

PALINOLOGIA DO CRETÁCEO DA BACIA DO ARARIPE: UMA PESQUISA BIBLIOMÉTRICA

SARAH SOPHIA SANTOS SOUSA , MARIA EVELIN VITORINO MORAIS ,
MARIA EDENILCE PEIXOTO BATISTA  & MARIA DANIELY FREIRE GUERRA 

Laboratório de Paleometria do Cariri, Universidade Regional do Cariri, Av. Leão Sampaio, Triângulo, 63041-082, Juazeiro do Norte, CE, Brasil.

sarahsophia.santos3@urca.br (Autora correspondente), *evelin.vitorino@urca.br*, *edenilce.peixoto@urca.br*,
daniely.guerra@urca.br

ABSTRACT – Palynology of the Cretaceous of the Araripe Basin: a bibliometric study. Palynology has played a crucial role in the stratigraphic studies of the Araripe Sedimentary Basin, contributing to the advancement of knowledge about the biostratigraphy, paleoecology, and paleoenvironment of the Cretaceous period. This study aims to systematize scientific production on palynology in the Araripe Basin between 1971 and 2023, analyzing aspects such as frequency of publications, leading journals, keywords, relevant authors, and collaboration networks. The methodology involved a review and selection of publications from national and international databases, followed by a quantitative analysis of the selected works, which totaled 37 publications, including articles, dissertations, theses, book chapters, and annals of specialized events. The results indicate stability in scientific production over time, with an average of three publications per year, although there are occasional gaps. Most publications focus on stratigraphic aspects and utilize palynology as the primary tool for paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction. Thus, although the palynology of the Araripe Basin has made significant progress, there is an opportunity to expand scientific production through inter-institutional and international collaborations. These joint efforts could lead to substantial advances in the understanding of environmental and geological changes during the Cretaceous period in the Araripe Basin.

Keywords: scientific databases, literature review, systematization, quali-quantitative analysis, scientific collaboration.

RESUMO – A palinologia tem desempenhado um papel crucial nos estudos estratigráficos da Bacia Sedimentar de Araripe, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a bioestratigrafia, paleoecologia e paleoambiente do período Cretáceo. Este estudo tem como objetivo sistematizar a produção científica sobre palinologia na Bacia de Araripe entre 1971 e 2023, analisando aspectos como frequência de publicações, revistas de destaque, palavras-chave, autores relevantes e redes de colaboração. A metodologia envolveu uma revisão e seleção de publicações de bancos de dados nacionais e internacionais, seguida por uma análise quantitativa dos trabalhos selecionados, que totalizaram 37 publicações, incluindo artigos, dissertações, teses, capítulos de livros e anais de eventos especializados. Os resultados indicam estabilidade na produção científica ao longo do tempo, com uma média de três publicações por ano, embora haja lacunas ocasionais. A maioria das publicações concentra-se em aspectos estratigráficos e utiliza a palinologia como principal ferramenta para a reconstrução paleoambiental e paleoclimática. Assim, embora a palinologia da Bacia do Araripe tenha feito progressos significativos, há uma oportunidade de expandir a produção científica por meio de colaborações interinstitucionais e internacionais. Esses esforços conjuntos podem levar a avanços substanciais na compreensão das mudanças ambientais e geológicas durante o período Cretáceo na Bacia do Araripe.

Palavras-chave: base de dados científicos, revisão bibliográfica, sistematização, análise quali-quantitativa, colaboração científica.

INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, a palinologia tem sido uma área de estudo essencial para análises estratigráficas no Brasil, especialmente em investigações voltadas à busca por hidrocarbonetos (Regali *et al.*, 1974). Na Bacia do Araripe, essas análises também foram aplicadas com esse objetivo inicial (Heimhofer & Hochuli, 2010), mas ao longo do tempo os estudos evoluíram para abordar aspectos relacionados à paleoflora, ao paleoambiente, ao paleoclima e à paleogeografia do Cretáceo (Arai & Assine, 2020).

Nesse contexto, a análise de grãos de pólen e esporos se destaca, pois essas estruturas, devido à sua durabilidade e resistência, apresentam excelente potencial de preservação (Lima, 1978a; Batten, 2007). Além disso, são considerados indicadores confiáveis

de variações climáticas, permitindo inferências sobre as condições ambientais da época (Chagas, 2017; Arai & Assine, 2020).

Desde os estudos pioneiros de Lima (1971, 1976, 1978a, b, c, 1979, 1980, 1989) e Lima & Perinotto (1984), a Bacia do Araripe consolidou-se como uma região de grande importância científica para a palinologia. Posteriormente, Arai & Coimbra (1990) realizaram análises detalhadas que resultaram em colunas estratigráficas mais precisas, aprimorando a compreensão da paleoecologia da bacia, incluindo o registro das primeiras ingressões marinhas no Grupo Santana (=Formação Santana). As pesquisas avançaram com foco na exploração da natureza policíclica das bacias interiores do Nordeste brasileiro, incluindo a Bacia do Araripe, traçando correlações em associações palinológicas (Arai & Coimbra, 1990; Arai & Coelho, 2001; Arai, 2006; Arai & Assine, 2020).



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Posteriormente, Heimhofer & Hochuli (2010) contribuíram com uma bioestratigrafia detalhada baseada em grãos de pólen, estabelecendo datações relativas para as formações Crato, Ipobi e Romualdo. Além disso, documentaram variações climáticas marcadas por oscilações entre períodos quentes e úmidos. As formações Crato e Romualdo apresentam características associadas a esses períodos de clima quente e úmido, enquanto a Formação Ipobi é marcada por condições predominantemente secas (Heimhofer & Hochuli, 2010).

Nos últimos anos, as análises em sedimentos argilosos da Formação Crato focaram na morfologia e abundância do gênero *Afropolis*, evidenciando uma preservação diversa (Batten, 2007; Hofmann & Seyfullah, 2021). Outros estudos de palinologia também têm contribuído para a compreensão do paleoambiente e dos processos sedimentares no Grupo Santana como Arai & Assine (2020). Essas investigações demonstram uma evolução contínua na pesquisa sobre a Bacia do Araripe, destacando a progressão em novas abordagens que ampliam o entendimento sobre o Cretáceo da região.

Contudo, apesar dos avanços significativos alcançados pelos estudos anteriores, ainda há lacunas no que diz respeito à sistematização da produção científica sobre a palinologia da Bacia do Araripe. O levantamento bibliométrico permite identificar a quantidade, a qualidade e a evolução temporal das publicações nesta região. Essa abordagem auxilia na identificação dos temas mais estudados e os que ainda demandam investigação, orientando futuras pesquisas.

