

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

23/58 - Palinologia da Formação Romualdo, Aptiano da Bacia Sedimentar do Araripe,
NE do Brasil

Tamires de Sousa Silva

Monografia da disciplina Trabalho de Formatura (0440500)

Orientador: Paulo Eduardo de Oliveira

Coorientador: Guilherme Raffaeli Romero

São Paulo

2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Palinologia da Formação Romualdo, Aptiano da Bacia Sedimentar do Araripe, NE do
Brasil

Tamires de Sousa Silva

Monografia apresentada ao Instituto de
Geociências, curso de Geologia, para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira
Coorientador: Dr. Guilherme Raffaeli Romero

São Paulo

2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Palinologia da Formação Romualdo, Aptiano da Bacia Sedimentar do Araripe, NE do Brasil

Tamires de Sousa Silva

Orientador: Paulo Eduardo de Oliveira

Coorientador: Guilherme Raffaeli Romero

COMISSÃO JULGADORA

Prof^a. Dra. Maria Helena B. M. de Hollanda

Prof^a. Dra. Juliana Moraes Leme

Agradecimentos

Primeiramente agradeço àqueles que são a base da minha vida. Minha mãe Lindinalva, meu pai Daniel e minha irmã Thais. Agradeço por todo o carinho e suporte que me deram durante minha vida inteira. Não poderia deixar de agradecer ao Frederico, que se tornou da família, trazendo amor e alegria à vida de todos. Eu tenho o melhor cachorro do mundo.

Meus agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira e meu coorientador Dr. Guilherme Raffaeli Romero por tudo que me ensinaram durante os anos de pesquisa. Eles são responsáveis por grande parte do meu desenvolvimento acadêmico e realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer à Agência Nacional de Petróleo – ANP – pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho com auxílio a pesquisa para Iniciação Científica. Este trabalho também não seria possível sem a colaboração da professora Alcina Magnólia da Silva Franca pela coleta das amostras que foram processadas, e ao Ricardo da Silva Lôbo Nascimento, pelo auxílio no reconhecimento dos palinomorfos encontrados.

De todos os amigos que fiz durante a graduação, meu maior agradecimento vai ao Alessando (Pardal), que esteve ao meu lado durante todos os anos de graduação. Me dando apoio e me ensinando muito, sempre.

Por último, e não menos importante, um agradecimento especial à professora Lena Monteiro por todo o suporte e acolhimento durante momentos de fragilidade ao longo da graduação.

Resumo

A paleopalinologia estuda microfósseis de composição orgânica e contribui para reconstituição de paleoambientes e paleoclimas. Através da análise taxonômica e paleoecológica dos palinomorfos encontrados em duas sessões, Serra da Mãozinha e Sobradinho, objetivou-se contribuir com a reconstrução do paleoambiente da Formação Romualdo. Ao todo, foram processadas, de acordo com o protocolo padrão de análise palinológica, 32 amostras dos dois afloramentos, onde 9 amostras da seção Serra da Mãozinha não apresentam palinomorfos recuperados, enquanto na seção Sobradinho somente 4 não apresentam. As outras 19 amostras apresentaram boa recuperação, podendo contabilizar, no mínimo, 200 palinomorfos. Após a leitura das lâminas foi possível identificar 20 palinomorfos a nível de gênero: esporos e pólen de gimnospermas e angiospermas. A associação palinoflorística descrita para a Formação Romualdo na Bacia do Araripe, demonstra o predomínio de elementos de origem continental, com grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas, esporos de pteridófitas e alga *Botryococcus*. Ocorre, também, a presença de dinoflagelados, que corrobora com a tese de ingressões marinhas. Notou-se a abundância de gêneros adaptados a climas quentes, como *Equisetosporites*, *Cicatricosisporites*, *Crybelosporites* e *Classpollis*. Além do paleoclima, a identificação da espécie *Sergipea variterrucata*, restita ao Aptiano no Brasil, e sua associação com *Classpollis*, *Araucariacites* e *Afropollis* é possível datar o limite Aptiano-Albiano, através do desaparecimento desse palinomorfo.

Abstract

Paleopalynology studies microfossils with organic compositions and contributes to reconstructing paleoenvironments and paleoclimates. The objective of this study was to contribute to the reconstruction of the paleoenvironment of the Romualdo Formation through taxonomic and paleoecological analyses of palynomorphs found in two sections, Serra da Mãozinha and Sobradinho. In total, 32 samples from the two outcrops underwent processing following the standard palynological analysis protocol. Nine samples from the Serra da Mãozinha section showed no recovered palynomorphs, while only four from the Sobradinho section did not. The remaining 19 samples exhibited good recovery, amounting to at least 200 palynomorphs. Upon examining the slides, it was possible to identify 20 palynomorphs at the genus level, including spores and pollen of gymnosperms and angiosperms. The palinofloristic association described for the Romualdo Formation in the Araripe Basin indicates a predominance of elements of continental origin, with pollen grains of gymnosperms and angiosperms, spores of

pteridophytes, and the alga *Botryococcus*. The presence of dinoflagellates supports the marine ingressions thesis. This study noted the abundance of genera adapted to warm climates, such as *Equisetosporites*, *Cicatricosisporites*, *Crybelosporites*, and *Classopollis*. In addition to the information about paleoclimate, the presence of the guide species *Sergipea variverrucata*, which dates back to the Upper Aptian in Brazil, and its association with *Classopollis*, *Araucariacites*, and *Afropollis* enables suggests an Aptian-Albian age for this deposits.

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	JUSTIFICATIVA.....	8
3.	OBJETIVOS	10
3.1	OBJETIVOS GERAIS.....	10
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E TRABALHOS PRÉVIOS	10
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	12
5.1	AMOSTRAGEM	12
5.2	TRATAMENTO PALINOLÓGICO.....	13
5.3	OBSERVAÇÃO, FOTOMICROGRAFIA E CONTAGEM.....	13
6.	RESULTADOS	14
7.	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO	23
7.1	AFINIDADES BOTÂNICAS	25
7.1.1	ESPOROS TRILETES.....	25
7.1.2	GIMNOSPERMAS	26
7.1.3	ANGIOSPERMAS.....	27
7.1.4	FITOPLANCTONS.....	27
7.2	CRONOLOGIA.....	27
8.	CONCLUSÃO	28
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. Introdução

As bacias sedimentares da costa leste Brasileira foram originadas durante o estiramento crustal que culminou com a fragmentação do paleocontinente Gondwana, dando origem aos continentes sul-americano e africano (Portela, 2012). A Bacia do Araripe está inserida no contexto de abertura do Oceano Atlântico Sul (Rios-Netto, 2012), e é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste e com a história geológica mais complexa (Assine, 2007). Os processos tectônicos envolvidos na fragmentação do Gondwana causaram o estabelecimento de ambientes sedimentares muito diversificados passando por cenários desde flúvio-lacustre a deltaico, evaporítico e marinho aberto do Aptiano tardio ao Albiano tardio (Souza-Lima, 2018).

Dentre os vários grupos fósseis que podem ser utilizados como ferramenta bioestratigráfica o estudo dos palinomorfos tem se destacado por ser um importante *proxy* para entender os ambientes deposicionais e paleoclima (Martínez et al., 2008). Palinomorfos constituem um conjunto de microfósseis que contêm matéria orgânica facilmente identificável e preservada em depósitos sedimentares (Arai & Lana, 2004). A origem destes microfósseis é associada tanto a ambientes terrestres, como grãos de pólen, esporos e algas, quanto a ambientes marinhos, como dinoflagelados, acritarcos, quitinozoários, palinofaminíferos e escolecodontes. Estes microfósseis são conhecidos por sua notável diversidade biológica, bem como sua capacidade de dispersão e preservação em larga escala (Traverse, 1974; Arai & Lana, 2004) e desempenham um papel importante em estudos que abrangem áreas como paleoecologia, paleoclimatologia, paleobiogeografia e bioestratigrafia de bacias sedimentares (Lima, 1978; Carvalho, 2004; Arai, 2014).

Nas últimas décadas, a palinologia tem se destacado como uma ferramenta eficaz para a correlação bioestratigráfica e reconstruções paleoecológicas de bacias sedimentares (Simpson, 2019). Esta análise tem sido particularmente efetiva em sequências cretáceas de bacias marginais brasileiras (Bernardes-de-Oliveira et al., 2007; Nascimento 2013; Souza-Lima e Silva, 2018; Arai e Assine, 2020). A evolução durante o Albiano-Aptiano é coincidente com a fase pós-rifte da abertura do Oceano Atlântico Sul e, portanto, favoreceu a acumulação de matéria orgânica (Matos, 1992). Esta sedimentação compõe sucessões sedimentares com alto potencial gerador, cujo arcabouço estratigráfico e bioestratigráfico permanece pouco explorado (e.g. Teixeira et al., 2017; Arai e Assine, 2020).

Os litotipos aptianos da Formação Romualdo (Grupo Santana da Bacia do Araripe) são representados por estratos siliciclásticos e carbonatos esparsos, que

registram a ingressão marinha no Gondwana Oeste (Assine, 2020) e, segundo Custódio et al. (2017) incluem dois importantes intervalos fossilíferos: 1) um intervalo inferior composto por arenitos e folhelhos negros e concreções carbonáticas ricas em fósseis excepcionalmente bem preservados, associados a estágios de inundação máxima; e 2) um intervalo superior com carbonatos compostos por conchas, sobretudo de moluscos cujo conteúdo micropaleontológico e estratigráfico permanecem, ainda, pouco compreendido devido à escassez de dados de subsuperfície.

Em estudo recente, Arai e Assine (2020) a partir da análise de um afloramento de superfície da Bacia do Araripe atribuem à Formação Romualdo a idade Aptiana Superior, confirmada pela presença do palinomorfo *Sergipea variverrucata*, fóssil guia em bacias sedimentares brasileiras.

