–291.

Bicudo T.C. 2017. Estudo da formação da bacia hidrográfica do rio Amazonas através da modelagem numérica de processos tectônicos e sedimentares. Dissertação (Mestrado), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 80 p.

Bissaro-Júnior M.C., Kerber L., Crowley J.L., Ribeiro A.M., Ghilardi R.P., Guilherme E., Negri F.R., Filho J.P.S., Hsiou A.S. 2019. Detrital zircon U–Pb geochronology constrains the age of Brazilian Neogene deposits from Western Amazonia. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 516, 64–70.

Boer D.N., Van Der Hammen T.H., Wijmstra T. A. 1965. A palynological study on the age of some borehole samples from the Amazonas Delta area, NW Brazil. *Geologie en Mijnbouw, Utrecht*, 44(7), 254–258.

Bom M.H.H., Bergue C.T., Rodrigues G.B., Fauth G. 2011. Aplicação da acetólise na recuperação de microfósseis calcários em rochas carbonáticas do Lajedo de Soledade (Formação Jandaíra, Bacia Potiguar). In: Paleontologia: Cenários de Vida. p. 117-122.

Boonstra M., Ramos M.I.F., Lammertsma E.I., Antoine P.O., Hoorn C. 2015. Marine connections of Amazonia: Evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 417:176–194.

Borges F.R. 1987. Projeto Serra do Aracá; Relatório de progresso. Manaus, CPRM. 31p, mapas. In: Bezerra, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41–59.

Braz E.R.C., Bezerra P.E.L., Gatto C.M.P.P. 1999. Síntese da Geologia da Folha SB.20-Purus. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6., Manaus. Boletim de Resumos Expandidos. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, p.172–175.

- Burns C.E., Mountney N.P., Hodgson D.M., Colombera L. 2017. Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, USA. *Sedimentary Geology*, 351, 21–35.
- Campbell A.E. 2005. Shelf-geometry response to changes in relative sea level on a mixed carbonate-siliciclastic shelf in the Guyana Basin. *Sedimentary Geology*. 175 (1–4):259–275.
- Campbell K.E. 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin: comment. *Geology* 38 (7), 212.
- Caputo M. V. 2014. Juruá orogeny: Brazil and Andean countries. *Brazilian Journal of Geology*, 44, 181-190.
- Caputo M.V. 1984. Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil. University of California, Santa Barbara. PhD Thesis. 586 p.
- Caputo M.V., Rodrigues R., Vasconcelos D.N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia Amazônica. Relatório Interno da Petrobras, RENOR, 4054p.
- Couper R.A. 1953. Upper Mesozoic and Cainozoic spores and pollen grains from New Zealand. New Zealand Geological Survey, *Palaeontological Bulletin*, 22:77 pp.
- Cruz N.M.C. 1984. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. II Simpósio Amazônico. Anais. Manaus. p. 473–480.
- Cunha F.M.B. 1991. Morfologia e Neotectonismo do rio Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 30, Belém. Anais. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte, p. 193–210.
- Cunha P.R.C., Gonzaga F.G., L.F.C., Feijó F.J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro (RJ), 8(1):47–55.
- D'Apolito C. 2016. *Landscape evolution in Western Amazonia: palynostratigraphy, palaeoenvironments and diversity of the Miocene Solimões Formation, Brazil*. Tese de Doutorado, School of Geography, Earth and Environmental Sciences College of Life and Environmental Sciences/University of Birmingham, Birmingham. 350p.

D'Apollito C., Jaramillo C., Harrington G. 2021. Miocene palynology of the Solimões Formation (well 1-AS-105-AM), western Brazilian Amazonia. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 105, 1-134.

Daemon R. F. 1975. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(2), 58–84.

Davies-Vollum K.S., Guion P.D., Satterfield D.A., Suthren, R.J. 2012. Lacustrine delta deposits and their effects on coal mining in a surface mine in Derbyshire, England. *International Journal of Coal Geology*. 102, 52-74.

Dino R. 1992. Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia da Formação Alagamar-Cretáceo da bacia Potiguar, Nordeste do Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Dino R. 1999. Palynostratigraphy of the Silurian and Devonian sequence of the Paraná Basin, Brazil. Ordovician-Devonian Palynostratigraphy in Western Gondwana: Update, Problems and Perspectives (Rodrigues, MAC:27-61).