Além disso, destaca os pesquisadores mais influentes, suas colaborações e os grupos de pesquisa mais ativos, promovendo conexões entre especialistas. Também mede a relevância dos estudos por meio de citações, indicando quais trabalhos e autores exerceiram maior impacto na área. Desta forma, a realização deste estudo visa consolidar o conhecimento existente sobre a produção científica na área e responder a questões como:

- Como está distribuída a produção científica entre os anos de 1971 e 2023?
- Quais foram as fontes de publicações mais relevantes?
- Quais as palavras-chave mais recorrentes e seus padrões de frequência?
- Quais são os autores e coautores mais relevantes?
- Como a produção dos autores e coautores mais relevantes evoluiu ao longo do tempo?
- Quais as redes de colaboração entre os pesquisadores?
- Quais são os tópicos mais discutidos?
- Quais as lacunas precisam ser preenchidas?

Este estudo busca sistematizar a produção científica sobre a palinologia do Cretáceo na Bacia do Araripe, abrangendo o Grupo Santana (Cretáceo Inferior) e a Formação Exu (Cretáceo Superior), entre 1971 e 2023. A análise considera a frequência de publicações, periódicos de destaque, palavras-chave, tópicos mais discutidos, autores relevantes e redes de colaboração. A pesquisa busca também subsidiar a construção de uma base de dados que servirá como referência para futuros pesquisadores interessados na palinologia da Bacia do Araripe.

MATERIAL E MÉTODOS

Revisão de literatura

A busca por publicações científicas sobre o estudo palinológico na Bacia do Araripe (artigos, teses, dissertações, capítulos de livros e trabalhos publicados em anais especializados) foi realizada nas seguintes bases de dados: Portal de Periódicos da CAPES, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, Repositórios Universitários, *ResearchGate* e Google Acadêmico. Essas bases de dados foram escolhidas por abranger uma ampla produção acadêmica nacional e internacional. Na análise, foram selecionados trabalhos publicados de acordo com seguintes critérios: (i) trabalhos que abordassem especificamente a palinologia no Período Cretáceo na Bacia do Araripe publicados entre os anos de 1971 e 2023; e (ii) artigos científicos revisados por pares, dissertações, teses e trabalhos científicos publicados em Anais de congressos nacionais e internacionais.

Conforme os parâmetros descritos, a busca foi realizada utilizando os seguintes termos: (i) Palinologia, (ii) Bacia do Araripe, (iii) Cretáceo, (iv) Bioestratigrafia, (v) Palinoflora, (vi) Palinoestratigrafia e os termos correspondentes em inglês - *Palynology, Araripe Basin, Cretaceous, Biostratigraphy, Palynoflora, Palynostratigraphy*.

Contudo, apesar das especificações claras e objetivas estabelecidas, a busca em bases de dados seguiu precisamente os parâmetros de busca por meio dos descritores elegidos. Dessa forma, é possível que algumas pesquisas não tenham sido identificadas por não estarem disponíveis nas bases de dados consultadas.

Seleção de fontes

Nesta etapa, as publicações selecionadas foram analisadas inicialmente por meio da leitura dos resumos e, quando estes não continham todas as informações necessárias, procedeu-se à leitura integral dos textos. Essa análise teve como objetivo verificar se as pesquisas estavam alinhadas com os objetivos do estudo. Os seguintes parâmetros foram considerados: (i) trabalhos disponíveis em meio digital. Este parâmetro foi adotado para cobrir um número maior de publicações com foco na palinologia, e (ii) trabalhos desenvolvidos sobre a palinologia na Bacia do Araripe, destacando o período Cretáceo. Esse critério foi estabelecido para delimitar o campo de pesquisa.

Sistematização e análise qualitativa dos dados coletados

Os trabalhos selecionados nas etapas anteriores foram analisados por meio de leitura completa, e os metadados obtidos foram organizados e categorizados em um banco de dados. A sistematização e análise dos dados foram realizadas no RStudio através do pacote “bibliometrix” (Aria & Cuccurullo, 2017), permitindo uma análise quantitativa. Os dados foram organizados considerando os seguintes critérios: (i) a evolução das pesquisas ao longo do tempo, destacando tendências e avanços no campo da palinologia; (ii) o tipo de publicação, incluindo artigos, dissertações, teses e outros formatos relevantes, bem como os periódicos onde foram publicados. Entre os trabalhos

selecionados, alguns foram originalmente publicados como dissertações ou teses e, posteriormente ou concomitantemente, também como artigos científicos.

Na análise realizada a fim de obter dados sobre os autores e coautores com maior relevância entre os trabalhos, foram selecionados os dez primeiros apresentados no gráfico gerado pelo pacote “bibliometrix” (Aria & Cuccurullo, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos gerais

Foram selecionados, a partir dos parâmetros citados, trinta e sete trabalhos publicados entre os anos de 1971 e 2023. Os documentos foram compostos por 25 artigos, quatro teses de doutorado, duas dissertações de mestrado, quatro trabalhos publicados em Anais, um capítulo de livro e um projeto técnico do Serviço Geológico Brasileiro (Quadro 1).

A coleção de publicações mostrou uma taxa de crescimento anual de 3,14% com participação de 79 autores diferentes e apenas seis com autoria única. A colaboração entre os autores tem uma média de três coautores por documento.

Os resultados indicam uma estabilidade no número de publicações ao longo do tempo, não ultrapassando o número de cinco trabalhos por ano. Além disso, pode-se observar algumas lacunas entre os anos, mas em maior escala entre os anos de 1991 e 2000 (Figura 1).

Dentre os artigos analisados, nove foram publicados em periódicos nacionais e 16 internacionais (Figura 2).

As duas dissertações e quatro teses foram produzidas em programas de Pós-Graduação em Geociências e Geologia de cinco Instituições de Ensino Superior brasileiras (Universidade

Federal do Ceará - UFC; Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ; Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; Universidade de São Paulo - USP e Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS). Os quatro resumos analisados foram publicados nos Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de 1978c e nas Atas do Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste de 1990 e 2001 (Quadro 2).

Temas e palavras-chave abordados nos trabalhos analisados

Ao realizar a análise, observou-se que 25 dos 37 trabalhos (67,6%) referentes à Palinologia na Bacia do Araripe no Cretáceo apresentaram palavras-chave, totalizando 20 palavras-chaves distintas (Figura 3). O termo mais frequente foi “Araripe Basin”, citado 12 vezes, seguido de “Palynology”, citado nove vezes. Os termos “Brazil” e “Cretaceous” foram identificados seis vezes. “Lower Cretaceous” aparece cinco vezes e “Santana Formation”, quatro vezes. Os demais termos são indicados apenas uma ou duas vezes (Figura 4). Os dados mostram que a maioria dos trabalhos encontrados mencionam a palavra Bacia do Araripe, com ênfase na palinologia como principal ferramenta de análise.

Quanto às temáticas, 15 trabalhos (40,5%) utilizaram a palinologia para fins de análise estratigráfica, refletindo a importância dessa abordagem na datação e correlação de camadas sedimentares da Bacia do Araripe.