Portanto, o estudo vertical dos afloramentos é essencial para entender a estratigrafia e a bioestratigrafia da sucessão estratigráfica da Formação Romualdo e este Trabalho de Formatura apresenta os resultados sobre o conteúdo palinológico em duas sucessões, Serra da Mãozinha e Seção Sobradinho e apresenta uma discussão acerca do conteúdo encontrado.

2. Justificativa

A Formação Romualdo, Aptiano da Bacia do Araripe tem se destacado pelo alto grau de preservação conteúdo fossilífero (Prado et al., 2015, 2019; Assine et al., 2014). Como apontado no item acima, a conservação da matéria orgânica em sucessões siliciclastica apresenta potencial elevado quanto à preservação de microfósseis (Teixeira et al., 2017; Arai e Assine, 2020). Portanto este Trabalho de Conclusão de Curso visa refinar o conhecimento do conteúdo micropaleontológico destes depósitos. O Grupo Santana da Bacia do Araripe é uma das principais unidades paleontológicas do Brasil, incorporando um importante *Konservat-Lagerstatten* do Cretáceo (Arai e Assine, 2020). As suas formações inferiores são de idade Aptiana (125-113 Ma), porém existem diversas propostas bioestratigráfica para Formação Romualdo desde a década de 60 e ainda é muito debatida na literatura (Figura 1), sendo estendida até o Albiano (113- 100 Ma) por alguns autores (Custódio et al., 2017) (Figura. 1). O posicionamento estratigráfico e cronológico dessa formação é crucial para compreender o ingresso marinho no interior do NE brasileiro e a paleogeografia de Gondwana.

AUTHORS	CHRONOSTRATIGRAPHY	CRETACEOUS			
		LOWER		UPPER	
		APT	ALB	CEN	TUR
Beurlen	1963	[]			
Beurlen	1966	[]			
Mabesoone & Tinoco	1973	[]			
Lima	1978a		[]		
Berthou	1990		[]	[]	
Pons et al.	1990		[]	[]	
Regali	1990		[]		
Silva Santos	1991	[]			
Assine	1992		[]	[]	
Martill & Wilby	1993			[]	
Duarte & Silva Santos	1993	[]			
Maisey	1993		[]	[]	
Arai et al.	1997	[]	[]		
Coimbra et al.	2002	[]	[]		
Neumann et al.	2002	[]	[]		
Arai et al.	2004		[]		
Naish et al.	2004		[?]		
Manso & Hessel	2005		[]	[]	
Morais Neto et al.	2006		[]		
Martill	2007				[]
Assine	2007		[]		
Martill et al.	2008		[?]		
Heimhofer et al.	2008		[]		
Rios-Netto et al.	2012	[]			
Aureliano et al.	2014	[]	[]		
Pereira et al.	2015	[]	[]		
Custódio et al.	2017	[]			

Figura 1 – Compilação de diferentes idades do Cretáceo para a Formação Romualdo desde a década de 60. As idades propostas apresentam idades baseadas em bio e cronoestratigrafia (Arai & Assine, 2020).

Além disso, existe escassez de dados de subsuperfície para esta unidade, por isso o estudo vertical de afloramentos é essencial para entender a estratigrafia e bioestratigrafia da região. Os resultados e interpretações podem auxiliar na caracterização e identificação de sistemas deposicionais propícios a formação de rochas geradoras de hidrocarbonetos (e.g. petróleo).

3. Objetivos

3.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral é realizar o estudo palinológico da Formação Romualdo, a partir de duas seções estratigráficas, Serra da Mãozinha e Seção Sobradinho, envolvendo análises taxonomicas e paleoecológicas para contribuir para a reconstituição do paleoambiente durante o Cretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste- Brasil.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a identificação taxonômica de palinomorfos da Formação Romualdo;
- Analisar as características paleoecológicas da associação palinológica da Formação Romualdo nas seções analisadas e contribuir com o arcabouço de informações da Bacia do Araripe.

4. Fundamentação Teórica e Trabalhos Prévios

A Bacia do Araripe é uma bacia tipo rift datada do Cretáceo, cuja origem está associada a esforços distensivos concomitantes à abertura do Oceano Atlântico Sul. Esta bacia é a mais extensa dentre as bacias do nordeste do Brasil e a que apresenta um registro geológico mais complexo em seus aproximadamente 1500 metros de espessura (Figura 2). A Bacia do Araripe abrange os estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, com destaque para a Chapada do Araripe, uma feição geomorfológica alongada na direção E-W, com mergulho suave para oeste (Assine, 2007). Esta bacia é subdividida da base para o topo, nos grupos Vale do Cariri, Santana e Araripe (Assine et al., 2014).

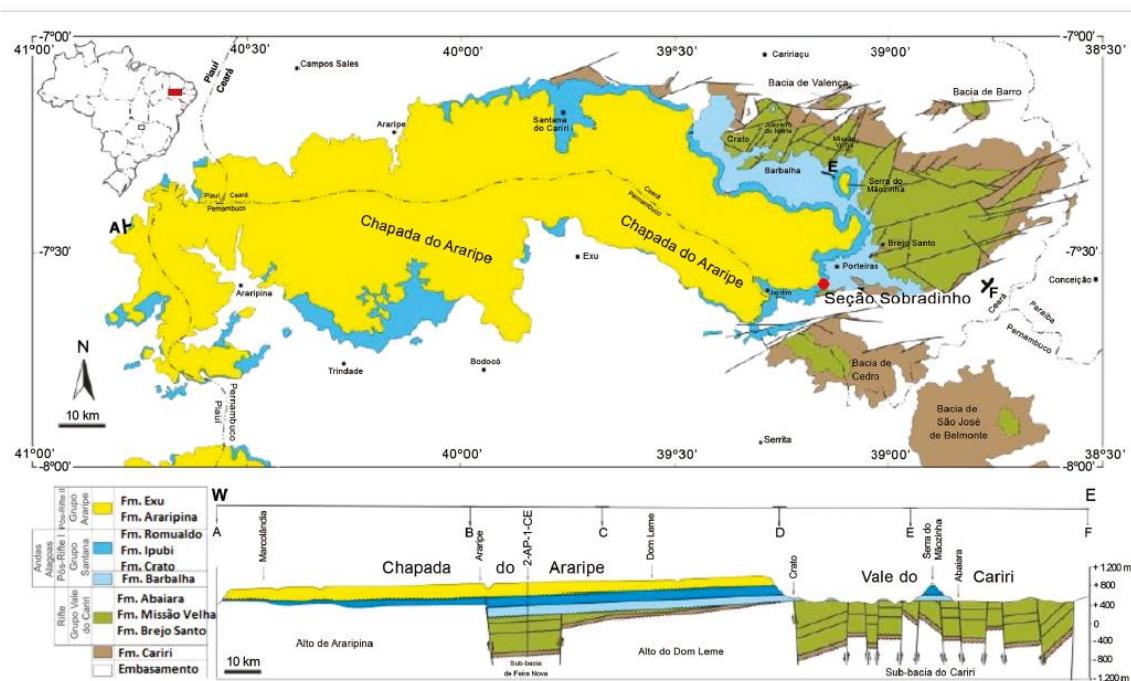


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Araripe com seção geológica e estratigrafia (Retirado de Assine, 2007)

O Grupo Santana representa o estágio pós-rifte I da Bacia do Araripe e pode ser subdividido nas formações Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo (Assine et al., 2014; Neumann e Assine, 2017). A Formação Romualdo, unidade estudada nesta pesquisa, é composta por depósitos marinhos siliciclásticos que podem chegar a 100 metros de espessura, com adelgaçamento progressivo em direção à borda oeste da bacia (Custódio et al., 2017; Varejão et al., 2019). Na sucessão à leste, a Formação Romualdo é constituída por dois ciclos transgressivo-regressivos: 1) o primeiro definido por folhelhos pretos com concreções carbonáticas ricas em fósseis excepcionalmente bem preservados, típicos de ambiente marinho parálico e relativamente profundo; e 2) o segundo ciclo é constituído por estratos delgados (<5 m), com carbonatos e rochas siliciclásticas ricas em concentrações de conchas de bivalves e gastrópodes, depositados sob condições de alta energia (Fürsich et al., 2019).

O conteúdo fossilífero da sequência siliciclástica é dominado por macrovertebrados, por vezes com a preservação de tecidos moles, incluindo peixes, dinossauros, crocodilos, tartarugas, além de ostracodes, crustáceos, decápodes e plantas (Assine, 1992; Assine et al., 2014; Batista et al., 2018; Prado et al., 2019).

As camadas carbonáticas, por sua vez, abrangem conchas de bivalves (bakeviliídeos, mitilídeos e corbulídeos), gastrópodes (cassiopodes, ceritiídeos e naticídeos), além de equinoides articulados e macroinvertebrados (Beurlen, 1971; Prado

et al., 2015; Pereira et al., 2017). Estas camadas são reconhecidas internacionalmente como um *Konservat Lagerstätte*, termo que reflete a sua impressionante diversidade e riqueza de fósseis em estado de preservação excepcional (Maisey, 1991). Dentro dessa diversidade fóssil, os microfósseis, especialmente os palinomorfos e ostracodes, têm sido alvo de extensos estudos devido aos seus níveis significativos de abundância e ampla distribuição (Lima, 1978; Arai & Assine, 2020; Bom et al., 2021; Araripe et al., 2022). Apesar de estudos desenvolvidos na macrofauna dos depósitos aptianos da Formação Romualdo estar em andamento desde o século XIX, o conteúdo micropaleontológico desta unidade ainda requer maior detalhamento. Arai e Assine (2020) identificaram a presença de palinomorfos do grupo *Sergipea variverrucata*, um fóssil guia do aptiano no Brasil, definindo sua idade máxima. Estes autores reconheceram pelo menos três níveis com palinomorfos marinhos (palinozona P-270), compostos por dinoflagelados, foraminíferos, além de uma tendência regressiva definida pelo aumento de grãos de pólens inaperturados em direção ao topo da Formação Romualdo. Condições deposicionais exclusivamente terrestres foram reestabelecidas posteriormente e caracterizam-se por depósitos fluviais da Formação Exu, que sobrepõe discordantemente a Formação Romualdo (Assine et al., 2014; Arai e Assine, 2020). Adicionalmente, a matéria orgânica dos folhelhos pretos é subdividida em dois grupos, cujo Carbono Orgânico Total (COT) varia de 0,31% a 11,25%. O primeiro grupo apresenta predominantemente matéria orgânica amorfa e derivada de tecidos vegetais de origem marinha, enquanto o segundo grupo inclui fitoclastos não-opacos e não-bioestruturados (Teixeira et al., 2017).