Dino R., Silva, O.D., Abrahão, D. 1999. Palynological and stratigraphic characterization of the Cretaceous strata from the Alter do Chão Formation, Amazonas basin. In: *UNESP, Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil and Simpósio sobre el Cretácico de América del Sur*, 5, 557–565.

Eiras J.F., Becker C.R., Souza E.M., Gonzaga F.G., Silva J.G.F., Daniel L.M.F., Matsuda N.S., Feijó F.J. 1994. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro: CENPES, 8:17–45.

Erdtman G. and Sorsa P. 1971. Pollen and spore morphology plant taxonomy. Pteridophyta (text and additional illustrations). (An introduction to palynology. IV). - Almqvist and Wiksell, Stockholm. 302 pp.

Erdtman G., 1969. Handbook of Palynology – An Introduction to the Study of Pollen Grains and Spores. Munksgaard, Copenhagen. 486 pp.

Fægri K. and Iversen J. 1966. Textbook of Pollen Analysis. *Munksgaard*, Copenhagen, Dinamarca, 237 p.

Fægri K., Iversen J. 1989. Textbook of pollen analysis, In: Fægri K., Kaland P.E., Krzywinski K. (Eds.), 4th ed. John Wiley and Sons, Chichester. 328 pp.

Faegri K., Van der Pijl. 1979. The Principles of Pollination Ecology (3rd ed.). Pergamon, Oxford, 244 pp.

Fambrini G.L., Lemos D.R., Tesser J.S., Araújo J.T., Silva-Filho W.F., Souza B.Y., Neumann V.H. 2011. Estratigrafia, arquitetura deposicional e faciologia da Formação Missão Velha (Neojurássico-Eocretáceo) na área-tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Exemplo de sedimentação de estágio de início de rifte a clímax de rifte. *Geologia USP. Série Científica*. 11(2):55-87.

Farrell K.M., 2001. Geomorphology, facies architecture, and high-resolution, non-marine sequence stratigraphy in avulsion deposits, Cumberland Marshes, Saskatchewan. *Sedimentary Geology* 139, 93–150.

Figueiredo J., Hoorn C., Van der Ven P., Soares E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon river and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas basin. *Geology*, v. 37, n. 7, p. 619–622.

Figueiredo J., Hoorn C., Van der Ven P., Soares E. 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas basin: REPLY. *Geology Forum* 38, 213p.

Frederiksen N.O. 1983. Middle Eocene palynomorphs from San Diego, California. Part II. Angiosperm pollen and miscellanea. American Association of Stratigraphic Palynologists contribution series, 12:32–155.

Freitas A.G. and Carvalho M.A. 2011. Esporos de fungos holocênicos de testemunho da Lagoa da Ferradura (Armação do Búzios, Rio de Janeiro, Brasil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14(2):179–188.

Galvão P.H.F., Demétrio J.G.A., Souza E.L., Pinheiro C.S.S., Baessa M.P.M. 2012. Hidrogeologia e geometria dos aquíferos das formações cretáceas, Içá e Solimões, Bacia Paleozoica do Solimões, na região de Urucu, Amazonas, *Revista Brasileira de Geociências*, 42 p. 142–153.

Germeraad J.H., Hopping C.A. Muller J. 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 6:189–348.

Ghazi S., Mountney N.P. 2009. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. *Sedimentary Geology*. 221(1-4):99-126.

Ghosh P., Sarkar S., Maulik P. 2006. Sedimentology of a muddy alluvial deposit: Triassic Denwa Formation, India. *Sedimentary Geology*. 191(1-2):3-6.

Gomes B. T., Absy M. L., D’Apolito, C., Caballero-Rodríguez, D., Martínez, C., & Jaramillo, C. 2021. Miocene paleoenvironments and paleoclimatic reconstructions based on the palynology of the Solimões Formation of Western Amazonia (Brazil). *Palynology*, 1–19.

Gorini C., Haq B.U., Reis A.T., Silva C.G., Cruz A., Soares E., Grangeon D. 2014. Late Neogene sequence stratigraphic evolution of the Foz do Amazonas Basin, Brazil. *Terra Nova*, 26(3):179–185.

Gross M. and Piller W.E. 2019. Fossil glochidia (Bivalvia: Unionida: Hyriidae) from the middle Miocene of western Amazonia (Peru). *Journal of Systematic Palaeontology*, 17(13), 897–908.

Gross M., Piller W.E., Ramos M.I., Silva Paz J.D. 2011. Late Miocene sedimentary environments in south-western Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. 32(2):169-81.

