



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

JOSEFA NILMARA LOPES LACERDA

**PALINOLOGIA E PALEOECOLOGIA DA FORMAÇÃO ROMUALDO (APTIANO)
DA BACIA DO ARARIPE, MINA SERROLÂNDIA-PE, NORDESTE-BRASIL**

Recife

2023

JOSEFA NILMARA LOPES LACERDA

**PALINOLOGIA E PALEOECOLOGIA DA FORMAÇÃO ROMUALDO (APTIANO)
DA BACIA DO ARARIPE, MINA SERROLÂNDIA-PE, NORDESTE-BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Alcina Magnólia da Silva Franca.

Coorientador: Dr. Luiz Ricardo da Silva Lôbo do Nascimento.

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Rosineide Mesquita G. Luz CRB4-1361

L131p

Lacerda, Josefa Nilmara Lopes.

Palinologia e paleoecologia da Formação Romualdo (Aptiano) da Bacia do Araripe, Mina Serrolândia-PE, Nordeste-Brasil / Josefa Nilmara Lopes Lacerda. – 2023.

84p.: il., figs., tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Alcina Magnólia da Silva Franca.

Coorientador: Dr. Luiz Ricardo da Silva Lôbo do Nascimento.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Recife, 2023.

Inclui referências.

1. Geociências. 2. Microfósseis orgânicos. 3. Cretáceo Inferior. 4. Influência Marinha. 5. Reconstrução Paleoambiental. I. Franca, Alcina Magnólia da Silva (Orientadora). II. Nascimento, Luiz Ricardo da Silva Lôbo do (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2023-200

JOSEFA NILMARA LOPES LACERDA

**PALINOLOGIA E PALEOECOLOGIA DA FORMAÇÃO ROMUALDO (APTIANO)
DA BACIA DO ARARIPE, MINA SERROLÂNDIA-PE, NORDESTE-BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências. Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Aprovada em: 12/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Dr. David Holanda de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

Dr^a. Paula Andrea Sucerquia (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Paulo Eduardo de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade de São Paulo

*Dedico, aos pesquisadores brasileiros,
por acreditarem e lutarem pela ciência.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Alcina Magnólia da S. Franca pela orientação, incentivo e parceria.

Ao coorientador, Dr. Luiz Ricardo da S. L. do Nascimento, pelos ensinamentos, parceria e dedicação a esta orientação.

À PETROBRAS, pela bolsa de fomento concedida, incentivando e investindo na ciência brasileira.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, representado pelos professores, técnicos e demais funcionários por todo suporte e acolhimento.

À banca avaliadora, Dr^a. Paula A. Sucerquia, Prof. Dr. Paulo E. de Oliveira e Prof. Dr. David H. de Oliveira, por suas indispensáveis contribuições.

Ao Dr. Mitsuru Arai (UNESP), pela colaboração na identificação dos dinoflagelados da seção da Mina Serrolândia.

Ao PALEOLAB, representado por Camila Gomes, Iago Sano, Rizoaldo Barbosa, Rudah Duque, Yumi Asakura, Rilda Araripe, Ludmila Prado, Gabriel Lopes, Johnson Sarmento, Flávia Pedrosa, Anny Carvalho, e a todos os outros integrantes, pelo acolhimento, colaboração e conversas sempre proveitosas.

À minha família, minha mãe Maria Alisônia L. Lacerda, meu pai Nivalson L. Lacerda e meus irmãos, Naiara L. Lacerda, Francisco Nawan L. Lacerda e Maria Vitória L. Lacerda, por todo o incentivo, sendo sempre o meu refúgio e fortaleza.

À Davy B. Bérghamo, que sempre esteve comigo, compartilhando momentos, oferecendo suporte e incentivo.

Aos amigos, Cristiano Bérghamo, Gizelma Barbosa, João Neto, Jaciel Freitas, Jerônimo Hugo, Gerlaine Souza, Sirleidy Lima, Erivaldo Mendes, Ana Rita, Iasmin Lopes, Dalylla Lopes e todas as pessoas, que direta ou indiretamente me acompanharam e incentivaram nessa trajetória.

RESUMO

A partir da análise taxonômica e paleoecológica das associações de palinomorfos da Mina Serrolândia (Ouricuri-PE), objetivou-se contribuir para a reconstrução paleoambiental da Formação Romualdo (Aptiano), porção sudoeste da Bacia do Araripe, Nordeste-Brasil. Ao todo, 19 amostras (17 m) foram coletadas, e recuperados palinomorfos em apenas sete dessas para contagem de 200 indivíduos por amostra. Foram identificados palinomorfos continentais, representados pelos esporos de samambaias e licófitas (14 táxons), grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas (38 táxons), algas de água doce (2 táxons) e esporos fúngicos. Entre os marinhos, ocorreram cistos de dinoflagelados (8 táxons) e palinoforaminíferos. Os táxons mais abundantes foram os grãos de pólen de *Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp. e *Gnetaceaepollenites jansonii*, cuja ocorrência indica um paleoclima quente (semiárido a árido), evidenciado também pela menor abundância de esporos, relacionados a ambientes mais úmidos e sombreados. A análise de distribuição e de agrupamento identificou dois grupos, G1, representando as camadas inferiores (3,5-4,2 m), e G2, as camadas mais superiores (4,4-6 m). Os palinomorfos do G1 eram 92% continentais (*Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp. e *Gnetaceaepollenites jansonii*), e 8% marinhos, representados pelos dinocistos *Batiacasphaera* sp. A, *Cometodinium?* sp., e *Odontochitina?* sp. Este grupo representa um paleoambiente marinho proximal com uma forte influência terrestre, incluindo sistemas fluviais-lacustres devido a ocorrência de *Botryococcus braunii* e *Pediastrum* sp., enquanto que, em G2 há uma diminuição da influência dos palinomorfos continentais (79%) e um aumento significativo da contribuição dos marinhos (21%), incluindo palinoforaminíferos e dinocistos de *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Odontochitina?* sp., e *Atopodinium* sp., etc. Estas características são consistentes com a conclusão de que G2 representa um paleoambiente marinho distal, sendo importante ressaltar o primeiro registro para a Formação Romualdo dos dinocistos *Odontochitina?* sp. e *Cometodinium?* sp. Os palinomorfos da seção na Mina Serrolândia pertencentes a Formação Romualdo, sugere para a porção analisada um paleoambiente marinho proximal a mais distal em uma região de planície costeira, influenciada por uma floresta tropical típica de paleoclima semiárido a árido, majoritariamente composta por gimnospermas, seguida de samambaias, licófitas e angiospermas, plantas de porte herbáceo, arbustivas a arbóreas. As informações expostas contribuem para a caracterização do paleoambiente da Formação Romualdo, na porção sudoeste da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, durante o Cretáceo Inferior.

Palavras-chave: Microfósseis Orgânicos; Cretáceo Inferior; Influência Marinha; Reconstrução Paleoambiental.

ABSTRACT

Based on the taxonomic and paleoecological analysis of palynomorph associations from the Serrolândia Mine (Ouricuri-PE), the aim was to contribute to the paleoenvironmental reconstruction of the Romualdo Formation (Aptian), southwestern portion of the Araripe Basin, Northeastern-Brazil. A total of 19 samples (17 m) were collected, and palynomorphs were recovered from only seven of them to count 200 individuals per sample. Continental palynomorphs were identified, represented by fern and lycophyte spores (14 taxa), gymnosperm and angiosperm pollen grains (38 taxa), freshwater algae (2 taxa), and fungal spores. Marine taxa included dinoflagellate cysts (8 taxa) and foraminiferal linings. The most abundant taxa were pollen grains of *Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp. and *Gnetaceaepollenites jansonii*, whose occurrence indicates a warm paleoclimate (semi-arid to arid), also evidenced by the lower abundance of spores associated with more humid and shaded environments. The distribution and clustering analysis identified two groups, G1, representing the lower layers (3.5-4.2 m), and G2, the upper layers (4.4-6 m). The palynomorphs in G1 were 92% continental (*Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp. and *Gnetaceaepollenites jansonii*) and 8% marine, represented by the dinocysts *Batiacasphaera* sp. A, *Cometodinium?* sp. and *Odontochitina?* sp. This group represents a proximal marine paleoenvironment with a strong terrestrial influence, including fluvial-lacustrine systems due to the occurrence of *Botryococcus braunii* and *Pediastrum* sp., while in G2 there is a decrease in the influence of continental palynomorphs (79%) and a significant increase in the contribution of marine palynomorphs (21%), including foraminiferal linings and dinocysts of *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Odontochitina?* sp. and *Atopodinium* sp., etc. These characteristics are consistent with the conclusion that G2 represents a distal marine paleoenvironment, and it is important to highlight the first record for the Romualdo Formation of the dinocysts *Odontochitina?* sp. and *Cometodinium?* sp. The palynomorphs from the section of the Serrolândia Mine belonging to the Romualdo Formation suggest a proximal to more distal marine paleoenvironment in a coastal plain region influenced by a tropical forest typical of a semi-arid to arid paleoclimate, composed mainly of gymnosperms, followed by ferns, lycophytes and angiosperms, herbaceous plants, shrubs and trees. This information contributes to the characterization of the paleoenvironment of the Romualdo Formation, located in the southwestern portion of the Araripe Basin, northeastern Brazil, during the Early Cretaceous.

Keywords: Organic Microfossils; Lower Cretaceous; Marine Influence; Paleoenvironmental Inferences.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
2 BACIA DO ARARIPE	12
2.1 GRUPO SANTANA	12
2.2 FORMAÇÃO ROMUALDO	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.....	14
3.2 PREPARAÇÃO PALINOLÓGICA E ANÁLISES	15
4 RESULTADOS.....	17
4.1 ARTIGO I – PALINOMORFOS DA FORMAÇÃO ROMUALDO (APTIANO) DA BACIA DO ARARIPE, MINA SERROLÂNDIA, PE, NORDESTE - BRASIL	17
4.2 ARTIGO II – PALEOECOLOGY AND PALEOENVIRONMENTAL INFERENCES BASED ON PALYNOMORPHS FROM THE ROMUALDO FORMATION (LOWER CRETACEOUS) OF THE ARARIPE BASIN, SERROLÂNDIA MINE, PERNAMBUCO, NORTHEASTERN BRAZIL	57
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe inserida sob o embasamento pré-cambriano da Zona Transversal da Província Borborema no Nordeste do Brasil, originou-se a partir da reativação tectônica durante a separação do continente Gondwana e abertura do oceano Atlântico Sul no Mesozoico, resultando na formação das megassequências pré-rifte, rifte e pós-rifte I e II (Assine, 1994; Rios-Netto et al., 2012; Teixeira et al., 2017). O Grupo Santana representa a megassequência pós-rifte I (Andar Alagoas), que tem como última unidade sedimentar, a Formação Romualdo, reconhecida internacionalmente como *Konservat Lagerstätte*, devido à sua excepcional preservação e diversidade de fósseis (Maisey, 1991; Assine, 1992, 2007; Chagas et al., 2007; Assine et al., 2014).

Na Formação Romualdo, os palinomorfos (5-500 µm) ocorrem de forma constante e em alta abundância, sendo geralmente compostos por esporopolenina, quitina ou pseudoquitina, que permitem a sua preservação no registro sedimentar (Lima, 1978a; Arai & Lana, 2004; Traverse, 2007; Arai & Assine, 2020), estando relacionados tanto a ambientes continentais (grãos de pólen, esporos e algas) quanto a marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos, quitinozoários e palinoforaminíferos), apresentando uma ampla diversidade biológica e alto potencial de dispersão (Traverse, 1974; Arai & Lana, 2004).

Estes microfósseis orgânicos fornecem informações concisas sobre os aspectos paleoecológicos das espécies que outrora estiveram presentes e as condições que influenciavam os paleoambientes (Arai & Lana, 2004; Portela et al., 2014), como o registro de transgressões marinhas e ambientes transicionais (lagunares) durante a deposição da Formação Romualdo, indicados pela presença de microfósseis marinhos, como os palinoforaminíferos e cistos de dinoflagelados (Arai & Coimbra, 1990; Teixeira et al., 2017). Além disso, os palinomorfos apresentam potencial bioestratigráfico, como evidenciado pela biozona *Sergipea varrивerrucata* (P-270), que tem sugerido para a Formação Romualdo idade Aptiana tardia (Regali, 1987; Arai & Assine, 2020).

Diante disso, a partir do conteúdo palinológico visou-se contribuir com a caracterização do paleoambiente da Formação Romualdo, a partir da inédita seção da Mineradora Serrolândia, localizada no município de Ouricuri no estado de Pernambuco, na porção sudoeste da Bacia do Araripe. Este trabalho apresenta seus resultados na forma de dois artigos científicos: o primeiro, baseado na análise sistemática e nas descrições dos palinomorfos; e o segundo, abordando a distribuição da palinoflora ao longo da seção e suas implicações paleoambientais, paleoecológicas e paleoclimáticas.

1.1 OBJETIVOS

Este estudo palinológico foi desenvolvido baseado nos seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo palinológico na seção da Mineradora Serrolândia, Ouricuri-PE, envolvendo análises taxonômicas e paleoecológicas para contribuir com a reconstrução paleoambiental da Formação Romualdo (Cretáceo Inferior – Andar Alagoas) da Bacia do Araripe, Nordeste-Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de dados estratigráficos e coleta de amostras da Formação Romualdo na mineradora de gipsita Serrolândia, Ouricuri-PE;
- Realizar a identificação taxonômica dos palinomorfos da Formação Romualdo, encontrados na seção da Mineradora Serrolândia, Ouricuri-PE;
- Analisar os aspectos paleoecológicos da associação palinológica e inferir informações paleoambientais e paleoclimáticas, contribuindo com o arcabouço de informações relacionadas a Formação Romualdo da Bacia do Araripe.

2 BACIA DO ARARIPE

A Bacia sedimentar do Araripe, localizada sob o embasamento pré-cambriano da Zona Transversal da Província Borborema, a sul da Zona de Cisalhamento de Patos e a norte da Zona de Cisalhamento de Pernambuco, ocupa parte dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí (07° 02' 7° 49'S – 038° 30' 40° 55'W), e possui aproximadamente 9.000 km² de extensão, destacando-se como a maior entre as bacias interiores do Nordeste do Brasil (Assine, 1992, 2007; Coimbra, et al., 2002; Goldberg et al., 2019).

A origem e desenvolvimento da Bacia do Araripe está relacionada aos eventos tectônicos de reativação do embasamento pré-cambriano, decorrentes do processo de rifteamento das placas da América do Sul e da África (Supercontinente Gondwana), que resultou na abertura oceânica do Atlântico Sul durante o Mesozoico (Assine, 1994; Rios-Netto et al., 2012; Teixeira et al., 2017). A reativação de estruturas geológicas antigas condicionou a forma e a localização das bacias interiores da porção nordeste do Brasil, localizadas entre as bacias Potiguar, Tucano-Jatobá e do Parnaíba (Assine, 2007).

A estratigrafia da Bacia do Araripe, é constituída por megassequências limitadas por discordâncias regionais geradas por eventos tectônicos diferentes, que a caracterizam como uma bacia poligenética devido a sua alta complexidade (Assine, 2007). As megassequências compreendem a sequência Paleozoica, pré-rifte e rifte (Grupo Vale do Cariri), pós-rifte I (Grupo Santana) e pós-rifte II (Grupo Araripe) (Assine, 1992, 2007; Chagas et al., 2007) (Fig. 1).

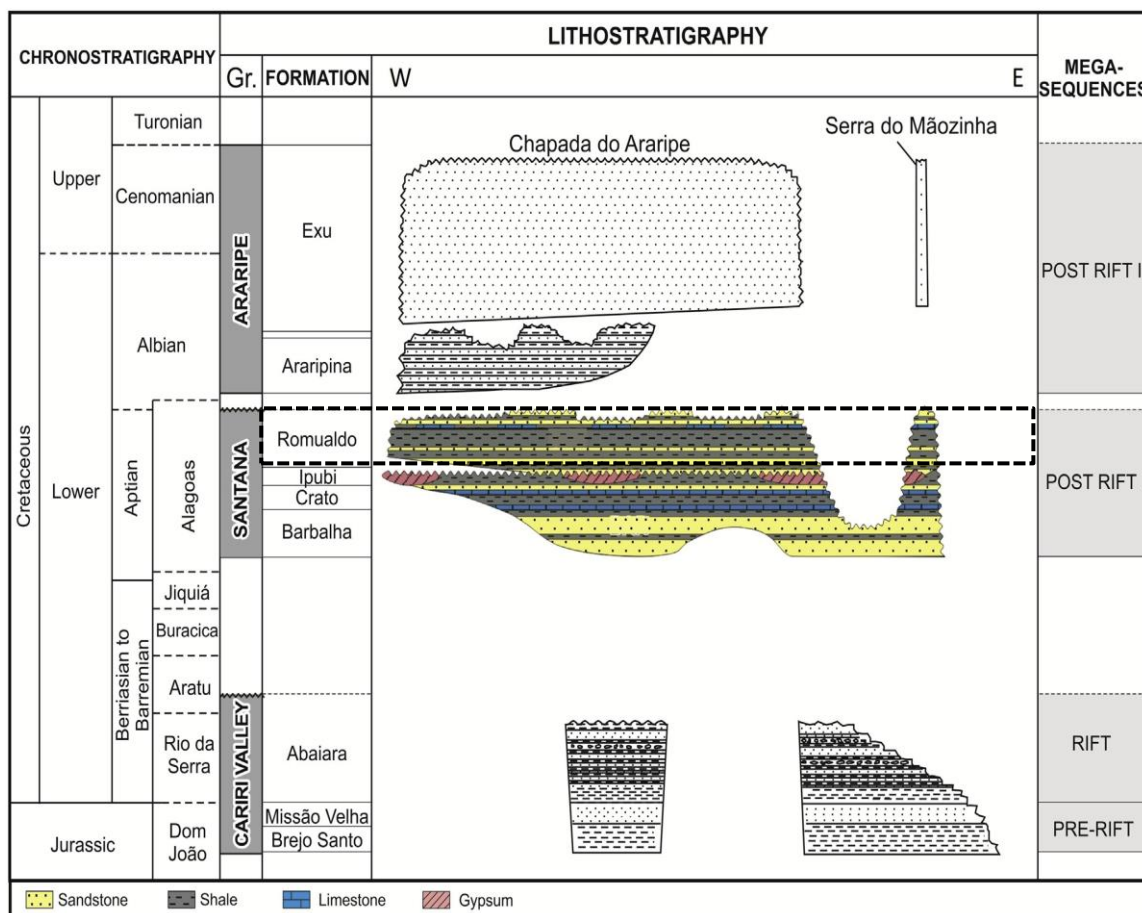
As sequências pré-rifte e rifte afloram somente na porção leste, região topograficamente deprimida denominada de Vale do Cariri, enquanto, as pós-rifte I e II afloram nas escarpas e sopés da Chapada do Araripe, feição geomorfológica caracterizada pelo topo plano e suavemente mergulhante para oeste, limitada por escarpas erosivas íngremes e alongadas na direção EW (Assine, 2007).

2.1 GRUPO SANTANA

A megassequência pós-rifte I, ao longo do tempo foi classificada como Formação Santana, constituída da base para o topo pelos Membros Crato, Ipubi e Romualdo (Beurlen, 1971). Porém, atualmente foi elevada para a categoria de Grupo Santana (Neunnam & Cabrera, 1999; Assine, 2007), inserido no Andar Alagoas (Aptiano/Albiano) - Eocretáceo, formada da base para o topo pelas Formações Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo (Mabesoone & Tinoco, 1973; Assine, 1992, 2007; Neunnam &

Cabrera, 1999; Assine et al., 2014), sendo está a classificação estratigráfica utilizada por este trabalho.

Figura 1 – Carta cronoestratigráfica e de megassequências estratigráficas da Bacia do Araripe, Nordeste-Brasil.



Fonte: Modificado de Assine (2007).

2.2 FORMAÇÃO ROMUALDO

A Formação Romualdo, unidade superior do Grupo Santana, apresenta grande variação faciológica e litológica, tendo a porção basal constituída por arenitos interestratificados com folhelhos, que em sequência muda para um empilhamento transgressivo de folhelhos verdes ricos em microfósseis, em direção ao topo, os folhelhos tendem a ficar mais escurecidos, devido à abundância de matéria orgânica, que apresenta concreções calcárias com uma rica e abundante paleoictiofauna, representantes um importante marco estratigráfico de mortandade em massa (Maisey, 1991; Martill et al., 2008), além de, apresentar tartarugas, pterossauros, dinossauros (Mabesoone & Tinoco, 1973; Arai & Coimbra, 1990; Coimbra et al., 2002; Duque, et al., 2023) e restos vegetais (*Pseudofrenelopsis salesii*, *Brachyphyllum castilhoi* e *Brachyphyllum obesum*) (Lima et al., 2012; Batista et al., 2021). Sobreposto aos folhelhos, encontra-se depositada coquinas

com macrofósseis de invertebrados marinhos (gastrópodes, bivalves e equinodermatas) (Sales, 2005; Pereira et al., 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

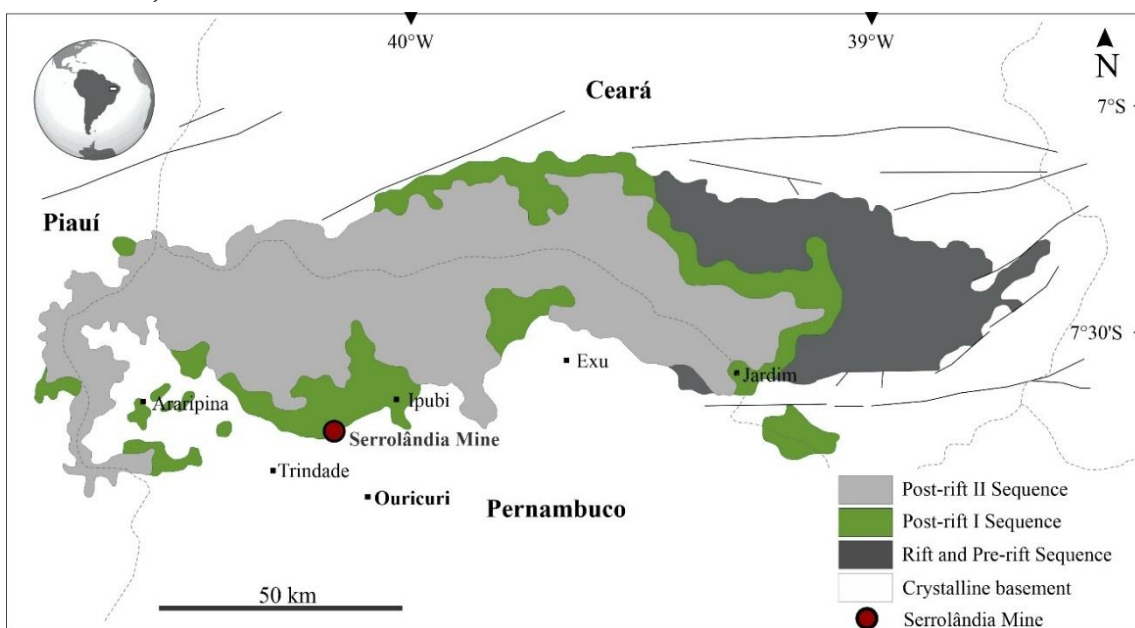
As etapas metodológicas realizadas por este trabalho estão descritas a seguir:

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas a partir de trabalhos de campo em mineradoras de gipsita do estado de Pernambuco: Mina VMB (Ouricuri), Mina Vale do Silício (Araripina), Mina Gregório (Ipubi) e Mina Serrolândia (Ouricuri: 07°43'31.31"S - 040°11'35.36"O) (Fig. 2). Entre essas, a Mina Serrolândia representa uma área de mineração inativa do Grupo Vicente, tendo sido a escolhida para este estudo por apresentar a melhor recuperação de palinomorfos.

Na seção da Mina Serrolândia foi possível o acesso da Formação Romualdo, sobreposta à camada de gipsita da Formação Ipubi. O detalhamento do perfil estratigráfico foi feito via observações litológicas, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero. A coleta das amostras foi efetuada, atentando-se, principalmente, aos níveis litológicos de maior probabilidade de ocorrência de palinomorfos (folhelhos não oxidados e calcários). Foram coletadas ao todo 19 amostras na seção de aproximadamente 17 m de altura.

Figura 2 – Localização geográfica da Bacia do Araripe e da Mina Serrolândia no município de Ouricuri-PE, Nordeste-Brasil.



Fonte: Modificado de Assine (2007).