5. Materiais e Métodos

5.1 Amostragem

As amostras foram previamente coletadas em diferentes níveis estratigráficos da Formação Romualdo pela professora Prof. Dra. Alcina M. F. Barreto da Universidade Federal de Pernambuco. Ao todo foram coletadas 32 amostras, 16 delas no afloramento de Serra da Mãozinha, no município de Missão Velha (07 21'45" S, 39 05'56" W) com aproximadamente 37 metros de espessura e 16 no afloramento Sobradinho, no município de Jardim (07 34'18" S, 39 09'47" W) com aproximadamente 50 metros de espessura dominantemente composta por folhelhos pretos. Após passarem pelo tratamento palinológico descrito a seguir, foram confeccionadas 10 lâminas para cada amostra a serem observadas em microscópio óptico. O protocolo palinológico já realizado e leitura das lâminas ocorre no Laboratório de Micropaleontologia Setembrino Petri, do Instituto de Geociências (IGc-USP).

5.2 Tratamento Palinológico

O processo de tratamento palinológico tem por objetivo a liberação e posterior concentração dos palinomorfos contidos nos sedimentos. Para isso, foram utilizadas 50 g de sedimento de cada amostra coletada em um processo de ataques com ácido clorídrico (HCl) 37% e ácido fluorídrico (HF) 40%, de modo que o concentrado final consistirá em grãos de pólens, esporos e partículas orgânicas. O concentrado final foi colocado em lâminas para posterior análise em microscópio. Todo o processamento das amostras e confecção das lâminas foi feito como descrito em Nascimento, 2013 (fig. 3).

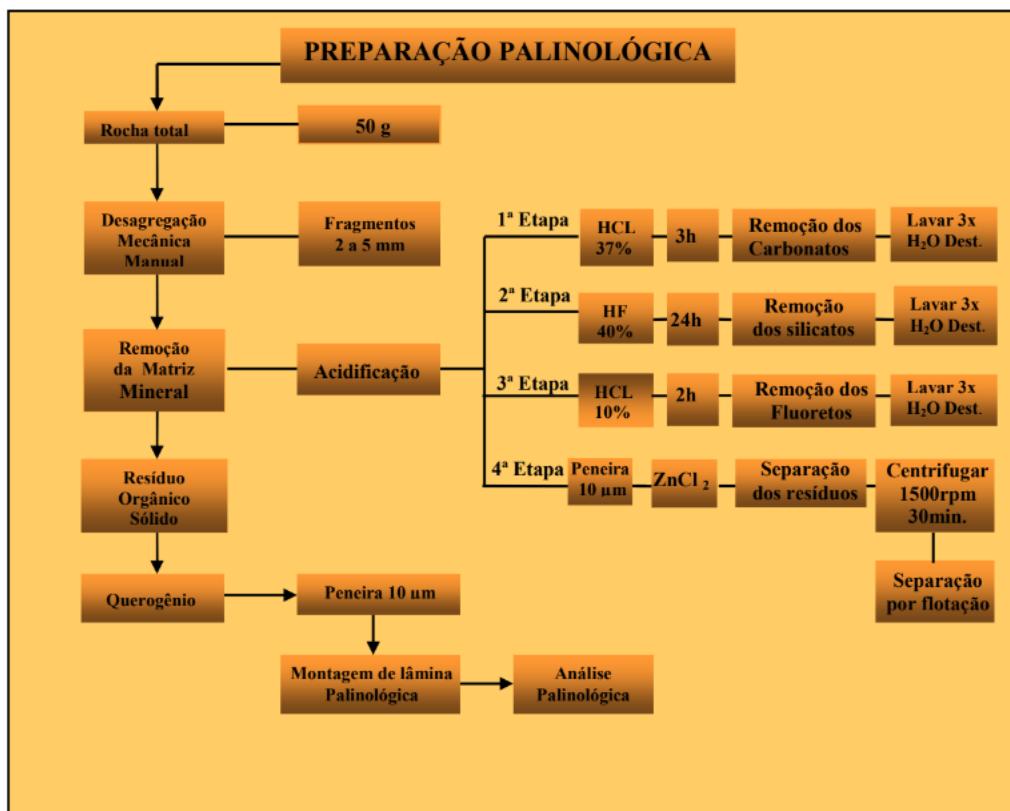


Figura 3 – Fluxograma da preparação palinológica (Nascimento, 2013).

5.3 Observação, Fotomicrografia e Contagem

Para análise qualitativa das lâminas, está sendo utilizada a microscopia óptica, com objetivas de 20x, 40x, e 63x, varrendo-as em sentido vertical consecutivos, a fim de registrar e fotomicrografar e identificar os palinomorfos.

A análise quantitativa se baseia na contagem dos 200 primeiros palinomorfos presentes nas amostras analisadas. Este procedimento tem como base as arguições de Chang (1967), na qual o autor evidencia que a contagem de 200 elementos, é estatisticamente representativa da população de palinomorfos, com uma margem de erro correspondente a 5% da população presente.

6. Resultados

O processo laboratorial resultou em um total de 160 lâminas oriundas de 16 amostras do afloramento localizado na Serra da Mãozinha (SM) e 160 lâminas oriunda de, também, 16 amostras do afloramento localizado em Sobradinho (SB).

Foram lidas lâminas de todas as 16 amostras do afloramento da Serra da Mãozinha e Sobradinho, sendo cada amostra de um nível estratigráfico distinto. Dentre os pontos amostrados em SM (Figura 4), 9 não possuem ocorrência de palinomorfos, sendo eles de 0,5 a 17,7m e de 38,5 a 42,5m, coincidentes com as porções mais arenosas do perfil. Enquanto em todas as outras amostras foram possíveis contabilizar a presença de mais de 200 palinomorfos nas lâminas. Dentre os pontos amostrados em SB (Figura 5), apenas 4 são estéreis, ou seja, não ocorre a presença de palinomorfos, são eles 0,2; 2,3; 41; 48 e 51m.

O conteúdo fóssil analisado é composto, predominantemente, por: grãos de pólen, esporos, cistos de dinoflagelados, matéria orgânica particulada e amorfada, fitoclastos translúcidos e opacos (com destaque para cutículas bem preservadas), alga *Botryococcus braunii* e elementos de origem *Incertae sedis*. Características tafonômicas como coloração e fragmentação são utilizados para identificar retrabalhamentos devido ao fato de os palinomorfos serem um dos grupos de fósseis com maior capacidade de preservação sem que ocorram mudanças em sua morfologia. A coloração marrom escura costuma indicar retrabalhamento em microfósseis, indicando que a atuação de processos erosivos e redepositionais em depósitos mais recentes, diferente do material *in situ* que apresenta uma cor marrom clara.

É comum observar microfósseis retrabalhados na Formação Romualdo e em outros extratos cronocorrelatos devido a transgressão marinha do Aptiano da fase pós-rifte da abertura do Oceano Atlântico Sul que originou os extratos desta formação. Diferentes trabalhos (e.g. Nascimento, 2013; Coimbra et al., 2002) indicam a presença de táxons do Devoniano, provavelmente originários da Formação Pimenta, na Formação Romualdo, porém, neste trabalho, acritarcos como *Maranhites* sp. e *Veryachium* sp. não foram observados.

A matéria orgânica amorfada difere do resto do material observado pelo seu caráter não estruturado, indicando assim degradação da matéria orgânica, impedindo sua classificação (Figura 6). Os fitoclastos opacos são caracterizados por bloquear a passagem de luz transmitida do microscópio óptico e são representados por fragmentos de coloração preta e opacos que apresentam forma quadrática (equidimensional) e

retangular (alongada) com contornos bem definidos e margens angulares, de modo que este aspecto é atribuído à oxidação e/ou carbonização deste material antes de sua deposição. Por sua vez, os fitoclastos translúcidos são abundantes nas amostras de argilito e apresentam uma coloração que varia de amarelo claro para marrom claro, com contornos bem definidos, pode-se observar estruturas celular (parede celular circular) e aqui são classificados como fragmentos do tecido cuticular da epiderme de folhas vegetais superiores. Em uma amostra, também foram encontrados fragmentos de traqueídes. As cutículas são atribuídas à *Pseudofrenelopsis* sp. (Família Cheirolepidiaceae) – a mesma família do gênero *Classopollis*, o microfóssil mais abundante deste estudo. A preservação de fitoclastos é seletiva, isto é, refletem condições de seu transporte e deposição. Autores como Tyson (1993) e Mendonça Filho (1999) relacionam o: 1) o potencial de preservação elevado de tecidos com lignina, 2) condições óxidas, e 3) natureza proximal ou distal das fácies com a abundância e o tipo de fitoclasto observado no registro palinológico. Ressalta-se que o gênero *Pseudofrenelopsis spp* é um gênero xeromórfico, adaptado a ambientes de estresse hídrico que condiz com o paleoambiente árido a semiárido com concentração salina alta sugerido para a Formação Romualdo e é um gênero comum do Cretáceo Inferior, principalmente no Aptiano-Albiano.