Gross M., Ramos M.I., Caporaletti M., Piller W.E. 2013. Ostracods (Crustacea) and their palaeoenvironmental implication for the Solimões Formation (late Miocene; western Amazonia/Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. 42:216-41.

Gross M., Ramos M.I.F., Piller W.E. 2014. On the Miocene Cyprideis species flock (Ostracoda; Crustacea) of Western Amazonia (Solimões Formation): Refining taxonomy on species level. *Zootaxa*, 1:3899.

- Gross M., Ramos M.I.F., Piller W.E. 2016. A minute ostracod (Crustacea: Cytheromatidae) from the Miocene Solimões Formation (western Amazonia, Brazil): evidence for marine incursions? *Journal of Systematic Paleontology*, 14(7):581–602.
- Gruszka B. 2007. The Pleistocene glaciolacustrine sediments in the Bełchatów mine (central Poland): Endogenic and exogenic controls. *Sedimentary Geology*. 193(1-4):149-66.
- Guimarães L.I.D.A., Ramos M.I.F., Simone L.R.L. 2018. New Records of Tryonia (Gastropoda, Cochliopidae) from the Mio–Pliocene Solimões Formation (State of Amazonas), Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 21(3):255–264.
- Gulliford A.R., Flint S.S., Hodgson D.M. 2017. Crevasse splay processes and deposits in an ancient distributive fluvial system: The lower Beaufort Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, 358, 1–18.
- Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F., Weber M., Zetter R., Hesse M., Buchner R., Svojtka M., Frosch-Radivo. 2018. A. Palynology: history and systematic aspects. Illustrated Pollen Terminology. *Springer* (pp. 3-21).
- Holz M. 2012. Estratigrafia de Sequências–Histórico, Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 272p.
- Horn C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 105:267–309.
- Horn C. 1994. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (early Miocene-early middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 109(1), 1–54.
- Horn C., Bogotá-A G.R., Romero-Baez M., Lammertsma E.I., Flantua S.G.A., Dantas E.L., Dino R., Carmo D.A., Chemale Jr F. 2017. The Amazon at sea: onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change*, 153:51–65.

Hoorn C., Guerrero J., Sarmiento G.A., Lorente, M.A. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, 23:237–240.

Hoorn C., Van der Ham R., de la Parra, F., Salamanca S., Ter Steege H., Banks H., Star W., Van Heuven B.J., Langelaan R., Carvalho F.A., Rodriguez-Forero G., Lagomarsino L.P. 2019. Going north and south: The biogeographic history of two Malvaceae in the wake of Neogene Andean uplift and connectivity between the Americas. *Review of palaeobotany and palynology*, 264, 90–109.

Hoorn C., Wesselingh F.P., Ter Steege H., Bermudez M.A., Mora A., Sevink J., Sanmartín I., Sanchez-Meseguer A., Anderson C.L., Figueiredo J.P., Jaramillo C. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *science*. 12;330(6006):927-31.

Horbe A. M. C., Paiva M. R. P. D., Motta M. B., & Horbe M. A. 2007. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari-AM. *Acta Amazonica*, 37(1), 81–89.

Horbe A.M.C., Motta M.B., de Almeida C.M., Dantas E.L., Vieira L.C. 2013. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazônia, Brazil: consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. *Sedimentary Geology*. 296:9–20.

Horbe A.M.C., Roddaz, M., Gomes, L.B., Castro, R.T., Dantas, E.L., do Carmo, D.A. 2019. Provenance of the Neogene sediments from the Solimões Formation (Solimões and Acre Basins), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 93, 232–241.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Base cartográfica integrada do Brasil ao milionésimo digital. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads\\_geociencias.html?caminho=cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc250/versao2021/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads_geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/)> Acesso em: jul. 2022.

Ingrouille M. 2012. *Diversity and evolution of land plants*. Springer Science & Business Media.

Jansonius J. and McGregor D.C. 2002. *Palynology: Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas, USA, 1330 p.

Janssen C.R. 1984. Modern pollen assemblages and vegetation in the Myrtle Lake Pearlland, Minnesota. *Ecological Monographs*, 54:213–252.

Jaramillo C., Hoorn C., Silva S.A.F., Leite F., Herrera F., Quiroz L., Dino R., Antonioli L. 2010. The origin of the modern Amazon rainforest: implications of the palynological and palaeobotanical record In: Hoorn, C and Wesselingh, F.P. (eds.) *Amazonia: landscape and species evolution - a look into the past*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 317–334.