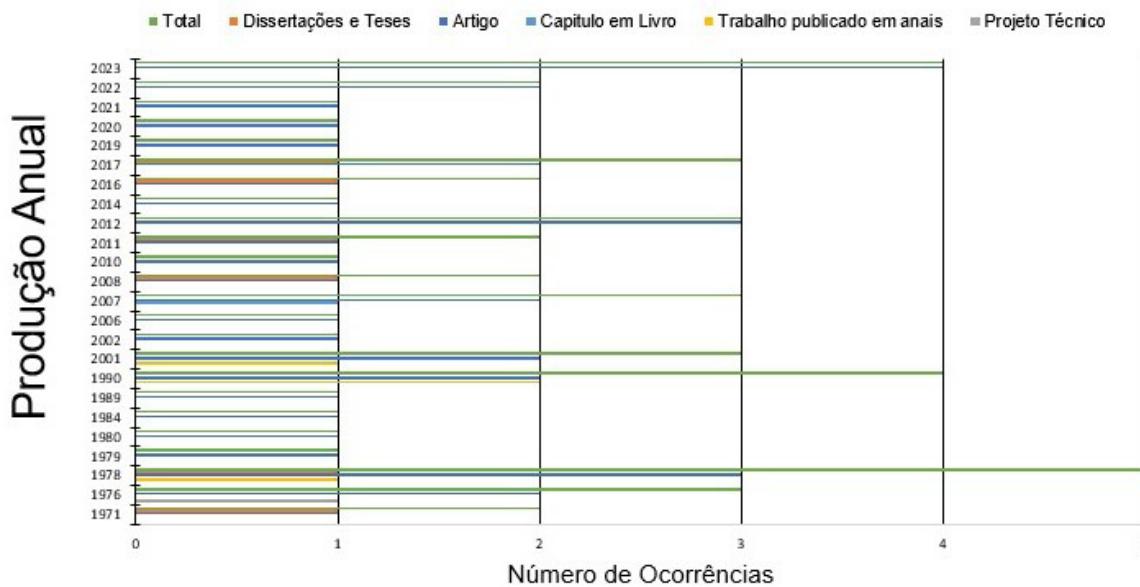
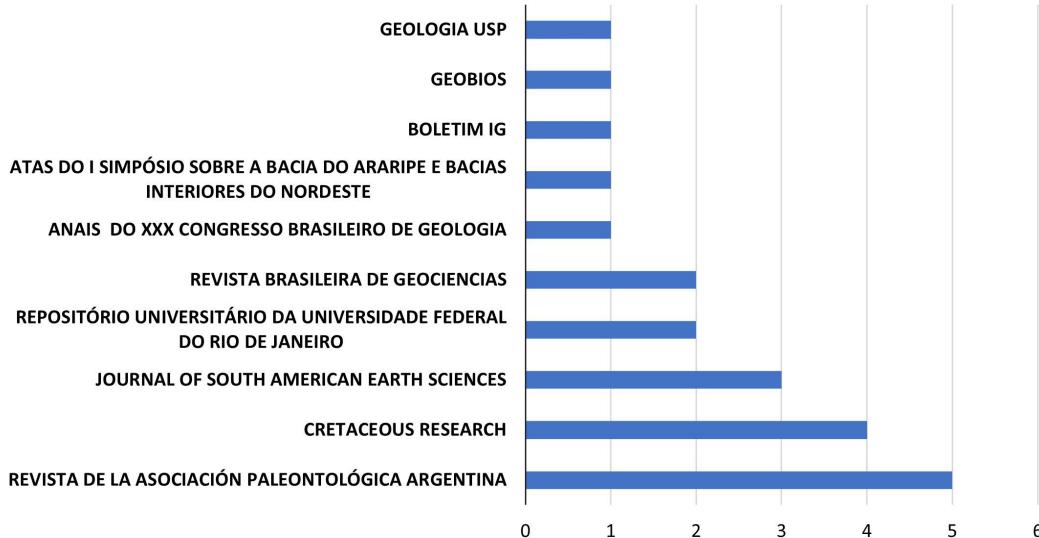
Esses estudos destacam o papel da palinologia para identificar biozonas específicas para fins de datação relativa, assim como, auxiliar na reconstrução paleoambiental, permitindo uma compreensão mais detalhada dos eventos geológicos e climáticos que marcaram o Cretáceo na região. A aplicação da palinologia para a caracterização temporal das formações geológicas da bacia.

Sobre dados paleoambientais, 15 trabalhos (40,5%) foram identificados e cinco trabalhos (13,5%) com dados

Quadro 1. Resumo das estatísticas bibliográficas (Bibliometrix).

Chart 1. Summary of bibliographic statistics (Bibliometrix).

| | Descrição | Resultados |
|--|--|------------|
| Principais informações sobre os dados | | |
| | Período de tempo | 1971:2023 |
| | Fontes (Revistas, Livros, etc) | 26 |
| | Documentos | 37 |
| | Taxa de crescimento anual % | 3,14 |
| Conteúdo dos documentos | | |
| Autoria | | |
| | Autores | 79 |
| | Autores de documentos de autoria única | 8 |
| Colaboração entre autores | | |
| | Documentos de autoria única | 15 |
| | Média de coautores por documento | 3 |
| Tipos de documentos | | |
| | Anais | 4 |
| | Artigo | 25 |
| | Capítulo de livro | 1 |
| | Dissertação de mestrado | 2 |
| | Projeto técnico | 1 |
| | Tese de doutorado | 4 |

**Figura 1.** Produção científica anual de publicações.**Figure 1.** Annual scientific production of publications.**Figura 2.** Artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, eventos e repositório universitário, sobre palinologia da Bacia do Araripe durante o Período Cretáceo.**Figure 2.** Articles published in national and international journals, events, and university repositories on the palynology of the Araripe Basin during the Cretaceous Period.

paleoecológicos. Esses dados revelam aspectos paleoambientais sobre os quais infere-se que a bacia se caracterizava por uma diversidade de ambientes que variavam de zonas aquáticas a áreas continentais e costeiras (Lacerda *et al.*, 2023; Vallejo *et al.*, 2023). A predominância de determinados tipos de grãos de pólen e esporos pode indicar a presença de áreas de águas rasas e margens próximas a ambientes fluviais ou lacustres, com vegetação adaptada a essas condições. Ademais, a presença de grãos de pólen e esporos específicos indica a existência de uma vegetação rica e variada, que sustentava uma cadeia alimentar

diversificada. Isso inclui a interação entre plantas, insetos e outros organismos herbívoros e polinizadores da Bacia do Araripe no Cretáceo, fornecendo uma visão mais detalhada dos ambientes deposicionais e das interações ecológicas da época.

Autores de impacto bibliométrico, produções ao longo do tempo e redes de pesquisa

A partir dos dados obtidos pelo *Bibliometrix*, foi analisado o número de trabalhos em que os pesquisadores são identificados, tanto como primeiro autor quanto como coautor. Dos 37 trabalhos

Quadro 2. Publicações selecionadas em ordem cronológica sobre a temática da Palinologia na Bacia do Araripe durante o Cretáceo.