SM - 2019

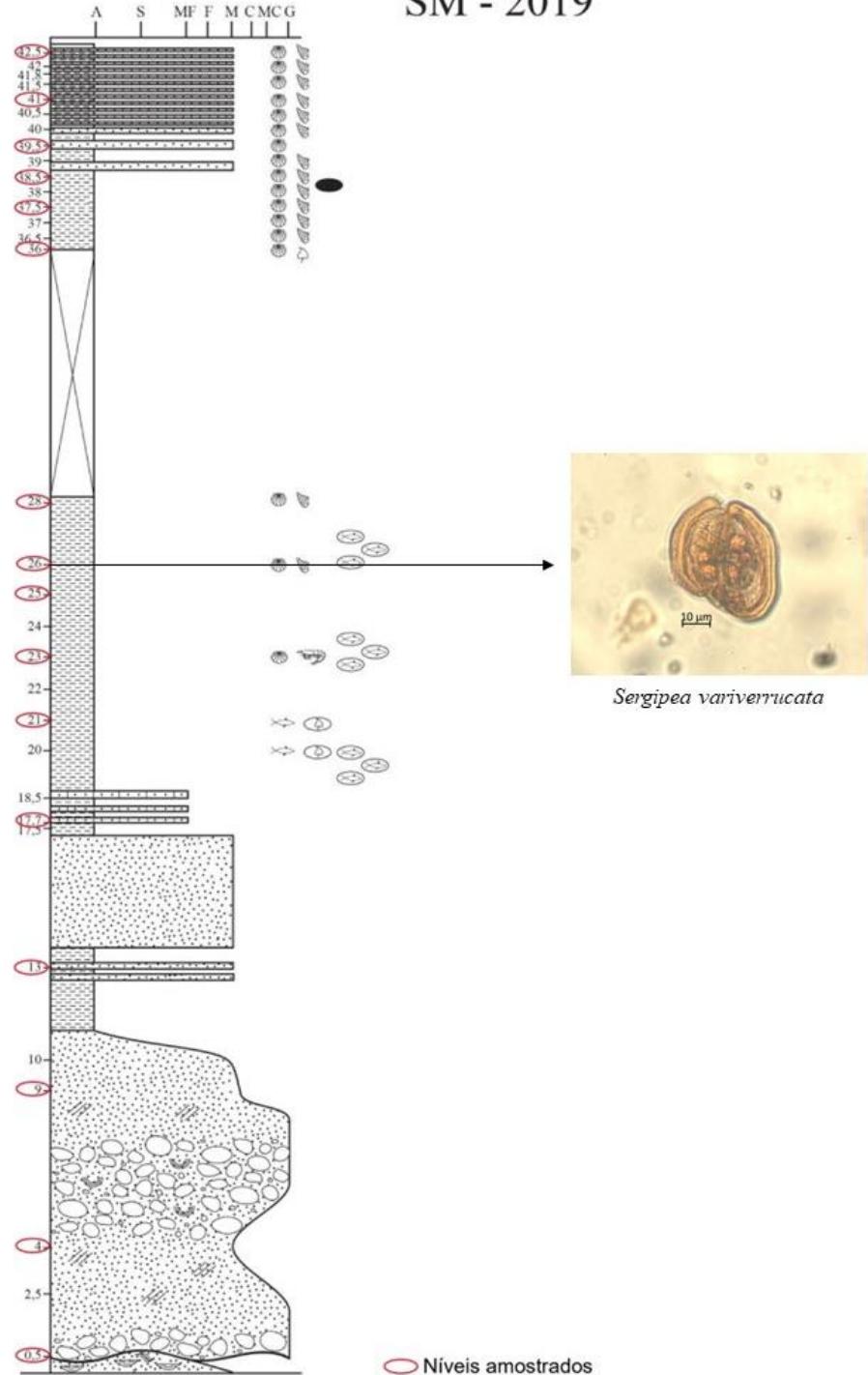


Figura 4 – Perfil do afloramento Serra da Mãozinha destacando os níveis que foram amostrados para processamento e onde foi encontrado palinomorfos da espécie *Sergipea variverrucata*. Níveis amostrados circulados em vermelho.

SB - 2019

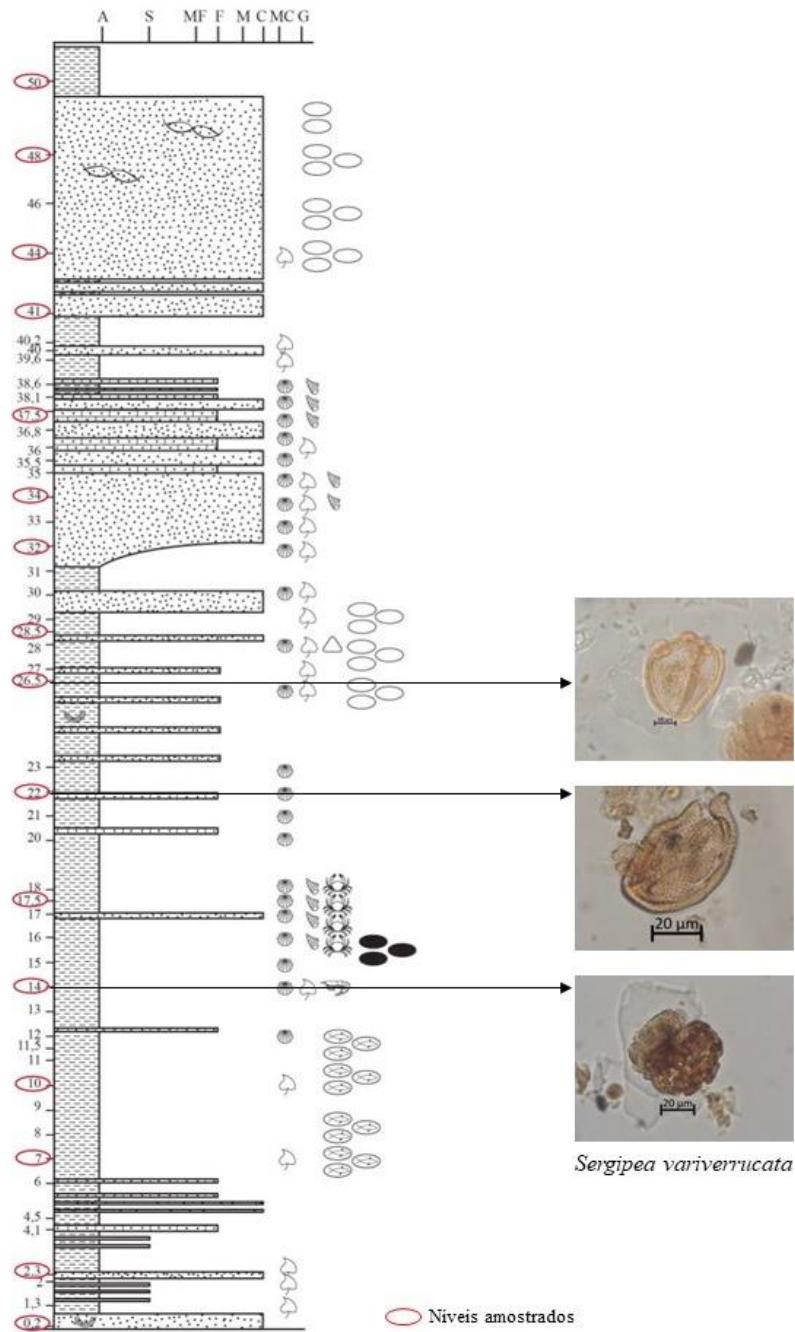


Figura 5 – Perfil do afloramento Sobradinho destacando os níveis que foram amostrados para processamento e onde foi encontrado palinomorfos da espécie *Sergipea variverrucata*. Níveis amostrados circulados em vermelho.



Figura 6 – Palinofácies observadas na Fm. Romualdo. A) Fitoclastos opacos de forma quadrática; B) Matéria orgânica amorfa; C e D) Fitoclastos translúcidos, cutículas de gimnospermas coníferas *Pseudofrenelopsis* sp. (Família Cheirolepidiaceae). Notar estômatos bem preservados.

Nas sucessões estudadas na Formação Romualdo, entre os grãos de pólens e esporos, existe um domínio do gênero *Classopolis* (Pflug, 1953) (gimnospermas, Família Cheirolepidiaceae), que chega muitas vezes a 80% das contagens e ocorre em todos os níveis fossilíferos. As espécies identificadas neste trabalho foram *Classopolis brasiliensis* (Herngreen 1975), *Classopolis alexi* (Burger, 1965), *Classopolis torosus* (Burger, 1965) e *Classopolis classoides* (Fensome, 1983), além de pólen que foi possível classificar até gênero, denominados *Classopolis* spp. (Figura 7). A origem destes fósseis é sugerida como pertencente a plantas similares as que habitam mangues atualmente e a presença de *Classopolis* é considerada um proxy de proximidade com ambiente costeiro. Para o afloramento SB, a abundância destes fósseis em argilitos sugere que a deposição destas fácies estava próxima da linha de costa e sugere clima quente e seco nesta região. A associação de *Classopolis* com cistos de dinoflagelados e foraminíferos (palinomorfos marinhos) em outros afloramentos da Formação Romualdo sugerem condições marinhas rasas para os depósitos do membro inferior desta formação (Arai & Assine, 2020).