Jaramillo C., Romero I., D'Apolito C., Bayona G., Duarte E., Louwye S., Escobar J., Luque J., Carrillo-Briceño J. D., Zapata V., Mora A., Schouten S., Zavada M., Harrington G., Ortiz J., Wesselingh F. P. 2017. Miocene flooding events of western Amazonia. *Science advances*, 3(5).

Jaramillo C.A., Rueda M., Torres, V. 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia, *Palynology*, 35:46–84.

Jo H.R. 2003. Depositional environments, architecture, and controls of Early Cretaceous non-marine successions in the northwestern part of Kyongsang Basin, Korea. *Sedimentary Geology*. 161(3-4):269–94.

Jones G.D., and Jones S.D. 2001. The uses of pollen and its implication for entomology. *Neotropical Entomology*, 30(3), 314–349.

Jorge V., D'Apolito C., Silva-Caminha S.A. 2019. Exploring geophysical and palynological proxies for paleoenvironmental reconstructions in the Miocene of western Amazonia (Solimões Formation, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. 94:102223.

Kachinasz K.R. and Silva-Caminha S.A.F. 2016. Palinoestratigrafia da Formação Solimões: comparação entre bioestratigrafia tradicional e o método de associações unitárias. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(3):481–490.

- Kachniasz K.R. 2016. Palinoestratigrafia e Paleoambientes da Formação Solimões, poços 1AS-34-AM e 1AS-31-AM, borda noroeste da Bacia do Solimões. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Geociências, Cuiabá, 154p.
- Kapp R.O., Davis O.K., King J.E. 2000. Guide to pollen and spores. *American Association of Stratigraphic Palynologists*, 279p.
- Karasawa H., Schweitzer C.E., Feldmann R.M. 2008. Revision of Portunoidea (Decapoda: Brachyura) with emphasis on the fossil genera and families. *Journal of Crustacean Biology*. 28(1):82-127.
- Kedves M., Solé de Porta N. 1963. Comparación de las esporas del género *Cicatricosisporites* R. Pot y Gell, 1933 de Hungría y Colombia. Algunos problemas referentes a su significado estratigráfico. *Boletín Geológico*, 12:51–76.
- Kistler P. 1954. Historical Resumé of the Amazon Basin. Petrobras. Relatório Interno 104-A.
- Kordowski J. 2013. The role of blocks of dead ice in the deposition of late glacial sediments in a large valley: A case study from the Vistula river valley in the Grudziądz Basin, north Poland. *Geographia Polonica*. 86(4):341-61.
- Krutzsch W. 1959. Mikropalaontologische (sporenpalaontologische) Untersuchungen in der Braunkohle des Geiseltales. *Geologie*, 8, 1-425.
- Krutzsch W. 1967. Atlas der mittel- und jungtertiären dispersen Sporen- und Pollen- sowie der Mikroplanktonformen des nordlichen Mitteleuropas. Lieferung 4 und 5: Weitere azonotrilete (apiculate, murornate), monolete und alete Sporenformen. Berlin: Veb Gustav Fischer Verlag Jena, 232 pp.
- Lammertsma E.I., Troelstra S.R., Flores J.A., Sangiorgi F., Chemale Jr., Carmo D.A., Hoorn C. 2018. Primary productivity in the western tropical Atlantic follows Neogene Amazon River evolution. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 506, 12–21.

Latrubesse E.M., Cozzuol M., Silva-Caminha, S.A.F., Rigsby C.A., Absy M.L., Jaramillo C. 2010. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Science Reviews*, 99:99–124.

Latrubesse E.M., Silva S.A., Cozzuol M., Absy M.L. 2007. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazon and its regional significance: biotic and geological evidences. *Journal of South American Earth Science*, v. 23, p. 61–80.

Leandro L.M., Vieira C.E.L., Santos A., Fauth G. 2019. Palynostratigraphy of two Neogene boreholes from the northwestern portion of the Solimões Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 89, 211–218.

Leite F.P.R. 2006. Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas: Implicações paleoambientais e bioestratigráficas. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 128 p.

Leite F.P.R., Paz J., Carmo D.A., Silva-Caminha S.A.F. 2017. The effects of the inception of Amazonian transcontinental drainage during the Neogene on the landscape and vegetation of the Solimões Basin, Brazil. *Palynology*, 41:412–422.