Chart 2. Selected publications in chronological order on the subject of palynology in the Araripe Basin during the Cretaceous Period.

| Nº | Autor | Categoria | Título |
|----|----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1 | Lima (1971) | Dissertação | Contribuição palinológica à estratigrafia do Cretáceo do Nordeste do Brasil: Análise da perfuração GSB1, Serra Branca, PE |
| 2 | Moraes <i>et al.</i> (1976) | Projeto Técnico | Projeto Santana - Relatório final da etapa I |
| 3 | Lima (1976) | Artigo | O gênero <i>Classopollis</i> e as bacias mesozoicas do Nordeste do Brasil |
| 4 | Lima (1978a) | Tese | Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil) |
| 5 | Lima (1978b) | Artigo | Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe |
| 6 | Lima (1978c) | Trabalho publicado em Anais | O paleoambiente deposicional da Formação Santana (Grupo Araripe) segundo evidências palinológicas |
| 7 | Lima (1979) | Artigo | Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). II. Descrição sistemática dos esporos da subturma zonotriletes e turma monoletes, e dos polens das turmas saccites e aletes |
| 8 | Lima (1980) | Artigo | Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). III. Descrição sistemática dos polens da turma plicates (subturma costates) |
| 9 | Lima & Perinotto (1984) | Artigo | Palinologia e sedimentos da parte superior da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe |
| 10 | Lima (1989) | Artigo | Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). IV- Descrição sistemática dos polens das turmas plicates e poroses, esporos, incertae sedis e microplancton marinho |
| 11 | Arai & Coimbra (1990) | Trabalho publicado em Anais | Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe) |
| 12 | Pons <i>et al.</i> (1990) | Trabalho publicado em Anais | Quelques observations sur la palynologie de l'aptien supérieur et de l'albien du Bassin d'Araripe (N.E. du Brésil) |
| 13 | Arai & Coelho (2001) | Artigo | 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 |
| 14 | Arai <i>et al.</i> (2001) | Trabalho publicado em Anais | Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil) |
| 15 | Coimbra <i>et al.</i> (2002) | Artigo | Biostratigraphy of lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil |
| 16 | Arai (2006) | Artigo | Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das Bacias interiores do Nordeste do Brasil |
| 17 | Martill (2007) | Artigo | The age of the Cretaceous Santana Formation fossil konservat lagerstatte of northeast Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its paleobiota |
| 18 | Batten (2007) | Capítulo de livro | Spores and pollen from the Crato Formation: biostratigraphic and paleoenvironmental implications |
| 19 | Portela (2008) | Dissertação | Estudo palinológico e palinofaciológico da Formação Santana, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil |
| 20 | Heimhofer & Hochuli (2010) | Artigo | Early Cretaceous angiosperm pollen from a low-latitude succession (Araripe Basin, NE Brazil) |
| 21 | Rios-Netto (2011) | Tese | Evolução paleoambiental e palinoestratigrafia do Intervalo Alagoas na parte oriental da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil |
| 22 | Rios-Netto <i>et al.</i> (2012a) | Artigo | Formalização estratigráfica do Membro Fundão Formação Rio da Batateira Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe Nordeste do Brasil |
| 23 | Rios-Netto <i>et al.</i> (2012b) | Artigo | A pollen and spore-based biostratigraphy of the Alagoas stage lower cretaceous in the Araripe Basin Northeastern Brazil |
| 24 | Duarte <i>et al.</i> (2012) | Artigo | Significado paleoambiental da família Anemiaceae no Cretáceo do Brasil: inferências a partir de dados palinológicos |
| 25 | Portela <i>et al.</i> (2014) | Artigo | Palynofloral and paleoenvironmental characterization of the Santana Formation lower Cretaceous 4BO1PE well Araripe Basin Northeast Brazil |
| 26 | Duarte (2016) | Tese | Evolução morfológica e filogenética dos esporos do tipo Cicatricosiporites e afins (Família Anemiaceae): aplicações na palinoestratigrafia e na paleoecologia |
| 27 | Teixeira <i>et al.</i> (2017) | Artigo | Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental |
| 28 | Chagas (2017) | Tese | Análise faciológica frente ao controle paleoambiental baseado na palinologia do intervalo Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe (Sub-Bacias Cariri e Feira Nova), NE do Brasil |
| 29 | Goldberg <i>et al.</i> (2019) | Artigo | Aptian marine ingressions in the Araripe Basin: Implications for paleogeographic reconstruction and evaporite accumulation |
| 30 | Arai & Assine (2020) | Artigo | Chronostratigraphic constraints and paleoenvironmental interpretation of the Romualdo Formation (Santana Group, Araripe Basin, Northeastern Brazil) based on palynology |

Quadro 2. Continuação...**Chart 2.** Continued...

| Nº | Autor | Categoria | Título |
|----|---------------------------------|-----------|---|
| 31 | Hofmann & Seyfullah (2021) | Artigo | Lower Cretaceous Crato clay samples revisited: some new results from scanning electron microscope investigations of <i>Afropolis</i> pollen |
| 32 | Hofmann <i>et al.</i> (2022) | Artigo | Diversity of the dispersed Gnetalean pollen record from the Lower Cretaceous Crato Formation, Brazil: Entomophily, harmomegathy and habitat heterogeneity |
| 33 | Piovesan <i>et al.</i> (2022) | Artigo | Organic inclusions in Brazilian Cretaceous amber: The oldest ostracods preserved in fossil resins |
| 34 | Fauth <i>et al.</i> (2023) | Artigo | Early Aptian marine incursions in the interior of northeastern Brazil following the Gondwana breakup |
| 35 | Lacerda <i>et al.</i> (2023) | Artigo | Paleoecology and paleoenvironmental inferences based on palynomorphs from the Romualdo Formation (Lower Cretaceous) of the Araripe Basin, Serrôlândia mine, Pernambuco, Northeastern Brazil |
| 36 | Nascimento <i>et al.</i> (2023) | Artigo | Integrated study of the microfossils of the upper Aptian (Lower Cretaceous) of the Sobradinho and Serra do Mãozinha sections (Araripe Basin, Northeastern Brazil): biostratigraphic and paleoenvironmental inferences |
| 37 | Vallejo <i>et al.</i> (2023) | Artigo | Palynofacies analyses of Santana Group, upper Aptian of the Araripe Basin, northeast Brazil: paleoenvironmental reconstruction |

**Figura 3.** Palavras-chave identificadas após análise do *bibliometrix* (o tamanho das palavras é correspondente a frequência em que aparecem nos trabalhos).**Figure 3.** Keywords identified after bibliometric analysis (the length of the words corresponds to the frequency in which they appear in the papers).

avaliados, os autores de maior impacto bibliométrico foram Murilo Rodolfo de Lima, com nove publicações, e Mitsuru Arai, com sete. Os demais autores apresentaram impacto em uma a duas publicações (Figura 5).

Essa análise foi realizada com foco nos dez autores e coautores de maior impacto bibliométrico entre os trabalhos selecionados, oferecendo um panorama dos principais contribuidores na produção científica sobre a palinologia da Bacia do Araripe.