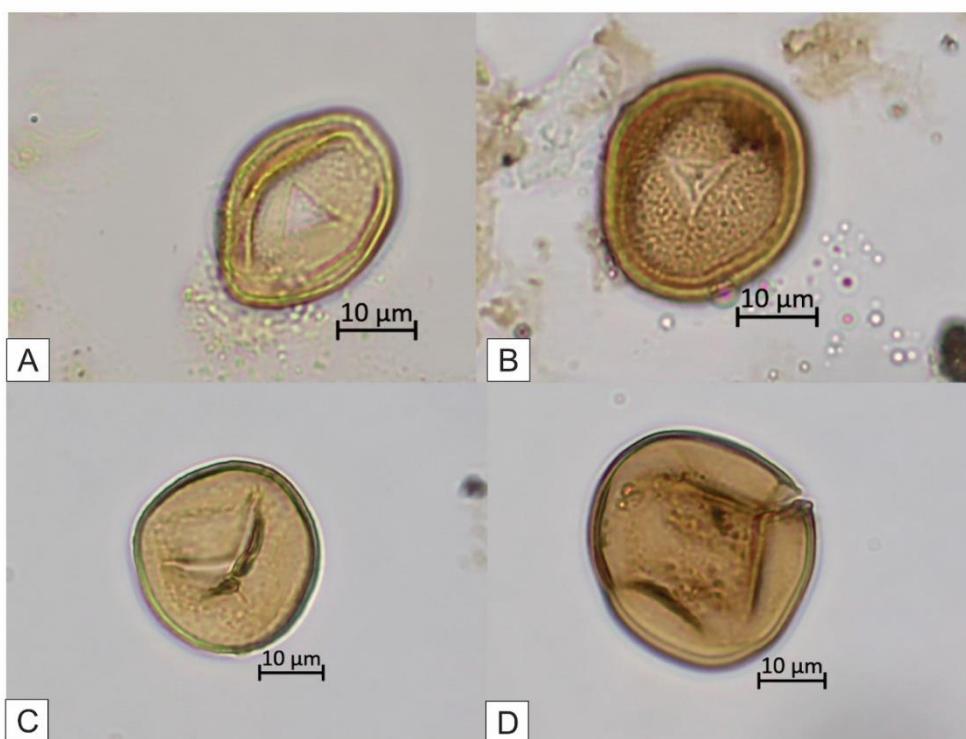


Figura 7 – *Classopolis* sp., Família Cheirolepidiaceae, principal gênero de palinomorfos da Fm. Romualdo. A) *Classopolis tortuoso*, B) *Classopolis classoides*, C) *Classopolis alexi*, D) *Classopolis brasiliensis*.

A palinoflora analisada é similar a outros trabalhos em que foram descritas da Formação Romualdo. Ao todo, foram descritos 18 taxons, sendo representados por cerca de 5% de esporos, 90% de gimnospermas, 1% de angiospermas e 4% de fitoplanctons. A ocorrência dos palinomorfos no afloramento SM está representado na (Tabela 1) e do afloramento SB na (Tabela 2).

Entre os táxons menos abundantes nos resíduos palinológicos do afloramento AS se destaca a *Araucariacites* sp. (Cookson, 1947) (família Araucariaceae) que assim como o gênero *Classopolis* é uma gimnosperma conífera. Os grãos de pólen monossacados observados deste gênero são inaperturados, de âmbito circular com dimensões elevadas e são observados dobrados. Este gênero é frequente em sucessões jurássicas e cretáceas e comumente está associado a climas temperados e mais úmidos, relativos a áreas mais elevadas.

Além dos táxons acima relatados a assembleia de microfósseis é composta pólens e esporos de: *Cicatricosisporites brevilaesuratus* (Kemp, 1970) (Família Schizeaceae) que são esporos triletos ornamentados de pteridófitas que estão associados a climas quentes e úmidos; *Bennettitaepollenites regale* (Dino, 1994) (família Cycadaceae) que são do grupo monocolpado, fóssil associado a gimnospermas

de clima tropical e quente. *Equisetosporites* sp. (Dauguerty, 1941) (família Ephedraceae) do grupo do poliplicados, são gimnospermas com características xerofíticas, plantas características de clima árido; *Apiculatisporis* sp. (Burger, 1994) (família Polypodiaceae) que são esporos triletes associados a samambaias; *Eucomidites troedssonii* (família Ephedraceae); *Klukisporites foveolatus* (Pocock, 1964) (família Schizeaceae) que são esporos de pteridófitas que ocorrem em clima tropical e subtropical; *Leptolepidites* sp. (Couper, 1953) (família Selaginellaceae) que são esporos trilete com âmbito triangular até subcircular e ornamentação por verrugas que compõem pteridófitas típicas de clima tropical e subtropical; *Echinatisporis longechinus* (Krutzsch, 1959)(família Elaginellaceae) que são pteridófitas de clima tropical a subtropical; *Crybelosporites pannuceus* (Brenner), Srivastava, 1975 (família Lycopodiaceae) que são esporos de pteridófitas de clima tropical a subtropical; *Deltoidospora* sp. (Miner, 1935) (família Cyatheaceae) que são triletes lisos de pteridófitas que ocorrem em clima tropical a subtropical; *Crybelosporites pannuceus* (Brenner), Srivastava, 1975 (família Lycopodiaceae) triletes perisporados de pteridófitas associados a climas quentes; *Appendicisporites bifurcatus* (Weyland and Greifeld, 1953) (família Schizeaceae) , esporos de pteridófitas de clima tropical a subtropical; *Gnetaceaepollenites* sp. (Thiergart, 1938) (família Gnetaceae), grãos de pólen monocolpados de gimnospermas associados a clima tropical.

Divisão	Nível da abundância	0,5	4	9	13	17,7	21	23	25	26	28	36	37,5	38,5	39,5	41	42,5
Esporos – Pteridófitas ou Briófitas	Acritarca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0
	<i>Cicatricosisporites</i> spp.	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	7	12	3	0	0	0
	<i>Cybelosporites pannuceus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Cyathidites australis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	14	3	0	0	0	0
	<i>Deltoidospora</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	1	0	0	0	0	0
	<i>Klukisporites</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0
Pólen - Gimnosperma	<i>Araucariacites</i> spp.	0	0	0	0	0	1	11	22	11	22	10	39	0	0	0	0
	<i>Bennettitaepollenites</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	3
	<i>Classopolis</i> spp.	0	0	0	0	0	215	196	248	194	215	161	234	23	0	79	26
	<i>Equisetosporites</i> spp.	0	0	0	0	0	1	4	0	3	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Eucommiidites troedssonii</i>	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0
	<i>Gnetaceaepollenites jansonii</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	3	2	0	0	0	0
	<i>Schisosporis parvus</i>	0	0	0	0	0	0	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Sergipea variverrucata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pólen - Angiosperma	<i>Afropollis jardinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	12	0	0	0	0	0
	<i>Stellatopollis</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0
Fitoplâncton	<i>Botryococcus braunii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	7	0
	Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0	5	3	4	0	22	7	0	10	0	0

Tabela 1 – Relação dos palinomorfos encontrados no afloramento SM e suas respectivas quantidades.

Divisão	Nível da abundância	0,2	2,3	7	10	14	17	22	26,5	28,5	32	34	37,5	41	44	48	51
Esporos – Pteridófitas ou Briófitas	Acritarca	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Cicatricosisporites</i> spp.	0	0	0	0	5	9	9	19	21	22	3	3	0	0	0	0
	<i>Crybelosporites pannuceus</i>	0	0	0	0	7	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Cyathidites australis</i>	0	0	0	0	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Deltoidospora</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Klukisporites</i> spp.	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0
	<i>Leptolepidites major</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	<i>Pilosporites trichopapillosum</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Pólen – Gimnosperma	<i>Antulsporites baculatus</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Araucariacites</i> spp.	0	0	17	7	12	15	9	22	42	39	22	29	0	42	0	0
	<i>Bennettitaepollenites</i> spp.	0	0	2	2	2	0	3	4	0	0	2	3	0	0	0	0
	<i>Callialaspores segmentatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Classopolis</i> spp.	0	0	192	202	188	197	191	190	159	192	225	246	0	160	0	0
	<i>Equisetosporites</i> spp.	0	0	0	0	0	0	6	0	5	3	0	0	0	5	0	0
	<i>Eucommiidites troedssonii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	3	4	0	0	0	0
	<i>Gnetaceaepollenites jansonii</i>	0	0	0	0	6	7	9	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	<i>Schisoporites parvus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
	<i>Sergipea variverrucata</i>	0	0	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pólen – Angiosperma	<i>Afropollis jardinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	13	6	0	0	0	0	0	0
	<i>Stellatopollis</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
Fitoplâncton	<i>Botryococcus braunii</i>	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	8	1	0	0	0	0
	Dinoflagelados	0	0	5	0	3	4	7	0	0	0	24	24	0	3	0	0

Tabela 2 – Relação dos palinomorfos encontrados no afloramento SB e suas respectivas quantidades

7. Interpretação e Discussão

Arai & Assine (2020) sugerem que posicionar a Formação Romualdo no Aptiano corrobora a proposta de sincronicidade de eventos em bacias marginais brasileiras, como a transgressão marinha Aptiana que gerou os depósitos da Bacia do Araripe. Recentemente depósitos desta idade têm se mostrado particularmente importantes para a indústria do petróleo devido à descoberta de reservatórios de hidrocarbonetos em sequência Aptianas do Pré-Sal em território brasileiro (e.g. Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo). A Formação Romualdo é caracterizada por um ciclo transgressivo-regressivo, limitado por duas discordâncias. De acordo com Custódio et al. (2017), esta unidade é subdivida nas associações de fácies: 1) planície aluvial costeira, exibindo arenitos conglomeráticos com estratificações cruzadas acanaladas e conglomerados polimíticos, além de fácies heterolíticas e folhelhos negros, que demarcam depósitos lagunares; 2) depósitos costeiros dominados por maré, com a intercalação de arenitos estratificados e folhelhos contendo fósseis de plantas carbonizadas, bivalves e gastrópodes; 3) plataforma marinha interna, definida por folhelhos pretos ricos em fósseis de bivalves, gastrópodes e camarões, calcários bioclásticos, com estratificação cruzada *hummocky*; 4) plataforma interna a externa, composta por folhelhos pretos com concreções ricas em macrofósseis e TOC $\leq 13\%$, além de camadas ocasionais de calcário com estratificação cruzada *hummocky*; e 5) fácies marinhas dominadas por ondas, constituídas por calcários ricos em conchas, principalmente moluscos e equinoides. Este arcabouço estratigráfico é agrupado nos tratos de sistema transgressivo e de mar alto.