Linhares A.P., Gaia V.D.C., Ramos M.I.F. 2017. The significance of marine microfossils for paleoenvironmental reconstruction of the Solimões Formation (Miocene), western Amazonia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 57–66.

Linhares A.P., Ramos M.I., Gaia V.C., Friaes Y.S. 2019. Integrated biozonation based on palynology and ostracods from the Neogene of Solimões Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 57–70.

Lorente M.A. 1986. Palynology and palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. *Dissertationes Botanicae*, 99:1–224.

Maia R.G.N., Godoy H.K., Yamaguti H.S., Moura P.A, Costa F.S.F., Holanda M.A., Costa, J.A. 1977. Projeto Carvão no Alto Solimões. Relatório Final, CPRM-DNPM, 137 p.

Medeiros C. G. 2017. Ostracodes da Formação Solimões, Brasil: contribuição à bioestratigrafia do Neógeno da Amazônia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 67p.

Medeiros C.G.D., Carmo D.A.D., Antonietto L.S. 2017a. Zoneamento bioestratigráfico com base em ostracodes da perfuração 1-AS-33-AM, Projeto Carvão no Alto Solimões-CPRM/DNPM, Formação Solimões, Neógeno da Amazônia Ocidental, Brasil. In: Anais Do XV Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, pp. 400–403.

Medeiros C.G.D., Carmo D.A.D., Antonietto L.S., Graça M.C. 2017b. Identificação de evento paleoambiental no Mioceno da Amazônia Ocidental, Formação Solimões. In: Anais Do XV Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, pp. 790–793.

Medina E.E., Cuevas M.P., Lugo, A. 1990. Soil salinity, sun exposure, and growth of *Acrostichum aureum*, the mangrove fern. *Botanical Gazette*, 151(1):41–45.

Melo A.F.F., and Villas Boas P.F. 1993. Caracterização e distribuição da Formação Içá na porção noroeste do Estado do Amazonas. Simpósio de Geologia da Amazônia, 4. Boletim de Resumos Expandidos. Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 210–211.

Mendes A.C., Truckenbrodat W., Nogueira, A.C.R. 2012. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 42(1), 39–57.

Miall A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*. 22(4):261-308.

Miall A.D. 2006. The Geology of Fluvial Deposits, Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. 4th corrected printing, *Springer*, 575 p.

Moore P.D., Webb J.A., Collison M.E. 1991. Pollen analysis. Oxford, Blackwell scientific publications. 216p.

- Muller J., Di Giacomo E., Van Erve A.W. 1987. *Janmulleripollis*, a new pollen genus from the Eocene of Venezuela (No. 19). American Association of Stratigraphic Palynologists.
- Neves P.C.P., and Bauermann S.G. 2003. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias no Estado Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições Taxonômicas – Parte I: fungos, algas, palinomorfos e outros fragmentos de invertebrados. *Botânica*, 53:121–149.
- Nichols D. J. 2007. Selected plant microfossil records of the terminal Cretaceous event in terrestrial rocks, western North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 255(1-2), 22-34.
- Nichols G.J., Fisher J.A. 2007. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*. 195(1-2):75-90.
- Nogueira A.C.R., Silveira R.R., Guimarães J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentar and paleovegetation history of eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences*, 46:89–99.
- Poças M.E.P. 2004. Contribuição da palinologia para a caracterização paleoecológica e paleoclimática do Cenozoico a norte do Douro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 116 p.
- Pons D., and De Franceschi, D.A.R.I.O. 2007. Neogene woods from western Peruvian Amazon and palaeoenvironmental interpretation. *Bulletin of Geosciences*, 82(4), 343-354.
- Potonié R. and Gelletich J. 1933. Über Pteridophytensporen einer eocänen Braunkohle aus Dorog in Ungarn. *Sitzungsber Gesell. Naturforsch. Freunde Berlin*, 33:517–526.
- Potter P.E., Maynard J.B., Depetris P.J. 2005. Mud and Mudstones. BerlinHeidelberg-New York, *Springer*, 244 p.
- Proctor M., Yeo P., Lack A. 1996. The natural history of pollination. *HarperCollins Publishers*.

Punt W., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas, A. 1994. Glossary of pollen and spore terminology: LPP Contributions series No. 1. *International Federation of Palinological Societies*, 71p.

Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of palaeobotany and palynology*, 143(1-2), 1-81.