3.2 PREPARAÇÃO PALINOLÓGICA E ANÁLISES

As amostras foram preparadas segundo o protocolo palinológico descrito por Uesugui (1979). Para cada amostra foram pesados 40 g de sedimento, direcionados para o processo de desagregação mecânica para redução das partículas a tamanhos entre 2 e 5 mm. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em béqueres de polipropileno de 600 ml, devidamente identificadas e submetidas ao processo de acidificação, iniciado pelo ácido clorídrico (HCl) a 37%, deixando-o agir por duas horas para remoção dos carbonatos, após essa etapa as amostras foram lavadas três vezes consecutivas com água destilada, após a decantação utilizou-se uma peneira com malha de 10 μm para retenção de partículas contidas no líquido sobrenadante.

A etapa seguinte foi a adição do ácido fluorídrico (HF) a 40% para remoção dos silicatos, a ação do ácido durou 24 horas, após este período as amostras foram lavadas novamente por três vezes consecutivas com água destilada. Em seguida, foi adicionado o HCl a 10% para dissolução dos cristais formados na etapa anterior, passando novamente pelo processo de lavagem.

O material resultante das amostras foi transferido para tubos de 50 ml, e centrifugados para separação por flotação da fração orgânica da inorgânica residual, utilizando a solução cloreto de zinco (ZnCl_2) com densidade de $2,0\text{g/cm}^3$. O líquido com o anel de matéria orgânica sobrenadante de cada amostra, foi lavado utilizando bastante água destilada e HCl a 10% para neutralização do ZnCl_2 e KOH para neutralização do ácido, sendo posteriormente transferidos para tubos pequenos devidamente identificados. A partir do resíduo final concentrado, foi feita a montagem de quatro lâminas palinológicas por amostra utilizando cola *Entellan Merck*.

A leitura e análise das lâminas foram realizadas em microscópio Zeiss - Axio Imager.A2, através de consecutivas varreduras verticais e horizontais, percorrendo toda a lâmina e contabilizando o valor mínimo de 200 palinomorfos aleatórios por amostra (Chang, 1967). As fotomicrografias foram realizadas com câmera AxioCam MRc acoplada ao microscópio, com o objetivo da elaboração das estampas e exemplificação dos palinomorfos encontrados.

A identificação taxonômica ocorreu a partir das observações das características morfológicas, conforme a literatura para palinomorfos do Cretáceo: Balme (1957), Pocock & Jansonius (1961), Dettmann (1963), Brenner (1963), Singh (1964, 1971), Azema & Boltenhagen (1974), Lima (1978a), Dejax (1987), Dino (1992), Antonioli (1998, 2001) e Nascimento (2013).

Para cada amostra contendo palinomorfos, foi calculada a riqueza taxonômica, a abundância e a frequência relativa (Dajoz, 1983) dos palinomorfos, e a distribuição vertical dos táxons na seção. Os dados sobre as associações palinológicas foram transformados em $\log(x+1)$ para uma análise de agrupamento (Everitt et al., 2011) com base na matriz de similaridade de *Bray Curtis*, e a implementação de uma Análise de Variância (ANOVA) unidirecional, seguida do teste de Tukey para resultados significativos (Zar, 2010). Foi também aplicada uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para determinar a significância dos agrupamentos das associações palinológicas (Anderson, 2001). Foi considerado um nível de significância de 5% em todas as análises, que foram executadas nos softwares PRIMER 7 + PERMANOVA (Clarke & Gorley, 2015), Statistica (TIBCO, 2020) e PAST 4.03.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos por este trabalho estão expostos no formato de dois artigos.

4.1 ARTIGO 1 - PALINOMORFOS DA FORMAÇÃO ROMUALDO (APTIANO), BACIA DO ARARIPE, MINA SERROLÂNDIA, PE, NORDESTE – BRASIL

ABSTRACT

Paleopalynology is related to the microfossils of organic composition that contribute to the reconstruction of paleoenvironments and paleoclimates. The aim of this study was the identification and morphological diagnosis of the palynomorphs of the Romualdo Formation from the unpublished section of the Serrolândia Mine, located in the southwestern portion of the Araripe Basin, in the municipality of Ouricuri-PE, Northeastern Brazil. The recovery of the palynomorphs followed the standard protocol of palynological analysis. From a systematic point of view, 1,765 palynomorphs of 64 taxa were identified, with continental (86%) and marine (14%) palaeoenvironmental affinities, representing a rich palynofloristic association typical of the Romualdo Formation, dominated by pollen grains of gymnosperms (53%), such as the rimulates of the genera *Classopollis* (Cheirolepidiaceae), the polylicates of the genera *Gnetaceaepollenites* (Gnetaceae?) and *Equisetosporites* (Ephedraceae?), and the monosulcates of *Cycadopites* (Cycadales). Among the trilete spores were representatives of ferns and lycophytes (21.9%), such as *Leptolepidites* (Lycopodiaceae), *Cyathidites* (Cyatheaceae or Dicksoniaceae), and *Cicatricosisporites* (Anemiaceae), and the pollen grains of angiosperms (6.3%), represented by *Aphropollis* and *Tricolpites* (eudicotyledons). Through these continental palynomorphs, it was observed that the southwestern portion tended to have a warmer paleoclimate (arid to semi-arid), as evidenced by the low abundance of fern and lycophyte spores typical of humid environments and pollen grains such as the genus *Araucariacites*, associated with high altitude regions. Freshwater algae (3.1%) such as *Botryococcus braunii* and *Pediastrum* sp. and fungal spores (1.6%) were also identified. Among the marine palynomorphs, there were dinocysts (12.5%), especially the first occurrence of the genera *Odontochitina?* sp. and *Cometodinium?* sp., and foraminiferal linings (1.6%), which support the hypotheses of marine transgressions during the deposition of the Romualdo Formation. This information expands the knowledge of the micropaleontology of the Romualdo Formation, due to the lack of palynological studies in the southwestern part of the Araripe Basin, in the state of Pernambuco.

Keywords: Romualdo Formation; Palynomorphs; Palynological systematics; Lower Cretaceous.

4.1.1 Introdução

Assembleias palinológicas representam conjuntos diversificados de esporos (samambaias e licófitas) e grãos de pólen (gimnospermas e angiospermas), algas duciaquicólas, cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos, que podem inferir as características de paleoambientes florestais, fluviais, lacustres e marinhos, através de sua ocorrência e características adaptativas (Traverse, 1974; Hart, 1986; Arai & Lana, 2004).

O termo palinologia foi estabelecido por Hyde & Williams (1944) para o estudo de esporos e grãos de pólen. Entretanto, com os avanços da micropaleontologia, observou-se a possibilidade de inserção de outros microfósseis nesta classificação, baseado no pressuposto de que estes fossem resistentes as técnicas de preparação palinológica e apresentassem dimensões inferiores a 200 μm , empregando-se para este conjunto de microfósseis o termo paleopalinologia (Traverse, 1974).

Na paleopalinologia, as afinidades taxonômicas dos esporos e grãos de pólen podem ser diretamente estabelecidas quando há a preservação de partes das plantas originárias (Lima, 1978a), o que comumente pode não ocorrer. Diante disso, Potonié (1956, 1958) criou uma sistemática artificial aceita pelo Código de Nomenclatura Botânica, que caracteriza os palinomorfos como “espécies morfológicas”, permitindo a realização de analogias com os palinomorfos de espécies atuais, associadas a indicações de suas prováveis afinidades taxonômicas.

Na Bacia do Araripe, os primeiros estudos palinológicos envolvendo sistemática, principalmente de esporos e grãos de pólen, foi realizado por Lima (1971) na Formação Exu, e Lima (1978a) na então Formação Santana (membros Crato, Ipubi e Romualdo), tendo este extenso trabalho identificado 230 táxons palinológicos. Em especial, a Formação Romualdo, última unidade depositada no atual Grupo Santana (Assine, 2007), é considerada *Konservat Lagerstätte* devido à grande diversidade de fósseis preservados (Mabesoone & Tinoco, 1973; Maisey, 1991), entre estes, os palinomorfos como um dos microfósseis mais abundantes (Lima, 1978a; Portela et al., 2014; Teixeira et al., 2017; Arai & Assine, 2020), que inferem idade Aptiana superior através da Biozona *Sergipea variverrucata* (P-270) (Regali, 1987; Arai & Assine, 2020), e um paleoambiente típico de zonas tropicais (Neumann et al., 2003; Carvalho, 2004; Portela et al., 2014), influenciado por transgressões marinhas, indicado pela ocorrência de palinomorfos marinhos (Lima, 1978a; Arai & Coimbra, 1990; Teixeira et al., 2017; Arai & Assine, 2020).

A Formação Romualdo está depositada sob a Chapada do Araripe, constituída pelas formações Exu e Araripina, florando devido a erosão natural ou pela intensa mineração de gipsita da Formação Ipubi, depositada sob a Formação Romualdo. Atividades de mineração de gipsita na porção sudoeste da Bacia do Araripe do estado de Pernambuco, como na Mineradora Serrolândia no município de Ouricuri, são extremamente comuns. Diante disso, estudos palinológicos em seções como a da Mineradora Serrolândia, são importantes para um maior detalhamento da composição palinoflorística e das características paleoambientais durante o Aptiano da Bacia do Araripe. De acordo com isso, objetivou-se identificar e descrever os palinomorfos da Formação Romualdo (Aptiano) preservados na Mina Serrolândia (PE), seção inédita para estudos palinológicos localizada na porção sudoeste da Bacia do Araripe, Nordeste - Brasil.

4.1.2 Materiais e Métodos

4.1.2.1 Contexto Geológico

A Bacia do Araripe ocupa geopoliticamente os estados do Ceará-CE, Piauí-PI e Pernambuco-PE no Nordeste do Brasil (Fig. 1A), com aproximadamente 9.000 km² de extensão e apresentando uma grande riqueza e abundância de fósseis (Mabesoone & Tinoco, 1973; Assine, 2007).

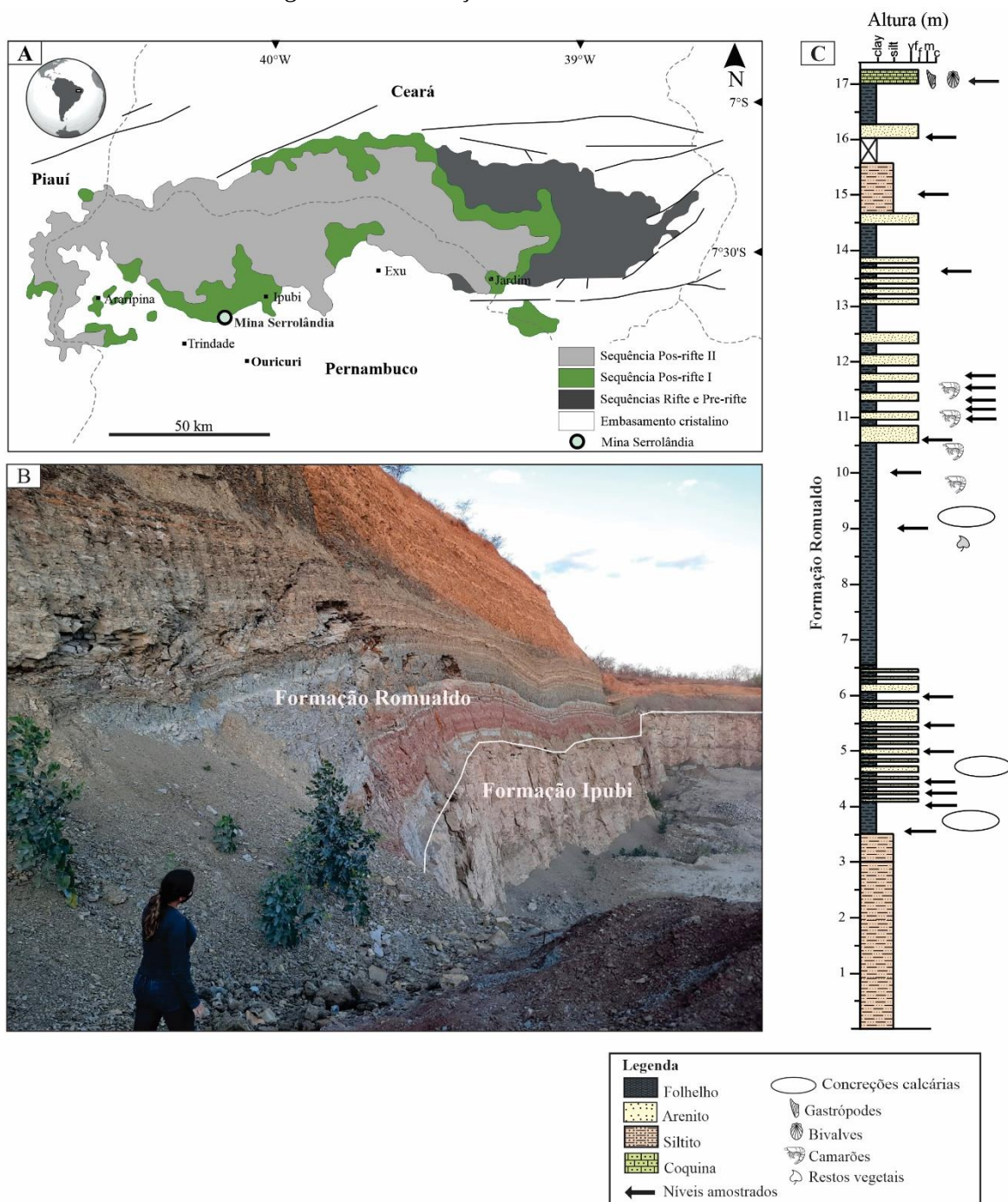
A seção analisada está localizada na Mineradora Serrolândia no município de Ouricuri-PE (07°43'31.31"S - 040°11'35.36"O), na porção sudoeste da Bacia do Araripe. A Mineradora Serrolândia pertence ao Grupo Vicente e encontra-se desativada, tendo o seu histórico relacionado a mineração de gipsita da Formação Ipubi, depositada abaixo da Formação Romualdo, que durante o processo de mineração também acaba exposta nessas áreas (Fig. 1B).

A seção tem aproximadamente 17 m de altura e foram coletadas 19 amostras (Fig. 1C). Litologicamente composta por siltitos, folhelhos esverdeados e cinzentos contendo nódulos fossilíferos, intercalados com arenitos calcíferos e coquinas no topo da seção. Na coleta atentou-se, principalmente, aos níveis litológicos de maior probabilidade de ocorrência de palinomorfos (folhelhos não oxidados e calcários).

A recuperação dos palinomorfos seguiu o método proposto por Uesugui (1979), através do ataque por ácidos clorídrico (HCl) a 37% e fluorídrico (HF) 40% para remoção dos carbonatos e silicatos, e desprendimento e isolamento dos palinomorfos contidos nos sedimentos. Para cada amostra foram confeccionadas quatro lâminas palinológicas, analisadas por consecutivas varreduras verticais e horizontais em microscópio Zeiss -

Axio Imager.A2. As fotomicrografias foram realizadas com câmera AxioCam MRc acoplada, visando a montagem das estampas para exemplificação e observação dos caracteres morfológicos dos palinomorfos.

Figura 1 – A- Mapa da Bacia do Araripe (modificado de Assine, 2007) e localização da Mina Serrolândia no município de Ouricuri-PE, Nordeste do Brasil; B- Fotografia da inativa Mina Serrolândia, expondo a camada de gipsita da Formação Ipubi sobreposta pela Formação Romualdo; C- Perfil estratigráfico da Formação Romualdo na Mina Serrolândia.



As identificações e descrições dos palinomorfos foram realizadas com base nos trabalhos de Balme (1957), Pocock & Jansonius (1961), Dettmann (1963), Brenner (1963), Singh (1964, 1971), Azema & Boltenhagen (1974), Lima (1978), Dejax (1987), Dino (1992), Antonioli (1998, 2001) e Nascimento (2013).

4.1.3 Histórico dos estudos Palinológicos da Formação Romualdo

Os estudos palinológicos da Bacia do Araripe, em maioria, englobam todo o Grupo Santana, onde a última unidade depositada é a Formação Romualdo, foco deste trabalho. Foi realizado um levantamento dos estudos palinológicos publicados que incluem ou são exclusivos para a Formação Romualdo.

O mais completo estudo palinológico da Bacia do Araripe, foi desenvolvido por Lima (1978a) na Formação Santana, que foi elevada à categoria de Grupo Santana, constituída pelas formações Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo (Assine et al., 2014). Na antiga classificação, o autor estabeleceu quatro zonas palinológicas definidas pela ocorrência de espécies exclusivas e pelas variações bruscas dos valores de abundância, sendo estas zonas constituídas por associações palinológicas representadas pela alta abundância de pólen rimulados de *Classopollis* e poliplicados (*Equisetosporites*, *Gnetaceaepollenites*, *Singhia* e *Steevesipollenites*), e pelo registro de palinomorfos marinhos.

Através da ocorrência de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos, Lima (1978b) identificou três fases de ambientes deposicionais para a Formação Santana: a primeira representa um ambiente inicialmente continental, que vai adquirindo características de um ambiente transicional; na segunda fase, mudanças ambientais drásticas foram identificadas, como um ambiente marinho hipersalino, que em seguida restaura as condições normais de salinidade e interrompe a influência do mar, apresentando uma diversificada assembleia palinológica com destaque para os grãos de pólen do gênero *Classopollis*, por fim, passa por um novo aumento de salinidade indicando novamente a influência marinha nesta fase. Enquanto que, na terceira fase foi identificada uma regressão das condições normais de salinidades, causado pela influência de águas continentais.

Lima (1978c, 1979, 1980, 1989), descreveu os esporos das Subturmas Azonotriletes, Zonotriletes e Turma Monoletes, os grãos de pólen das Turmas Saccites e Aletes, além de, propor novas recombinações nomenclaturais dos grãos de pólen da

Turma Plicates (Subturma Costates) e Poroses, e os microplâncton marinho, encontrados ao longo da Formação Santana.

Os estudos na Formação Santana foram continuados por Arai & Coimbra (1990), que integraram dados de palinomorfos e de ostracodes para identificarem padrões paleoambientais de influência marinha, identificando cinco fases: a primeira representa um mar transgressivo, caracterizado pela mortandade de ostracodes de água doce em fase ontogenética e pela alta abundância de cistos de dinoflagelados. A segunda fase foi definida como um mar hipóxico, apresentando uma redução do oxigênio dissolvido e com ocorrência de cistos de dinoflagelados. A terceira fase foi interpretada como um ambiente marinho mais estável, devido a ocorrência de foraminíferos e cistos de dinoflagelados. A quarta representou um ambiente mixohalino, apresentando uma menor abundância de cistos de dinoflagelados e ocorrência do ostracoda *Pattersonocypris micropapillosa*. Já a última fase representou um ambiente terrestre com influência de água doce, predominando os grãos de pólen e esporos.

Arai & Coelho (2001), realizaram estudo paleoclimático da Formação Rio da Batateira (Formação Barbalha) e de toda Formação Santana, baseado na composição de palinomorfos, correlacionando as variações de abundância para identificar padrões climáticos, como por exemplo, o gênero *Classopollis*, *Ephedripites* (poliplicados) e outros elementos xerófitos, que indicam ambientes áridos.

No mesmo ano, Regali (2001) realizou estudo bioestratigráfico, e inseriu toda a Formação Santana nas subzonas P-280.1 e P-280.2. Enquanto, mais tarde Rios-Netto et al. (2012), identificaram para a mesma formação as subzonas P-270.2 e P-280.1.

No Grupo Santana, Heimhofer & Hochuli (2010) em análise aos grãos de pólen de angiospermas, identificaram uma diversidade relativamente alta desses elementos, incluindo táxons de afinidade magnoliídeas ou monocotiledôneas, como *Stellatopollis*, *Retimonocolpites*, *Pennipollis*, e eudicotiledôneas, como *Rousea*, *Tricolpites* e *Striatopollis*. Além disso, correlacionaram a ocorrência de esporos, grãos de pólen do gênero *Afropollis* e de outros elementos polínicos associados as angiospermas, para preferir que as primeiras plantas desse grupo teriam evoluído em ambientes úmidos e sombreados.

Portela et al. (2014) analisaram as características da palinoflora encontrada no Poço 4-BO-PE do Grupo Santana, e encontram uma associação dominada por grãos de pólen de rimulados de *Classopollis*, inaperturados e esporos triletes, representando majoritariamente uma microflora continental, típica de paleoclima árido a semiárido,

comparativamente similar às associações da faixa microflorística encontrada na Colômbia, Venezuela, Peru, Congo, Gabão, Egito, China e Israel, correlacionada aos cinturões microflorísticos da Província Gondwana Norte e Província *Dicheiropollis etruscus/Afropollis*.

Vallejo et al. (2022) analisaram palinofáceis de todo o Grupo Santana, registrando influência marinha na deposição das formações Crato e Romualdo. Além disso, especificamente para a Formação Romualdo identificaram duas palinofáceis, a primeira constituída pela alta abundância de Matéria Orgânica Amorfa (MOA), ausência de algas de água doce e baixa abundância de cistos de dinoflagelados, representados pelo gênero *Subtilisphaera*. A segunda palinofácia foi caracterizada pelo aumento da abundância de esporomorfos, fitoclastos opacos, baixa abundância de algas de água doce e dos elementos marinhos.

Entre os estudos palinológicos realizados exclusivamente na Formação Romualdo está o de Teixeira et al. (2017), na seção de Sobradinho (porção leste), onde analisaram palinofácies (palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa), identificando dois eventos transgressivos durante a deposição da Formação Romualdo. O primeiro representa um ambiente marinho raso epicontinental, com condições mais estáveis para a deposição da matéria orgânica, já o segundo evento foi interpretado como um ambiente costeiro transicional proximal-distal, com elevada ocorrência de palinomorfos marinhos.

Informações bioestratigráficas para a Formação Romualdo também na seção de Sobradinho foram obtidas por Arai & Assine (2020), que atribuíram idade Aptiana tardio para a formação, a partir da ocorrência da Biozona *Sergipea variverrucata* (P-270).

Por fim, baseado em palinomorfos da Formação Romualdo da porção sudoeste, Lacerda et al. (2023) inferiram um paleoclima árido a semiárido, que apresenta características que tende a uma maior aridez, devido a baixa abundância de esporos e de grãos de pólen relacionados a ambientes mais úmidos, para o paleoambiente inferiu-se uma região costeira, indicada pela ocorrência dos gêneros polínicos *Classpollis*, *Afropollis*, *Gnetaceaepollenites* e *Cycadopites*, que foi influenciada por ingressões marinhas ora proximal ora distal, indicada pela ocorrência de elementos marinhos, como palinoforaminíferos e cistos de dinoflagelados ao longo de quase toda a seção analisada.

4.1.4 Resultados

Das 19 amostras coletadas e analisadas, sete tiveram a recuperação de palinomorfos, estas se encontram no intervalo de 3,5 m a 6 m.

Ao todo, foram descritos 64 táxons, sendo a palinoflora continental representada por 34 táxons de grãos de pólen de gimnospermas (53%), 14 esporos de samambaias ou licófitas (21,9%), quatro grãos de pólen de angiospermas (6,3%), duas algas (3,1%) e esporos fúngicos (1,6%). Os palinomorfos marinhos foram representados por oito táxons de cistos de dinoflagelados (12,5%) e palinoforaminíferos (1,6%) (Tab. 1).