Todavia, a dissertação de mestrado de Lima (1971) apresenta o estudo pioneiro, intitulado “Contribuição palinológica à estratigrafia

do Cretáceo do nordeste do Brasil: Análise da perfuração GSB1, Serra Branca, PE”. Esse dado corrige informações de trabalhos anteriores, que atribuíram o início das pesquisas palinológica na região a uma data posterior. Deste modo, Lima contribui com trabalhos publicados até o ano de 1989, sendo sua tese de doutorado a mais citada, com uma média de 1,49 citações por ano.

Em seguida, Mitsuru Arai iniciou sua contribuição no ano de 1990, publicando até 2023. Entre suas contribuições, os trabalhos de 2002 e 2020 destacam-se como os mais citados, com média respectivamente de 8,83 e 10 citações por ano (Coimbra *et al.*,

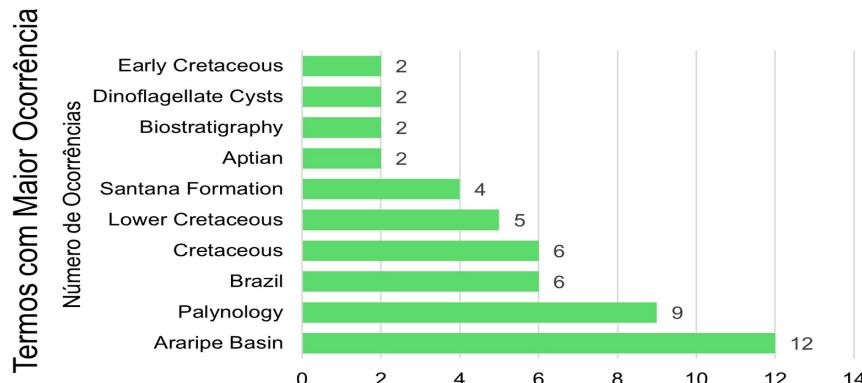


Figura 4. Gráfico com as palavras-chave que são citadas com maior frequência nos artigos sobre palinologia da Bacia do Araripe durante o Período Cretáceo.

Figure 4. Graph showing the most frequently cited keywords in articles on the palynology of the Araripe Basin during the Cretaceous Period.

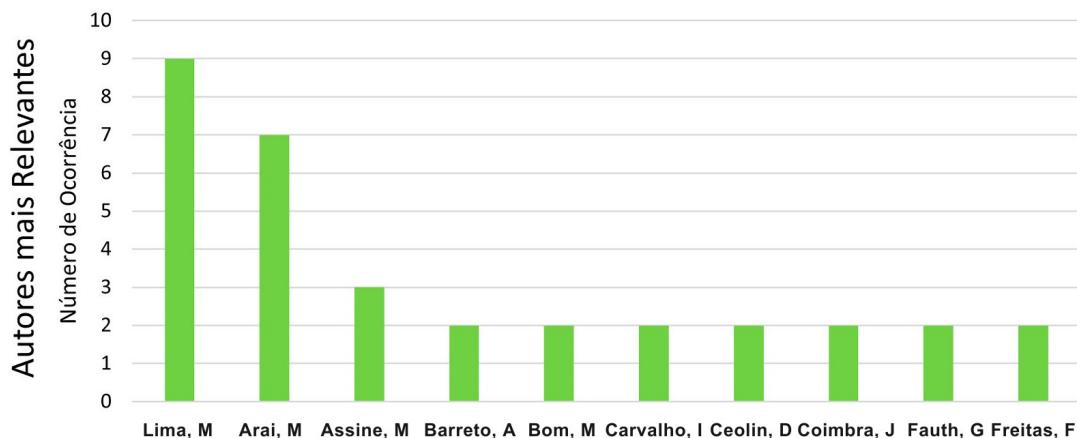


Figura 5. Autores e coautores com maior impacto bibliométrico (autores e coautores que apresentam um número maior de publicações sobre a palinologia da Bacia do Araripe durante o Cretáceo).

Figure 5. Authors and co-authors with the greatest bibliometric impact (authors and co-authors with the highest number of publications on the palynology of the Araripe Basin during the Cretaceous).

2002; Arai & Assine, 2020). Autores como J.C. Coimbra, A.M. Rios-Netto, M.L Assine e S. Duarte publicaram trabalhos em um curto intervalo de tempo (Arai e Coimbra, 1990; Arai *et al.*, 2001; Coimbra *et al.*, 2002; Rios-Netto, 2011; Rios-Netto *et al.*, 2012 a, b; Duarte *et al.*, 2012; Duarte, 2016; Teixeira *et al.*, 2017; Arai & Assine, 2020; Fauth *et al.*, 2023). Coautores como I. Carvalho, F.I. Freitas, A. Barreto e J. Guzmán concentram suas publicações em um único ano (Rios-Netto *et al.*, 2012 a, b; Piovesan *et al.*, 2022; Lacerda *et al.*, 2023; Nascimento *et al.*, 2023; Vallejo *et al.*, 2023) (Figura 6).

A análise dos 37 trabalhos permitiu a identificação de redes de colaboração entre os autores (Figura 7). Observa-se a presença de grupos de pesquisa isolados, cada um representando núcleos de colaboração específicos. Destaca-se o grupo liderado por Mitsuru Arai, que possui uma rede mais ampla, sugerindo uma influência significativa nos estudos palinológicos na Bacia do Araripe. Neste grupo, autores como: Assine M., e

Coimbra J. colaboram frequentemente, indicando uma linha de pesquisa consolidada, focada em aspectos bioestratigráficos e paleoambientais da região durante o Cretáceo.

Outros grupos menores, como os formados por: Hofmann, C. e Seyfullah, L.; Hochuli, P. e Heimhofer, U.; Goldberg, K. e Bardola, T., e Berthou, P. e Campos D. mostram colaborações mais restritas, se configurando como redes embrionárias de estudos na Bacia do Araripe. Esses grupos contribuem com dados complementares que enriquecem o conhecimento sobre a flora cretácea da bacia e suas implicações paleoambientais.