Regali M.S.P, Uesegui N., Santos A.S. 1974a. Palinologia dos sedimentos Mesozoicos do Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobras*, 17(3):177–190.

Regali M.S.P., Uesegui N., Santos, A.S. 1974b. Palinologia dos sedimentos Mesozoicos do Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobras*, 17(4):263–301.

Reis A.D.D. 2016. Análise arquitetural de depósitos fluviais da Formação Guará (Jurássico Superior-Cretáceo Inferior) na borda sudeste da Bacia do Paraná, RS, Brasil.

Renaut R.W., Gierlowski-Kordesch, E.H., Dalrymple R., James, N. 2010. Lakes. *Facies models*, 4, 541-575.

Retallack G. J. 1997. Early forest soils and their role in Devonian global change. *science*, 276(5312), 583-585.

Ribas C.C., Aleixo A., Nogueira A.C.R., Miyaki C.Y., Cracraft J. 2012. A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 279:681–689.

Roberts E.M., Rogers R.R., Foreman B.Z. 2007. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the Late Cretaceous of Madagascar and Utah. *Journal of Paleontology*. 81, 201–208.

Rossetti D.F., Bezerra F.H., Dominguez J.M.L., 2013. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*. 123, 87–112.

Rossetti D.F., Cohen M.C.L., Tatumi S.H., Sawakuchi A.O., Cremon É.H., Mittani J.C.R., Bertani T.C., Munita C.J.A.S., Tudela D.R.G., Yee M., Moya G., 2015. Mid–

Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. *Sedimentary Geology*, 330, 1–15.

Rossetti D.F., Toledo P.M., Góes A.M. 2005. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary research*. 63(1), 78–89.

Sá N.D.P., Carvalho M.D.A. 2020. Miocene paleoenvironmental changes in the Solimões Basin, western Amazon, Brazil: A reconstruction based on palynofacies analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 537, 109450.

Sá N.D.P., Carvalho, M.D.A. 2017. Miocene fern spores and pollen grains from the Solimões Basin, Amazon Region, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 31(4), 720–735.

Sacek V. 2014. Drainage reversal of the Amazon River due to the coupling of surface and lithospheric processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 401:301–312.

Salgado-Labouriau M. L. 2007. Critérios e técnicas para o Quaternário. Editora Blucher.

Saxena R.K. & Sarkar, S. 1986. Morphological study of *Frasnacrioleirus* Taugourdeau emend. from the Tertiary sediments of Himachal Pradesh, India. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 46:209–225.

Saxena R.K., and Khare S. 1992. Fungal remains from the Neyveli Formation of Tiruchirapalli District, Tamil Nadu, India. *Geophytology*, 21:37–43.

Scherer C. M., Goldberg K., Bardola T. 2015. Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, 322, 43-62.

Scherer C.M., Lavina E.L., Dias Filho, D.C., Oliveira F.M., Bongioiolo D.E., Aguiar E.S. 2007. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial–aeolian–lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 194(3-4), 169-193.

Shephard G.E., Müller R.D., Liu L., Gurnis M. 2010. Miocene drainage reversal of the Amazon River driven by plate–mantle interaction. *Nature Geoscience*, 3:870–875.

Sheppard L.M., Bate, R.H., 1980. Plio-Pleistocene ostracods from the Upper Amazon of Colombia and Peru. *Palaeontology* 23:97–124.

Silva A.G. 2013. Magmatismo e sistemas petrolíferos na Bacia do Solimões. Trabalho Final de Graduação, Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 53 p.

Silva C.F.C., Silva F.R., Peruquetti R.C. 2017. Palinologia e a interação planta-abelha: Revisão de literatura. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 20(4).

Silva-Caminha S.A.F., Jaramillo C.A., Absy M.L. 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazonia. *Palaeontographica, Abteilung B*, 283:1–67.

Silveira R.R. 2005. Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental dos Depósitos Mioceno da Formação Solimões, região de Coari. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 117p.

Silveira R.R. 2015. Bioestratigrafia e paleoecologia de depósitos Neógenos e Pleistocenos aflorantes na porção central e ocidental da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil. Dissertação de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 264p.

Silveira R.R., Souza P.A. 2015. Palinologia (grãos de pólen de angiospermas) das formações Solimões e Içá (bacia do Solimões), nas regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 18(3):455–474.

Silveira R.R., Souza P.A. 2016. Palinologia (esporos de fungos e pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas, cistos de algas e escolecodonte) das formações Solimões e Içá (Neógeno e Pleistoceno, Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 43(1):17–39.