Na porção leste da Bacia do Araripe, os estratos da Formação Romualdo compõem a 3^a sequência deposicional pós-rift e são subdivididos em depósitos dominados por maré e sistemas aluviais costeiros, sobrepostos por estratos marinhos transgressivos e fácies marinhas a costeiras que demarcam uma regressão. Este intervalo foi marcado por relativa quietude tectônica (Assine et al., 2014). A fase transgressiva da Formação Romualdo exibe dois intervalos fossilíferos importantes, o intervalo basal contém folhelhos pretos com concreções carbonáticas que hospedam fósseis excepcionalmente bem preservados, compondo um *Konservat Lagerstätten*, e uma porção superior, composta por camadas ricas em conchas de moluscos e carbonatos fossilíferos (Martill et al., 2007; Custódio et al., 2017). A zona de inundação máxima é posicionada em folhelhos pretos ricos em concreções fossilíferas e palinomorfos marinhos (Assine, 1992; Custódio et al., 2017). A sucessão regressiva

exibe a transição de fácies marinhas profundas para fácies de águas rasas e fluviais, diminuição no COT, surgimento de palinomorfos continentais, aumento no teor de fitoclastos, aumento no suprimento sedimentar e de influxo de água doce (Custódio et al., 2017). Custódio et al. (2017) definem uma geometria em cunha para a sucessão, com mergulho em direção ao sudeste, e áreas fonte em direção ao norte da bacia. Muitos autores divergem em relação à paleogeografia da Bacia do Araripe durante o Aptiano, citando conexões com o paleooceano Tethys e/ou bacias adjacentes (e.g. Arai, 2014), contudo, as evidências mais expressivas baseadas em análises faciológicas e de paleocorrentes indicam ingressão marinha a partir do SSE.

A interação entre picos em gases *greenhouse, degassing* vulcânico e a quebra de massas continentais extensas, resultaram em modificações nos padrões de circulação atmosférica e na circulação de calor nos oceanos. Estes fatores são entendidos como as principais causas do aumento de temperatura ocorrido durante o Mesozoico. Condições climáticas quentes foram particularmente comuns durante o Cretáceo, atingindo até áreas polares (Hay, 2008). O Modelo Global de Circulação (*Global Circulation Model – GCM*) para o Cretáceo Superior estima que as temperaturas sobre o Gondwana Oeste atingiram de 30°C a 36°C em média, com pico durante o Máximo Térmico Cretáceo (Sellwood and Valdes, 2006; Huber et al., 2018). Simultaneamente, reconstruções paleoclimáticas indicam precipitação sazonal e uma ampla zona com altas taxas de evaporação, estendendo-se desde a linha do Equador até latitudes de 30°S (Sellwood and Valdes, 2006; Fluteau et al., 2007). O estabelecimento de condições áridas nesta região resultou em paleodesertos extensos ao longo de zonas costeiras e intracontinentais da Plataforma Sulamericana e a margem oeste da Placa Africana (Torsvik and Cocks, 2013; Holz, 2015).

Para o Aptiano, as bacias sedimentares da margem leste brasileira podem ser subdivididas nas etapas: pré-evaporíticas, evaporíticas e pós-evaporíticas. Modificações climáticas de longo prazo são controladas, principalmente, por ciclos orbitais, mudanças na paleolatitude e/ou reorganizações de paleocontinentes (Clemmensen et al., 1994; Rodríguez-López et al., 2008). Ademais, volumes significativos de CO₂ e o consequente aquecimento da temperatura global foram, provavelmente, afetados pela abertura e expansão de bacias oceânicas ao longo das dorsais atlânticas (Poulsen et al., 2003; Fluteau et al., 2007; Holz, 2015). Contudo, Carvalho et al. (2022) atestam que variações no teor de umidade ocorreram ao longo do Aptiano (121.4 a 113.2 Ma), com especial efeito sobre a flora. Estes autores interpretam que um cinturão úmido na América do Sul surgiu apenas durante o Albiano (100.5 a 113.2 Ma), de forma similar à Zona de Convergência Intertropical, simultaneamente ao estabelecimento de condições

marinhas no Oceano Atlântico. Neste sentido, a palinozona A (Neo-Aptiana) é caracterizada pela espécie *Araucariacites australis*, além de esporos do gênero *Cicatricosisporites*, *Klukisporites* e *Leptolepidites*, a alga generalista *Botryococcus*, fragmentos e cutículas vegetais, demonstrando o predomínio de condições climáticas tropicais a subtropicais. A transição para o superior da palinozona A é definido pela extinção local de *Inaperturopollenites turbatus* e pelo surgimento do fóssil guia *Sergipea variverrucata*, também típicos de climas tropicais a subtropicais. Este arcabouço bioestratigráfico demonstra que as exposições do afloramento Sobradinho são fundamentais para compreender as condições climáticas predominantes durante o Aptiano e o estabelecimento de condições mais úmidas na transição Aptiano-Albiano.

A ocorrência de *Botryococcus braunii* associada a cutículas, com cistos de dinoflagelados e palinomorfos, indica que o ambiente de deposição desta sucessão era continental lacustre (marinho proximal), com águas calmas, indicadores de água doce e dinoflagelados associados com condições marinhas. A abundância das diferentes espécies do gênero *Classopollis* associadas a cutículas de *Pseudofrenelopsis*, da mesma família, fortalece esta argumentação, sugerindo que o sítio deposicional dos afloramentos estudados neste trabalho foram depositados em uma zona de proximidade da costa em clima seco e quente. A presença de *Botryococcus braunii* é, ainda, relevante para a indústria do petróleo pois esta alga está intimamente relacionada, através da biossíntese, na produção de hidrocarbonetos no tempo geológico, sendo um dos principais contribuintes para a formação de petróleo no Pré-Cambriano e Cambriano.

7.1 Afinidades Botânicas

As afinidades botânicas e dados ecológicos são dados com base em Dino (1992); Antonioli (1998); Portela (2008).

7.1.1 Esporos Triletes

Família Cyatheaceae – Inclui a maioria das samambaias arborecentes, com ampla dispersão no hemisfério sul. Seus representantes são conhecidos desde o Jurássico. São encontradas em locais úmidos, sombrios e em ambientes de florestas montanhosas e em regiões de clima tropical a subtropical. É representada pelos gêneros *Cyathidites* e *Deltoidospora*.

Família Lycopodiceae – Os representantes desta família são de pequeno porte, terres, rupícolas ou epífitas, que se desenvolvem em ambientes úmidos e sombreados. É amplamente distribuído em regiões temperadas e árticas, assim como nas florestas tropicais da América do Sul. Nesta associação é representada pelo gênero *leptolepidites*.

Família Marseliaceae – Representada pelo gênero *Crybelosporites*, possuem porte herbáceo com hábito de vida aquático ou semiaquático, que se desenvolve nas margens de lagoas, rios ou submersos em águas rasas.

Família Schizeaceae – São de porte herbáceo e habitam regiões tropicais e subtropicais. Seus representantes são conhecidos desde o Carbonífero superior e está representado pelos gêneros *Cicatricosisporites*, *Klukisporites* e *Pilosisporites*.

Família Selaginellaceae – São representantes herbáceos ou 26pifítico e seu representante ocorre desde o Devoniado superior. Distribui-se em regiões tropicais, com preferência para áreas sombreadas, úmidas, taludes e rochas úmidas.

7.1.2 Gimnospermas

Família Araucariaceae – São plantas arbóreas de grande porte, com preferências para regiões frias. Está representada pelos gêneros *Callialasporites* e *Araucariacites*.

Família Cheirolepdaceae – Plantas coníferas extintas, conhecidas apenas no Mesozoico, apresentavam ampla diversidade e eram representadas por elementos de porte arbóreo de altura a pequenas ervas ou arbustos. Ocorria em regiões montanhosas próximas a regiões costeiras ou pantanosa e adaptadas a climas áridos e semiáridos. Seu representante é o gênero *Classopollis*, sendo o mais comum e abundante entre as bacias sedimentares do Cretáceo do Brasil.

Família Cycadaceae – Grupo recente de gimnospermas, seus primeiros registros são do Devoniano, tendo seu ápice de irradiação durante o Mesozoico (Triássico e Jurássico). São plantas arbóreas, com folhas semelhantes às das palmeiras. Se desenvolvem em diferentes habitats, tanto em florestas tropicais, quanto subtropicais. O gênero representante é o *Bennettitaepollenites*, que corresponde a um grupo de plantas exclusivamente fóssil que se extinguíu no Mesozoico.

Família Ephedraceae, Gnetaceae e Welwitshiaceae – representada por plantas lenhosas, arbustivas e semitrepadeiras que habitam zonas tropicais de clima árido e semiárido. É representada pelos gêneros *Equisetosporites*, *Eucomidites* e *Gnetaceaepollenites*.

7.1.3 Angiospermas

Família Euphorbiaceae – Constituída por árvores, arbustos, ervas e trepadeiras, distribuídas em regiões tropicais e subtropicais é representada pelo gênero *Stellatopollis*.

7.1.4 Fitoplanctons

Os dinoflagelados fornecem um subsídio para interpretações paleoecológicas, pois sugerem ingressões marinhas (Arai e Coimbra, 1990).

A espécie *Botryococcus braunii* em associação com fragmentos de matéria orgânica, sugere um ambiente deposicional predominantemente lacustre (Nascimento, 2013).