Os resultados deste estudo revelam um panorama amplo dos trabalhos palinológicos desenvolvidos na Bacia do Araripe ao longo das últimas cinco décadas, enfatizando a frequência da produção científica deste campo científico. Observa-se uma média de até três trabalhos anuais, intercalados por períodos de baixa produção, como é o caso dos registros observados entre 1991 e 2000. Isso sugere que, apesar do interesse contínuo na

Produção de Autores durante os anos

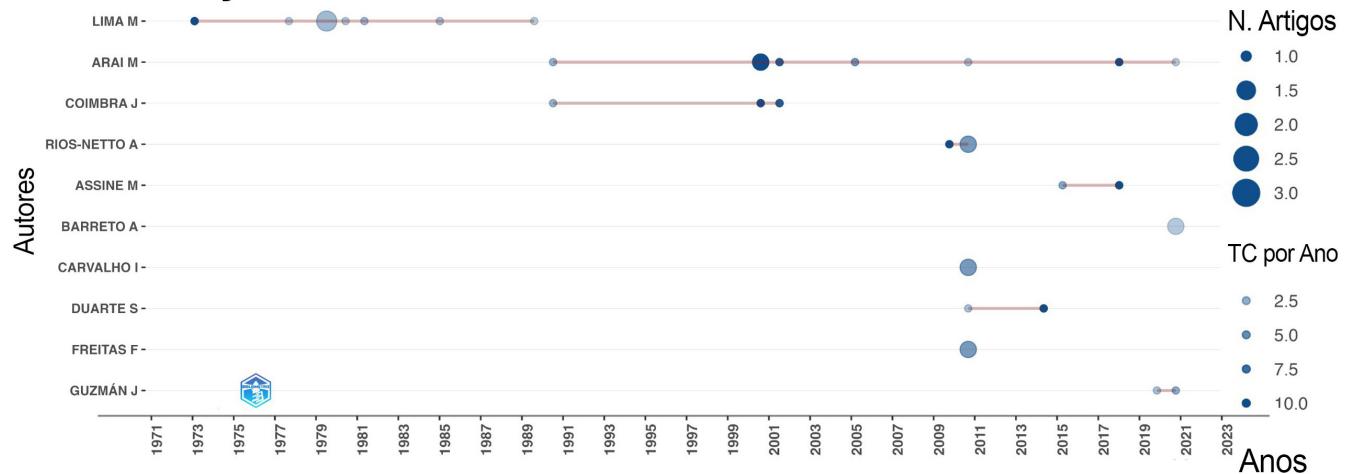


Figura 6. Produção dos autores ao longo do tempo (bibliometrix) sobre palinologia da Bacia do Araripe durante o Período Cretáceo.

Figure 6. Authors' production over time (bibliometric) on the palynology of the Araripe Basin during the Cretaceous Period.

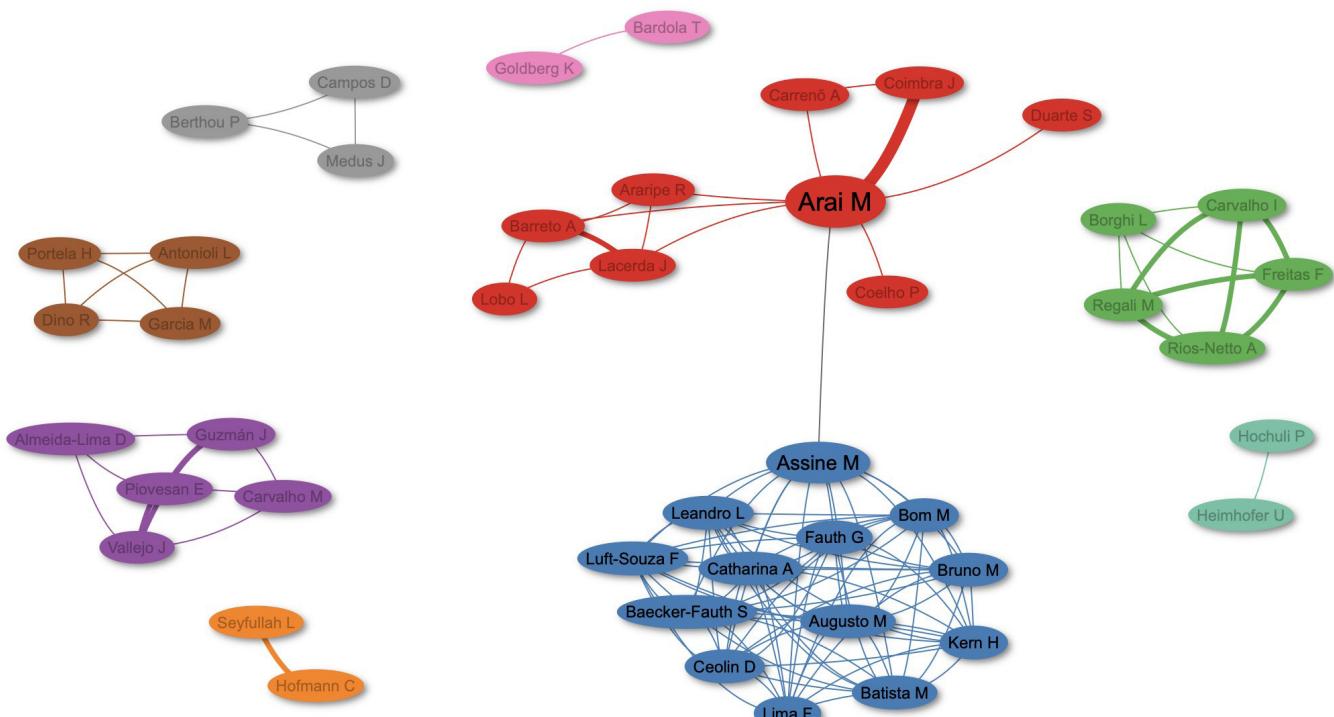


Figura 7. Redes de colaboração entre pesquisadores gerais da Bacia do Araripe.

Figure 7. Collaborative networks between general researchers in the Araripe Basin.

palinologia desta bacia sedimentar, há necessidade de mais investimentos e maior colaboração entre pesquisadores para viabilizar estudos mais frequentes e aprofundados.

A análise das palavras-chave: Araripe Basin, palynology, lower Cretaceous, Santana Formation, Brazil, Cretaceous,

palynomorphs, early Cretaceous, dinoflagellate cysts, Aptian, biostratigraphy, Northeastern Brazil, ostracoda, Rio da Batateira Formation, angiosperms, anemiaceae, *afropollis jardinius*, Alagoas Stage e amber, revelou que a maior parte das publicações está centrada em aspectos específicos como:

estratigrafia e correlação estratigráfica, ambientes deposicionais e reconstruções paleoambientais, paleoflora e paleoecologia da Bacia do Araripe. Tais estudos foram fundamentais para a identificação de biozonas e para a reconstrução paleoambiental e paleoclimática. A prevalência do termo “Araripe Basin” como palavra-chave reflete a especificidade dos estudos para a região, enquanto a presença de termos como “Cretáceo Inferior” e “Formação Santana” indica o foco nas características temporais e estratigráficas da bacia. Trabalhos como os de Chagas (2017) e Arai & Assine (2020) reforçam a importância da palinologia em contextos bioestratigráficos, contribuindo para uma compreensão detalhada dos eventos geológicos e climáticos do Cretáceo na região.