Tabela 1 – Palinomorfos continentais e marinhos identificados para a Formação Romualdo na seção da Mina Serrolândia, Ouricuri-PE. Continua

Palinomorfos	Afinidade taxonômica
Continental	
Esporos de samambaias e licófitas	
<i>Cicatricosisporites brevilaesuratus</i> Couper, 1958	Anemiaceae
<i>Cicatricosisporites microstriatus</i> Jardiné & Maglore, 1965	Anemiaceae
<i>Cicatricosisporites</i> cf. <i>hallei</i> Delcourt & Sprumont, 1955	Anemiaceae
<i>Cicatricosisporites</i> sp.	Anemiaceae
<i>Cingulatisporites</i> cf. <i>eukirchensoides</i> Delcourt & Sprumont, 1955	-
<i>Crybelosporites pannuceus</i> (Brenner, 1963) Srivastava, 1975	Marsileaceae
<i>Cyathidites australis</i> Couper, 1953	Cyatheaceae ou Dicksoniaceae
<i>Deltoidospora hallii</i> Miner, 1935	Cyatheaceae ou Dicksoniaceae
<i>Densoisporites dettmannae</i> (Srivastava, 1972) Dejax, 1987	Selaginellaceae
<i>Distaltriangulisorites perplexus</i> Singh, 1971	Schizaeaceae
<i>Echinatisporis</i> cf. <i>varispinosus</i> (Pocock, 1962) Srivastava, 1975	Selaginellaceae
<i>Leptolepidites psarosus</i> Norris, 1966	Lycopodiaceae
<i>Leptolepidites verrucatus</i> Couper, 1953	Lycopodiaceae
<i>Matonisporites silvai</i> Lima, 1978	Matoniaceae
Grãos de pólen de gimnospermas	
<i>Araucariacites australis</i> Cookson, 1947	Araucariaceae
<i>Bennettitaepollenites regaliae</i> Dino, 1992	Bennettitales
<i>Bennettitaepollenites</i> sp.	Bennettitales
<i>Callialasporites segmentatus</i> (Balme, 1957) Dev, 1961	Araucariaceae
<i>Circulina minima</i> (Herngreen, 1971) Lima, 1978	Cheirolepidiaceae
<i>Circulina parva</i> Brenner, 1963	Cheirolepidiaceae
<i>Circulina</i> cf. <i>meyeriana</i> Klaus, 1960	Cheirolepidiaceae
<i>Classopollis</i> spp.	Cheirolepidiaceae
<i>Confertisulcites</i> sp.	-
<i>Cycadopites</i> spp.	Cycadales
<i>Equisetisporites</i> cf. <i>elongatus</i> (Horowitz, 1970) Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites costaliferous</i> (Brenner, 1968) Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites dudarensis</i> (Deak, 1964) Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites elegans</i> Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites luridus</i> Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites minuticostatus</i> Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites ovatus</i> (Pierce, 1961) Singh, 1964	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites</i> cf. <i>acicularis</i> Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Equisetosporites</i> sp.	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Eucommiidites minor</i> Groot & Penny, 196	Erdtmanithecaceae
<i>Eucommiidites troedssonii</i> (Erdtman, 1948) Hugues, 1961	Erdtmanithecaceae
<i>Exesipollenites</i> sp.	Cupressaceae
<i>Exesipollenites tumulus</i> Balme, 1957	Cupressaceae
<i>Gnetaceaepollenites jansonii</i> (Pococok, 1964) Lima, 1978	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Gnetaceaepollenites mollis</i> (Srivastava, 1968) Lima, 1978	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Gnetaceaepollenites retangularis</i> Lima, 1978	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Gnetaceaepollenites</i> sp. A	Gnetales (Gnetaceae?)

Tabela 1 – Palinomorfos continentais e marinhos identificados para a Formação Romualdo na seção da Mina Serrolândia, Ouricuri-PE. Conclusão

Palinomorfos	Afinidade taxonômica
Continental	
Grãos de pólen de gimnospermas	
<i>Gnetaceaepollenites</i> sp. B	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Gnetaceaepollenites uesuguii</i> Lima, 1978	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Inaperturopollenites dubius</i> Thomson & Pflug, 1953	Cupressaceae
<i>Inaperturopollenites simplex</i> Regali et al., 1974	Cupressaceae
<i>Singhia multicostata</i> (Brenner, 1963) Lima, 1978	Gnetales (Ephedraceae?)
<i>Steevesipollenites pygmeus</i> Azema & Boltenhagen, 1974	Gnetales (Gnetaceae?)
<i>Uesuguipollenites callosus</i> Dino, 1992	Cupressaceae
Grãos de pólen de Angiospermas	
<i>Afropollis jardinus</i> Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982	-
<i>Tricolpites vulgaris</i> (Pierce, 1961) Srivastava, 1975	Eudicotilédoneas
<i>Tricolpites</i> sp. A	Eudicotilédoneas
<i>Tricolpites</i> sp. B	Eudicotilédoneas
Fungi	
Esporos fúngicos	-
Algas de água doce	
<i>Botryococcus braunii</i> Kutzing, 1849	Botryococcaceae
<i>Pediastrum</i> sp.	Hydrodictyaceae
Marinho	
Cistos de Dinoflagelados	
<i>Atopodinium</i> sp.	Gonyaulacales
<i>Batiacasphaera</i> sp. A	-
<i>Batiacasphaera?</i> sp. B	-
<i>Cometodinium?</i> sp.	Gonyaulacaceae
<i>Odontochitina?</i> sp.	Ceratiaceae
<i>Spiniferites</i> sp.	Gonyaulacaceae
<i>Subtilisphaera</i> sp.	Peridiniaceae
Dinocistos Indeterminados	-
Zoomorfos	
Palinoforaminíferos	Foraminifera

4.1.4.1 Sistemática

4.1.4.1.1 Continental

SPORITES H. Potonié, 1893

Anteturma PROXIGERMINANTES R. Potonié, 1975

Turma TRILETES AZONALES (Reinsch, 1881) Potonié & Kremp, 1954

Subturma AZONOTRILETES (Luber, 1935) Dettmann, 1963

Infraturma LAEVIGATI (Bennie & Kidston, 1886) Potonié, 1956

Gênero *Deltoidospora* (Miner, 1935) emend. Potonié, 1956

Espécie-tipo: *D. hallii* Miner, 1935

Deltoidospora hallii Miner, 1935

(Fig. 2-1)

Ver – Singh (1964), p. 80, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete longa e reta, contorno triangular com ápices arredondados e lados convexos (retos), exina fina e sem ornamentação, lisa.

Dimensões: C= 31 μm ; L= 29,2 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Cyatheales, Família Cyatheaceae ou Dicksoniaceae.

Gênero *Cyathidites* Couper, 1953

Espécie-tipo: *C. australis* Couper, 1953

Cyathidites australis Couper, 1953

(Fig. 2-2)

Ver – Singh (1964), p. 70, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete reta e curta, não alcançando as extremidades equatoriais, contorno subtriangular com os lados caracteristicamente côncavos e ápices bem arredondados, exina sem ornamentação, lisa.

Dimensões: C= 27,1-49,9 μm ; L= 25,6-43,7 μm (cinco exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4,4 m, 5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Cyatheales, Família Cyatheaceae ou Dicksoniaceae.

Infraturma APICULATI (Bennie & Kidston, 1886) Potonié, 1956

Subinfraturma VERRUCATI Dybowa & Jachowiks, 1957

Gênero *Leptolepidites* Couper, 1953

Espécie-tipo: *L. verrucatus* Couper, 1953

Leptolepidites verrucatus Couper, 1953

(Fig. 2-3)

Ver – Lima (1978a), p. 134, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete pouco visível, contorno subtriangular a arredondado, a exina é ornamentada por verrugas protuberantes e arredondadas, distribuídas por toda a superfície do grão.

Dimensões: C= 33 μm ; L= 30,5 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Licófitas – Ordem Selaginellales, Família Selaginellaceae ou Ordem Lycopodiales, Família Lycopodiaceae.

Leptolepidites psarosus Norris, 1966

(Fig. 2-4)

Ver – Lima (1978a), p. 135, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete longa, alcançando as margens equatoriais do grão, contorno subtriangular a arredondado, exina espessa, ornamentada por grandes verrugas distribuídas de forma uniforme pela superfície do grão.

Dimensões: C= 34,7 µm; L= 25,7 µm (cinco exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Licófitas – Ordem Selaginellales, Família Selaginellaceae ou Ordem Lycopodiales, Família Lycopodiaceae.

Subinfraturma NODATI Dybowa & Jachowicz, 1957

Gênero *Echinatisporis* Krutzsch, 1959

Espécie-tipo: *E. longechinus* Krutzsch, 1959

Echinatisporis cf. *varispinosus* (Pocock, 1962) Srivastava, 1975

(Fig. 2-5)

Ver – Srivastava (1975), p. 38, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete pouco visível, contorno circular, exina muito espessa, ornamentada por espinhos flexuosos irregularmente distribuídos por toda a superfície do grão, sustentados por uma base mais alargada.

Dimensões: C= 21,2 µm; L= 33,2 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Licófitas - Ordem Selaginellales, Família Selaginellaceae.

Infraturma MURORNATI Potonié & Kremp, 1954

Gênero *Cicatricosisporites* Potonié & Gelletich, 1933

Espécie-tipo: *C. dorogensis* Potonié & Gelletich, 1933

Cicatricosisporites cf. *hallei* Delcourt & Sprumont, 1955

(Fig. 2-6)

Ver – Duarte (2011), p. 44, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete, contorno circular, exina fina, ornamentação constituída por inúmeras cicatrizes, muito finas e separadas por canais igualmente finos.

Dimensões: C= 13,7 μm ; L= 16,5 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Schizaeales, Família Anemiaceae.

Cicatricosisporites microstriatus Jardiné & Mogloire, 1965

(Fig. 2-7)

Ver – Duarte (2011), p. 48, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete fina, não atingindo as extremidades do grão, apresenta dimensões elevadas, contorno subtriangular convexo, exina espessa e ornamentada por inúmeras cicatrizes muito finas, separadas por canais igualmente finos, paralelas e não ramificadas.

Dimensões: C= 85,5 μm ; L= 81 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 5,5 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Schizaeales, Família Anemiaceae.

Cicatricosisporites brevilaesuratus Couper, 1958

(Fig. 2-8)

Ver – Lima (1978a), p. 142, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete fina e alongada, contorno subcircular, exina bastante espessa e escura, ornamentada por cicatrizes pouco espessas subparalelas e separadas por canais finos.

Dimensões: C= 66,1 μm ; L= 65,1 μm (dois exemplares).

Intervalo de ocorrência: 5,5 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Schizaeales, Família Anemiaceae.

Cicatricosisporites sp.

(Fig. 2-9a,b)

Diagnose: Esporo com abertura trilete reta e longa, estendendo-se até as margens equatoriais, apresentando um cinturão espesso, que circunda as margens equatoriais, contorno triangular com ápices arredondados e lados convexos, exina espessa e ornamentada por cicatrizes pouco visíveis.

Dimensões: C= 27,9 µm; L= 26,6 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Samambaias – Ordem Schizaeales, Família Anemiaceae.

Subturma ZONOTRILETES Waltz, 1935 (Luber & Waltz, 1938)

Infraturma CINGULATI (Potonié & Klaus, 1954) emend. Dettmann, 1963

Gênero *Ditaltriangulisporites* Singh, 1971

Espécie-tipo: *D. perplexus* Singh, 1971

Distaltriangulisporites perplexus Singh, 1971

(Fig. 2-10)

Ver – Singh (1971), p. 88, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete larga, que afina em direção às margens equatoriais, cingulado, contorno triangular, superfície da exina em vista proximal lisa, superfície em vista distal apresenta três costelas espessas, que formam um triângulo localizado na região central do grão em vista polar, em direção às margens equatoriais formam apêndices curtos que não se projetam para fora.

Dimensões: C= 36,7 µm; L= 38,6 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Samambaias - Ordem Schizaeales, Família Schizaeaceae.

.

Gênero *Cingulatisporites* (Thomson, 1953) Potonié, 1956

Espécie-tipo: *C. levispeciosus* Pflug, 1953

Cingulatisporites cf. *eukirchensoides* Delcourt & Sprumont, 1955

(Fig. 2-11)

Ver – Brenner (1963), p. 58, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete pouco visível, contorno circular visto em visão polar, exina marcada pela presença de um cingulo espesso que circunda toda a margem equatorial do grão.

Dimensão: C= 61 µm; L= 61,5 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,4 m.

Afinidade botânica: Indeterminada.

Infraturma AURICULATI (Schopf, 1938) Dettmann, 1963

Gênero *Matonisorites* Couper, 1958

Espécie-tipo: *M. phlbopteroides* Couper, 1958

Matonisorites silvai Lima, 1978

(Fig. 2-12)

Ver – Lima (1978a), p. 165, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete curta, circundada por um margo muito largo e espesso, nesta porção do grão a exina fica nitidamente mais escura, apresenta dimensões elevadas, contorno circular a subtriangular, exina sem ornamentação, lisa e escura.

Dimensões: C= 56,7 µm; L= 80,9 µm (dois exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m e 4 m.

Afinidade botânica: Samambaias - Ordem Gleicheniales, Família Matoniaceae.

Infraturma PERINOTRILITI (Erdtmann, 1947) emend. Dettmann, 1963

Gênero *Crybelosporites* Dettmann, 1963

Espécie-tipo: *C. striatus* (Cookson & Dettmann, 1958) Dettmann, 1963

Crybelosporites pannuceus (Brenner, 1963) Srivastava, 1975

(Fig. 2-13)

Ver – Srivastava (1975), p. 35, para descrição completa.

Diagnose: Esporo perisporado com abertura trilete fina e bem demarcada atingindo a extremidade equatorial do grão, contorno circular, exina espessa e escura, envolvida completamente por um perispório fino, liso e extremamente dobrado.

Dimensões: C= 63,9 µm; L= 60,8 µm (dois exemplares).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m e 4 m.

Afinidade botânica: Samambaias - Ordem Marcileales, Família Marsileaceae.

Gênero *Densoisorites* (Weyland & Krieger, 1953) Dettmann, 1963

Espécie-tipo: *D. velatus* (Weyland & Krieger, 1953) Krasnova, 1961

Densoisorites dettmannae (Srivastava, 1972) Dejax, 1987

(Fig. 2-14)

Ver – Dejax (1987), p. 53, para descrição completa.

Diagnose: Esporo com abertura trilete reta e longa, alcançando as margens equatoriais do grão, os raios da marca trilete são limitados por lábios altos, contorno triangular arredondado, exina mais espessa e escura na região central.

Dimensões: C= 51,2 µm; L= 51,3 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Licófitas - Ordem Selaginellales, Família Selaginellaceae.

POLLENITES H. Potonié, 1893

Turma ALETES, KRIPTAINAPERTURATES Ibrahim, 1933

Subturma AZONALETES (Luber, 1935) Potonié & Kremp, 1954

Infraturma PSILONAPITI Erdtman, 1947

Gênero *Inaperturopollenites* Thomson & Pflug, 1953

Espécie-tipo: *I. dubius* (Potonié & Venitz, 1934) Thomson & Pflug, 1953

Inaperturopollenites dubius (Potonié & Venitz, 1934) Thomson & Pflug, 1953

(Fig. 3-1)

Ver – Lima (1978a), p. 194, para descrição completa.

Descrição: Grão de pólen inaperturado, contorno circular, exina fina e lisa.

Dimensões: C= 44,9 µm; L= 37,4 µm (14 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m, 4,2 m e 4,4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Ordem Pinales, Família Cupressaceae

Inaperturopollenites simplex Regali, Uesugui & Santos, 1974

(Fig. 3-2)

Ver – Lima (1978a), p. 195, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen inaperturado, contorno circular, exina fina, escura e lisa, envolvida por um perispório curto, transparente e sem projeções.

Dimensões: C= 46 µm; L= 48,7 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Ordem Pinales, Família Cupressaceae.

Anterturma VARIEGERMINANTES Potonié, 1975

Turma SACCITES Erdtman, 1947

Subturma MONISACCITES (Chitaley, 1951) Potonié & Kremp, 1954

Infraturma SACCIZONATI Bharadwaj, 1957

Gênero *Callialasporites* Dev, 1961Espécie-tipo: *C. trilobatus* (Balme, 1957) Dev, 1961*Callialasporites segmentatus* (Balme, 1957) Dev, 1961

(Fig. 3-3)

Ver – Balme (1957), p. 33, para descrição completa e sinonímia.

Diagnose: Grão de pólen inaperturado, contorno circular, a exina apresenta uma região central chamada de *saccus* lisa e circular, circundada por uma extensão da exina mais fina e clara, apresentando numerosas dobras.

Dimensões: C= 63 μm ; L= 45,7 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Pinales, Família Araucariaceae.

Infraturma GRANULONAPITI Cookson, 1947

Gênero *Araucariacites* (Cookson, 1947) Couper, 1953Espécie-tipo: *A. australis* Cookson, 1947*Araucariacites australis* Cookson, 1947

(Fig. 3-4)

Ver – Lima (1978a), p. 198, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen inaperturado, contorno circular, apresentando-se frequentemente dobrado, exina fina e escabrada.

Dimensões: C= 48,3 μm ; L= 30,1 μm (10 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m, 4,2 m, 4,4 m e 5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Pinales, Família Araucariaceae.

Gênero *Uesuguipollenites* Dino, 1992Espécie-tipo: *U. callosus* Dino, 1992*Uesuguipollenites callosus* Dino, 1992

(Fig. 3-5)

Ver – Dino (1992), p. 185, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen inaperturado, contorno circular, apresentando na área central um espessamento (calota) na exina de contorno mal definido, exina fina e escabrada.

Dimensões: C= 48,3 μm ; L= 30,1 μm (dois exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Pinales, Família Cupressaceae.

Infraturma CIRCUMPOLLINI Klaus, 1960

Gênero *Classopollis* Pflug, 1960

Espécie-tipo: *C. classoides* Pflug, 1953

Classopollis spp.

(Fig. 3-6a,b)

Ver – Pocock & Jansonius (1961).

Diagnose: Grãos de pólen monoporados (poro distal circular), comumente aparecendo agrupados em tríades ou tétrades, contorno circular, a exina possui duas camadas, intexina fina e contínua em toda a superfície, geralmente apresenta uma marca triangular no polo proximal, similar a marca trilete encontrada em esporos, porém, não funciona como abertura germinativa, e sim como marca do agrupamento polínico comum nessas espécies, a exoexina é caracterizada pela presença de um cinturão, geralmente apresentando endoestrias equatoriais.

Dimensões: C= 30,3 μm ; L= 29,3 μm (1.422 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m, 4,4 m, 5 m, 5,5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Família Cheirolepidaceae.

Gênero *Circulina* Malyawkina, 1949

Espécie-tipo: *C. funifera* Malyawkina, 1949

Circulina parva Brenner, 1963

(Fig. 3-7)

Ver – Brenner (1963), p. 84, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen monoporado com marca de união polínica geralmente triangular no centro do grão, onde a exina é mais fina, contorno circular, exina sem ornamentação e lisa, apresentando uma rímula fina que acompanha o contorno equatorial.

Dimensões: C= 28,7 μm ; L= 29,4 μm (19 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,4 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Família Cheirolepidaceae.

Circulina cf. meyeriana Klaus, 1960

(Fig. 3-8)

Ver – Lima (1978a), p. 206, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen monoporado, em vista polar distal poro é perfeitamente circular com marca de união polínica triangular no centro do grão, onde a exina é mais fina, contorno circular, a exina é lisa e gradualmente torna-se mais espessa em direção às margens equatoriais.

Dimensões: C = 33,2 μm ; L= 25,2 μm (sete exemplares).

Intervalo de ocorrência: 4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Família Cheirolepidaceae.

Circulina minima (Herngreen, 1971) Lima, 1978

(Fig. 3-9)

Ver – Lima (1978a), p. 205, para descrição completa.

Descrição: Grão de pólen monoporado, apresentando marca de união polínica triangular no centro do grão, onde a exina é mais fina, apresenta dimensões reduzidas, contorno circular, exina lisa a punctada.

Dimensões: C= 21,8 μm ; L= 22,7 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4,2 m e 5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas – Família Cheirolepidaceae.

Turma PLICATES (Naumova, 1937, 1939) Potonié, 1960

Subturma COSTATES Potonié, 1970

Infraturma COSTATI Potonié, 1970

Gênero *Equisetosporites* (Daugherty, 1941) Pocock, 1964Espécie-tipo: *E. chinleana* Daugherty, 1941*Equisetosporites ovatus* (Pierce, 1961) Singh, 1964

(Fig. 3-10)

Ver – Singh (1964), p. 133, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno perfeitamente oval em vista equatorial, exina ornamentada por costelas verticais, retas e salientes que se prologam até as extremidades fundindo-se, apresentando espessura uniforme.

Dimensões: C= 31,6-57,5 μm ; L= 19,7-32,2 μm (10 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m, 4,4 m, 5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae?.

Equisetosporites minuticostatus Lima, 1978

(Fig. 3-11)

Ver – Lima (1978a), p. 227, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval, exina muito fina e as vezes transparente, ornamentada por um grande número de costelas longitudinais, bem delimitadas, finas e transparentes, que atravessam todo o comprimento do grão, fundindo-se nas extremidades.

Dimensões: C= 53-55,5 μm ; L= 22,4-23,6 μm (sete exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae?.

Equisetosporites cf. acicularis Lima, 1978

(Fig. 3-12)

Ver – Lima (1978a), p. 222, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno fusiforme alongado, apresentando as extremidades pontiagudas, a exina é ornamentada por costelas finas as vezes irregulares, que percorrem todo o comprimento do grão.

Dimensões: C= 37 -54,4 μm ; L= 13,9-16,2 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4,2 m e 5,5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites cf. elongatus (Horowitz, 1970) Lima, 1978

(Fig. 3-13)

Ver – Lima (1978a), p. 127, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval alongado, a exina apresenta espessura uniforme com dupla camada, a externa ornamentada por um número variado de costelas finas, as vezes bifurcadas, no centro do grão aparece uma área alongada onde falta a parte externa da exina, aparecendo apenas a interna completamente transparente.

Dimensões: C= 59,7-81,5 μm ; L= 19,4-26,4 μm (dois exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m e 5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites elegans Lima, 1978

(Fig. 3-14)

Ver – Lima (1978a), p. 224, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval, exina fina e transparente, ornamentada por costelas perfeitamente delimitadas e paralelas, atravessando todo o comprimento do grão.

Dimensões: C= 63,4 μm ; L= 21,4 μm (um exemplar).

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites dudarensis (Deak, 1964) Lima, 1978

(Fig. 3-15)

Ver – Lima (1978a), p. 216, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval em vista equatorial com topo levemente achatado, exina ornamentada por costelas muito largas, visualizadas em 4 ou 5 por face do grão, separadas por canais finos.

Dimensões: C= 29,3-60,6 μm ; L= 17,1-39,6 μm (oito exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m, 4,4 m, 5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites costaliferous (Brenner, 1968) Lima, 1978

(Fig. 3-16)

Ver – Lima (1978a), p. 219, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen com contorno oval, exina espessa, sendo um pouco mais fina nas extremidades do grão, ornamentada por um grande número de costelas finas, retas e bem delimitadas atravessando longitudinalmente todo o grão. No centro de uma das faces, situada entre as costelas, existe uma fenda estreita e longa (abertura).

Dimensões: C= 55-66,7 μm ; L= 23,1-34,4 μm (cinco exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites luridus Lima, 1978

(Fig. 3-17)

Ver – Lima (1978a), p. 228, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval, exina muito fina com dupla camada, havendo uma tendência de separação entre as camadas, a externa ornamentada por um grande número de costelas finas, separadas por canais igualmente finos, que não atravessam todo o grão longitudinalmente, desaparecendo nas extremidades.

Dimensões: C= 58,2-65,6 μm ; L= 25,2-31,4 μm (cinco exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Equisetosporites sp.

(Fig. 3-18)

Diagnose: Grão de pólen acolpado, dimensões elevadas, contorno elipsoidal, tornando-se estreito em uma das extremidades, a exina é espessa e ornamentada por costelas longitudinais, algumas chegando a se bifurcarem, não alcançando as extremidades, os canais entre as costelas são finos.

Dimensões: C= 82,8 μm ; L= 39,6 μm (um exemplar).

Intervalos de ocorrência: 4 m, 4,2 m e 5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Gênero *Singhia* Srivastava, 1968

Espécie-tipo: *S. diverus* (Stover, 1964) Srivastava, 1968

Singhia multicostata (Brenner, 1963) Lima, 1978

(Fig. 3-19)

Ver – Lima (1978a), p. 234, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval, com uma das extremidades mais afilada que a outra, a exina é ornamentada por costelas longitudinais irregulares e as vezes bifurcadas, que geralmente não percorrem todo o comprimento do grão.

Dimensões: C= 32,6-75,4 μm ; L= 19,8-33,4 μm (10 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Ephedraceae.

Gênero *Gnetaceaepollenites* Thiegart, 1938

Espécie-tipo: *G. ellipticus* Thiegart, 1938

Gnetaceaepollenites jansonii (Pocock, 1964) Lima, 1978

(Fig. 3-20)

Ver – Lima (1978a), p. 238, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, apresentando geralmente dimensões elevadas, contorno fusiforme a oval, exina com dupla camada, a mais interna lisa e sem ornamentação visível, já a externa é ornamentada por ~14 costelas geralmente espessas, lisas e separadas por canais onde falta a camada externa, dispondo-se de forma oblíqua em relação ao eixo maior do grão e cruzando-se perfeitamente sem se fundirem nas extremidades.