7.2 Cronologia

A associação da palinoflora da Formação Romualdo é caracterizada, em grande parte, por espécies do Eocretáceo, muito similar às descritas por Dino (1992), Portela (2008), Nascimento (2013) e Lacerda (2023). É representada por elementos transicionais representativas do Aptiano-Albiano. Isso se dá de acordo com o biozoneamento definido por Portela (2008) que definiu quatro palinozonas para Bacia do Araripe. A palinozona A de idade Neo-Aptiana (localmente Neo- Alagoas), em seu limite inferior, é caracterizada pelo surgimento da espécie *Araucariacites australis* e tem como elementos característicos esporos do gênero *Cicatricosisporites*, *Klukisporites* e *Leptolepidites*, além da alga generalista *Botryococcus*, fragmentos e cutículas vegetais. São observadas estas características (espécie, gênero e abundância de fragmentos vegetais) no afloramento aqui estudados da Formação Romualdo. O limite superior da palinozona A é definido pela extinção local de *Inaperturopollenites turbatus* e pelo surgimento do fóssil guia *Sergipea variverrucata* e na palinozona B é comum a ocorrência e abundância da gimnosperma *Afropollis jardinus*.

Autores como Nascimento, 2013 sugerem que os gêneros *Afropollis* e *Sergipea* correspondem aos elementos mais característicos para determinar a idade da Formação Romualdo. No Brasil, *Afropollis* surge durante o Barremiano superior, com sua maior frequência ocorrendo no Eoaptiano (Regali e Viana, 1989). Neste contexto a presença do fóssil guia *Sergipea variverrucata*, restrita ao Aptiano Superior no Brasil, e sua associação com os gêneros *Classopollis* e *Araucariacites* apesar da ausência dos fósseis de *Inaperturopollenites turbatus* e *Afropollis jardinus* nas seções estudadas sugerem que estes depósitos estão na porção superior da palinozona A.

8. Conclusão

A transição Albiano-Aptiano marca um período muito importante para as bacias sedimentares da margem equatorial brasileira, compondo algumas das principais sucessões petrolíferas na América do Sul. Este intervalo é coincidente com a fase pós-rifte da abertura do Oceano Atlântico Sul e com a fase pós-evaporítica das bacias sedimentares brasileiras. Do ponto de vista estratigráfico, a transição Albiano-Aptiano demarca a transição entre um trato de sistema transgressivo (*transgressive system tract* – TST) e um trato de sistema de mar alto (*highstand system tract* – HST). Contudo, apesar do avanço no conhecimento acerca do arcabouço estratigráfica destas sucessões, o arcabouço bioestratigráfico carece de maior detalhamento, sobretudo em relação ao conteúdo palinológico. A Formação Romualdo, Albiano-Aptiano da Bacia do Araripe, é uma destas unidades, cujo arcabouço estratigráfico é definido por 1) planície aluvial costeira, 2) depósitos costeiros dominados por maré, 3) plataforma marinha interna, 4) plataforma interna a externa, e 5) fácies marinhas dominadas por ondas. Os depósitos marinhos profundos, ou seja, fácies platformais internas a externas (AF4) contém dois níveis fossilíferos significativos, o inferior, composto por folhelhos pretos com concreções que hospedam fósseis excepcionalmente bem preservados; e um superior, definido por níveis carbonáticos ricos em conchas. Neste sentido, o presente trabalho buscou detalhar o arcabouço bioestratigráfico dos depósitos ricos em fósseis da Formação Romualdo e sua relação com a paleogeografia e paleoclima do Cretáceo.

A palinoflora continental examinada na parte central-sul da Bacia do Araripe revelou uma diversidade significativa, exibindo uma composição semelhante a outras áreas previamente estudadas da Formação Romualdo. Nestas seções, os grãos de pólen de gimnospermas, como *Classopollis* spp., e os monossulcados, como *Cycadopites* spp., também eram predominantes. Além disso as amostras analisadas permitiram identificar a *Araucariacites australis*, esporos do gênero *Cicatricosisporites*, *Klukisporites* e *Leptolepidites*, e a alga generalista *Botryococcus*, além de fragmentos e cutículas vegetais. Todos os espécimes identificados compõem palinomorfos continentais, pertencentes à palinozona A (Neo-Aptiana) e permitem definir o predomínio de condições climáticas tropicais a subtropicais durante o Neo-Aptiano. A transição para a porção superior da palinozona A é demarcada pelo desaparecimento local de *Inaperturopollenites turbatus* e pelo surgimento do fóssil guia *Sergipea variverrucata*, os quais coadunam a interpretação de clima tropical a subtropical durante o Neo-Aptiano. Estes dados são coincidentes com o Modelo Global de Circulação

(*Global Circulation Model – GCM*) para o Cretáceo Superior, de modo que estimativas climáticas indicam temperaturas médias de 30°C a 36°C no Gondwana Oeste atingiram, com pico durante o Máximo Térmico Cretáceo. As próximas etapas desta pesquisa permitirão o refinamento da abundância, variação da biomassa e coleta de dados bioestatísticos para a palinoflora da Formação Romualdo.

9. Referências Bibliográficas

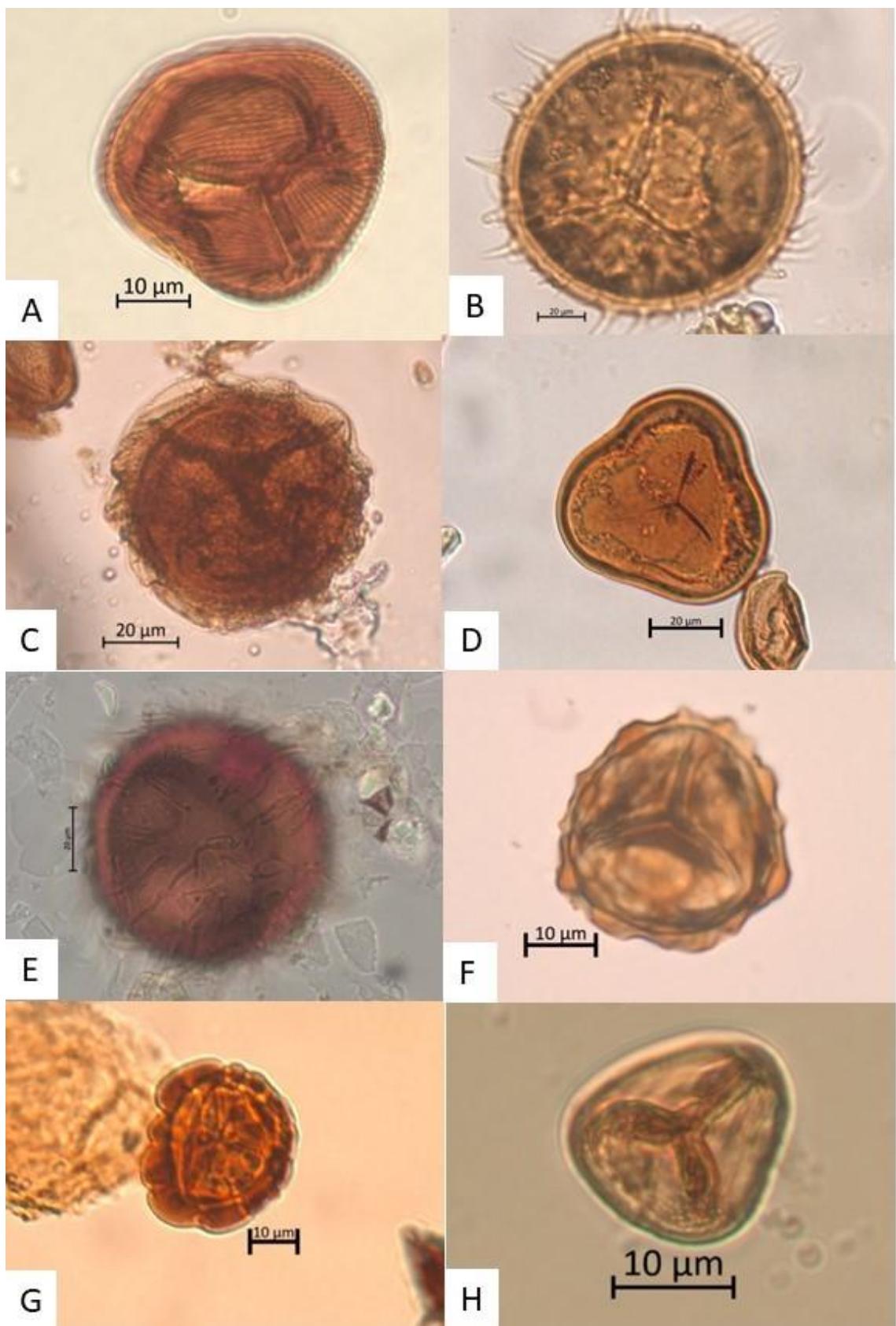
- Antonioli, L., 1998, Estudo Palinológico da Seção Aptiana-Eoalbiana da Bacia do Ceará – Nordeste do Brasil: Sistemática, Bioestratigrafia e Paleoambientes [Dissertação de Mestrado]: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências
- Arai, M., Carvalho, I.S., Cassab, R.C.T., 2004, Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Araripe. Phoenix 72, 1-6.
- Arai, M., Assine M.L., 2020, Chronostratigraphic constraints and paleoenvironmental interpretation of the Romualdo Formation (Santana Group, Araripe Basin, Northeastern Brazil) based on palynology: Cretaceous Research, v. 116, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104610>
- Araripe, R.C., Oliveira, D.H., Tomé, M.E., Mello, R.M., Barreto, A.M.F., 2021, Foraminifera and Ostracoda from the Lower Cretaceous (Aptian_lower Albian) Romualdo formation, Araripe Basin, northeast Brazil: Paleoenvironmental inferences: Cretaceous Research, v. 122, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104766>
- Assine, M.L., 1992. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Revista: Brasileira de Geociências, 22 (3), 289-300.
- Assine, M.L., 2007, Araripe Basin: Boletim de Geociências da Petrobras 15, 371–389.
- Assine, M.L, Perinotto, J.A.J., Custodio, M.A., Neumann, V.H., Varejão, F.G., Mescolotti, P.C., 2014, Sequencias Depositionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Boletim de Geociencias da Petrobras 22, 3-28.
- Batista, M.E.P., Martine, A.M., Saraiva, A.Á.F., De Lima, F.J., Barros, O.A., Sá, A.A. & Loiola, M.I.B., 2018: *Brachiphyllum*: 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.
- Beurlen, K., 1971, 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.
- Carvalho, M.A., 2004, Palinological assemblage from Aptian/Albian of the Sergipe Basin: Paleoenvironmental reconstruction: Revista Brasileira de Paleontologia. v. 7, n. 2, p. 159-168.