No contexto dos autores e suas contribuições, Murilo Rodolfo de Lima e Mitsuru Arai destacam-se como os pesquisadores de maior impacto bibliométrico, sendo pioneiros e consistentes no desenvolvimento de estudos que fundamentam o conhecimento atual sobre a palinologia na Bacia do Araripe. Lima, em particular, é notável por sua contribuição inicial desde 1971, ao estabelecer uma linha de pesquisa que seria seguida e expandida por outros pesquisadores. Já Arai possui uma trajetória dos anos 1990 até os dias atuais, com trabalhos amplamente citados que abrangem análises estratigráficas e paleoambientais. A colaboração entre autores, como observado nas redes de Arai, Coimbra e Assine, evidencia núcleos de pesquisa bem definidos e focados em aspectos bioestratigráficos das sequências sedimentares da Bacia do Araripe. No entanto, a presença de redes isoladas, como as de Hofmann, C. e Seyfullah, L.; Hochuli P. e Heimhofer, U.; Goldberg, K. e Bardola, T., e Berthou, P. e Campos, D., sugere que a palinologia na Bacia do Araripe possui ainda um potencial significativo para uma maior integração entre grupos de pesquisa.

Finalmente, os estudos recentes como os de Vallejo *et al.* (2023) e Lacerda *et al.* (2023), apontam para uma expansão dos temas de investigação, incluindo análises detalhadas de palinofácies e interpretações paleoambientais que incorporam elementos marinhos e dulcícidas na análise dos sedimentos da Formação Romualdo. Esses trabalhos complementam os dados obtidos anteriormente, contribuindo para uma visão mais ampla e integrada da dinâmica deposicional complexa da bacia. Essa diversidade de abordagens demonstra o potencial da palinologia não só para a paleoestratigrafia, mas também para reconstruções detalhadas dos paleoambientes cretáceos, abrindo novas perspectivas para futuras investigações.

CONCLUSÕES

A análise da literatura científica sobre a palinologia da Bacia Sedimentar do Araripe, revelou uma produção consolidada e de grande relevância neste campo científico, embora com lacunas temporais e colaborações ainda fragmentadas. O levantamento bibliométrico, focado em 37 publicações distribuídas ao longo do recorte temporal elegido, destaca os esforços contínuos e o papel de autores-chave, como Murilo Rodolfo de Lima e Mitsuru Arai, que marcaram o pioneirismo das pesquisas na região. Seus

trabalhos, em conjunto com os de outros pesquisadores mais recentes, fornecem bases fundamentais para o conhecimento sobre a bioestratigrafia e a reconstrução paleoambiental do Cretáceo na Bacia do Araripe.

Os resultados indicam que a palinologia tem sido amplamente utilizada para definir biozonas e compreender o contexto paleoambiental da Bacia do Araripe, com foco na aplicação da análise de palinomorfos para interpretar deposições sedimentares e variações climáticas. Estudos paleoecológicos, embora em menor número, complementam essas análises, oferecendo uma visão detalhada das interações ecológicas e das características ambientais desse período geológico.

As redes de colaboração evidenciam a predominância de grupos de pesquisa isolados, com núcleos de colaboração restritos. Este cenário aponta para uma oportunidade de integração entre esses grupos, o que poderia enriquecer e expandir o entendimento sobre a história geológica e paleoecologia da região. Uma colaboração mais ampla entre os diferentes núcleos de pesquisa poderia não apenas preencher lacunas relacionadas ao aprofundamento do conhecimento sobre a paleoflora cretácea, interligando os palinomorfos identificados nas análises com suas respectivas afinidades botânicas, como também fomentar estudos mais detalhados voltados para paleoclima por meio da palinologia. Essa integração tem potencial para impulsionar novas descobertas e ampliar as perspectivas na área da palinologia na Bacia do Araripe.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os autores confirmam que os dados que sustentam as conclusões deste estudo estão disponíveis no artigo.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece às professoras M. D. F. Guerra e M. E. P. Batista pela assistência e preparação deste manuscrito para publicação. Gostaríamos de agradecer aos revisores por corrigirem este manuscrito.

FINANCIAMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Ceará para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) Processo número [Projeto BP5-0197-00135.01.00/22; UNI-0210-00102.01.00/23].

CONTRIBUIÇÕES DAS AUTORAS

Sarah Sophia Santos Sousa: redação - pesquisa; redação; edição; visualização; análise formal; metodologia; curadoria de dados. Maria Evelin Vitorino Moraes: revisão; análise formal; visualização; edição. Maria Edenilce Peixoto Batista: análise formal; aquisição de fundos; visualização; redação - revisão

e edição. Maria Daniely Freire Guerra: conceitualização; curadoria de dados; metodologia; visualização; revisão e edição. Todas as autoras aprovaram a publicação e concordaram em se responsabilizar pelo trabalho realizado.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Não utilizamos tecnologias assistidas por IA para criar, revisar ou qualquer parte deste artigo.

ÉTICA

Este trabalho não exigiu aprovação ética, obtenção de licenças ou autorizações prévias.

CONFLITO DE INTERESSES

Declaramos que não temos nenhum interesse financeiro concorrente ou relacionamento pessoal conhecido que possa influenciar o trabalho relatado neste documento.