Dimensões: C= 52,1-80,8 μm ; L= 33,0-40,4 μm (24 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4,2 m, 5 m, 5,5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gnetaceaepollenites uesuguii Lima, 1978

(Fig. 3-21)

Ver – Lima (1978a), p. 242, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval a subcircular, exina escura e ornamentada por ~10 costelas por face do grão, espessas e com o topo achatado, fortemente aderidas umas às outras, separadas por canais muito finos fundindo-se nas extremidades.

Dimensões: C= 26-33,8 μm ; L= 26,8-31,6 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 5 m, 5,5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gnetaceaepollenites mollis (Srivastava, 1968) Lima, 1978

(Fig. 3-22)

Ver – Lima (1978a), p. 239, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno oval, exina ornamentada costelas espessas, frouxamente arrançadas, dispõem-se de forma oblíqua em relação ao eixo maior do grão, tocando-se nas extremidades, mas sem se fundirem.

Dimensões: C = 56,6 μm ; L = 57,5 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gnetaceaepollenites retangularis Lima, 1978

(Fig. 3-23)

Ver – Lima (1978a), p. 243, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno subretangular, exina ornamentada por costelas salientes, retas, escuras e de contorno sinuoso, separadas por canais muito finos, nas extremidades as costelas tornam-se ligeiramente mais finas, prolongando-se para a outra face contornando o grão.

Dimensões: C= 46,7-60,1 μm ; L= 24-43,8 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gnetaceaepollenites sp. A

(Fig. 4-1)

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno fusiforme, exina com dupla camada, a mais interna lisa e a externa é ornamentada ~10 costelas paralelas, espessas e separadas por canais finos, dispõem-se de forma oblíqua, cruzando-se com as da outra face, sem se fundirem nas extremidades.

Dimensões: C= 45,6 μm ; L= 23,1 μm (dois exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4,2 m e 4,4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gnetaceaepollenites sp. B

(Fig. 4-2)

Diagnose: Possivelmente artefato externo da exina, apresentando costelas salientes e espessadas, caracteristicamente dobrado, liso e fino.

Dimensões: C= 62,4 μm ; L= 30,6 μm (três exemplares).

Intervalo de ocorrência: 4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Gênero *Steevesipollenites* Stover, 1964

Espécie-tipo: *S. multilineatus* Stover, 1964

Steevesipollenites pygmeus Azema & Boltenhagen, 1974

(Fig. 4-3)

Ver – Alzema & Boltenhagen, (1974), p. 32. Lima (1978a), p. 251, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen acolpado, contorno subcircular, exina irregular, visivelmente mais espessa nas extremidades, ornamentada por seis costelas por face do grão, estas são espessas e fundem-se nas extremidades, sendo separadas por canais finos.

Dimensões: C= 30,3 μm ; L= 20,3 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Gnetales, Família Gnetaceae.

Subturma PRAECOLPATES Potonié & Kremp, 1954

Gênero *Eucommiidites* (Erdtman, 1948) Hugues, 1961

Espécie-tipo: *E. troedssonii* (Erdtman, 1948) Hugues, 1961

Eucommiidites troedssonii (Erdtman, 1948) Hugues, 1961

(Fig. 4-4)

Ver – Lima (1978a), p. 257, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen tricolpado, os três colpos ocorrem na mesma face do grão, sendo o central mais largo e longo, enquanto os colpos laterais localizam-se próximo as margens equatoriais do grão, contorno oval, exina espessa, lisa e punctada.

Dimensões: C= 37,6 μm ; L= 26,5 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Erdtmanithecaceae, Família Erdtmanithecaceae.

Eucommiidites minor Groot & Penny, 1960

(Fig. 4-5)

Ver – Lima (1978a), p. 257, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen tricolpado, os três colpos ocorrem na mesma face do grão, o central é mais largo e mais longo que os laterais, apesar de não atingir as extremidades do grão, contorno oval, exina lisa a psilada, sendo mais espessa nas extremidades.

Dimensões: C= 27,9 μm ; L= 22,3 μm (quatro exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m, 4,2 m e 4,4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Erdtmanithecaceae, Família Erdtmanithecaceae.

Subturma MONOCOLPATES (MONOSULCITES) Potonié, 1970

Infraturma QUAESILAEVIGATI Potonié, 1970

Subinfraturma ACAVATI Lima, 1978

Gênero *Bennettitaepollenites* (Thiegart, 1949) Potonié, 1958

Espécie-tipo: *B. lucifer* Thiegart, 1949

Bennettitaepollenites regaliae Dino, 1992

(Fig. 4-6)

Ver – Dino (1992), p. 204, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen monosulcado, sulco longo atravessando toda a superfície longitudinal do grão, ficando caracteristicamente mais aberto nas extremidades, dimensões elevadas, contorno fusiforme, exina geralmente espessa, lisa a micropunctada.

Dimensões: C= 73,4-125,3 μm ; L= 33,1-34,8 μm (10 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m, 5,5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Bennettitales.

Bennettitaepollenites sp.

(Fig. 4-7)

Diagnose: Grão de pólen monosulcado, contorno oval a fusiforme, apresenta sulco longo, bordejado por lábios espessos, que atravessam toda a superfície longitudinal do grão, ficando caracteristicamente mais aberto nas extremidades, exina uniformemente espessa e lisa.

Dimensões: C= 65,6-76,7 μm ; L= 31,9-40,5 μm (dois exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Bennettitales.

Gênero *Cycadopites* Wilson & Webster, 1946

Espécie-tipo: *C. follicularis* Wilson & Webster, 1946

Cycadopites spp.

(Fig. 4-8)

Diagnose: Grãos de pólen monosulcados, apresentando geralmente sulcos longos, as vezes com bordas completamente sobrepostas ou separadas, que percorrem todo o comprimento do grão, dimensões bastante variáveis, contorno geralmente oval a fusiforme, exina espessa, por vezes fina e lisa.

Dimensões: C= 28,2-122,1 μm ; L= 16,6-49,8 μm (33 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m, 4,4 m, 5 m, 5,5 m e 6 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas - Ordem Cycadales.

Gênero *Confertisulcites* Anderson, 1960

Espécie-tipo: *C. knowltoni* Anderson, 1960

Confertisulcites sp.

(Fig. 4-9)

Ver – Lima (1978a), p. 266, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen monosulcado, sulco longo estendendo-se por todo o comprimento do grão, contorno oval a elíptico, exina fina e clara.

Dimensões: C= 35,3 μm ; L= 24,5 μm (dois exemplares).

Intervalo de ocorrência: 4 m.

Afinidade botânica: Indeterminada.

Turma POROSES (Naumova, 1939) Potonié, 1960

Subturma MONOPORINES Naumova, 1957

Gênero *Exesipollenites* Balme, 1957

Espécie-tipo: *E. tumulus* Balme, 1957

Exesipollenites tumulus Balme, 1957

(Fig. 4-10)

Ver – Balme (1957), p. 39, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen monoporado, poro circular circundado por um espessamento anelar, onde a exina é mais escura, em direção às margens equatoriais a exina gradativamente torna-se mais clara, o grão apresenta contorno circular, exina lisa.

Dimensões: C= 29,7 μm ; L= 32,9 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas.

Exesipollenites sp.

(Fig. 4-11)

Diagnose: Grão de pólen com contorno circular visualizado em vista polar, onde é possível observar um espessamento anelar, onde a exina é nitidamente mais escura, não

apresentando um poro visível, em direção às margens equatoriais a exina torna-se mais clara, exina lisa.

Dimensões: C = 39,8 µm; L = 38,2 µm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,4 m.

Afinidade botânica: Gimnospermas.

Infraturma RECITULATI Pons, 1988

Gênero *Afropollis* Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982

Espécie-tipo: *A. jardinus* Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982

Afropollis jardinus Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982

(Fig. 4-12a,b)

Ver – Doyle et al. (1982), p. 45, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen heteropolar, contorno circular, apresenta geralmente dupla camada de exina, sendo a exina interna um corpo central escuro, liso e circular, e a externa fina e reticulada, composta por muros de tamanhos irregulares.

Dimensões: C= 33 µm; L= 35,2 µm (56 exemplares).

Intervalos de ocorrência: 3,5 m, 4 m, 4,2 m.

Afinidade botânica: Angiospermas.

Subturma TRIPTICHES Naumova, 1939

Infraturma ISOTRICOLPATI Potonié, 1970

Gênero *Tricolpites* (Cookson, 1947) Couper, 1953

Espécie-tipo: *T. reticulatus* Cookson, 1931

Tricolpites vulgaris (Pierce, 1961) Srivastava, 1975

(Fig. 4-13)

Ver – Srivastava (1975), p. 102, para descrição completa.

Diagnose: Grão de pólen tricolpado, apresentando colpos abertos e curtos, contorno subcircular em vista polar, exina reticulada com lumina pequenos e irregulares, e com muris espessos.

Dimensões: C= 30 µm; L= 30,4 µm (dois exemplares).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Angiospermas – Eudicotiledôneas.

Tricolpites sp. A

(Fig. 4-14)

Diagnose: Grão de pólen tricolpado, dimensões muito reduzidas, contorno subtriangular em vista polar, exina microreticulada e espessa.

Dimensões: C= 17,3 μm ; L= 19,4 μm (três exemplares).

Intervalos de ocorrência: 4 m e 4,2 m.

Afinidade botânica: Angiospermas – Eudicotiledôneas.

Tricolpites sp. B

(Fig. 4-15)

Diagnose: Grão de pólen tricolpado, apresenta colpos largos e abertos visualizados em vista polar, contorno subtriangular, exina microreticulada a reticulada.

Dimensões: C= 19,2 μm ; L= 20,3 μm (um exemplar).

Intervalo de ocorrência: 4,2 m.

Afinidade botânica: Angiospermas – Eudicotiledôneas.

ALGAE

Filo CHLOROPHYTA

Subfilo CHLOROPHYTINA

Classe TREBOUXIOPHYCEAE

Ordem TREBOUXIALES

Família BOTRYOCOCCACEAE

Gênero *Botryococcus* Kützing, 1849Espécie-tipo: *B. braunii* Kützing, 1849*Botryococcus braunii* Kützing, 1849

(Fig. 5-1)

Ver – Campos et al. (1998), Van Geel (2001) e Mendonça-Filho et al. (2012).

Diagnose: Algas verdes coloniais, globulosas, forma cônica densamente compactada no centro da colônia, com células irradiando e ramificando-se do centro para as extremidades de forma menos densa, parecendo estar envolvidas por uma espécie de bainha.

Número de indivíduos: três exemplares.

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

Filo CHLOROPHYTA
 Subfilo CHLOROPHYTINA
 Classe CHLOROPHYCEAE
 Ordem SPHAEROPLEALES
 Família HYDRODICTYACEAE

Gênero *Pediastrum* Meyen, 1829

Pediastrum sp.

(Fig. 5-2a,b,c)

Ver – Van Geel (2001), Mendonça-Filho et al. (2012) e Loaiza-Restano & Bicudo (2014).

Diagnose: Alga verde colonial, plana, as células estão dispostas concentricamente, raros circulares a ovais, podendo ser as vezes irregulares, fortemente aderidas, lisas, apresentando processos nas células marginais.

Número de indivíduos: cinco exemplares.

Intervalo de ocorrência: 3,5 m.

4.1.4.1.2 *Marinho*

DINOFLAGELLATA Butschli 1885
 Classe DINOPHYCEAE Fritsch, 1929

Gênero *Batiacasphaera* Drugg, 1970

Espécie-tipo: *B. compta* Drugg, 1970

Batiacasphaera sp. A

(Fig. 5-3)

Ver – Wood et al. (2016), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto proximado, acavado, apresentando forma esférica, arqueofilo angular apical, ornamentação levemente reticulada.

Número de indivíduos: dois exemplares.

Intervalo de ocorrência: 4 m.

Batiacasphaera sp. B

(Fig. 5-4)

Ver – Wood et al. (2016), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto proximado, acavado, apresentando forma esférica a subesférica, arqueofilo angular apical, ornamentação constituída por elementos em forma de hastes, separados ou dispostos a formar um reticulo.

Número de indivíduos: um exemplar.

Intervalo de ocorrência: 5 m.

Ordem GONYAULACALES Haeckel, 1894

Gênero *Atopodinium* Drugg, 1978

Espécie-tipo: *A. prostatum* Drugg, 1978

Atopodinium sp.

(Fig. 5-5)

Ver – Masure (1991), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto subesferoidal com ligeira compressão dorso-ventral, oval a poligonal em linha externa, com ou sem processo pré-apical, acavado, superfície externa lisa a granulada.

Número de indivíduos: um exemplar.

Intervalo de ocorrência: 5 m.

Família GONYAULACACEAE Lindemann, 1928

Gênero *Cometodinium* Deflandre & Courteville, 1939

Espécie-tipo: *C. obscurum* Deflandre & Courteville, 1939

Cometodinium? sp.

(Fig. 5-6)

Ver – Monteil (1991), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto subesferoidal, apresentando no seu corpo numerosos processos semelhantes à pelos, cilíndricos, pouco flexuosos e afilados, agrupados, formando tufos.

Número de indivíduos: um exemplar.

Intervalo de ocorrência: 4 m.

Gênero *Spiniferites* Mantell, 1850 emend. Sarjeant 1970

Spiniferites sp.

(Fig. 5-7a,b)

Ver – Mertens & Carbonell-Moore (2018), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto subesférico a piriforme, acavado a suturocavado, apresentando endo e perifragma normalmente juntos, exceto nos processos. O perifragma apresenta cristas parasuturais, além de, processos gonais trifurcados e intergonais bifurcados.

Número de indivíduos: um exemplar.

Intervalo de ocorrência: 5 m.

Family CERATIACEAE Willey & Hickson, 1909

Genus *Odontochitina* Deflandre, 1937

Espécie-tipo: *O. silicorum* Deflandre, 1937

Odontochitina? sp.

(Fig. 5-8)

Ver – Pearce (2010), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto subesférico, arqueopilo é apical, cavado, apresentando processo apical, antiapical e lateral de comprimento comparável, o perifragma e endofragma são ligados na região precingular.

Número de indivíduos: dois exemplares.

Intervalo de ocorrência: 4 m e 5 m.

Ordem PERIDINIALES Haeckel, 1894

Família PERIDINIACEAE

Gênero *Subtilisphaera* Jain & Millepied, 1973

Espécie-tipo: *S. senegalensis* Jain & Millepied, 1973

Subtilisphaera sp.

(Fig. 5-9a,b)

Ver – Santos et al., (2019), para descrição genérica.

Diagnose: Cisto cavado, perifragma fino, liso a ligeiramente escabrado, endocisto subesférico com parede granulada grossa a média, apresentando processo apical e um antapical ligeiramente assimétrico, arqueopilo indistinto, ocasionalmente observando-se a presença de um cingulo.

Número de indivíduos: cinco exemplares.

Intervalo de ocorrência: 5 m.

FORAMINIFERA d'Orbigny, 1826

SCYTINASCIA Deák, 1964

Palinoforaminífero

(Fig. 5-10a,b)

Ver - Stancliffe (1989), para descrição genérica.

Diagnose: Estrutura megalosférica em forma de roseta, composta por dois verticilos com cerca de sete a nove câmaras imbricadas com suturas nítidas. O último verticilo é composto por seis a sete câmaras, que aumentam de tamanho desde as câmaras mais internas, demarcando o fim do enrolamento planoespiral. A superfície da cutícula interna da carapaça do foraminífero é lisa e espessa.

Número de indivíduos: nove exemplares.

Intervalo de ocorrência: 5 m.

4.1.5 Afinidades Botânicas

4.1.5.1 Samambaias e Licófitas

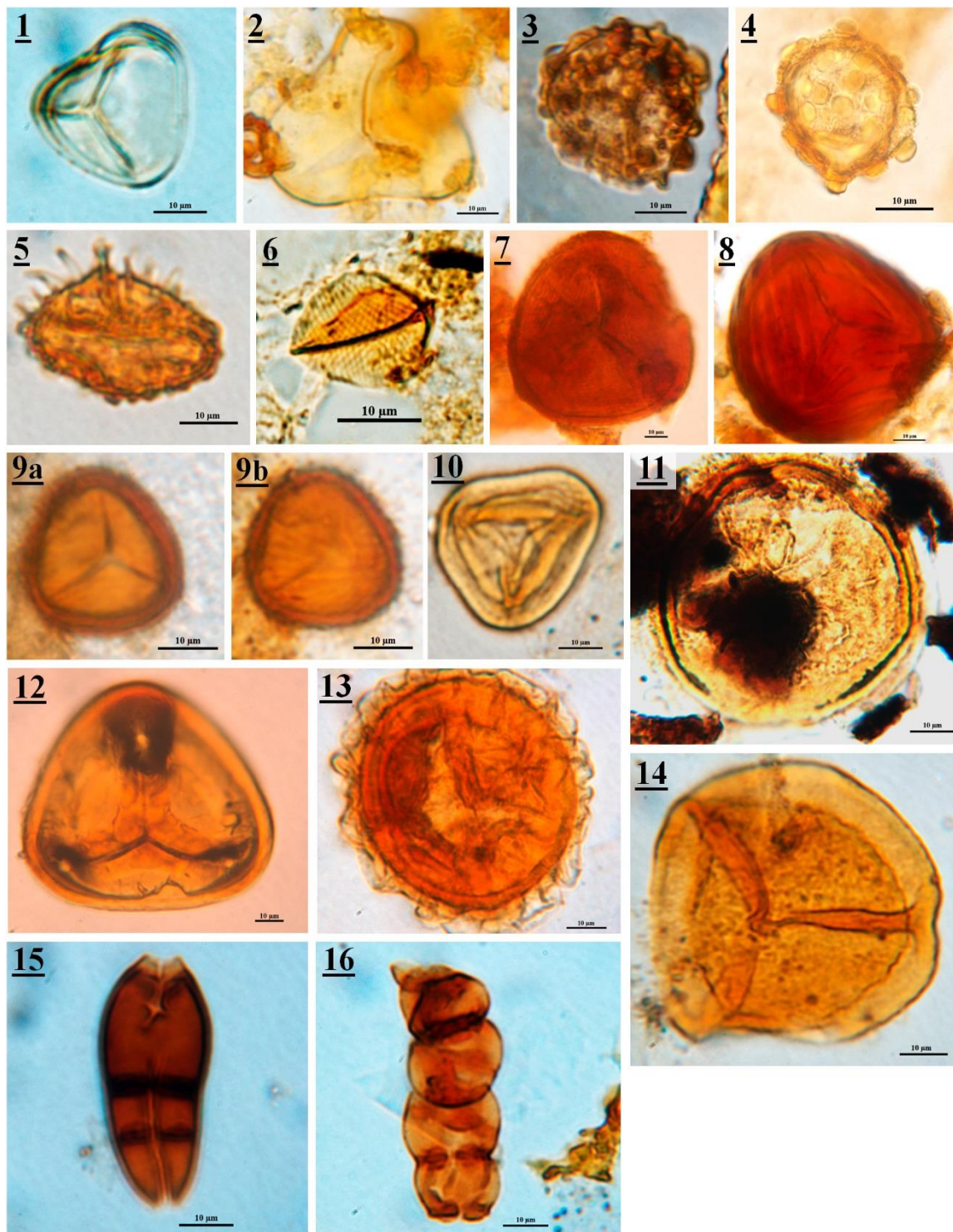
Entre os esporos identificados na seção da Mina Serrolândia, todos apresentaram a marca trilete (abertura trifida), porém com diferentes padrões de ornamentações da exina, como esporos lisos (*Deltoidospora*, *Cyathidites*, *Matonisporites*, *Distaltriangulisporites* e *Densoisporites*), ornamentados (*Leptolepidites*, *Cicatricosporites* e *Echinatisporis*), cingulados (*Cingulatisporites*) e perisporados (*Crybelosporites*) (Fig. 2).

Através dos esporos foram atribuídas as suas afinidades botânicas:

- **Cyatheaceae/Dicksoniaceae:** Representada pelos esporos *Deltoidospora* e *Cyathidites*, estas famílias representam samambaias de porte arborescentes que habitam ambientes úmidos, sombreados ou florestas montanhosas em regiões de clima tropical a subtropical, exceto por algumas espécies de Dicksoniaceae que ocorrem em regiões de clima temperado. Evidências fósseis de Cyatheaceae são registrados desde o período Jurássico (Singh, 1964; Dino, 1992).
- **Selaginellaceae:** Representada pelos esporos *Leptolepidites*, *Echinatisporis*, *Cingulatisporites* e *Densoisporites*, relacionada a licófitas de porte epifítico ou herbáceo que crescem em ambientes mesófilos de florestas sombreadas ou sobre rochas úmidas próximos a rios, cachoeiras e penhascos, possuindo uma ampla distribuição geográfica em regiões de climas tropicais e subtropicais (Antonioli, 1998; Hirai & Prado, 2000).

- **Lycopodiaceae:** Os esporos de *Leptolepidites* e *Echinatisporis* também são correlacionados a esta família de licófitas, representada por plantas de pequeno porte, epifíticas ou herbáceas, que se desenvolvem em ambientes úmidos e sombreados, as vezes secos, é amplamente distribuída em regiões temperadas, árticas e nas florestas tropicais do continente americano (Dino, 1992; Nascimento, 2013).
- **Anemiaceae:** Representada pelos esporos do gênero *Cicatricosisporites*, esta família de samambaias herbáceas habita regiões de clima moderadamente úmido com solos bem drenados (Dino, 1992; Duarte et al., 2012).
- **Schizaeaceae:** Representada pelo esporo *Ditaltriangulisporites*, esta família de samambaias herbáceas, estão distribuídas em regiões climas tropicais e subtropicais (Antonioli, 1998).
- **Matoniaceae:** Os esporos de *Matonisporites* representam esta família de samambaias termófilas de porte herbáceo e que estão distribuídas em regiões de climas tropicais (Dino, 1992).
- **Marsileaceae:** Foi representada pelos esporos de *Crybelosporites*, esta família de samambaias apresenta porte herbáceo com hábito de vida aquático ou semiaquático, podendo se desenvolver submersa em água rasas ou lamas ao longo das margens de lagoas ou rios, ambientes extremamente úmidos (Nascimento, 2013; Benedetti et al., 2021).

Figura 2 – Esporos de samambaias, licófitas e fúngicos da Formação Romualdo na Mina Serrolândia, Nordeste-Brasil. 1- *Deltoidospora hallii*; 2- *Cyathidites australis*; 3- *Leptolepidites verrucatus*; 4- *L. psarosus*; 5- *Echinatisporis* cf. *varispinosus*; 6- *Cicatricosisporites* cf. *hallei*; 7- *C. microstriatus*; 8- *C. brevilaesuratus*; 9a,b- *Cicatricosisporites* sp.; 10- *Distaltriangulisporites perplexus*; 11- *Cingulatisporites* cf. *eukirchenoides*; 12- *Matonisporites silvai*; 13- *Crybelosporites pannuceus*; 14- *Densoisporites dettmannae*; 15,16- Esporos fúngicos. Escala de 10 μ m.



4.1.5.2 Gimnospermas

Os grãos de pólen de gimnospermas foram os mais frequentes e diversos na seção da Mina Serrolândia, entre os principais padrões de ornamentação observados estão, os inaperturados (*Inaperturopollenites*, *Uesuguipollenites*, *Callialasporites* e *Araucariacites*), poliplicados (*Equisetosporites*, *Singhia*, *Gnetaceaepollenites* e *Steevesipollenites*), rimulados (*Classopollis* e *Circulina*), monosulcados (*Bennettitaepollenites* e *Cycadopites*), monoporados (*Exesipollenites*) e tricolpados (*Eucommiidites*) (Fig. 3 e 4).