- Chang, Y., 1967, Accuracy of Fossil Percentage Estimation: *Journal of Paleontology*, v.41, no. 2, p. 500-502.
- Custódio, M.A., Quaglio, F., Warren, L.V., Simões, A.G., Fürsich, F.T., Perinotto, J.A.J., Assine, M.L., 2017, The transgressive-regressive cycle of the Romualdo Formation (Araripe Basin): Sedimentary archive of the Early Cretaceous marine ingressions in the interior of Northeast Brazil: *Cretaceous Research*, v. 359, p. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.07.010>.
- Dino, R., 1992, Palinologia, Bioestratigrafia e Paleontologia da Formação Alagamar – Cretáceo da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil [Tese de Doutorado]: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fürsich, F.T., Custodio, M.A., Matos, S.A., Hethke, M., Quaglio, F., Warren, L.V., Assine, M.L., Simoes, M.G., 2019, Analysis of a Cretaceous (late Aptian) high-stress ecosystem: The Romualdo Formation of the Araripe Basin, northeastern Brazil. *Cretaceous Research* 95, 268-296.
- Hernegreen, G. F. W. 1975a. An Upper Senonian pollen assemblage of borehole 3-Pia-10-A1, State Alagoas, Brazil. *Pollen et Spores*, Paris, v.17, n.1, p. 93-140.
- Lacerda, J.M.L, 2023, Palinologia e Paleoecologia da Formação Romualdo (Aptiano) da Bacia do Araripe, Mina Serrolândia – PE, Nordeste-Brasil [Tese de Doutorado]: Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.
- Lima, M.R., 1978a: Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil) [Tese de Doutorado]: Instituto de Geociencias, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 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.
- Martínez, M.A., Prámparo, M.B., Quattrocchio, M.E., Zavala, C.A., 2008, Depositional environments and hydrocarbon potential of the Middle Jurassic Los Molles Formation, Neuquén Basin, Argentina: Palynofacies and Organic Geochemical Data: *Revista Geológica de Chile*, v. 35, no. 2, p. 279-306, <https://dx.doi.org/10.5027/andgeoV35n2-a05>.
- Matos, R.M.D., 1992, The Northeast Brazilian Rift System: *Tectonics*, v. 11, no. 4, p. 166-791.
- Nascimento, L.R.S.L., 2013, Palinoestratigrafia da sequência lacustre do cretáceo inferior, em Serra Negra-PE, Bacia Sedimentar do Jatobá, NE do Brasil [Tese de Doutorado]: Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências.
- PFLUG, H, 1953, Zur Entstehung und Entwicklung des angiospermiden Pollens in der Erdgeschichte. *Paleontog: Abt. B*, Stuttgart, v.95, n.4-6, p.60-171.

- Portela, H.A., 2012, Caracterização da Matéria Orgânica Potencialmente Geradora de Petróleo e Seu Posicionamento Bioestratigráfico, Com Base na Palinologia e Palinofácies da Formação Pojuca - Bacia do Recôncavo [Dissertação de Doutorado]: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologias e Ciências.
- Rios-Netto, A.M., Regali, M.S.P., Carvalho, I.S., Freitas, F.I., 2012, Palinoestratigrafia do Intervalo Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Revista Brasileira de Geociências, v. 42, no. 2, p. 331-342.
- Simpson, M.G., 2019, 12 - Palynology *in* Simpson, M.G., Plant Systematics (Third Edition), Academic Press, p 583-593.
- Souza-Lima, W.; Silva, R.O., 2018, Aptian–Albian Paleophytogeography and Paleoclimatology from Northeastern Brazil Sedimentary Basins: Review of Paleobotany and Palynology, v. 258, p. 163-189, <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.08.003>.
- Teixeira, M.C., Filho, J.G.M., Oliveira, A.D., Assine, M.L., 2017, Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental: Revista Instituto de Geociências - USP, v. 17, no. 4, p. 19-44.
- Tyson, R.V., 1993, Palynofacies analysis. In: JENKINS, D.J. Applied Micropalaeontology: Kluwer Academic Publishers, p. 153-191, 1993.
- Van Der Hammen, T. & Burger, D., 1965: Pollen flora and age of the Takutu Formation (Guyana): Leidse Geol. Med., Leiden, n. 38, p.173 – 180.

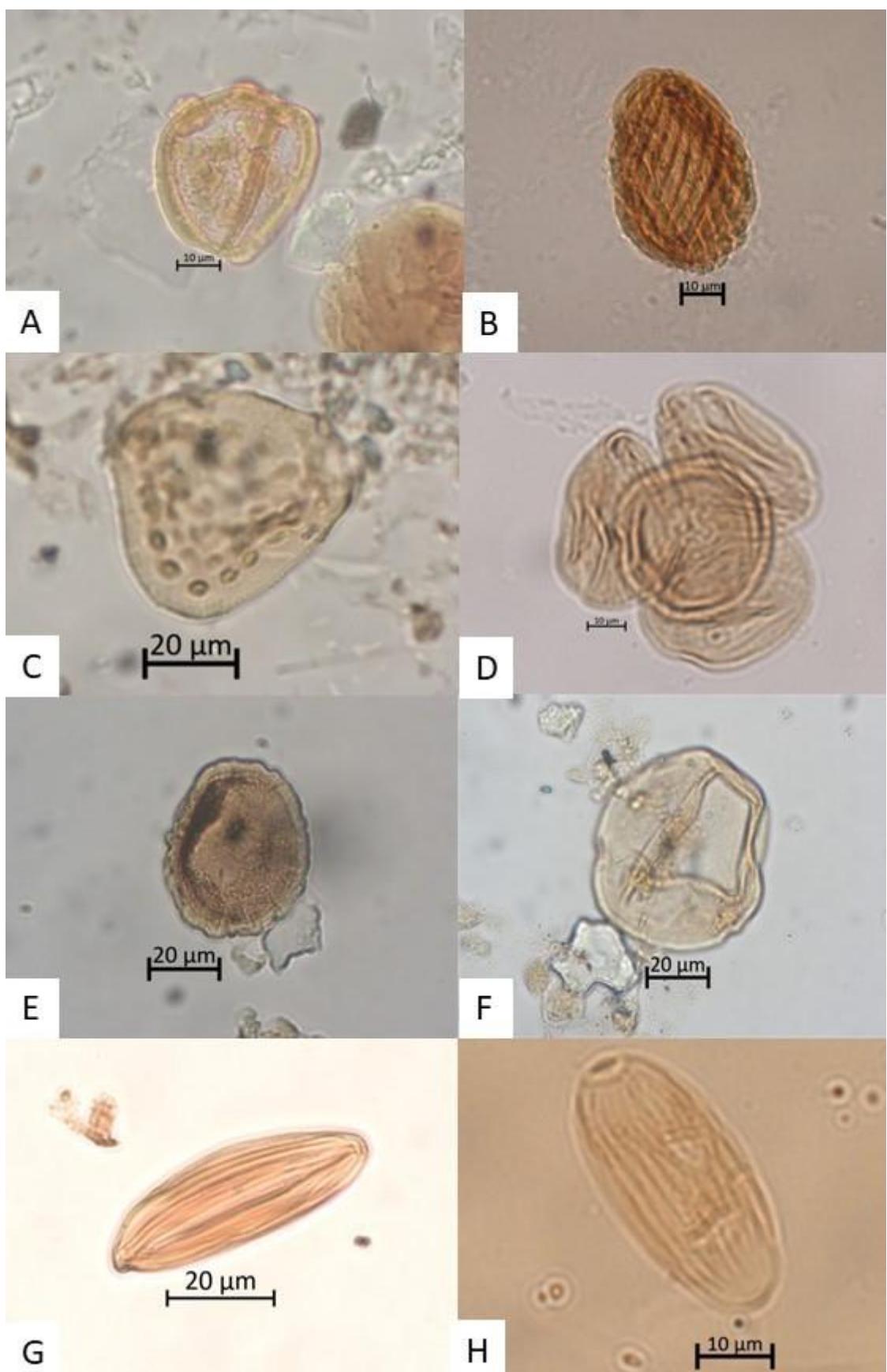
Estampas**Estampa I**

- A.** *Cicatricosisporites* spp.
- B.** Acritarca
- C.** *Crybelosporites pannuceus*
- D.** *Cyathidites australis*
- E.** *Pilosisporites trichopapillosum*
- F.** *Klukisporites* spp.
- G.** *Leptolepidites major*
- H.** *Deltoidospora* spp.



Estampa II

- A. *Sergipea variverrucata*
- B. *Gnetaceaepollenites jansonii*
- C. *Antulsporites baculatus*
- D. Tétrade de *Classopolis* spp.
- E. *Callialasporites segmentatus*
- F. *Araucariacites* spp.
- G. *Bennettitaepollenites* spp.
- H. *Equisetosporites* spp.



Estampa III

- A.** *Stellatopollis* spp.
- B.** *Afropollis jardinus*
- C.** *Botryococcus* spp.
- D.** Dinoflagelado indeterminado
- E.** e **F.** Bissacado indeterminado