Silveira R.R., Souza P.A. 2017. Palinoestratigrafia da Formação Solimões na Região do Alto Solimões (Atalaia do Norte e Tabatinga), Amazonas, Brasil. *Geociências*, 36(1):100–117.

- Smol J. P., Birks H. J. B., Last W. M. 2001. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators. *Springer*, Netherlands.
- Suguio K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 400p.
- 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*. Beca, São Paulo, p. 471–485.
- Teixeira C., and Pais J. 1976. *Introdução à paleobotânica: As grandes fases da evolução dos vegetais*. Lisboa: Livraria escolar editora. 210 p.
- Traverse A. 1988. *Paleopalynology*, 1st edition, London, Unwin Hyman, 600 p.
- Traverse A. 2007. *Paleopalynology*. Dordrecht, Springer, 813 p.
- Tryon A.F. and Lugardon B. 1990. Spores of the Pteridophyta. Surface, wall structure, and diversity based on electron microscope studies. Springer-Verlag, New York, 635 p.
- Tryon R.M. and Tryon A.F. 1982. Ferns and Allied Plants: With special reference to Tropical America. New York: Springer-Verlag, 858 p.
- Tucker M. E. 2003. Sedimentary rocks in the field: the geological field guide series, 3<sup>a</sup> ed. Wiley, Chichester, 234 p.
- Uesugui N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim técnico da PETROBRAS*, 22(4), 229–240.
- Van der Hammen T. 1954. The development of Colombian flora throughout geologic periods: I, Maestrichtian to Lower Tertiary. *Boletín Geológico*, 2, 49-106.
- Veeken P. P. and Moerkerken, B. 2013. *Seismic stratigraphy and depositional facies models*. Academic Press. 453p.

- Vega A.M.L. 2005. Reconstituição paleoambiental dos depósitos miocenos na região Centro oriental da Bacia do Solimões. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 92 p.
- Von Post L. 1916. Einige südschwedische Quellmoore. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala*. 15:219–278.
- Wakelin-King G. A. and Webb J. A. 2007. Threshold-dominated fluvial styles in an arid-zone mud-aggregate river: the uplands of Fowlers Creek, Australia. *Geomorphology*, 85(1-2), 114-127.
- Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In*: Walker, R.G & James, N.P. (eds.). *Facies models response to sea-level change*. Geological Association of Canada, p. 1–14.
- Wanderley Filho J.R., Eiras J.F., Vaz P.T. 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15:217–225.
- Wesselingh F. P. and Salo J. A. 2006. A Miocene perspective on the evolution of the Amazonian biota. *Scripta Geologica*, 133, 439-458.
- Westaway R. 2006. Late Cenozoic sedimentary sequences in Acre state, southwestern Amazonia: Fluvial or tidal? Deductions from the IGCP 449 fieldtrip. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(1-2), 120-134.
- Widera M. 2012. Ksylity w kenozoicznych osadach drobnokrystalicznych z odkrywek KWB Konin SA i KWB Adamów SA. *Górnictwo Odkrywkowe*, 53, 119-122.
- Widera M. 2016. Depositional environments of overbank sedimentation in the lignite-bearing Grey Clays Member: New evidence from Middle Miocene deposits of central Poland. *Sedimentary Geology*, 335, 150-165.
- Wizevic M.C. 1991. *Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques*. *In*: Miall, A.D. & Tyler, N. (eds.). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implication for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa, SEMP (Concepts in sedimentology and Paleontology, 3). p. 22–24.

Ybert J. P., Carvalho M., Scheel-Yber, R., Rezende R. C. 2012. *Dicionário temático de morfologia esporopolínica* (Vol. 1). Museu Nacional.

Ybert J.P., Salgado-Labouriau M.L., Barth O.M., Lorscheitter M.L., Barros M.A., Chaves S.A.M., Luz C.F.P., Ribeiro M., Scheel R., Vicentini K.R.F. 1992. Sugestão para padronização da metodologia empregada para estudos palinológicos do Quaternário. *Revista do Instituto de Geologia*, 13:47–49.

Yeste L.M., Varela A.N., Viseras C., Mcdougall N.D., García-García F. 2020. Reservoir architecture and heterogeneity distribution in floodplain sandstones: Key features in outcrop, core and wireline logs. *Sedimentology*, 67(7), 3355–3388.