Estes grãos de pólen têm as suas afinidades botânicas atribuídas as famílias:

- **Cupressaceae:** Representada pelos grãos de pólen de *Inaperturopollenites* e *Uesuguipollenites*, esta família representa plantas lenhosas de porte herbáceo ou mais raramente arbustivas, que ocorre em regiões de clima temperado com temperaturas mais frias (Dino, 1992).
- **Araucariaceae:** Foi representada pelos grãos de pólen de *Callialasporites* e *Araucariacites*, esta família representa coníferas arbóreas de grande porte que habitam ambientes montanhosos com clima mais frio, incluindo as regiões tropicais com representantes no hemisfério sul (Brasil, Chile e Argentina) e na Austrália (Dino, 1992; Dettmann & Clifford, 2005).
- **Cheirolepidiaceae:** Tem como representantes os grãos de pólen de *Circulina* e *Classopollis*, sendo este último considerado o mais abundante entre as bacias sedimentares do Cretáceo do Brasil (Lima, 1976). A família Cheirolepidiaceae, representa coníferas extintas que viveram apenas durante o Mesozoico, apresentavam ampla diversidade de características morfológicas e ecológicas, apresentando desde elementos de grande porte arbóreo a pequenas ervas ou arbustos (Alvin, 1982; Taylor et al., 2009; Hieger et al., 2015). A sua ocorrência é associada a regiões costeiras como os mangues, e eram adaptadas a climas áridos e semiáridos (Pocock & Jansonius, 1961; Bernades-de-Oliveira et al., 2014).
- **Ephedraceae/Gnetaceae:** Representada pelos grãos de pólen poliplicados dos gêneros *Equisetosporites*, *Singhia*, *Gnetaceaepollenites* e *Steevesipollenites*, estas famílias representam plantas arbustivas ou semitrepadeiras, que habitam zonas tropicais de clima árido a semiárido, sendo tolerantes também a ambientes mais úmidos, os grãos de pólen associados a estas famílias são anemófilos, transportados pelo vento por longas distâncias (Wodehouse, 1935; Srivastava, 1968; Lima, 1978a).

- **Erdtmanithecaceae:** Os grãos de pólen de *Eucommiidites* representaram esta família de plantas extintas, que possuíam um hábito de vida supostamente arbustivo, subarbustivo ou herbáceo (Mendes et al., 2012; Seyfullah et al., 2020).
- **Bennettitales:** Os grãos de pólen de *Bennettitapollenites* representaram esta ordem, relacionada a um grupo de plantas de porte arbóreo, extinta no final do Mesozoico, alcançou o seu auge durante o Aptiano, habitando ambientes de climas quentes (Dino, 1992).
- **Cycadales:** Esta ordem foi representada pelos grãos de pólen de *Cycadopites*, relacionada a plantas de porte arbóreo semelhantes às palmeiras atuais, que ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, evidências fósseis como dos gêneros *Nilssonia* e *Ptilophyllum*, indicam também que alguns indivíduos dessa ordem ocorriam em regiões temperadas de clima quente (Dino, 1992).

4.1.5.3 Angiospermas

As plantas angiospermas estão representadas na seção da Mina Serrolândia pelos grãos de pólen de *Afropollis jardinus*, *Tricolpites vulgaris*, *Tricolpites* sp. A e *Tricolpites* sp. B. Para o gênero *Afropollis*, no entanto, a sua afinidade botânica tem sido atribuída uma linhagem filogenética próxima das primeiras angiospermas (Hofmann & Seyfullah, 2021), enquanto para o gênero *Tricolpites* foi atribuída uma afinidade botânica com as eudicotiledôneas (Lima, 1978a) (Fig. 4).

Figura 3 – Grãos de pólen de gimnospermas da Formação Romualdo, na seção da Mina Serrolândia, Nordeste-Brasil. 1- *Inaperturopollenites dubius*; 2- *I. simplex*; 3- *Callialasporites segmentatus*; 4- *Araucariacites australis*; 5- *Uesuguipollenites callosus*; 6- a,b *Classopollis* spp.; 7- *Circulina parva*; 8- *C. cf. meyeriana*; 9- *C. mínima*; 10- *Equisetosporites ovatus*; 11- *E. minuticostatus*; 12- *E. cf. acicularis*; 13- *E. cf. elongatus*; 14- *E. elegans*; 15- *E. dudarensis*; 16- *E. costaliferous*; 17- *E. luridus*; 18- *Equisetosporites* sp.; 19- *Singhia multicostata*; 20 - *Gnetaceapollenites jansonii*; 21- *G. uesuguii*; 22- *G. mollis*; 23- *G. retangularis*. Escala de 10 μ m.

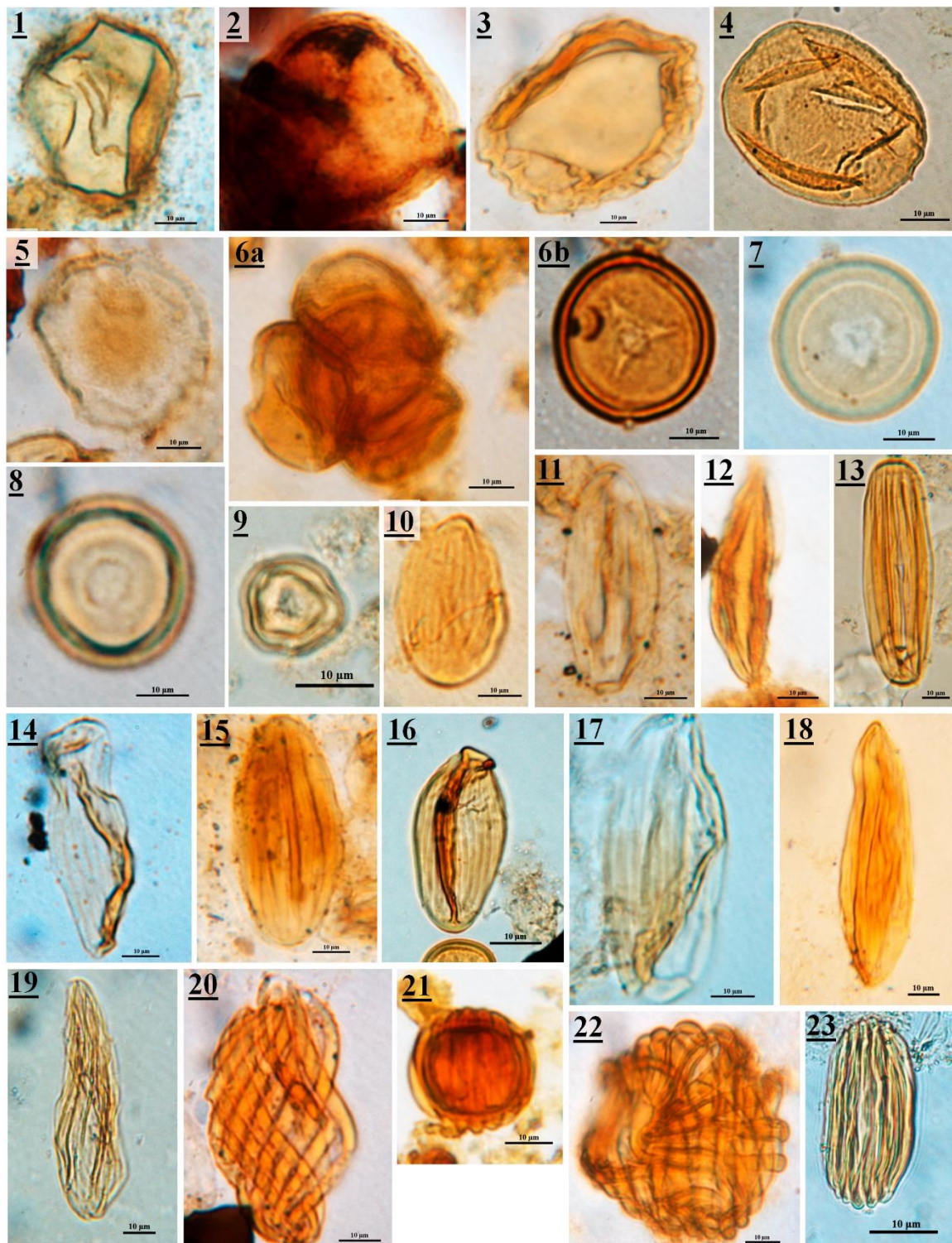


Figura 4 – Grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas da Formação Romualdo na seção da Mina Serrolândia, Nordeste-Brasil. 1- *Gnetaceaepollenites* sp. A; 2- *Gnetaceaepollenites* sp. B; 3- *Steevesipollenites pygmeus*; 4- *Eucommiidites troedssonii*; 5- *E. minor*; 6- *Bennettitaepollenites regaliae*; 7- *Bennettitaepollenites* sp.; 8- *Cycadopites* spp.; 9- *Confertisulcites* sp.; 10 a,b- *Afropollis jardimus*; 11- *Tricolpites vulgaris*; 12- *Tricolpites* sp. A; 13- *Tricolpites* sp. B; 14- *Exesipollenites tumulus*; 15- *Exesipollenites* sp. Escala de 10 µm.

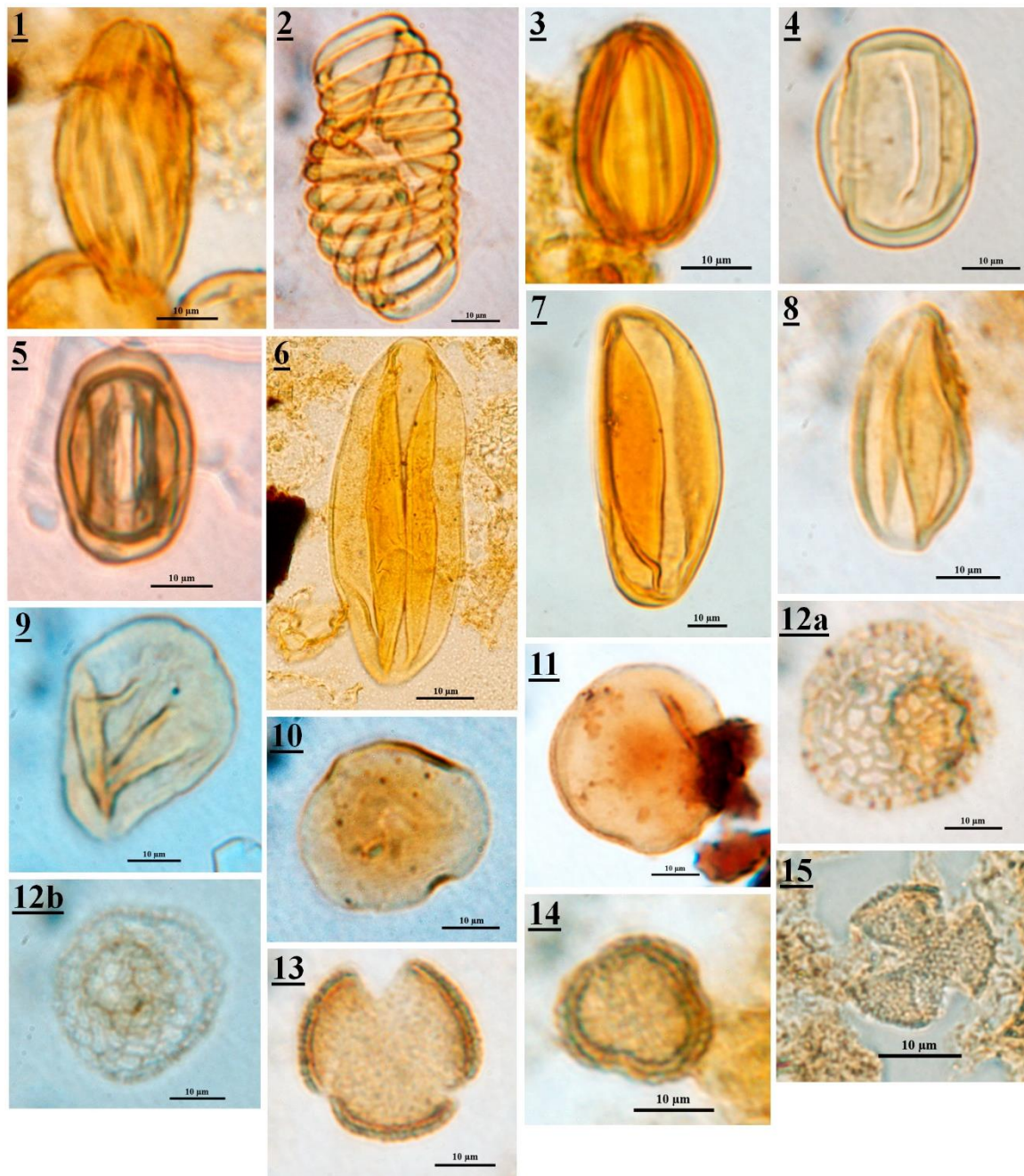
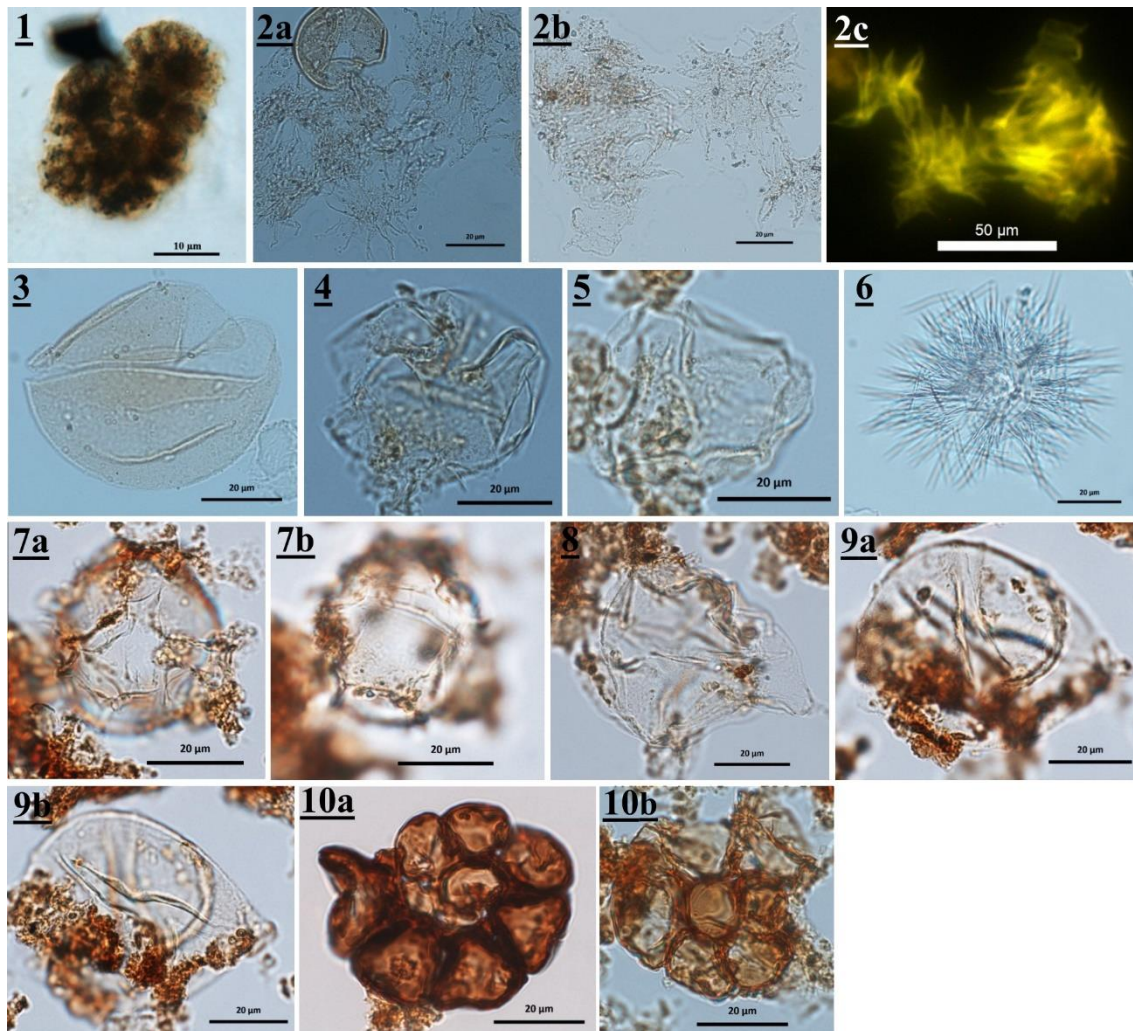


Figura 5 – Palinomorfos continentais fluviais-lacustres (microalgas) e marinhos (cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos) da Formação Romualdo, seção da Mina Serrolândia, Nordeste-Brasil. 1- *Botryococcus braunii* (Escala 10 µm); 2 a,b,c- *Pediastrum* sp. (Escala 10 µm, a 2c- Fotomicrografia em inflorescência – 50 µm); 3- *Batiacasphaera* sp. A; 4- *Batiacasphaera*? sp. B; 5- *Atopodinium* sp.; 6- *Cometodinium*? sp.; 7 a,b- *Spiniferites* sp.; 8- *Odontochitina*? sp.; 9 a,b- *Subtilisphaera* sp.; 10 a,b- Palinoforaminíferos. Escala de 20 µm.



4.1.6 Conclusão

A palinoflora continental analisada na porção sudoeste da Formação Romualdo da Bacia do Araripe, mostrou-se diversificada e com composição similar a outras seções anteriormente descritas, com maior frequência de grãos de pólen de gimnospermas, como os gêneros *Classopollis*, *Cycadopites* e *Gnetaceaepollenites*. Entre os esporos triletes de samambaias e licófitas mais frequentes, estiveram os gêneros *Leptolepidites*, *Cyathidites* e *Cicatricosisporites*. Enquanto as angiospermas foram representadas pelos grãos de pólen de *Afropollis jadinus* e do gênero *Tricolpites*.

Algas verdes coloniais, como *Botryococcus braunii* e *Pedriatrum* sp., e esporos fúngicos indeterminados também foram registrados.

Os elementos marinhos, foram representados por cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos, corroborando com as hipóteses de ocorrência de incursões marinha durante a deposição da Formação Romualdo, destacando-se aqui, a primeira ocorrência de *Odontochitina?* sp. e *Cometodinium?* sp.

A associação palinoflorística encontrada na seção da Mineradora Serrolândia, infere para a Formação Romualdo um paleoambiente de clima quente (árido a semiárido), onde as descrições e paleoecologia das espécies palinológicas, vem a complementar o arcabouço micropaleontológico dos palinomorfos ocorrentes na Formação Romualdo da Bacia do Araripe, Nordeste-Brasil

4.2 ARTIGO 2 - PALEOECOLOGY AND PALEOENVIRONMENTAL INFERENCES BASED ON PALYNOMORPHS FROM THE ROMUALDO FORMATION (LOWER CRETACEOUS) OF THE ARARIPE BASIN, SERROLÂNDIA MINE, PERNAMBUCO, NORTHEASTERN BRAZIL

Published - Journal South American Earth Sciences



ABSTRACT

The present study is based on a paleoecological and paleoclimatic analysis of the palynological associations found in the section of the Serrolândia Mine in Ouricuri, Pernambuco, which contributes to the reconstruction of the paleoenvironment of the Lower Cretaceous Romualdo Formation of the Araripe Basin, in northeastern Brazil. A total of 19 samples were collected from this section, which has a total height of 17 meters. Only seven of these samples contained palynomorphs, which were analyzed by counting 200 palynomorphs per sample, permitting the identification of a total of 64 taxa, most of which were continental in origin. These continental palynomorph taxa included 34 pollen grains of gymnosperms and four of angiosperms, as well as the 14 spores of ferns and lycophytes, two freshwater microalgae, and fungal spores. The marine palynomorphs were represented by eight dinoflagellate cysts taxa and foraminiferal linings. The most abundant taxa overall were *Classopollis* spp., *Afropollis jordanus*, *Cycadopites* spp., and *Gnetaceaepollenites jansonii*, whose presence indicates a warm (semiarid to arid) paleoclimate. A distribution and cluster analysis identified two groups, G1, representing the lower layers (3.5–4.2 m), and G2, at a higher level (4.4–6.0 m). The palynomorphs of G1 were 92% continental and 8% marine, being represented by the dinocysts *Batiacasphaera* sp. A, *Cometodinium?* sp., and *Odontochitina?* sp. This group represents a proximal marine paleoenvironment with a strong terrestrial influence, whereas in G2, there is a decrease in the influence of continental palynomorphs (79%) and a significant increase in the contribution of marine palynomorphs (21%), including foraminiferal linings and the dinocysts of *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Odontochitina?* sp., and *Atopodinium* sp., etc. These characteristics are consistent with the conclusion that G2 represents a distal marine paleoenvironment. These findings provide important insights into the paleoenvironment of the Romualdo Formation in the Araripe Basin of northeastern Brazil during the Early Cretaceous.

Keywords: Lower Cretaceous; Dinoflagellate Cysts; Marine Paleoenvironment; Sedimentary Basins; Palynology.

4.2.1 Introduction

The Araripe Basin covers a total area of approximately 9,000 km² of the Precambrian basement of the transversal zone of the Borborema Province, in parts of the northeastern Brazilian states of Ceará-CE, Pernambuco-PE, and Piauí-PI (Assine, 1992, 2007; Coimbra et al., 2002; Goldberg et al., 2019). The formation and development of this basin are linked to tectonic reactivation events that resulted from the separation of the South American and African plates during the breakup of the Gondwana supercontinent and the subsequent formation of the South Atlantic Ocean during the Mesozoic (Assine, 1994; Rios-Netto et al., 2012; Teixeira et al., 2017). The stratigraphy of the Araripe Basin is characterized by megasequences, which are separated by regional unconformities that resulted from a series of tectonic events (Assine, 2007). These megasequences include the post-rift I or Santana Group (Chagas et al., 2007; Assine et al., 2014), in which the unit deposited most recently was the Romualdo Formation, whose faciological and lithological characteristics vary significantly within the basin (Assine, 1992).

The Romualdo Formation is recognized internationally as a *Konservat Lagerstätte*, due to the exceptional diversity and excellent preservation of its fossils (Maisey, 1991). These deposits include palynomorphs, microfossils with excellent potential for the analysis of biostratigraphic patterns, as shown by the presence of grains of the pollen of *Sergipea varriverrucata*, which is an index fossil of the P-270 biozone, and indicates that the Romualdo Formation coincides with the late Aptian age (Regali, 1987; Arai & Assine, 2020). The depositional system of the Romualdo Formation is characterized by marine transgression events and the presence of transitional (lagoon) environments, which are revealed by the presence of marine macro- and micro-fossils, such as marine palynomorphs, and in particular, foraminiferal linings and dinoflagellate cysts (Arai & Coimbra, 1990; Teixeira et al., 2017). The geochemical composition of the sediments, together with the data on paleocurrents, provide complementary evidence of these marine processes (Assine, 1992; Custódio et al., 2017; Bom et al., 2021).

Palynomorphs are organic microfossils (5–500 µm) which are typically composed of sporopollenin, chitin or pseudochitin, that can be preserved in the sedimentary record, permitting their identification (Arai & Lana, 2004; Traverse, 2007). These microfossils may be derived from either continental (e.g., pollen grains, spores, and microalgae) or marine environments (e.g., dinoflagellate cysts and foraminiferal linings). Palynological associations can provide insights into an ample range of biological diversity, given their

enhanced potential for dispersal and preservation (Traverse, 1974; Arai & Lana, 2004). The analysis of the characteristics of palynomorphs preserved in the geological record, such as their taxonomic composition and affinities, can provide valuable insights into the paleoecological features of the species and the paleoenvironmental conditions of the sedimentary basins they once inhabited (Batten & Dutta, 1997; Arai & Lana, 2004; Portela et al., 2014).

The Romualdo Formation outcrops at the base of the Chapada do Araripe, where it is supported by the Exu Formation, and is often exposed by the open-cast mining of gypsum (the Ipubi Formation) in the southwestern portion of the Araripe Basin. Mining activity is especially intense in the Brazilian state of Pernambuco, in the section of the Serrolândia Mine, located in the municipality of Ouricuri, where the palynomorph deposits have not previously been surveyed. The present study analyzed the palynological associations of this section to reconstruct the paleoenvironments of the Lower Cretaceous Romualdo Formation, in the Araripe Basin of northeastern Brazil.