REFERÊNCIAS

- 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*, **116**:1–13. doi:10.1016/j.cretres.2020.104610
- Arai, M. & Coelho, P.S.M. 2001. 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 palyomorphs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MESOZOIC TERRESTRIAL ECOSYSTEMS, 7, 2001. *Resumo expandido*, Buenos Aires, Nasociano Paleontológica Argentina, p.1–5.
- Arai, M. & Coimbra, J.C. 1990. Análise paleoecológica do registo das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990. *Resumo Expandido*, Crato, Atas, p. 225–239.
- Arai, M. 2006. Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das bacias interiores do Nordeste do Brasil. *Revista Geociências*, **25**:7–15.
- Arai, M.; Coimbra, J.C. & Silva-Telles Junior, A.C. 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE, 1, e BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 2, 2001. *Resumos expandidos*, Crato, Atas, p. 109–117; p. 122–124.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, **11**:959–975.
- Batten, D. 2007. Spores and pollen from the Crato Formation: biostratigraphic and paleoenvironmental implications in the Crato fossil beds of Brazil. Cambridge University Press, p. 566–574. doi:10.1017/CBO9780511535512.021
- Chagas, D. 2017. *Análise faciológica frente ao controle paleoambiental baseado na palinologia do intervalo Aptiano/Albiano da Bacia do Araripe (Sub-bacias Cariri e Feira Nova), NE do Brasil*. Departamento de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Tese de doutorado, 146 p.
- Coimbra, J.; Arai, M. & Carreño, A. 2002. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. *Geobios*, **35**:687–698. doi:10.1016/S0016-6995(02)00082-7
- Duarte, S. 2016. *Evolução morfológica e filogenética dos esporos do tipo Cicatricosisporites e afins (Família Anemiacae): Aplicações na palinestratigrafia e na paleoecologia*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 425 p.
- Duarte, S.; Arai, M. & Wanderley, M. 2012. Significado paleoambiental da família anemiacae no cretáceo do Brasil: inferências a partir de dados palinológicos. *Revista do Instituto Geológico*, **33**:1–12. doi:10.5935/0100-929x.20120006
- Fauth, G. et al. 2023. Incursões marinhas aptianas iniciais no interior do nordeste do Brasil após a ruptura de Gondwana. *Scientific Reports*, **13**:6728. doi:10.1038/s41598-023-32967-w
- Goldberg, K.; Premaor, E.; Bardola, T. & Souza, P.A. 2019. Aptian marine ingressions in the Araripe Basin: implications for paleogeographic reconstruction and evaporite accumulation. *Marine and Petroleum Geology*, **107**:214–221. doi:10.1016/j.marpetgeo.2019.05.011
- Heimhofer, U. & Hochuli, P. 2010. Early Cretaceous angiosperm pollen from a low-latitude succession (Araripe Basin, NE Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **161**:105–126. doi:10.1016/j.revpalbo.2010.03.010
- Hofmann, C. & Seyfullah, L.J. 2021. Lower Cretaceous Crato clay samples revisited: some new results from scanning electron microscope investigations of *Afropollis* pollen. *Grana*, **60**:161–172. doi:10.1080/00173134.2020.1795243
- Hofmann, C.; Roberts, E.A. & Seyfullah, L.J. 2022. Diversity of the dispersed Gnetalean pollen record from the Lower Cretaceous Crato Formation, Brazil: entomophily, harmomegathy and habitat heterogeneity. *Cretaceous Research*, **129**. doi:10.1016/j.cretres.2021.105020
- Lacerda, J.N.L.; Nascimento, L.R.S.L. & Barreto, A.M.F. 2023. Paleoecology and paleoenvironmental 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*, **129**:104526. doi:10.1016/j.jsames.2023.104526
- Lima, M.R. & Perinotto, J.A.J. 1984. Palinologia de sedimentos da parte superior da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe. *Geociências*, **3**:67–76.
- Lima, M.R. 1971. Contribuição palinológica à estratigrafia do cretáceo do Nordeste do Brasil: Análise da perfuração GSB1, Serra Branca, PE. Departamento de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado, 47 p.
- Lima, M.R. 1976. O gênero *classopollis* e as bacias do nordeste do Brasil. *Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, **13**:226–234.
- Lima, M.R. 1978a. *Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de doutorado, 397 p. doi:10.11606/T.44.1978.tde-16112015-153709
- Lima, M.R. 1978b. *Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, p. 136–139. (Boletim IG, 9). doi:10.11606/issn.2316-8978.v9i0p136-139
- Lima, M.R. 1989. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). IV- Descrição sistemática dos polens das turmas plicates e poroses, esporos, *Incertae Sedis* e microplancton marinho. *Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, **26**:63–81.
- Lima, M.R. 1979. Palinologia da formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). II. Descrição sistemática dos esporos da subturma zonotriletes e turma monolotes e dos polens das turmas saccites e aletes. *Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, **16**:27–63.

- Lima, M.R. 1980. Palinologia da formação Santana (cretáceo do nordeste do Brasil). III. descrição sistemática dos polens da turma plicates (subturma costates). *Ameghiniana: Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, **17**:15–47.
- Lima, M.R. 1978c. O paleoambiente deposicional da Formação Santana (Grupo Araripe) segundo evidências palinológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978. *Anais*, Recife, p. 970–974.
- Martill, D.M. 2007. The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota, *Cretaceous Research*, **28**:895–920. doi:10.1016/j.cretres.2007.01.002
- Moraes, J.; Santos, J. & Mascarenhas, J. 1976. Projeto Santana: Relatório final da etapa I. In: *Relatórios Técnicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais*, CPRM/SGB, p. 1–283 (Projeto Técnico).
- Nascimento, L.R.S.L.; Arai, M.; Lacerda, J.N.L.; Tomé, M.E.; Araripe, R.; Barreto, A.; Oliveira, D.H.; Lemos, F.P.; Prado, L.A.C. & Ng, C. 2023. Integrated study of the microfossils of the upper Aptian (Lower Cretaceous) of the Sobradinho and Serra do Mãozinha sections (Araripe Basin, northeastern Brazil): biostratigraphic and paleoenvironmental inferences. *Journal of South American Earth Sciences*, **132**:1–18. doi:10.1016/j.jsames.2023.104644
- Piovesan, E.K.; Pereira, R.; Melo, R.M.; Guzmán, J.; Almeida-Lima, D.; Ramírez, J.D.V. & Mouro, L.D. 2022. Organic inclusions in Brazilian Cretaceous amber: the oldest ostracods preserved in fossil resins. *Cretaceous Research*, **131**:1–11. doi:10.1016/j.cretres.2021.105091
- Pons, D.; Berthou, P.-Y. & Campos, D.A. 1990. Quelques observations sur la palynologie de l'aptien supérieur et de l'albien du Bassin d'Araripe (N.E. du Brésil). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990. *Resumos expandidos*, Crato, SBP, Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do Nordeste, p. 241–252.
- Portela, H. 2008. *Estudo palinológico e palinofaciológico da formação Santana, Bacia do Araripe, nordeste do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de mestrado, 134 p.
- Portela, H.; Antonioli, L.; Dino, R. & Garcia, M.J. 2014. Caracterização palinoflorística e paleoambiental da Formação Santana (Cretáceo Inferior), poço 4-BO-1-PE, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **17**:363–372. doi:10.4072/rbp.2014.3.07
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N. & Santos, A.S. 1974. *Palinologia dos sedimentos meso-cenozóicos do Brasil*. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento “Leopoldo A. Miguez de Mello” (CENPES), Rio de Janeiro p. 263–301. (Boletim Técnico da Petrobrás 17).
- Rios-Netto, A.M. 2011. *Evolução Paleoambiental e Palinoestratigrafia do Intervalo Alagoas na parte oriental da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 304 p.
- Rios-Netto, A.M.; Paula-Freitas, A.B.L.; Carvalho, I.S.; Regali, M.S.P.; Borghi, L. & Freitas, F.I. 2012a. Formalização estratigráfica do Membro Fundão, Formação Rio da Batateira, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**:1–292.
- Rios-Netto, A.M.; Regali, M.S.P.; Carvalho, I. & Freitas, F.I. 2012b. Palinoestratigrafia do intervalo Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **42**:331–342. doi:10.5327/Z0375-75362012000200009
- Teixeira, M.C.; Mendonça Filho, J.G.; 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. *Geologia USP, Série Científica*, **17**:19–44. doi:10.11606/issn.2316-9095.v17-347
- Vallejo, J.D.; Piovesan, E.K.; Carvalho, M.A. & Guznán, J. 2023. Palynofacies analyses of Santana Group, upper Aptian of the Araripe Basin, northeast Brazil: Paleoenvironmental reconstruction. *Journal of South American Earth Sciences*, **121**:104154. doi:10.1016/j.jsames.2022.104154

Received: 29 November 2024. Accepted: 19 May 2025.

Associated editor: Marcelo de Araújo Carvalho
Editor-in-chief: Matias do Nascimento Ritter