4.2.2 Material and Methods

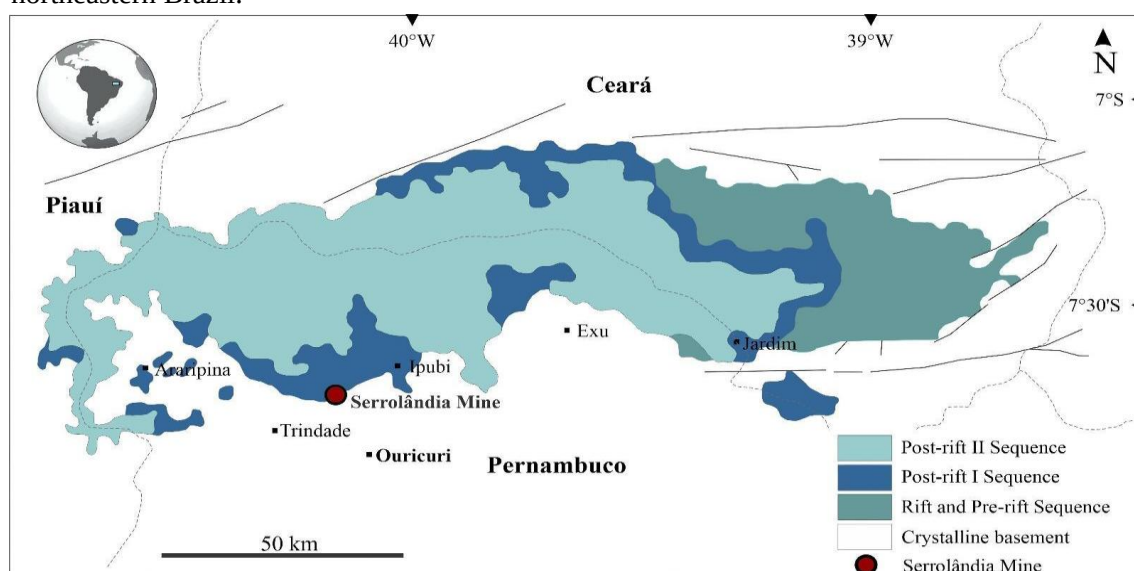
4.2.2.1 Study Area

The Romualdo Formation encompasses an enormous diversity of fossils, in particular, a rich and abundant paleoichthyofauna, which is preserved in calcareous concretions that are considered to be a stratigraphic landmark of mass mortality (Maisey, 1991; Martill et al., 2008). Other fossil groups include turtles, pterosaurs, and dinosaurs (Mabesoone & Tinoco, 1973; Duque et al., 2023), gymnosperms such as *Pseudofrenelopsis salesii*, *Brachyphyllum castilhoi*, and *Brachyphyllum obesum* (Lima et al., 2012; Batista et al., 2021), marine invertebrates, including gastropods, bivalves, and echinoderms (Sales, 2005; Pereira et al., 2017), and carbonate nano- and micro-fossils, such as ostracods and foraminifera (Araripe et al., 2022). There is also an abundance of palynomorphs, principally pollen grains and spores (e.g., *Classopollis classoides*, *Afropollis* spp., *Gnetaceaepollenites* spp., and *Cicatricosisporites* spp.), and dinoflagellate cysts (Lima, 1978a; Teixeira et al., 2017; Arai & Assine, 2020).

The study section of the Romualdo Formation in the Serrolândia Mine is located in the municipality of Ouricuri (07°43'31.31" S, 40°11'35.36" W), in the southwestern portion of the Araripe Basin, in the Brazilian state of Pernambuco (Fig. 1). This section is approximately 17 m high, and is based on a thick layer of unsampled reddish siltstone, which is overlaid by thin layers of grayish to greenish shales, intercalated with thin layers

of calciferous sandstone. The layers of shale become thicker and darker toward the top of the section, reflecting the abundance of organic matter, which is typical of the Romualdo Formation (Mabesoone & Tinoco, 1973; Coimbra et al., 2002; Assine et al., 2014; Custódio et al., 2017), highlighting the occurrence of calcareous concretions in the shale, and the presence of macroinvertebrates and plant residues. The top of the formation is made up of a second layer of siltstone, which is overlaid by a layer of sandstone and then shale, and finally, a thin layer of coquina (shellbed) composed of the macrofossils of marine invertebrates – gastropods of the families Cassiopidae and Naticidae – which delimits the end of the section (Gomes et al., 2023).

Figure 1 – Geological and geographical map of the Araripe Sedimentary Basin, showing the location of the Serrolândia Mine in the municipality of Ouricuri, in Pernambuco state, northeastern Brazil.



Fonte: Modified from Assine, (2007).

A total of 19 sediment samples were collected from the section of the Serrolândia Mine, from a height of 3.5 m up to the shellbed layer at the top of the section. The sample points were selected considering lithological features such as the presence of non-oxidized shales and limestones, which are relatively more likely to preserve palynomorphs. The stratigraphic profile of the Romualdo Formation was also described to provide details on its fossiliferous content and lithological features of the section.

4.2.2.2 Laboratory Procedures

The palynomorphs were extracted from the rock samples by adding 37% hydrochloric acid (HCl) and 40% hydrofluoric acid (HF), following the method described by Uesugui (1979). The organic content was separated from the residual inorganic

fraction by flotation using a zinc chloride (ZnCl_2) solution with a density of 2.0 g/cm^3 . This process was conducted in 50-ml tubes, followed by centrifugation at 1,200 RPM. Four permanent palynological slides were extracted from the final concentrated residue of each sample, using Entellan-Merck glue.

The slides were examined under a Zeiss Axio Imager.A2 microscope using consecutive vertical and horizontal scans of the entire slide to ensure a minimum count of 200 palynomorphs per sample, following the method proposed by Chang (1967). In addition to the identification of the palynomorphs and the observation of their morphological characteristics, photomicrographs were taken using an AxioCam MRc camera. Following their examination, the slides were added to the micropaleontological collection of the Paleontology Laboratory (PALEOLAB) at the Department of Geology of the Federal University of Pernambuco (UFPE) in Recife.

4.2.2.3 Data Analysis

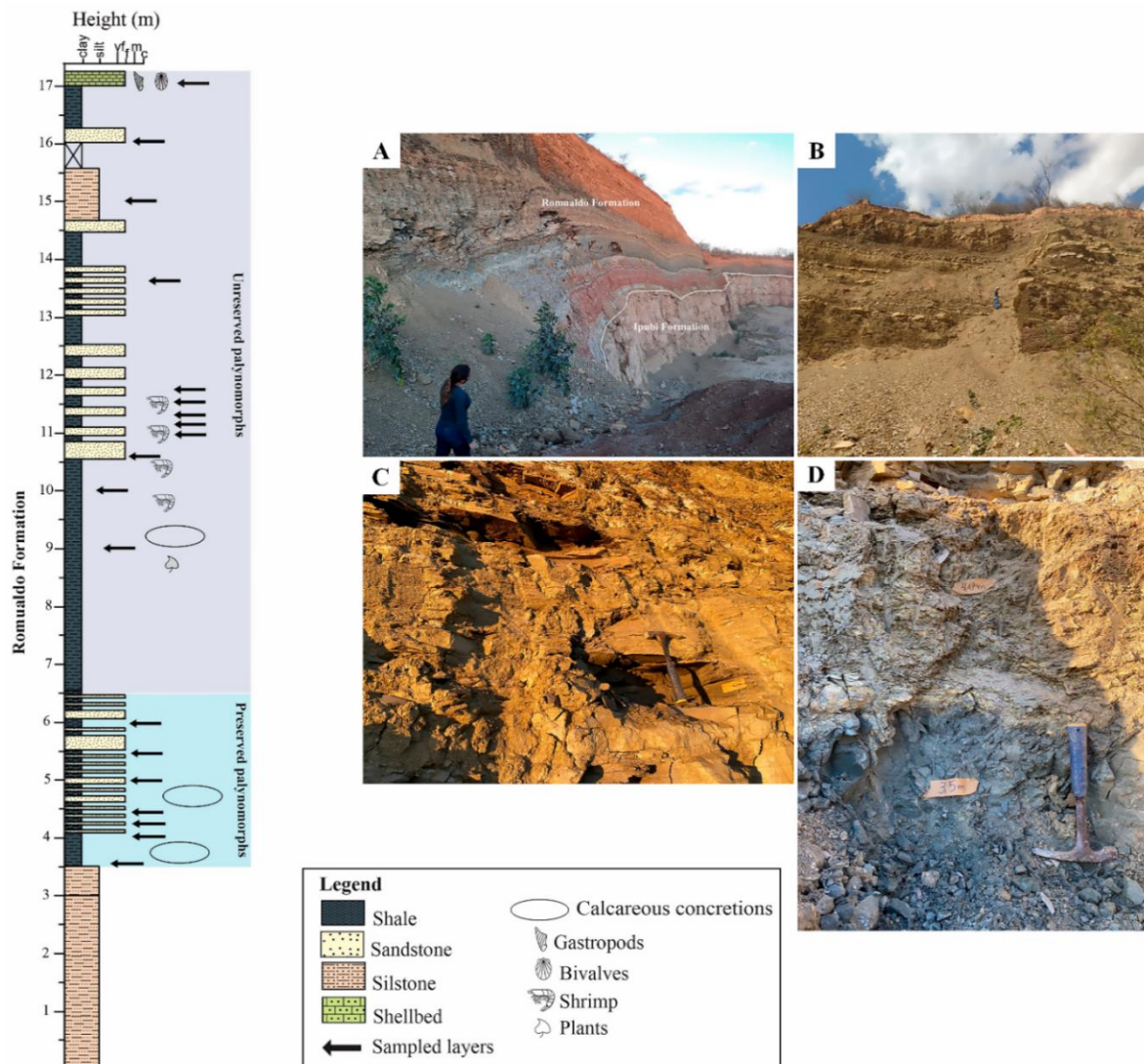
For each sample containing palynomorphs, the taxon richness, abundance, and relative frequency (Dajoz, 1983) of the organisms were calculated, and the vertical distribution of the taxa within the section was recorded. The data on the palynological associations were $\log(x+1)$ transformed for a cluster analysis (Everitt et al., 2011) based on a Bray Curtis similarity matrix, and the implementation of a one-way Analysis of Variance (ANOVA), followed by Tukey's pairwise test for significant results (Zar, 2010). A Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA) was also applied to determine the significance of the groupings of the palynological associations (Anderson, 2001). A 5% significance level was considered in all analyses, which were run in PRIMER 7 + PERMANOVA (Clarke & Gorley, 2015), Statistica (TIBCO, 2020), and PAST 4.03.

4.2.3 Results

4.2.3.1 Palynological Associations

The examination of the slides revealed that 12 samples, distributed between heights of 7 m and 17 m contained no palynomorphs whatsoever. The preservation of palynomorphs was thus limited to the most basal sedimentary layers, which consisted of shales interbedded with calciferous sandstone, at heights of 3.5 m, 4 m, 4.2 m, 4.4 m, 5 m, 5.5 m, and 6 m. These basal layers contained an abundant and diverse palynoflora in a well-preserved state (Fig. 2).

Figure 2 – Stratigraphic section of the Romualdo Formation at the outcrop in the Serrolândia Mine, in Pernambuco, northeastern Brazil, showing the strata sampled in the present study: A - Overview of the interface between the Romualdo and Ipubi formations in the Serrolândia Mine section. B - Uppermost layer in the study section. C - Middle layers of the study section. D - Lowermost layers of the study section.



A total of 64 palynomorph taxa were identified in the present study (Tab. 1, Fig. 3 and 4), including the spores of 14 fern and lycophyte taxa (25 individuals), pollen grains from 34 gymnosperms (1,631 individuals) and four angiosperms (63 individuals), two freshwater microplankton (eight individuals), and fungal spores (three individuals). Marine palynomorphs were also recorded, including foraminiferal linings (nine individuals) and eight dinocyst taxa (26 individuals).

Table 1 – Palynological association found at Serrolândia Mine in Pernambuco, northeastern Brazil, showing the fossil palynomorphs from the Romualdo Formation of the Lower Cretaceous recorded in the present study and their occurrence within the different layers of the study section.

Continued

Romualdo Formation							
Palynomorph taxon	Occurrence (Height - m)						
	6.0	5.5	5.0	4.4	4.2	4.0	3.5
▪ Continental palynomorphs							
Fern and lycophyte spores							
<i>Cicatricosisporites brevilaesuratus</i> Couper, 1958		—			—		
<i>Cicatricosisporites microstriatus</i> Jardiné & Maglore, 1965		—					
<i>Cicatricosisporites</i> sp.					—		
<i>Cicatricosisporites</i> cf. <i>hallei</i> Delcourt & Sprumont, 1955					—		
<i>Cingulatisporites</i> cf. <i>eukirchensoides</i> Delcourt & Sprumont, 1955				—			
<i>Crybelosporites pannuceus</i> (Brenner, 1963) Srivastava, 1975						—	—
<i>Cyathidites australis</i> Couper, 1953	—		—	—			
<i>Deltoidospora hallii</i> Miner, 1935							—
<i>Densoisporites dettmannae</i> (Srivastava, 1972) Dejax, 1987							—
<i>Distaltriangulisporites perplexus</i> Singh, 1971							—
<i>Echinatisporis</i> cf. <i>varispinosus</i> (Pocock, 1962) Srivastava, 1975							—
<i>Leptolepidites psarosus</i> Norris, 1966					—		—
<i>Leptolepidites verrucatus</i> Couper, 1953							—
<i>Matonisporites silvai</i> Lima, 1978						—	—
Gymnosperm pollen grains							
<i>Araucariacites australis</i> Cookson, 1947			—	—	—	—	
<i>Bennettitaepollenites regaliae</i> Dino, 1992	—	—			—	—	—
<i>Bennettitaepollenites</i> sp.					—	—	
<i>Callialasporites segmentatus</i> (Balme, 1957) Dev, 1961					—		
<i>Circulina minima</i> (Herngreen, 1971) Lima, 1978			—		—		
<i>Circulina parva</i> Brenner, 1963	—			—		—	—
<i>Circulina</i> cf. <i>meyeriana</i> Klaus, 1960						—	
<i>Classopollis</i> spp.	—	—	—	—	—	—	—
<i>Confertisulcites?</i> sp.						—	
<i>Cycadopites</i> spp.	—	—	—	—	—	—	—
<i>Equisetisporites</i> cf. <i>elongatus</i> (Horowitz, 1970) Lima, 1978			—			—	
<i>Equisetisporites costaliferous</i> (Brenner, 1968) Lima, 1978	—					—	—
<i>Equisetisporites dudarensis</i> (Deak, 1964) Lima, 1978	—		—	—	—	—	—
<i>Equisetisporites elegans</i> Lima, 1978							—
<i>Equisetisporites luridus</i> Lima, 1978	—					—	—
<i>Equisetisporites minuticosatus</i> Lima, 1978					—	—	
<i>Equisetisporites ovatus</i> (Pierce, 1961) Singh, 1964	—		—	—	—	—	—
<i>Equisetisporites</i> sp.			—		—	—	
<i>Equisetisporites</i> cf. <i>acicularis</i> Lima, 1978		—			—		
<i>Eucommiidites minor</i> Groot & Penny, 196				—	—	—	
<i>Eucommiidites troedssonii</i> (Erdtman, 1948) Hugues, 1961						—	
<i>Exesipollenites</i> sp.				—			
<i>Exesipollenites tumulus</i> Balme, 1957							—
<i>Gnetaceaepollenites jansonii</i> (Pococok, 1964) Lima, 1978	—	—	—		—		—
<i>Gnetaceaepollenites mollis</i> (Srivastava, 1968) Lima, 1978					—		
<i>Gnetaceaepollenites retangularis</i> Lima, 1978					—		—
<i>Gnetaceaepollenites</i> sp. A				—	—		
<i>Gnetaceaepollenites</i> sp. B	—					—	
<i>Gnetaceaepollenites uesuguii</i> Lima, 1978	—	—	—				
<i>Inaperturopollenites dubius</i> Thomson & Pflug, 1953				—	—	—	
<i>Inaperturopollenites simplex</i> Regali et al., 1974				—			
<i>Singhia multicostata</i> (Brenner, 1963) Lima, 1978					—	—	—
<i>Steevesipollenites pygmeus</i> Azema & Boltenhagen, 1974			—				
<i>Uesuguipollenites callosus</i> Dino, 1992					—		—

Table 1 – Palynological association found at Serrolândia Mine in Pernambuco, northeastern Brazil, showing the fossil palynomorphs from the Romualdo Formation of the Lower Cretaceous recorded in the present study and their occurrence within the different layers of the study section.

Palynomorph taxon	Occurrence (Height - m)						
	6.0	5.5	5.0	4.4	4.2	4.0	3.5
Angiosperm pollen grains							
<i>Afropollis jardinus</i> Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982					■	■	■
<i>Tricolpites vulgaris</i> (Pierce, 1961) Srivastava, 1975					■		
<i>Tricolpites</i> sp. A					■	■	
<i>Tricolpites</i> sp. B					■		
Fungi						■	
Freshwater algae							
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing, 1849							■
<i>Pediastrum</i> sp.							■
▪ Marine palynomorphs							
Dinoflagellate cysts							
<i>Atopodinium</i> sp.			■				
<i>Batiacasphaera?</i> sp. B			■				
<i>Batiacasphaera</i> sp. A						■	
<i>Cometodinium?</i> sp.						■	
<i>Odontochitina?</i> sp.			■			■	
<i>Spiniferites</i> sp.			■				
<i>Subtilisphaera</i> sp.			■				
Unidentified Dinoflagellate cysts	■	■	■		■		
Zoomorphs							
Foraminiferal linings			■				

The palynological associations of the Romualdo Formation section of the Serrolândia Mine were composed primarily of continental palynomorphs, with a predominance (53%) of gymnosperm (e.g., *Classopollis* spp., *Cycadopites* spp., and *Gnetaceaepollenites jansonii*) pollen grains, followed by the spores of ferns and lycophytes (21.9%), including ornamented (e.g., *Leptolepidites* and *Cicatricosisporites*), smooth (e.g., *Cyathidites australis*), and perisporate (e.g., *Crybelosporites pannuceus*) taxa. Additional groups included angiosperm (*Afropollis jardinus* and *Tricolpites*) pollen grains (6.3%), freshwater algae (3.1%), such as *Botryococcus braunii* and *Pediastrum* sp., and fungal spores (1.6%). The marine palynomorphs included dinoflagellate cysts (e.g., *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Odontochitina?* sp., and *Cometodinium?* sp.), with 12.5% of the total specimens, and foraminiferal linings (1.6%).

Figure 3 – Photomicrographs of the continental palynomorphs (Scale bar = 10 μ m): 1- *Cyathidites australis*; 2- *Leptolepidites verrucatus*; 3- *L. psarosus*; 4- *Cicatricosisporites bresilaesuratus*; 5- *C. microstriatus*; 6- *Matonisporites silvai*; 7- *Araucariacites australis*; 8- *Classopollis* spp.; 9- *Equisetosporites ovatus*; 10- *E. dudarensis*; 11- *Gnetaceaepollenites jansonii*; 12- *G. retangularis*; 13- *Bennettitaepollenites regaliae*; 14- *Bennettitaepollenites* sp.; 15- *Cycadopites* spp.; 16- *Eucommiidites troedssonii*; 17- *Afropollis jardinus*; 18- *Tricolpites vulgaris*; 19a,b- *Pediastrum* sp. (19a UV Fluorescence photomicrograph - Scale bar = 50 μ m); 20- *Botryococcus braunii*; 21- Fungi.

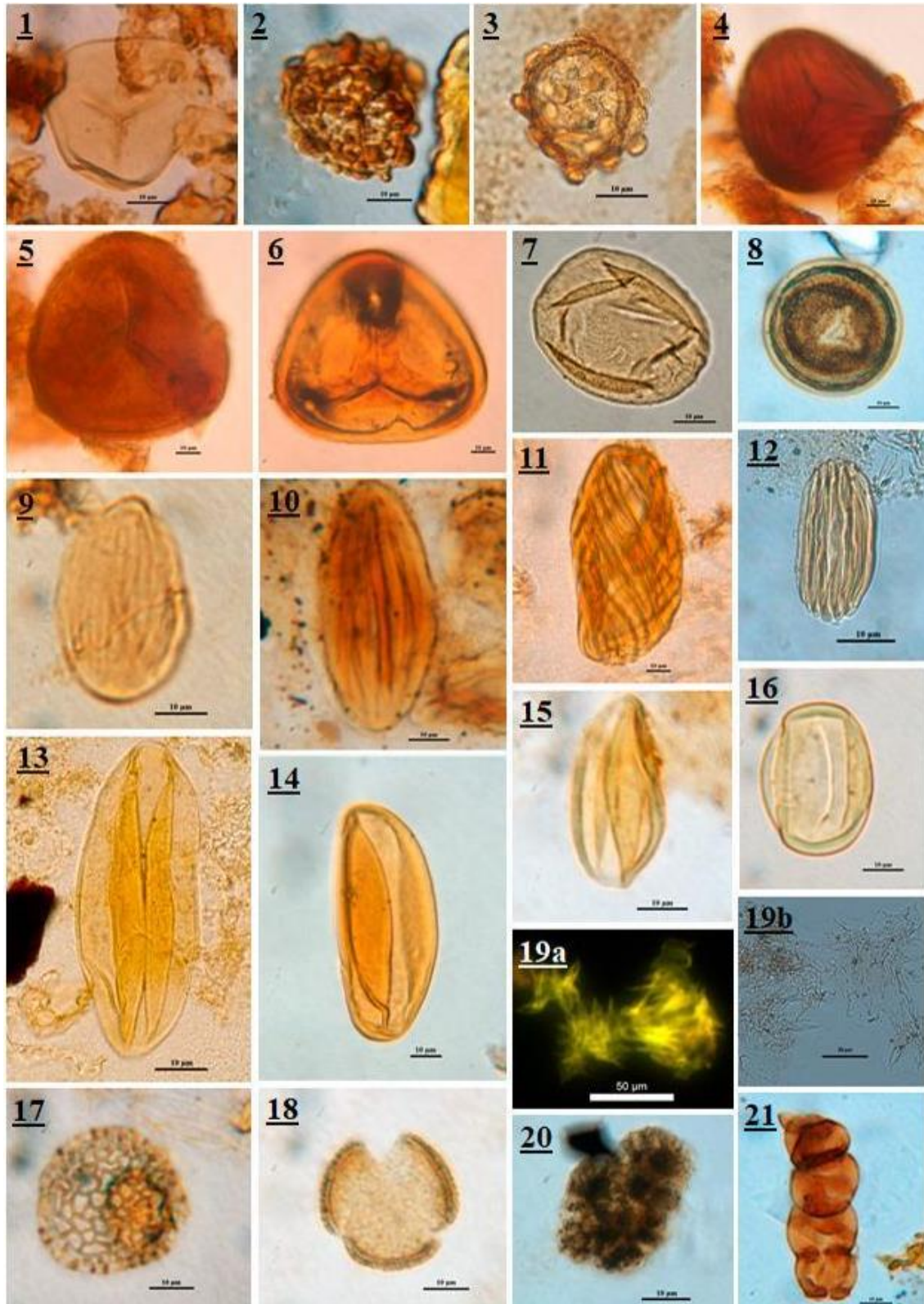
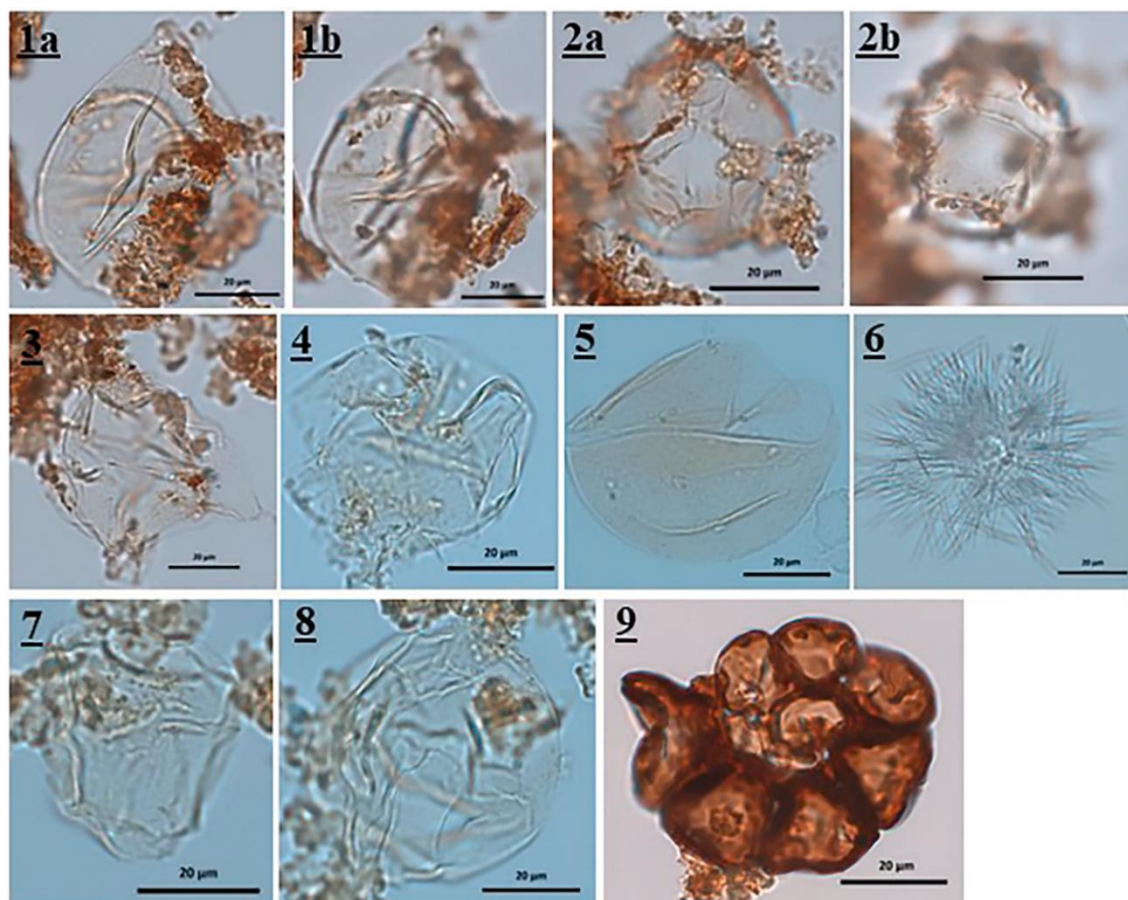


Figure 4 – Photomicrographs of the marine palynomorphs (dinoflagellate cysts and foraminiferal linings) from the Romualdo Formation at the Serrolândia Mine, in Pernambuco, northeastern Brazil (Scale bar = 20 μ m): 1a,b- *Subtilisphaera* sp.; 2a,b- *Spiniferites* sp.; 3- *Odontochitina*? sp.; 4- *Batiacasphaera*? sp. B; 5- *Batiacasphaera* sp. A; 6- *Cometodinium*? sp.; 7- *Atopodinium* sp.; 8- Unidentified Dinoflagellate cysts; 9- Foraminiferal linings.



The cluster analysis delimited two distinct groups of palynomorphs, of which, the first (G1) was restricted to the layers at heights of 3.5 m, 4.0 m, and 4.2 m, with a similarity of 48.99%, while the second (G2) represented the 4.4 m, 5.0 m, 5.5 m, and 6.0 m layers, with a similarity of 52.27%. These two groups were well separated, with significantly higher taxon richness (ANOVA: $F = 16.6$, $p < 0.05$; Tukey's test: $G1 > G2$) and abundance (ANOVA: $F = 8.9$, $p < 0.05$; Tukey's test: $G1 > G2$) in G1 in comparison with G2. This difference was further confirmed by the PERMANOVA, which revealed significant variation between the two groups, with a similarity of only 38.87% (Tab. 2).

The vertical distribution of the palynomorph associations was analyzed considering the total abundance of the continental (spores, pollen grains, and freshwater algae) and marine palynomorphs (dinoflagellate cysts and foraminiferal linings) (Fig. 5). This analysis shows that, the G1 group represents the layers between 3.5 m and 4.2 m, and is consistent with a proximal marine paleoenvironment, with a predominance of

palynomorphs of continental origin (92%) and only a few marine palynomorphs (8%). The pollen grains of *Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp., and *Gnetaceaepollenites jansonii* were the most abundant in all the strata of this interval. The triletes were well-represented by their spores, including *Leptolepidites psarosus*, *Crybelosporites pannuceus*, and *Cicatricosisporites brevilaesuratus*, but were not very abundant. Freshwater algae (*Pediastrum* sp. and *Botryococcus braunii*) were identified exclusively at the beginning of the interval, at a height of 3.5 m. The marine palynomorphs included dinoflagellate cysts of the taxa *Batiacasphaera* sp. A, *Cometodinium?* sp., and *Odontochitina?* sp.

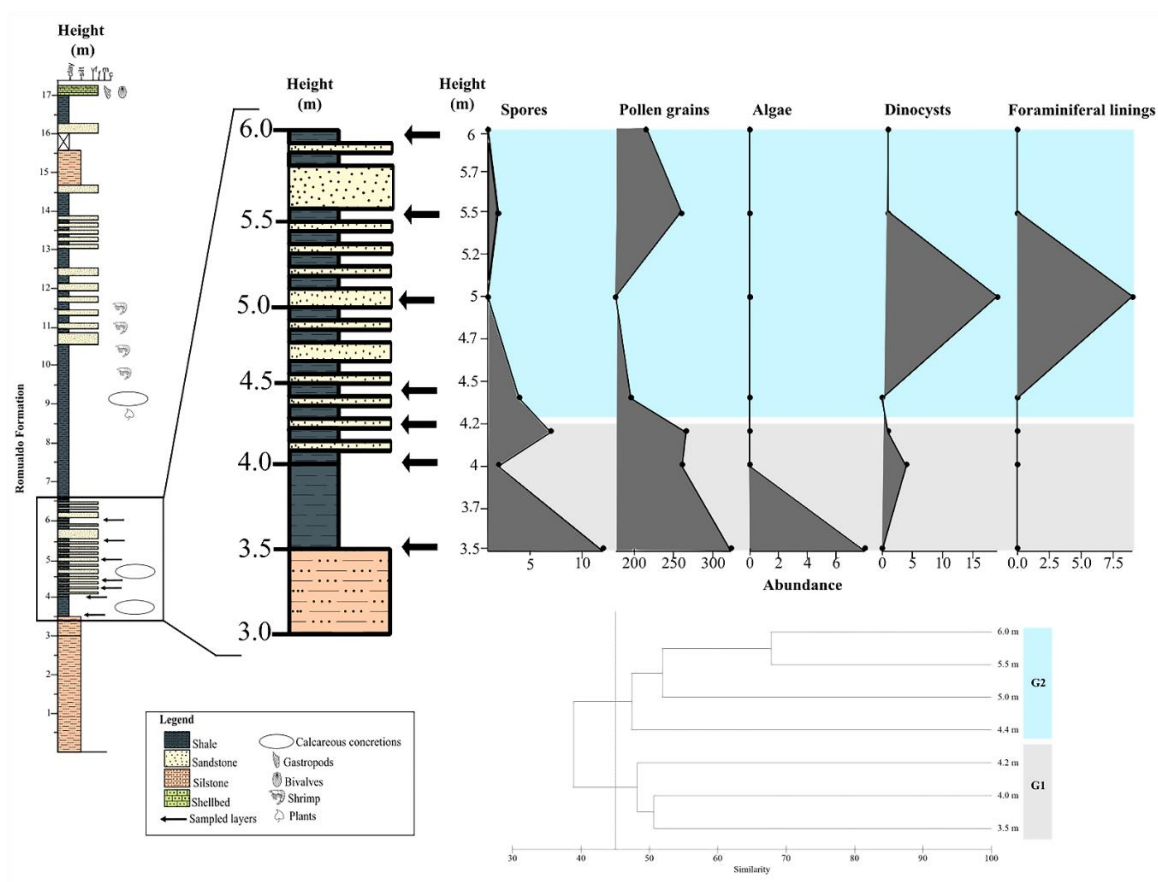
Table 2 – Results of the PERMANOVA of the palynomorph clusters from the Serrolândia Mine, in Pernambuco, northeastern Brazil.

Palynomorph associations						
Source of the variation	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(permutation) ⁴	Unique permutations
Groups	1	3,466	3,466	2.82	< 0.03	35
Error	5	6,134	1,226.8			
Pair-wise tests (mean similarity among/between groups) ⁵						
	G1		G2			
G1		48.99				
G2		38.87*		52.27		

Footnote: ¹DF = Degrees of Freedom. ²SS = Sum of the Squares. ³MS = Mean Square. ⁴p(permutation) = p value generated by the Monte Carlo permutation. *p: < 0.05.

The G2 group (4.4–6 m) represents a more distal marine paleoenvironment, with a reduction in the contribution of continental palynomorphs (79%), in comparison with the first group, and a significant increase in the contribution of marine palynomorphs (21%), in particular in the 5 m layer. While species of the genus *Classopollis* spp. were a constant presence in the continental palynomorphs, other taxa, such as *Cyathidites australis* spores, were much less common. The marine palynomorphs of this group included foraminiferal linings, which appeared for the first time in the 5 m layer, and a greater diversity and abundance of dinocysts, represented by *Subtilisphaera* sp., *Odontochitina?* sp., *Atopodinium* sp., *Spiniferites* sp., and *Batiacasphaera?* sp. B, as well as some unidentified dinoflagellate cysts.

Figure 5 – The vertical distribution of the continental and marine palynomorphs of the Romualdo Formation of the Serrolândia Mine in Pernambuco, northeastern Brazil, based on the relative abundance of the different taxa and the results of the cluster analysis, which established two groups of strata representing distinct paleoenvironments.



4.2.4 Discussion

4.2.4.1 Non-preservation and preservation of the palynomorphs

The lack of palynomorphs in the top layers of the Serrolândia Mine section, between 7 m and 17 m, may have been exacerbated by the greater exposure of these strata to weathering processes, such as the erosion of the surface layers, oxidation, high temperatures, mechanical forces, and microbial action, factors that may exacerbate the erosion and decomposition of the palynomorphs (Havinga, 1966; Cushing, 1967). Palynomorphs were preserved mainly in the most basal of the layers sampled, between 3.5 m and 6 m, primarily in the shales, which are sedimentary rocks composed of fine, clay-sized grains (<0.004 mm), and are indicative of low-energy environments and conditions that are favorable to the preservation of organic matter (Portela et al., 2014).

4.2.4.2 Paleoecology of the continental palynomorphs

Continental palynomorphs, in particular, the *Classopollis* taxa of the extinct family Cheirolepidiaceae (Alvin, 1982; Hieger et al., 2015), were predominant in the Serrolândia Mine section. These gymnosperms are known to have had a high dispersal capacity and ample distribution (Pflug, 1953; Taylor et al., 2009). Pollen grains of monosulcates, such as *Cycadopites*, which are associated with the family Cycadaceae (Dino, 1992; Carvalho et al., 2022), and polyplicates, including genera such as *Equisetosporites* (Ephedraceae) and *Gnetaceaepollenites* (Gnetaceae), of the order Gnetales, were also predominant (Lima, 1978a; Carvalho et al., 2022). These findings indicate the existence of a continental paleoenvironment characterized by shrubby to arboreal xerophytic plants, which are typically found in lowland tropical forests, and comprise approximately 42% of the composition of the palynomorph association of the study section (Wodehouse, 1935; Srivastava, 1968; Carvalho et al., 2022).

Pollen grains representing angiosperms were observed in the study section of the Romualdo Formation, between the 3.5 m and 4.2 m layers. Angiosperm pollen grains were those assigned to the genus *Tricolpites*, which is correlated with the eudicotyledons (Lima, 1978). *Afropollis jardinus*, whose botanical affinity is still unconfirmed (but may be associated with a phylogenetic lineage close to the angiosperms), was also recorded (Hofmann & Seyfullah, 2021). *Afropollis jardinus* has been found in deposits ranging from the Aptian to the Cenomanian, and is believed to have been produced by plants distributed north of the Gondwana paleoequator (Doyle et al., 1982; Regali, 1987; Ferreira et al., 2020).

Spores were relatively uncommon in the Serrolândia Mine section, although the taxa recorded do represent a type of paleovegetation formed by herbaceous or epiphytic ferns (e.g., *Cicatricosisporites brevilaesuratus* and *Cyathidites australis*) and lycophytes, such as *Leptolepidites psarosus* (Dino, 1992; Neumann et al., 2003; Carvalho et al., 2022). These plants prefer moist and shaded environments near rivers and lakes (hygrophytes, hydrophytes), and uplands. These spores are considered to be important indicators of seasonal fluctuations in humidity (Arai & Coelho, 2001; Portela et al., 2014; Nascimento et al., 2017; Carvalho et al., 2022). The paleoecological characteristics of the spores, together with their reduced abundance, indicate that the southwestern portion of the Romualdo Formation was a paleoenvironment with relatively arid conditions.

The layers with the greatest abundance of spores in the study section were correlated with the occurrence of angiosperm pollen grains, which contributes to the hypothesis that angiosperms evolved in semiarid or even arid tropical habitats, where they

became adapted to extreme seasonal fluctuations in precipitation and humidity levels (Doyle et al., 1982; Neumann et al., 2003; Heimhofer & Hochuli, 2010; Portela et al., 2014), while also facing intense ecological competition from the more dominant gymnosperms (Doyle, 1969; Muller, 1984; Bao et al., 2019). Angiosperms only began to occupy more diverse environments toward the end of the Turonian (Late Cretaceous), following a gradual but quite effective adaptive radiation during the Early Cretaceous, which is implied by the worldwide extinction of many gymnosperms, resulting in the present-day predominance of the angiosperms (Muller, 1984; Bao et al., 2019).

The continental palynomorphs of the Serrolândia Mine also included the colonial algae *Pediastrum* sp. and *Botryococcus braunii*, which occurred exclusively in the most basal layer of the section (3.5 m), and indicate the presence of bodies of fresh water (Tyson, 1993; Teixeira et al., 2017). *Botryococcus braunii* occurs in lagoonal and lacustrine facies, and is more tolerant of higher salinity in these environments (Mendonça-Filho et al., 2012), whereas *Pediastrum* sp. also occurs in lacustrine facies, but is less tolerant of salinity (Van Geel, 2001; Mendonça-Filho et al., 2012; Sommer et al., 2021). The presence of these algae indicates that, the coastal plain of the Romualdo Formation was initially influenced by lagoon or lacustrine environments, demarcating the onset of the marine incursions, given the absence of these algae from the sediment layers deposited above 3.5 m.

4.2.4.3 Paleoecology of the marine palynomorphs

The marine palynomorphs found in the Serrolândia Mine section were dominated by dinoflagellate cysts, such as *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Cometodinium?* sp., and *Odontochitina?* sp., etc. *Cometodinium?* sp. and *Odontochitina?* sp., were recorded in the Romualdo Formation for the first time.

Dinocysts were only absent from the 3.5 m and 4.4 m layers. *Subtilisphaera* sp. was the most abundant dinocyst, although it was found only in the 5 m layer. This genus is opportunistic in character and proliferates rapidly (Lana & Roesner, 2002), although the monospecific phytoplankton blooms that are considered to be typical of this genus were not observed in the study section. *Subtilisphaera* has broad habitat preferences, and it is tolerant of the ample variation in salinity and depth found within the epicontinental Cretaceous seas of Thetyan affinity (Arai & Coimbra, 1990; Arai, 2014).

The influence of the marine paleoenvironment during the deposition of the Romualdo Formation was also indicated by the presence of possibly benthic foraminiferal

linings, which had a planispiral arrangement of the chambers (Stancliffe, 1989; Tyson, 1993; Tyska et al., 2021). In the southwestern portion of the Araripe Basin, where the study section is located, Araripe et al. (2021) recorded benthic foraminifera which, together with its marine macroinvertebrates and an abundance of ostracods, imply that this region was a shallow transitional marine paleoenvironment, of low salinity.

4.2.4.4 Paleoenvironmental patterns

The composition of the palynological associations of the Romualdo Formation found in the Serrolândia Mine was amply typical of the palynoflora of other Aptian-Albian sedimentary basins of northeastern Brazil (Alagoas local stage). These features include the Alagamar Formation in the Potiguar Basin (Dino, 1992), the Codó Formation in the Parnaíba Basin (Antonioli, 2001), the Santana Group in the Araripe Basin (Lima, 1978a; Portela et al., 2014), the Crato Formation in the Jatobá Basin (Nascimento et al., 2017), the Muribeca and Riachuelo formations in the Sergipe-Alagoas Basin (Carvalho, 2004), and the Romualdo Formation of the Araripe Basin (Teixeira et al., 2017; Arai & Assine, 2020).

The paleoenvironment of the study section was deciphered from the patterns observed in the G1 and G2 layers, based on the abundance, taxon richness, vertical distribution, and composition of the palynomorphs. The evidence from the layers between 3.5 and 4.2 m indicates a proximal marine paleoenvironment with strong continental influence, given the relative abundance of pollen grains, in particular those of *Classopollis* spp., *Afropollis jardinus*, *Cycadopites* spp., and *Gnetaceaepollenites jansonii*, and the occurrence of the freshwater algae *Pediastrum* sp. and *Botryococcus braunii*. The marine influence on these layers was indicated by the presence of the dinocysts *Batiacasphaera* sp. A, *Cometodinium?* sp., and *Odontochitina?* sp.

In the layers between 4.4 to 6.0 m, by contrast, the evidence indicates clearly the presence of a distal marine paleoenvironment, a transition marked by a decrease in the richness of continental palynomorphs, which were dominated by *Classopollis* spp., and a significant increase in marine palynomorphs, including dinocysts (*Subtilisphaera* sp., *Odontochitina?* sp., *Atopodinium* sp., *Spiniferites* sp., *Batiacasphaera?* sp. B, and unidentified forms) and foraminiferal linings.

Grains of *Classopollis* spp. pollen are predominant throughout all the layers analyzed here, indicating the presence of paleoenvironments that would be similar to mangroves, deltas or lagoons (Pocock & Jansonius, 1961; Alvin, 1982; Vakhrameyev,

1982), given that their abundance tends to be related to the proximity between the source plants and the area of deposition. The pollen grains of *Afropollis jardinus*, which were observed in the strata between 3.5 m to 4.2 m, are also indicative of coastal paleoenvironments (Doyle et al., 1982; Portela et al., 2014; Arai & Assine, 2020). The presence of reliable indicators of marine environments in the study section of the Romualdo Formation, such as the dinoflagellate cysts (*Subtilisphaera* sp. and *Spiniferites* sp.) and foraminiferal linings (Stancliffe, 1989; Arai & Coimbra, 1990; Harris & Tocher, 2003), may have been related to the eustatic effects of the fluctuations in sea level that occurred during the Early Cretaceous, which resulted in the marine transgressions in the interior of northeastern Brazil (Arai, 2014).

Marine palynomorphs have been recorded in other, different outcrops of the Romualdo Formation, as observed by Teixeira et al. (2017), Assine & Arai (2020), and Vallejo et al. (2022) in the Sobradinho section. Other fossil groups also indicate the occurrence of marine transgressions in the Romualdo Formation, such as calcareous microfossils of foraminifera, ostracods, and nannofossils (Melo et al., 2020; Araripe et al., 2021, 2022), as well as the marine macroinvertebrates recorded in the sedimentary layers of the Serrolândia Mine section at heights of above 9 m (Gomes et al., 2023).

The findings of a number of recent studies indicate the occurrence of intermittent marine incursions in the sedimentary formations below the Romualdo Formation, such as in the Crato Formation, in which Goldberg et al. (2019) and Vallejo et al. (2022) recorded foraminiferal linings and dinocysts. In the case of the Barbalha Formation, Fauth et al. (2022) interpreted the presence of dinocysts, benthic foraminifera, and calcareous nannofossils, and the apparent mass die-off of non-marine ostracods, as evidence of the oldest marine ingression event to have occurred in the interior basins of northeastern Brazil. The sum of this evidence indicates that the post-rift I sequence (Santana Group), which includes all the formations mentioned above, was deposited under the influence of marine processes (Custódio et al., 2017). This was especially true in the case of the Romualdo Formation, which appears to have undergone a greater marine influence, and also marks the endpoint of this contact between the interior of the continent and the sea (Assine et al., 2014).

The analysis of the palynological associations found at the Serrolândia Mine revealed a diverse constitution of terrestrial and marine palynomorphs, which reflect the presence of both proximal and distal marine paleoenvironments in the Romualdo Formation. The sporomorphs identified here indicate vegetation cover typical of tropical

regions, adapted to warm paleoclimates (semiarid to arid), such as the pollen grains of xerophytic plants (e.g., *Classopollis*, *Equisetosporites*, and *Gnetaceaepollenites*), which are more resistant to drought conditions than spore-producing ferns and lycophytes (Lima, 1976; Vakhrameyev, 1982; Souza-Lima & Silva, 2018; Carvalho et al., 2022). These findings indicate that the study section of the Romualdo Formation was part of the microfloristic belts of the North Gondwana Province (Brenner, 1976) and the *Dicheiropollis etruscus*/*Afropollis* Province (Herngreen et al., 1996), identified through its palynoflora, which is typical of the Early Cretaceous at low latitudes (Dino, 1992; Heimhofer & Hochuli, 2010; Portela et al., 2014).

4.2.5 Conclusions

The palynological associations of the Romualdo Formation in the section of Serrolândia Mine of northeastern Brazil were diverse and abundant. The predominant continental palynomorphs were pollen grains of gymnosperms such as *Classopollis* spp., *Cycadopites* spp., and *Gnetaceaepollenites jansonii*, while the angiosperms were represented primarily by the pollen grains of *Afropollis jardinus*. The spores of ferns and lycophytes were present mainly in the form of the genera *Leptolepidites*, *Cyathidites*, and *Cicatricosisporites*. The freshwater algae were identified as *Pediastrum* sp. and *Botryococcus braunii*. The marine palynomorphs included foraminiferal linings and dinoflagellate cysts, including those of *Subtilisphaera* sp., *Spiniferites* sp., *Cometodinium?* sp., and *Odontochitina?* sp. These are the first records of *Cometodinium* and *Odontochitina* from the Romualdo Formation.

Within the section, the lower group, G1, which corresponded to the strata between 3.5 and 4.2 m, had a relative abundance of continental palynomorphs, including pollen grains of gymnosperms and angiosperms, spores, freshwater algae, and, to a lesser extent, dinoflagellate cysts, indicating a proximal marine paleoenvironment. The upper G2 group (4.4–6.0 m) had a lower percentage of continental palynomorphs, with a significant increase in marine palynomorphs, including the presence dinoflagellate cysts, which indicate a distal marine paleoenvironment. The shift between proximal and distal marine paleoenvironments, based on the relative contribution of marine palynomorphs, implies fluctuations in the distance from the shoreline and the depth of the water over the course of the deposition of the Romualdo Formation.

The sporomorph association observed in the section of the Serrolândia Mine shares certain similarities with the composition of the associations found in other sedimentary

basins in northeastern Brazil, such as the Potiguar (Alagamar Formation), Parnaíba (Codó Formation), Jatobá (Crato Formation), and Sergipe-Alagoas (Muribeca and Riachuelo formations) basins. These similarities are characteristic of the Aptian-Albian interval, and reflect the presence of predominantly warm paleoclimate, with conditions ranging from semi-arid to arid. This association is an indicator of the Northern Gondwana Province and *Dicheiropollis etruscus*/*Afropollis* Province, representing the typical paleovegetation of this time interval (Early Cretaceous), which was common at low latitudes.

Acknowledgments

We are grateful to PETROBRAS for its financial support of the “Projeto Araripe: Análise Paleoecológica e Bioestratigráfica do Albiano-Aptiano da Bacia do Araripe baseado em microfósseis carbonáticos e palinomorfos” (grant no. 2018/00305-0), and for providing a research scholarship to Josefa Nilmara L. Lacerda. We would like to thank Dr. Mitsuru Arai from Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) for his valuable contributions to the taxonomy of the dinoflagellate cysts, and the UFPE Paleontologia Lab (PALEOLAB) and all its members that contributed to the collection of samples in the field. We would also like to thank Stephen Ferrari for reviewing the English language of this manuscript. We are extremely grateful to the reviewers and the editor for their careful review of our manuscript.

REFERÊNCIAS

- ALVIN, K. L. Cheirolepidiaceae: biology, structure and paleoecology. **Review of Palaeobotany Palynology**, v. 37, p. 71-98, 1982.
- ANDERSON, M. J. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, p. 626–639, 2001.
- ANTONIOLI, Luzia. **Estudo palino-cronoestratigráfico da Formação Codó – Cretáceo Inferior do Nordeste brasileiro**. 2002. 265 f. Tese (Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia) - Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- ANTONIOLI, Luzia. **Estudo Palinológico da Seção Aptiana-Eoalbiana da Bacia do Ceará – Nordeste do Brasil: Sistemática, Bioestratigrafia e Paleoambientes**. 1998. 107 f. Dissertação (Mestrado em Análises de Bacia e Faixas Móveis) - Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- ARAI, M. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. **Brasilian Journal of Geology**, v. 44, n. 2, p. 339-350, 2014.
- ARAI, M.; ASSINE, M. L. Chronostratigraphic constraints and paleoenvironmental interpretation of the Romualdo Formation (Santana Group, Araripe Basin, Northeastern Brazil) based on palynology. **Cretaceous Research**, v. 116, p. 1-13, 2020.
- ARAI, M.; COELHO, P. S. M. Statistical analysis of palynological assemblages from the Aptian-Albian of the Araripe Basin, northeast Brazil: a case study of paleoenvironmental significance of Early Cretaceous terrestrial palynomorphs. **Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina**. v. 7, n. 1, 2001.
- ARAI, M.; COIMBRA, J. C. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). **Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste**, p. 225-239, 1990.
- ARAI, M.; LANA, C. C. Histórico do estudo de dinoflagelados fósseis no Brasil: sua relação com a evolução da exploração petrolífera no Cretáceo das bacias da margem continental. **Boletim de Geociências da Petrobras**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 175-189, 2004.
- ARARIPE, R. C.; LEMOS, F. A. P.; PRADO, L. A. C.; TOMÉ, M. E. T. R.; OLIVEIRA, D. H.; PEREIRA, P. A.; NASCIMENTO, L. R. S. L.; ASAKURA, Y.; NG, C.; VIVIERS, M. C.; BARRETO, A. M. F. Upper Aptian–lower Albian of the southern-central Araripe Basin, Brazil: Microbiostratigraphic and paleoecological inferences. **Journal of South American Earth Science**, v. 116, p. 1-17, 2022.
- ARARIPE, R. C.; OLIVEIRA, D. H.; TOMÉ, M. E. T. R.; MELLO, R. M.; BARRETO, A. M. F. Foraminifera and Ostracoda from the Lower Cretaceous (Aptian–Lower Albian) Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeast Brazil: Paleoenvironmental Inferences, **Cretaceous Research**, v. 122, p. 1-14, 2021.

- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociência da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- ASSINE, M. L. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 24, n. 4, p. 223-232, 1994.
- ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.
- ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 3-28, 2014.
- AZEMA, C.; BOLTENHAGEN, E. Pollen du Crétacé Moyen du Gabon attribué aux Ephédrales. **Paleobiol. Continet. Montpellier**, v. 5, n.1, p. 1-37, 1974.
- BALME, B. E. Spores and pollen grains from the Mesozoic of Western Australia. **Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization**, Coal Research Section, v. 25, p. 1-48, 1957.
- BAO, T.; WANG, B.; LI, J.; DILCHER, D. Pollination of Cretaceous flowers. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 49, p. 24707-24711. 2019.
- BATISTA, M. E. P.; MARTINE, A. M.; SARAIVA, A. Á. F.; LIMA, F. J.; BARROS, O. A.; SÁ, A. A.; LOIOLA, M. I. B. *Brachyphyllum*: State of the art and new data regarding *B. obesum*, the most representative fossil plant in the Araripe Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 110, p. 1-10, 2021.
- BENEDETTI, F.; ZAMALOA, M. C.; GANDOLFO, M. A.; CÚNEO, N. R. Water fern spores (Salviniales) from the Late Cretaceous of Patagonia, Argentina. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 290, 104428, 2021.
- BATTEN, D. J.; DUTTA, R. J. Ultrastructure of exine of gymnospermous pollen grains from Jurassic and basal Cretaceous deposits in Northwest Europe and implications for botanical relationships. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 99, p. 25-54, 1997.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; SUCERQUIA, P. A.; MOHR, B.; DINO, R.; ANTONIOLI, L.; GARCIA, M. J. Indicadores paleoclimáticos na paleoflora do Crato, final do Aptiano do Gondwana Norocidental. **Paleontologia: Cenários de Vida-Paleoclimas**, v. 5, p. 99-118, 2014.
- BEURLIN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, p. 411-415, 1971.
- BOM, M. H.; CEOLIN, D.; KOCHHANN, K. G.; KRAHL, G.; FAUTH, G.; BERGUE, C. T.; SAVIAN, J. F.; STROHSCHOEN JUNIOR, O.; SIMÕES, G.; ASSINE, M. L. Paleoenviromental evolution of the Aptian Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. **Global and Planetary Change**, v. 203, p. 1-11, 2021.

- BRENNER, G. J. Middle Cretaceous floral provinces and early migrations of angiosperms. In: BECK, C. **Origin and Early Evolution of Angiosperms**. Columbia University, Press, New York, p. 23-47, 1976.
- BRENNER, G. J. The spores and pollen of the Potomac Group of Maryland. **The Pennsylvania State University**, Maryland, p. 1-204, 1963.
- CAMPOS, C. C.; GARCIA, M. J.; DINO, R.; VEROSLAVSKY, G.; SAAD, A. R.; FULRARO, V. J. Palinomorfos da Formação Castellanos, na porção norte da Bacia de Santa Lúcia, Albiano do Uruguai. **Revista Universidade Guarulhos – Geociências**. v. 3, n. 6, p. 5-21, 1998.
- CARVALHO, M. A. Palinological assemblage from Aptian/Albian of the Sergipe Basin: Paleoenvironmental reconstruction, **Revista Brasileira de Paleontologia**. v. 7, n. 2, p. 159-168, 2004.
- CARVALHO, M. A.; LANA, C. C.; SÁ, N. P.; SANTIAGO, G.; GIANNERINI, M. C.; BENGTSON, P. Influence of the intertropical convergence zone on early cretaceous plant distribution in the South Atlantic. **Scientific Reports**, v. 12, 12600. 2022.
- CHAGAS, D. B.; ASSINE, M. L.; FREITAS, F. I. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 313-322, 2007.
- CHANG, Y. M. Accuracy of fossil percentage estimation. **Journal of Paleontology**, Tulsa, v. 4, n. 2, p. 500-502, 1967.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **PRIMER. v7: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth, p. 300, 2015.
- COIMBRA, J. C.; ARAI, M.; CARREÑO, A. L. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, Northeastern Brazil. **Geobios**, Paris, v. 35, n. 6, p. 687-698, 2002.
- CUSHING, E. J. Evidence for differential pollen preservation in Late Quaternary sediments in Minnesota. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 4, p. 87-101, 1967.
- CUSTÓDIO, M. A.; QUAGLIO, F.; WARREN, L. V.; SIMÕES, M. G.; FÜRSICH, F. T.; PERINOTTO, J. A. J.; ASSINE, M. L. The transgressive-regressive cycle of the Romualdo Formation (Araripe Basin): Sedimentary archive of the Early Cretaceous marine ingression in the interior of Northeast Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 359, p. 1-15, 2017.
- DAJOZ, R. **Ecologia geral**. 4ª ed., Petrópolis: Vozes, p. 472, 1983.
- DEJAX, Jean. **Une étude palynologique dans de Crétacé Inferieur du Congo**. 1987. 87 f. Thèse de Doctorat, Université Paris, Paris, 1987.
- DETTMANN, M. E. Upper Mesozoic microfloras from south-eastern Australia. **Proceedings of the Royal Society of Victoria**, v. 77, p. 1-148, 1963.

DETTMANN, M. E.; CLIFFORD, H. T. Biogeography of Araucariaceae. Australia and New Zealand forest histories: araucarian forests. **Australian Forest History Society Inc. Occasional Publication**, v. 2, p. 1-9, 2005.

DINO, Rodolfo. **Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia da Formação Alagamar-Cretáceo da bacia Potiguar, Nordeste do Brasil**. 1992. 90 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Universidade de São Paulo, 1992.

DOYLE, J. A. Cretaceous angiosperm pollen of the Atlantic Coastal Plain and its evolutionary significance. **Journal of the Arnold Arboretum**, v. 50, n. 1, p. 1-35, 1969.

DOYLE, J. A.; JARDINÉ, S.; DOERENKAMP, A. *Afropollis*, a new genus of early angiosperm pollen, with notes on the Cretaceous palynostratigraphy and palaeoenvironments of northern Gondwana. **Bulletin des Centre de Recherches Exploration-Production**, Elf-Aquitaine, n. 6, p. 39-117, 1982.

DUARTE, Sarah G. **História geológica e mudanças morfológicas nos esporos fósseis do tipo *Cicatricosisporites*, família Anemiaceae das bacias brasileiras desde o Mesozoico até o atual**. 2011. 339 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DUARTE, S. G.; ARAI, M.; WANDERLEY, M. D. Significado paleoambiental da família Anemiaceae no Cretáceo do Brasil: inferências a partir de dados palinológicos. **Revista do Instituto Geológico**. v. 33, n. 2, p. 1-12, 2012.

DUQUE, R. R.; PINHEIRO, F. L.; COUTINHO, D. L. C.; BARRETO, A. M. F. New pterosaur specimens with geographic and stratigraphic precedence from the Romualdo Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 127, 104408. 2023.

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M.; STAHL, D. **Cluster Analysis**, 5 ed., John Wiley & Sons, 2011.

FAUTH, G.; KERN, H. P.; MARTÍN, J. V.; MOTA, M. A. L.; SANTOS FILHO, M. A. B.; CATHARINA, A. S.; LEANDRO, L. M.; LUFT-SOUZA, F.; STROHSCHOEN JR., O.; NAUTER-ALVES, A.; TUNGO, E. J. F.; BRUNO, M. D. R.; CEOLIN, D.; FAUTH, S. B.; BOM, M. H. H.; LIMA, F. H. O.; SANTOS, A.; ASSINE, M. L. Early Aptian marine incursions in the interior of northeastern Brazil following the Gondwana breakup. **Scientific Reports**, v. 13, 6728. 2023.

FERREIRA, N. N.; FERREIRA, E. P.; RAMOS, R. R.; CARVALHO, I. D. S. Terrestrial and marine palynomorphs from deposits of the pull-apart rift of West Gondwana (Parnaíba Basin, northern Brazil): Biostratigraphy and relation to tectonic events. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 101, p. 1-42, 2020.

GOLDBERG, K.; PREMAOR, E.; BARDOLA, T.; SOUZA, P. A. Aptian marine ingression in the Araripe Basin: Implications for paleogeographic reconstruction and evaporite accumulation. **Marine and Petroleum Geology**, v. 107, p. 214-221, 2019.

GOMES, B. A.; PRADO, L. A. C.; BARRETO, A. M. F. New invertebrate sites and marine ingressions in the Romualdo Formation, Aptian-Albian, Araripe sedimentary basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 123, 2023.

HARRIS, A. J.; TOCHER, B. A. Palaeoenvironmental analysis of Late Cretaceous dinoflagellate cyst assemblages using high-resolution sample correlation from the Western Interior Basin, USA. **Marine Micropaleontology**, v. 48, n. 1-2, p. 127-148, 2003.

HART, G. F. Origin and classification of organic matter in clastic systems. **Palynology**, v. 10, n. 1, p. 1-23, 1986.

HAVINGA, A. J. Palynology and pollen preservation. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 2, p. 81-98, 1966.

HEIMHOFER, U.; HOCHULI, P. A. Early Cretaceous angiosperm pollen from a low-latitude succession (Araripe Basin, NE Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 161, n. 3-4, p. 105-126, 2010.

HERNEGREEN, G. F. W.; KEDVES, M.; ROVNINA, L. V.; SMIRNOVA, S. B. Cretaceous palynofloral provinces: a review. In: JANSONIUS, J.; MCGREGOR, D. C. Palynology: principles and applications. **American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation**, v. 3, p. 1157-1188, 1996.

HIEGER, T. J.; SERBET, R.; HARPER, C. J.; TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L.; GULBRANSON, E. L. Cheirolepidiaceae diversity: an anatomically preserved pollen cone from the Lower Jurassic of southern Victoria Land, Antarctica. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 220, p. 78-87, 2015.

HIRAI, R. Y.; PRADO, J. Selaginellaceae Willk. no Estado de São Paulo, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 23, p. 313-339, 2000.

HOFMANN, C. C.; SEYFULLAH, L. J. Lower Cretaceous Crato clay samples revisited: some new results from scanning electron microscope investigations of *Afropollis* pollen. **Grana**, v. 60, n. 3, p. 161-172, 2021.

HYDE, H. A.; WILLIAMS, D. A. Studies in atmospheric pollen. I. A daily census of pollens at Cardiff, 1942. **New Phytol**, v. 43, 1944.

LACERDA, J. N. L.; NASCIMENTO, L. R. S. L.; BARRETO, A. M. F. Paleoecology and Palaeoenvironmental Inferences Based on Palynomorphs from the Romualdo Formation (Lower Cretaceous) of the Araripe Basin, Serrolândia Mine, Pernambuco, Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 129, 104526, 2023.

LANA, C. C.; ROESNER, E. H. Biocronoestratigrafia de dinoflagelados da seção Cretácea marinha das Bacias do Ceará e Potiguar, margem equatorial brasileira. **Boletim do 6º Simpósio sobre o Cretácio do Brasil/2º Simposio sobre el Cretácico de América del Sur**, p. 239-245, 2002.

LIMA, F. J.; SARAIVA, A. A. F.; SAYÃO, J. M. Revisão da paleoflora das formações Missão Velha, Crato e Romualdo, Bacia do Araripe Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 22, p. 99-115, 2012.

LIMA, M. R. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). IV - descrição sistemática dos pólenes das turmas plicates e poroses, esporos, *incertae sedis* e microplankton marinho. **Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina**. v. 26, n. 1-2, p. 63-81, 1989.

LIMA, M. R. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). III. Descrição sistemática dos pólenes da turma Plicates (Subturma Costates). **Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina**. v. 17, n. 1, p. 15-47, 1980.

LIMA, M. R. Palinologia da formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). II. Descrição sistemática dos esporos da subturma zonotríletes e turma monolotes e dos pólenes das turmas saccites e aletes. **Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina**. v. 16, n. 1-2, p. 27-63, 1979.

LIMA, Murilo R. **Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)**. 1978. 397 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1978a.

LIMA, M. R. O paleoambiente deposicional da Formação Santana (Grupo Araripe) segundo evidências palinológicas. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia**. v. 2, p. 970-974, 1978b.

LIMA, M. R. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). Introdução geológica e descrição sistemática dos esporos da subturma Azonotríletes. **Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina**. v. 15, n. 3-4, p. 333-365, 1978c.

LIMA, M. R. O Gênero *Classopollis* e as bacias do nordeste do Brasil. **Ameghiniana: revista de la Asociación Paleontológica Argentina**, v. 13, n. 3-4, p. 226-234, 1976.

LIMA, Murilo R. **Contribuição palinológica a estratigráfica do Cretáceo do Nordeste do Brasil: análise da perfuração GSB, Serra Branca, PE**. 1971. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1971.

LOAIZA-RESTANO, A. M.; BICUDO, C. E. M. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil. Algas 40: Chlorophyceae (Hydrodictyaceae). **Hoehneae**. v. 41, n. 3, p. 353-364, 2014.

MABESOONE, J. M.; TINOCO, I. M. Paleoecology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology**, v. 14, p. 97-118, 1973.

MAISEY, J. G. **Santana fossils - An illustrated atlas**, New York, 459 p., 1991.

MARTILL, D. M.; BRITO, P. M.; WASHINGTON-EVANS, J. Mass mortality of fishes in the Santana Formation (Lower Cretaceous? Albian) of northeast Brazil. **Cretaceous Research**, v. 29, n. 4, p. 649-658, 2008.

- MASURE, E. Morphology of the dinoflagellate genus *Atopodinium* Durgg emend., sênior synonym of *Maghrebinia* below and *Bejuia* Stover & Williams. **Palynology**. v. 15, p. 63-80, 1991.
- MELO, R. M.; GUZMÁN, J. G.; LIMA, D. S. A.; PIOVESAN, E. K.; NEUMANN, V. H. M. L.; SOUSA, A. J. New marine data and age accuracy of the Romualdo Formation, Araripe Basin, Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-15, 2020.
- MENDES, M. M.; DINIS, J. L.; BALBINO, A. C.; PAIS, J. Bennettitales, Erdtmanithecates e Gnetales do Cretáceo Inferior da Bacia Lusitânica (litoral Centro-Oeste de Portugal): síntese e enquadramento estratigráfico. **Comunicações Geológicas**. v. 99, n. 1, 2012.
- MENDONÇA-FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; SILVA, T. F.; RONDON, N. F.; SILVA, F. S. Organic Facies: Palynofacies and Organic Geochemistry Approaches. In: PANAGIOTARAS, D., **Geochemistry – Earth's System Processes**, p. 211-248. 2012.
- MERTENS, K. N.; CARBONELL-MOORE, C. Introduction to *Spiniferites* Mantell 1850 special issue. **Palynology**. v. 42, n. 51, p. 1-9, 2018.
- MONTEIL, E. Revision of the dinoflagellate cyst genus *Cometodinium* Deflandre & Courteville, 1939, emend. Enantiomorphy in a fossil dinoflagellate cyst population. **Bulletin des Centres de Recherches Exploration-production Elf-Aquitaine**. v. 15, n. 2, p. 439-459, 1991.
- MULLER, J. Significance of fossil pollen for angiosperm history. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 419-443, 1984.
- NASCIMENTO, L. R. S. L. **Palinoestratigrafia e paleoecologia da sequência lacustre do Cretáceo Inferior, em Serra Negra-PE, Bacia Sedimentar do Jatobá, NE do Brasil**. 2013. 99 f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- NASCIMENTO, L. R. S. L.; TOMÉ, M. E. T. R.; BARRETO, A. M. F.; OLIVEIRA, D. H.; NEUMANN, V. H. Diagnóstico Palinoflorístico do Poço 2-JNS-01PE, Cretáceo Inferior, Bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 27, n. 1, p. 118-134, 2017.
- NEUMANN, V. H.; CABRERA, L. Una nueva propuesta estratigráfica para La tectonosecuencia post-rifte de La Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. In: Simpósio do Cretáceo Brasileiro, 5, Serra Negra. UNESP, **Boletim de Resumos**, p. 279-285, 1999.
- NEUMANN, V. H.; BORREGO, A. G.; CABRERA, L.; DINO, R. Organic matter composition and distribution through the Aptian–Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, northeastern Brazil. **International Journal of Coal Geology**, v. 54, n. 1-2, p. 21-40, 2003.
- PEARCE, M. A. New organic-walled dinoflagellate cysts from the Cenomanian to Maastrichtian of the Trunch borehole, UK. **Journal of Micropalaeontology**, v. 29, n. 1, p. 51-72, 2010.

PEREIRA, P. A.; CASSAB, R. C. T.; BARRETO, A. M. F. Paleoecologia e Paleogeografia dos moluscos e equinoides da Formação Romualdo, Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 40, n. 2, p. 180-198, 2017.

PFLUG, H. Zur Entstehung und Entwicklung des angiospermiden Pollens in der Erdgeschichte. **Paleontog. Abt. B, Stuttgart**, v. 95, n. 4-6, p. 60-171, 1953.

POCOCK, S. J.; JANSONIUS, J. The pollen genus *Classopollis* Pflug, 1953. **Micropaleontology**, v. 7, n. 4, p. 439-449, 1961.

PORTELA, H. A.; ANTONIOLI, L.; DINO, R.; GARCIA, M. J. Caracterização Palinoflorística e Paleoambiental da Formação Santana (Cretáceo Inferior), Poço 4-BO-1-PE, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 17, n. 3, p. 363-371, 2014.

POTONIE, R. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. II. Teil: Sporites (Nachträge), Saccites, Aletes, Praecolpites, Polyplicates, Monocolpites. **Beih. Geol. Jahrb.** Hannover, n. 31, p. 1-114, 1958.

POTONIE, R. Synopsis der gattungen der sporae dispersae. I. Teil: Sporites. **Beih. Geol. Jahrb.** Hannover, n. 23, p. 1-103, 1956.

REGALI, M. S. P. O gênero *Sergipea* e a sua estratigrafia no Eocretáceo do Brasil. 10 Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio de Janeiro, **Anais**, p. 615–623, 1987.

REGALI, M. S. P. O gênero *Afropollis*, Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982 e sua distribuição no Cretáceo do Brasil. 10 Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio de Janeiro. **Anais**, p. 625–635. 1987.

REGALI, M. S. P. Palinoestratigrafia dos sedimentos cretácicos das bacias do Araripe e das bacias interiores do Nordeste - Brasil. In: Barros, L. M.; Nuvens, P. C.; Filgueira J. B. M. 2001. Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. **Comunicações**, p.101-108, 2001.

RIOS-NETTO, A. M.; REGALI, M. S. P.; CARVALHO, I. S.; FREITAS, F. I. Palinoestratigrafia do intervalo Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 331-342, 2012.

SALES, Alexandre M. F. **Análise tafonômica das ocorrências fossilíferas de macroinvertebrados do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: significado estratigráfico e paleoambiental**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS, A.; HELENES, J.; CARVALHO, M. D. A. Late Cretaceous (early Turonian) dinoflagellate cysts from the Sergipe Basin, northeastern Brazil. **Palynology**, v. 43, n. 1, p. 151-173, 2019.

SEYFULLAH, L. J.; ROBERTS, E. A.; SCHMIDT, A. R.; RAGAZZI, E.; ANDERSON, K. B.; NASCIMENTO, D. R.; SILVA FILHO, W. F.; KUNZMANN, L. Revealing the diversity of amber source plants from the Early Cretaceous Crato Formation, Brazil. **BMC Evolutionary Biology**, n. 20, p. 1-22, 2020.

- SINGH, C. Lower Cretaceous Microfloras of the Peace River area, Northwestern Alberta. **Research Council of Alberta**, v. 28, n. 1-2, p. 540, 1971.
- SINGH, C. Microflora of the lower Cretaceous Mannville Group, east-central Alberta. **Research Council of Alberta**, v. 15, p. 129-134, 1964.
- SOMMER, M. G.; DEGANI-SCHMIDT, I.; MENDONÇA, J. O.; MENDONÇA FILHO, J. G.; LOPES, F. D. S.; SALGADO-CAMPOS, V. M. J.; ARAÚJO, B.; CARVALHO, I. S. Multidisciplinary approach as a key for paleoenvironmental interpretation in a Weichselia-dominant interval from the late Aptian Codó Formation (Parnaíba Basin, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 111, p. 1-17, 2021.
- SOUZA-LIMA, W.; SILVA, R. O. Aptian–Albian paleophytogeography and paleoclimatology from Northeastern Brazil sedimentary basins. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 258, p. 163-189. 2018.
- SRIVASTAVA, S. K. Ephedralean pollen from the Upper Cretaceous Edmonton Formation of Alberta (Canada) and their paleoecological significance. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 5, n. 2, p. 211-221, 1968.
- SRIVASTAVA, S. K. Microspores from the Fredericksburg Group (Albian) of the southern United States. **Paleobiol. Continent. Montepellier**, v. 6, n. 2, p. 1-119, 1975.
- STANCLIFFE, R. P. W. Microforaminiferal Linings: Their Classification, Biostratigraphy and Paleocology, with Special Reference to Specimens from British Oxfordian Sediments. **Micropaleontology**, v. 35, n. 4, p. 337-352, 1989.
- TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L.; KRINGS, M. **Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants**. Second Edition Academic Press, 2009.
- TEIXEIRA, M. C.; MENDONÇA FILHO, J. G.; OLIVEIRA, A. D.; ASSINE, M. L. Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): Caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental. **Revista do Instituto de Geociências-USP, Série Científica**, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 19-44, 2017.
- TIBCO Software Inc. **Data Science Workbench**, version 14, <http://tibco.com>, 2020.
- TRAVERSE, A. Paleopalynology. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 61, n. 15, p. 203-236, 1974.
- TRAVERSE, A. What Paleopalynology Is and Is Not. In: TRAVERSE, A. **Paleopalynology**: Second Edition. Topics in Geobiology. Springer, v. 28, p. 1-43. 2007.
- TYSON, R. V. Palynofacies analysis. In: JENKINS, D. J. **Applied Micropalaeontology**. Kluwer Academic Publishers, p. 153-191, 1993.
- TYSZKA, J.; GODOS, K.; GOLEŃ, J.; RADMACHER, W. Foraminiferal organic linings: Functional and phylogenetic challenges. **Earth-Science Reviews**, v. 220, 103726. 2021.

UESUGUI, N. Palinologia: Técnicas de tratamento de amostras. **Boletim Técnico da Petrobras**. Rio de Janeiro, v. 22, p. 229-240, 1979.

VAKHRAMEYEV, V. A. *Classopollis* pollen as an indicator of Jurassic and Cretaceous climate. **International Geology Review**, v. 24, n. 10, p. 1190-1196, 1982.

VALLEJO, J. D.; PIOVESAN, E. P.; CARVALHO, M. A.; GUZMÁN, J. Palynofacies analyses of Santana Group, upper Aptian of the Araripe Basin, northeast Brazil: Paleoenvironmental reconstruction. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, 104154. 2023.

VAN GEEL, B. Non-pollen palynomorphs. In: SMOL, J. P.; BIRKS, H. J. B.; LAST, W. M. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. **Kluwer Academic Publishers**, p. 99, 2001.

WODEHOUSE, R. P. Pollen Grains. McGraw-Hill, New York, NY, p. 574, 1935.

WOOD, S. E.; RIDING, J. B.; FENSOME, R. A.; WILLIAMS, G. L. A review of the *Sentusidinium* complex of dinoflagellate cysts. **Review of Palaeobotany and Palynology**. v. 234, p. 61-93, 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice Hall, p. 960, 2010.